



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE 20 AOUT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Etude de l'effet de l'inhibiteur à base de plante
(eucalyptus globulus) sur l'acier au carbone C1020
dans les milieux acides NaCL 5%, H₂SO₄ 5%

Soutenu le /06/2023

Réalisé par :

- BOURBIA Hanine
- BOUCHAREB Samah
- HADEF Nardjess

Encadré par :

Dr. BOUSSAHA Elhadi

Année Universitaire 2022- 2023



REMERCIEMENTS



Au nom d'Allah, le tout miséricordieux, le très miséricordieux. Les Louanges sont à Allah seigneur de l'univers qui nous a donné la force, la patience, le courage, pour compléter cette modeste recherche.

Premièrement, nous remercions notre cher encadreur, «**Dr. BOUSSAHA El Hadi** » pour avoir accepté de nous encadrer et de nous diriger, pour sa compréhension, ses Encouragements ainsi que pour la confiance qu'il nous a accordé en réalisant ce travail, avec tout notre sincères gratitude et respect.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements tous membres du jury, pour avoir accepté de présider notre jury de soutenance, et pour avoir bien accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements à Tous nos enseignants de département de science et Technologie departement genie des procedes et de vie pour leurs soutiens pendant tout notre parcours universitaire et a tous les ingénieurs de laboratoire.

A la fin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué d'une façon ou d'autres, de près Ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude. Sans oublier nos collègues d'études et particulièrement notre

promo

(la promo de 2023)





Dédicace

Je commence par rendre grâce **à Dieu**, pour la patience, la compétence et le courage qu'il m'a donné pour arriver à ce stade et de m'avoir donné la force d'accomplir mes études. Louange **à Dieu** tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite **ma mère**,
et mon très cher père : Autant de phrases et d'expressions ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance Je vous présente ma pleine mon Profond respect, j'espère que Dieu vous donne la longue vie et la bonne santé, je vous aime tous les deux très fort.

À mes frères : Fatehe et Noufel.

À toute ma famille.

À mes très chères amies qui restent toujours dans une grande place dans mon cœur, qu'avec eux j'ai passés des meilleurs moments inoubliables.

Enfin mon plus profond respect va tout droit à mes aimables **professeurs** dans Tous les cycles de ma scolarité qui m'ont éclairé la voie du savoir.



BOURBIA HANINE





Dédicace

Je commence par rendre grâce à Dieu ,
pour la patience, la compétence et le
courage qu'il m'a donné pour arriver à ce stade
et de m'avoir donné la force d'accomplir mes études.

Louange à Dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

Je dédie ce mémoire de fin d'étude à :

A mon très cher père : SALAH. Celui qui m'a offert tout le soutien

Dont j'ai besoin, celui qui m'a donné le tout depuis ma naissance, grâce à toi
Papa j'ai appris le sens de travail et de responsabilité. Je voudrais te remercier
pour ton amour, ta générosité, ta compréhension et ton soutien, je te souhaite
une très heureuse longue vie.

A mon modèle de sacrifice, d'amour et de générosité, celle qui s'est sacrifiée
durant sa vie afin de me voir réussir, celle qui a éclairé mon chemin de ma vie
par ces conseils, l'étoile de ma vie ; à ma très chère mère : RACHIDA.

A mon cœur, ma chère sœur : MOUNIA.

A mes chers frères : AMINE, AHMED WASSIME et MOHAMED.

A toute la famille BOUHAREB, mes grands-pères
mes grands-mères et mes oncles.

A tous mes amis qui m'ont soutenu, aidé et encouragé.

BOUHAREB SAMAH



Dédicace



C'est une profonde gratitude et sincères mots, que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude qui est le fruit de plusieurs années d'études : A MOI

MÈME

A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allume mon chemin : **A MA MÈRE NASSIMA**

A celui qui m'a fait une femme forte, ma source de vie, d'amour et d'affection, à mon support, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : **A MON PÈRE KAMEL**

À mon cher mari Yacine, ma moitié, mon bras droit qui est toujours là pour moi pour l'amour qu'il me réserve, pour son encouragements et ses sacrifices et sa tendresse

À notre fruit d'amour mon prince rassim, mon petit gâté, ma joie de vivre que dieu le protège pour moi et qui sera fière de sa maman un jour

A la mémoire de mon grand père **CHERIF** disparu trop tôt

A mes adorables sœurs amira et narimen qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour notre famille

A mes chères copines manel, khadija, nour, lina, asma, aya, rayen, rihem qui n'ont pas cessé de me conseiller, m'encourager et me soutenir tout au long de mes études

A ma grande mère **DJAMILA** que j'aime, mes tantes et mes oncles, mes cousines et toutes ma famille, que dieu leur donne une longue et joyeuse vie





Résumé

ملخص

التآكل هو الهدم التلقائي للمعدن نتيجة تفاعله مع البيئة المحيطة، ويعتبر عملية مستمرة لا يمكن التخلص منها بسهولة، وهو ظاهرة ذات أهمية كبيرة خاصة من حيث تأثيرها على مختلف نشاطات الإنسان إذ تم الإهتمام بدراسة مشكلة التآكل وأخذها بعين الإعتبار منذ فترة طويلة، وذلك باستعمال مثبطات فعالة ورخيصة الثمن .

في هذا العمل نهذف إلى إيجاد وسيلة للحد من تآكل عينة من الفولاذ C1020 وذلك باستخدام الكيمياء الخضراء باستخراج مثبط التآكل من نبتة الكاليتوس (*eucalyptus globulus*) واستعمالها بتركيز مختلفة في محاليل مائية من حمض كبريتات الهيدروجين H_2SO_4 وحمض كلور الصوديوم NaCl بتركيز 5%.

قمنا بهذه الدراسة باستعمال تجربة فقدان الكتلة وقد تحصلنا على نتائج إيجابية حيث أن معدل التآكل يتناقص تدريجيا مع زيادة التركيز. وأن فعالية تثبيط التآكل تزداد مع زيادة تركيز إضافة المستخلص في المحلول لجميع أوقات الغمر.

Résumé

La corrosion est une démolition automatique du métal en raison de son interaction avec le milieu environnant et , est un procédé continu ne peut pas être éliminé facilement, Et c'est un phénomène d'une grande importance surtout en fonction de leur impact sur les diverses activités humaines où le problème s'est intéressé à la corrosion de l'étude et pris en compte Depuis longtemps. En utilisant des inhibiteurs efficaces et le prix pas cher.

Dans ce travail, nous visons à trouver un moyen de réduire la corrosion d'un échantillon d'acier C1020 en utilisant la chimie verte en extrayant l'inhibiteur de corrosion de la plante Eucalyptus globulus et en l'utilisant à différentes concentrations dans des solutions aqueuses de H₂SO₄ et de NaCl à une concentration de 0,5 %.

Nous avons réalisé cette étude en utilisant l'expérience de perte de masse et nous avons obtenu des résultats positifs car le taux de corrosion diminue progressivement avec l'augmentation de la concentration. Et que l'efficacité de l'inhibition de la corrosion augmentait avec l'augmentation de la concentration de l'extrait dans la solution pour tous les temps d'immersion.

Abstract

Corrosion is an automatic demolition of metal because of its interaction with the surrounding environment and is a continuous process cannot be easily removed, and it is a phenomenon of great importance especially in terms of their impact on the various human activities where the problem is interested in the study of corrosion and considered long. Using effective inhibitors and cheap price.

In this work, we aim to find a way to reduce the corrosion of a C1020 steel sample using green chemistry by extracting the corrosion inhibitor from the Eucalyptus globulus plant and using it at different concentrations in solutions. aqueous solutions of H₂SO₄ and NaCl at a concentration of 0.5%.

We carried out this study using the mass loss experiment and we obtained positive results because the corrosion rate gradually decreases with the increase of the concentration. And that the effectiveness of corrosion inhibition increased with increasing concentration of the extract in the solution for all immersion times.

Liste des abréviations

θ : La fraction de sites occupés

β : Beta

Δm : Perte de masse exprimée en g

An : Années

As : L'Arsenic

b : Le coefficient d'adsorption

C : Carbone

C° : Degré Celsius

C1020: L'acier au carbone

Cinh : La concentration d'inhibiteur dans l'électrolyte

Cl⁻ : Chlore

cm : Centimètre

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

Ecorr : Potentiel de corrosion

EI%: L'efficacité inhibitrice

Fe : Fer

g : Gramme

H : Hydrogène

h : Heure

H⁺ : La réduction du proton

H₂ : Le dihydrogène

H₂O : Monoxyde de dihydrogène

H₂SO₄ : Acide sulfurique

H₃PO₄ : Acide phosphorique

HCl : Chlorure d'hydrogène

Icorr : Instantanées de corrosion

Kg : Kilogrammes

l : Litre

m : Masse

mg : Milligramme

mm : Milimètre

Mn : Manganèse

Mo : Molybdène

Na⁺ : Sodium

NaCl : Chlorure de sodium

Ni : Nickel

O₂ : Le dioxygène

P : Phosphore

Pb : Plomb

Pb₃O₄ : L'oxyde de plomb

pH : Potentiel hydrogène

R : Rendement de l'extraction

Rp : Résistance de polarisation

S : Soufre

S : Surface

Sb : L'antimoine

Sn : L'étain

SO₄²⁻ : Sulfate

t : Temps

Vads : Vitesse d'adsorption

Vcorr : La vitesse de corrosion sans inhibiteur

Vdes : Vitesse de désorption

Vinh : La vitesse de corrosion avec inhibiteur

Zn : Zinc

ZnCrO₄ : Le chromate de zinc

Liste des figures

Chapitre I Généralités sur la corrosion et les inhibiteurs	
Figure.I.1 : Schéma du phénomène de corrosion.	2
Figure I.2 : Exemple de la corrosion d'un collecteur d'échappement	4
Figure I.3 : Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne.	5
Figure .I.4 : la corrosion uniforme	7
Figure.I.5 : Variation du taux de corrosion en fonction du pH.	8
Figure I.6 : la corrosion localisée	8
Figure.I.7 : la corrosion par piqûre.	9
Figure I.8 : l'étape d'amorçage	9
Figure. I.9 : l'étape de propagation	10
Figure I.10 : la corrosion caverneuse	10
Figure I.11 : corrosion galvanique.	11
Figure I.12 : la corrosion inter-granulaire	11
Figure I.13 : la corrosion sélective	12
Figure I.14 : la corrosion par érosion	12
Figure I.15 : la corrosion sous contraint	13
Figure I.16 : des photos présentent la corrosion dans l'industrie	15
Figure .I.15 : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel	18
Figure I.16 : Les moyens de protection contre la corrosion	22
Figure I.17 : Métal au contact d'un milieu corrosif, (a) sans inhibiteur ; (b) avec inhibiteur.	23
Figure I.18 : Classement des inhibiteurs de corrosion.	24
Figure I.19 : Le mécanisme d'action d'un inhibiteur organique agissant par adsorption des molécules inhibitrices sur la surface du métal.	25

Figure I.20 : Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide	27
Figure I.21 : Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion.	28
Figure I.22 : (a) Adsorption d'un inhibiteur chargé négativement à la surface d'un métal chargé positivement ; (b) Adsorption d'un inhibiteur chargé positivement à la surface d'un métal chargé négativement	29
Figure I.23 : Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.	30

Chapitre II Etude bibliographique sur la plante	
Figure .II.1 : plante eucalyptus globulus	33
Figure.II.2 : photographie d'un eucalyptus globulus	35
Figure.II.3 : les feuilles et les grains d'Eucalyptus globulus	36
Figure.II.4 : aire d'origine d'eucalyptus globulus.	37
Figure.II.5 : le cinéole -1,8 et l' α -terpinéol	39
Figure.II.6 : exemple d'un médicament à base d'eucalyptus globulus	40
Figure.II.7 : le savon Baladi à l'eucalyptus	41

Chapitre III : Matériels et méthodes	
Figure III.1 : le lavage des feuilles	43
Figure III.2 : les feuilles d'eucalyptus dans l'étuve et après le séchage.	44

Figure III.3 : le broyage des feuilles.	44
Figure III.4 : la poudre d'eucalyptus.	44
Figure III.5 : l'étape de macération.	46
Figure III.6 : l'étape de filtration.	46
Figure III.7 : le montage de l'évaporateur rotatif.	47
Figure III.8 : l'extrait d'eucalyptus avec une quantité d'eau.	47
Figure III.9 : l'extrait d'eucalyptus.	48
Figure III.10 : l'extrait brut d'eucalyptus.	48
Figure III.11 : la forme et dimensions des échantillons en cm.	50
Figure III.12 : le procédé de polissage.	50
Figure III.13 : Les échantillons avant et après le polissage.	51
Figure III.14 : solution mère de H ₂ SO ₄ .	52
Figure III.15 : solution fille de H ₂ SO ₄ .	52
Figure III.16 : solution mère de HCl.	53
Figure III.17 : solution fille de HCl.	53
Figure III.18 : chlorure de sodium.	53
Figure III.19 : solution de NaCl 5%.	53
Figure III.20 : les solutions préparées.	54
Figure III.21 : les échantillons dans les solutions.	55
Figure III.22 : les solutions après la réaction avec les échantillons.	56

Figure III.23 : Suivi de méthode de perte de masse	57
Chapitre IV : Résultats et discussions	
Figure.IV.1 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie sans inhibiteur en fonction de la concentration de l'acide sulfurique.	60
Figure.IV.2 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie sans inhibiteur en fonction de la concentration de l'acide chlorhydrique.	62
Figure.IV.3 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie sans inhibiteur en fonction de la concentration de Chlorure de sodium.	64
Figure.IV.4 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie en fonction de concentration d'inhibiteur en milieu H ₂ SO ₄ 5%.	66
Figure.IV.5 : l'évolution de l'efficacité inhibitrice mesurée par en fonction de concentration d'inhibiteur en milieu H ₂ SO ₄ 5%.	67
Figure.IV.6 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie en fonction de concentration d'inhibiteur en milieu NaCl 5%.	69
Figure.IV.7 : l'évolution de l'efficacité inhibitrice mesurée par en fonction de concentration d'inhibiteur en milieu Na cl.5%.	70
Figure. IV.8 : Isotherme de Temkin obtenu (en milieu NaCl)	72
Figure. IV. 9 : Isotherme de Frumkin obtenu (en milieu NaCl)	72
Figure. IV.10 : Isotherme de Langmuir obtenu (en milieu NaCl)	73

Figure. IV.11 : Isotherme de Temkin obtenu (en milieu H ₂ SO ₄)	75
Figure. IV. 12 : Isotherme de Frumkin obtenu (en milieu H ₂ SO ₄)	75
Figure. IV.13 : Isotherme de Langmuir obtenu (en milieu H ₂ SO ₄)	76

Liste des tableaux

Chapitre I: Généralités sur la corrosion et les inhibiteurs	
Tableau I.1 : Les principaux facteurs de corrosion	03
Tableau I.2 : Classification de la tenue en corrosion en fonction du taux de corrosion	07

Chapitre II: Etude bibliographique sur la plante	
Tableau II.1 : classification d'eucalyptus globulus	37

Chapitre II : Matériels et méthodes	
Tableau III.1 : Compositions chimique d'Acier au carbone C1020	49
Tableau III.2 : Propriété mécanique de l'acier C1020	49
Tableau III.3 : propriétés d'acide Sulfurique	52
Tableau III.4 : propriétés d'acide chlorhydrique	52

Chapitre IV : Résultats et discussions	
Tableau IV.1 :les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans H ₂ SO ₄ pendant 1h,2h ,3h,4h,72h(seulement dans la concentration 3%)	59
Tableau IV.2 :les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans HCl pendant 1h,2h ,3h,4h,72h(seulement dans la concentration 3%)	61
Tableau IV.3 :les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone(C-1020) dans NaCl pendant 1h,2h,3h,4h,72h(seulement dans la concentration 3%)	63
Tableau IV.4 : les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans H ₂ SO ₄ (5%) pendant 3h,72h(seulement dans la concentration 5% d' inhibiteur).	65

Tableau IV.5: les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans NaCl (5%) pendant 3h,72h(seulement dans la concentration 5% d' inhibiteur).	68
Tableau IV.6 : Les paramètres nécessaires pour tracé l'isotherme d'adsorption pour l'acier C1020 dans NaCl 5% avec inh	71
Tableau IV.7 : Les paramètres nécessaires pour tracé l'isotherme d'adsorption pour l'acier C1020 dans H2SO4 5% avec inh	74



Sommair

Sommaire

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale

Références bibliographique de l'introduction générale

Chapitre I : Généralités sur la corrosion et les inhibiteurs

I.1. Introduction	1
I.2. Définition de la corrosion	1
I.3. Cause de la corrosion	1
I.4. Facteur de corrosion.....	2
I.5. Les types de corrosion	3
I.5.1. Corrosion chimique (sèche).....	4
I.5.2. Corrosion électrochimique (humide).....	4
I.5.3. Corrosion biochimique	5
I.6. Les conséquences de corrosion	5
I.7. Les formes de corrosion	6
I.7.1. La corrosion uniforme.....	6
I.7.2. Corrosion Localisée	8
I.7.3. La corrosion par piqûres	8
I.7.4. Corrosion caverneuse.....	10
I.7.5. Corrosion galvanique	10
I.7.6. Corrosion inter-granulaire	11
I.7.7. Corrosion sélective	12
I.7.8. Corrosion par érosion, abrasion, cavitation	12
I.7.9. Corrosion sous contraintes	12

I.8. Les paramètres influençant sur la vitesse de corrosion	13
I.8.1. Effet de la température	13
I.8.2. Effet de l'acidité	13
I.8.3. Régime hydrodynamique	14
I.8.4. La salinité	14
I.9. Les conséquences de la corrosion sur les métaux	14
I.10. Généralité sur les aciers	15
I.10.1. Les composants des aciers.....	16
I.10.1.1. Les impuretés	16
I.10.1.2. Les éléments d'additions	16
I.10.1.3. Les éléments d'accompagnements	16
I.10.2. Corrosion des aciers ordinaires dans les milieux acides	16
I.11. Les méthodes d'évaluation de la corrosion	17
I.11.1. Méthode gravimétrique	17
I.11.2. Méthode électrochimique	18
I.11.3. Isotherme d'adsorption	19
I.11.3.1. Isotherme de Langmuir	19
I.11.3.2. Isotherme de Temkin.....	20
I.11.3.3. Isotherme de Frumkin	20
I.12. Les moyens de lutte contre la corrosion	20
I.12.1. Protection par revêtements	21
I.12.1.1. Revêtements métalliques	21
I.12.1.2. Protection cathodique	22
I.12.1.3. Protection par inhibition	23
I.13. L'inhibiteur.....	23
I.13.1. Définition d'inhibiteur	23
I.13.2. Classement des inhibiteurs	24
I.13.2.1. Par nature	24
I.13.2.1.1. Les inhibiteurs organiques.....	24
I.13.2.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux)	25
I.13.2.2. Par domaine d'application	25

I.13.2.2.1. Les inhibiteurs en milieu acide	26
I.13.2.2.2. Inhibition en milieu neutre	26
I.13.2.2.3. Inhibition en phase gazeuse	26
I.13.2.2.4. Inhibiteurs par peintures	27
I.13.2.3. Par réaction partielle	27
I.13.2.3.1. Les inhibiteurs anodiques	27
I.13.2.3.2. Les inhibiteurs cathodiques	27
I.13.2.3.3. Les inhibiteurs mixtes	28
I.13.2.4. Par mécanismes réactionnel	28
I.13.2.4.1. Les inhibiteurs agissant par précipitation	29
I.13.2.4.2. Les inhibiteurs agissant par adsorption	29
I.13.3. Conditions d'utilisation	30
I.13.3.1. Fonctions essentielles	31
I.13.3.2. Utilisations industrielles courantes	31
I.13.4. Choix d'un inhibiteur	32

Références bibliographique du chapitre I

Chapitre II : Etude bibliographique sur la plante

II. Description des matières inhibitrice	33
II.1. Généralité sur Eucalyptus globulus	33
II.2. Historique de la plante	33
II.3. Définition de la plante d'eucalyptus	34
II.4. Description d'eucalyptus globulus	35
II.5. L'espèce d'eucalyptus globulus	37
II.6. La composition d'eucalyptus	38
II.6.1. Essai botanique	38
II.6.1.1. Caractères macroscopiques	38
II.6.2. Essai physico-chimique	38
II.7. Répartition géographique d'espèce Eucalyptus globules	39
II.8. L'utilisation d'Eucalyptus globules	39
II.8.1. Usage thérapeutique d'Eucalyptus globules	39

II.8.1.1. Usages antimicrobiens	39
II.8.1.2. Usages anti-inflammatoires	40
II.8.2. Propriétés médicinales d'Eucalyptus globulus	40
II.8.3. Autre domaines d'utilisation	40
II.9. Conclusion	41

Références bibliographique du chapitre II

Chapitre III : Matériels et Méthode

III.1. Introduction	42
III.2. Matériels et Méthodes	42
III.2.1. Matériels végétal	42
III.2.1.1. La récolte.	43
III.2.1.2. Traitement de la plante	43
III.2.1.3 L'extraction de la poudre d'eucalyptus	44
III.2.2 .Détermination du rendement de l'extrait.....	48
III.2.3. Propriété métallurgique (composition chimique)	49
III.2.3.1 Propriétés mécanique de l'acier	49
III.2.4. Préparation des échantillons	50
III.2.5. La préparation des milieux acides Na cl, H cl, H ₂ SO ₄ (5%).....	51
III.2.5.1. Préparation de milieu corrosive 01(H ₂ SO ₄ 5%)	52
III.2.5.2. Préparation de milieu corrosif 02 (HCl5%).....	52
III.2.5.3. Préparation de milieu corrosif 03 (NaCl 5%)	53
III.2.5.4. Préparation de solutions acides diluées de H ₂ SO ₄ , HCl, NaCl.....	53
III.2.6. Méthode d'évaluation de l'action de l'inhibiteur sur la corrosion	54
III.2.6.1. Méthode gravimétrie	54
III.2.6.2. Le cas où l'absence d'inhibiteur	55
III.2.6.3. Le cas où la présence d'inhibiteur.....	56

Références bibliographique du chapitre III

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Calcule du rendement de l'extraction	58
IV.2. Méthode d'évaluation de l'action de l'inhibiteur sur la corrosion	58
IV.2.1. Résultat obtenus par gravimétrie	58

IV.2.1.1.Résultats des milieux corrosifs sans inhibiteur.....	59
IV.2.1.1.1.Résultat du milieu corrosif H ₂ SO ₄	59
IV.2.1.1.2.Résultat du milieu corrosif H cl.....	61
IV.2.1.1.3.Résultat du milieu corrosif Na cl.....	63
IV.2.1.2. Résultats des milieux corrosifs avec inhibiteur.....	65
IV.2.1.2.1. Résultat du milieu corrosif H ₂ SO ₄ 5%.....	65
IV.2.1.2.2. Résultat du milieu corrosif Na cl 5%.....	68
IV.3. L'isotherme d'adsorption.....	71
IV.3.1. Isotherme d'adsorption et paramètre thermodynamique dans le milieu NaCl 5% avec inh.....	71
IV.3.2. Isotherme d'adsorption et paramètre thermodynamique dans le milieu H ₂ SO ₄ 5% avec inh.....	74
Conclusion générale	

Annexes



Introduction

Générale

Introduction générale

Aujourd'hui l'acier a pris une place prépondérante dans notre vie. En effet, grâce à son bas cout de fabrication, ses bonnes propriétés mécaniques et thermique, ce matériau se trouve sous différents formes et tailles, pour des applications nombreuses et variées l'industrie du pétrole, du gaz et industrie automobile , les aciers ordinaires sont utilisés dans l'industrie pétrolière pour les pipelines en premier lieu et d'autres installations industrielles... etc.

Mais tous ces types d'aciers ordinaires ont tendance à se dégrader superficiellement lorsqu'ils sont soumis à des milieux corrosifs et spécialement des milieux acides qui sont largement utilisés. La corrosion est la détérioration des matériaux par des interactions physico chimiques avec leur environnement, entraînant des modifications de propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques,.....etc.). Les mécanismes mis en jeu sont divers et conduisent à des formes différentes de corrosion.

Selon la thermodynamique, les métaux ne sont pas stables au contact de l'air et de l'eau, à quelques exceptions près. Mais, si la vitesse des réactions de corrosion est lente et si on emploie des techniques de protection adéquates, ils peuvent remplir leur fonction pendant la durée de vie prévue pour une réalisation technique. [1]

Il existe plusieurs méthodes disponible pour protéger les métaux de la corrosion dans ce milieu, comme l'utilisation d'une barrière de protection, la galvanisation, la protection cathodique, utilisation des solutions anti rouille ou des inhibiteur de corrosion.

En matière de protection, les inhibiteurs constituent un moyen original pour lutter contre la corrosion. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion des matériaux. Il peut être destiné soit à une protection permanente de la pièce, soit à une protection provisoire (notamment lorsque la pièce est particulièrement sensible à la corrosion) .[2]

Sachant que les inhibiteurs verts font l'objet d'une grande attention dans le monde de l'industrie et vue leurs non toxicité et efficacité dans le domaine de la corrosion, Dans le cadre de ce travail de recherche, nous sommes intéressés à l'étude de l'inhibition de la corrosion de l'acier C1020 en raison de ces diverses applications industrielles. L'additif testé dans notre étude est un extrait brut de plante d'eucalyptus globulus. à l'aide de technique de perte de masse. extrait à base des feuilles d'eucalyptus globulus. Cette plante est devenue de plus en plus visée pour SON intérêt écologique, environnemental et socioéconomique, sans oublié le domaine industriel, médicinal, pharmaceutique et cosmétique.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'interaction entre l'extrait la plante et la surface de l'acier au carbone dans deux milieux différents (l'acide sulfurique 5% et le chlorure de sodium 5%) :

- Le premier chapitre est consacré à une présentation générale de la corrosion des métaux et les inhibiteurs de corrosion, et les méthodes utilisées pour l'évaluation de la corrosion.
- Le second chapitre est consacré à une étude bibliographique sur les différents types de plante (d'eucalyptus globulus).
- Le troisième chapitre traite les tests phytochimique appliqué, les techniques expérimentales (technique de la perte de masse), ainsi que les dispositifs expérimentaux utilisés pour la réalisation de ce mémoire.
- Le dernier chapitre est consacré à Les résultats expérimentaux et les discussions.

Références de l'introduction

[1] A. Oulabass, Effet des inhibiteurs verts sur la corrosion des aciers ordinaires dans deux milieux acides, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba, 2019.

[2] F. Ziania, M. Benyahia, L'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone par les huiles essentielles en milieu acide sulfurique, Mémoire de Master, Université Dr Moulay Tahar - Saida, 2014.



Chapitre I

Généralités sur la corrosion et les inhibiteurs

I.1. Introduction

De nos jours le problème de la corrosion a pris une importance considérable, étant donné l'utilisation de plus grande des métaux et alliages dans la vie moderne. Pratiquement tous les milieux sont corrosifs, comme : L'air, l'eau de mer, l'oxygène, l'atmosphère, les sols, les acides, les bases, les sels et les bactéries. Les dégâts causés par la corrosion sont donc inévitables et extrêmement élevés.

En général la corrosion représente une destruction non voulue des matériaux métalliques et non métalliques par réaction chimique ou électrochimique avec leur environnement (l'action d'un milieu agressif) . Cette interaction conduit à une modification mesurable du matériau et de ses propriétés, et à une dégradation d'une propriété fonctionnelle du métal (propriété mécanique, esthétique, électrique, etc.) Ce chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur le phénomène de corrosion, ces types, ces formes et les méthodes de protection appliquées.

I.2. Définition de la corrosion

Le terme corrosion vient du mot latin corroder, qui signifie ronger ou attaquer. La corrosion est une réaction chimique ou électrochimique entre un métal ou un alliage métallique et son environnement entraînant des modifications des propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle de ce dernier.

La corrosion est une destruction non voulue des métaux sous l'action de milieux corrosifs. C'est un processus naturel qui convertit le métal en une forme chimique stable (leur état primitif d'oxyde, sulfure, carbonate, etc.)

Quelques exemple de corrosion :

- Transformation de l'acier en rouille ;
- Oxydation d'un contact électrique en cuivre ;
- Fragilisation par l'hydrogène d'un acier à haute résistance ;
- Corrosion à chaud d'un superalliage dans une turbine à gaz.

I.3. Cause de la corrosion

Les causes de la corrosion sont complexes et varient selon les industries.

- composition chimique et microstructure du métal ;

- composition chimique de l'environnement -paramètres physiques (température, convection, irradiation.) ;
- sollicitation mécanique (contraintes, chocs, frottements..).

Un environnement corrosif se caractérise par un ou plusieurs éléments suivants :

- Humidité ;
- Températures extrêmes ;
- Humidité de surface ;
- Particules en suspension dans l'air ;
- Sel ;
- Lubrifiants industriels .[1]

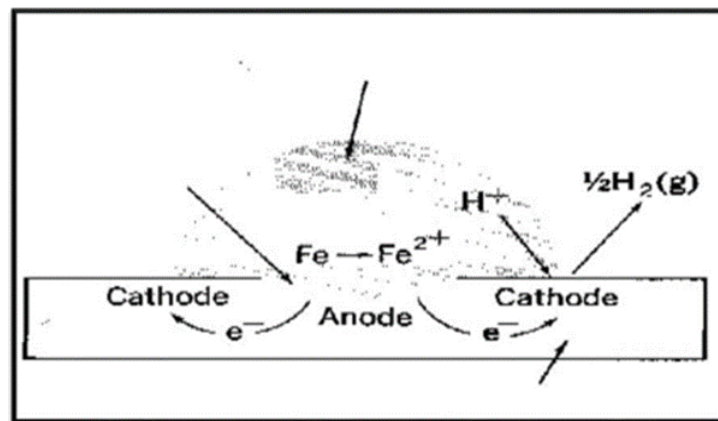


Figure.I.1 : Schéma du phénomène de corrosion. [2]

I.4. 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.

Tableau I.1 : Les principaux facteurs de corrosion

Critères de classement	Facteurs
Facteurs relatifs au milieu et définissant Le mode d'attaque	<ul style="list-style-type: none"> - Concentration du réactif. - Teneur en Oxygène - Acidité du milieu, salinité, résistivité. - Température, pression. - Présence de bactéries.
Facteurs métallurgiques	<ul style="list-style-type: none"> - Composition d'alliage, hétérogénéités - 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, défauts de fabrication. - Formes de pièces. - Emploi d'inhibiteurs. - Procédés d'assemblage (couples Galvaniques, soudures, etc.). - Force électromotrice extérieure (électrolyse).
Facteurs dépendants du temps	<ul style="list-style-type: none"> - Vieillessement. - Tensions mécaniques internes ou externes. - Température. - Modification des revêtements protecteurs. - Apparition d'un dépôt .

I.5. Les types de corrosion

Selon la nature de l'environnement et son comportement qui autour le métal, on peut résumer les différents processus de la corrosion comme ci-dessous :

- Corrosion chimique (sèche) ;
- Corrosion électrochimique (humide) ;

- Corrosion biochimique.

I.5.1. Corrosion chimique (sèche)

Corrosion sèche ou corrosion à haute température C'est une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase liquide ou gazeuse. Lorsque le réactif est gazeux, la corrosion est dite sèche. Si le réactif est liquide, il est en général accompagné d'une corrosion électrochimique. L'attaque d'un métal par un autre métal liquide, par un sel fondu ou par une solution non aqueuse peut être considérée comme une corrosion chimique. Donc on peut dire que la corrosion chimique est l'attaque du métal par son environnement. Elle est généralement rencontrée dans les industries produisant ou utilisant les acides.[4]



Figure I.2 : Exemple de la corrosion d'un collecteur d'échappement [5].

I.5.2. Corrosion électrochimique (humide)

Tout milieu contenant de l'eau en contact avec un métal est responsable de la dégradation de celui-ci. La corrosion électrochimique ou humide est la plus rencontrée dans l'industrie du pétrochimique.

Elle fait appelle à la fois à une réaction chimique et un transfert de charges électriques (circulation d'un courant). Cette corrosion nécessite la présence d'un agent réducteur (H_2O , O_2 , H_2 , etc.), sans celui-ci la corrosion du métal ne peut se produire. La corrosion électrochimique d'un matériau correspond à une réaction d'oxydo-réduction, dont :

- la réaction d'oxydation d'un métal est appelée réaction «anodique» ;
- la réaction de réduction d'un agent oxydant est appelée réaction «cathodique».

I.5.3. Corrosion biochimique

La corrosion biochimique ou corrosion bactérienne, est une attaque bactérienne sur les canalisations enterrées, ces bactéries se réagissent avec les éléments chimiques se trouvant dans le métal pour le transformer en oxyde. [7]

Deux types de bactéries sont particulièrement bien connus :

- **bactéries sulfato-réductrices**

Ces sont des bactéries anaérobies réductrices de sulfates, qui donnent des sulfures suivant la réaction :



- **bactéries oxydant le soufre**

On retrouve ce type de bactéries dans les gisements de pétrole et dans les égouts où elles attaquent rapidement le ciment. Le développement de ce type de corrosion dépend du pH, de la température et de la teneur en oxygène dissous. [3]

Ces bactéries aérobies sont capables d'oxyder le soufre des composés soufrés suivant la réaction :

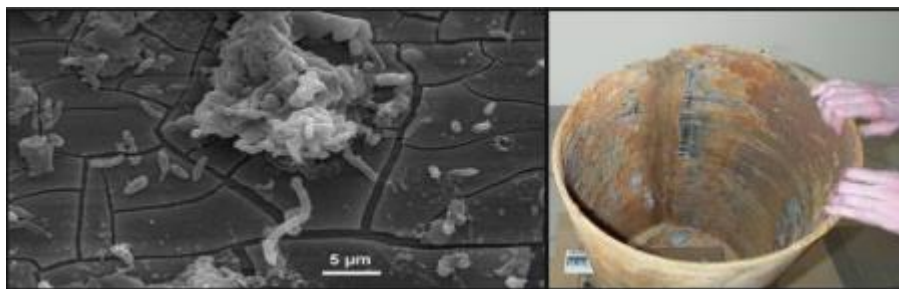


Figure I.3 : Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne. [8 ; 9]

I.6. Les conséquences de corrosion

Dans le domaine industriel Quelle que soit la cause de la corrosion de vos structures métalliques, et quelle que soit la forme que prend cette corrosion, elle cause toujours des dommages considérables à vos installations industrielles Ces effets de la

corrosion sur le métal de vos installations industrielles peuvent être importants et de natures diverses. Voici une liste des risques les plus importants :

- Risque de blessure ou d'accident pour votre personnel en raison d'une instabilité structurelle ou d'une défaillance mécanique ;
- Coûts de maintenance plus élevés ;
- Arrêt de tous les travaux en raison d'une détérioration de l'équipement, de l'unité de traitement ou d'assemblage ;
- Perte de productivité et donc de rentabilité ;
- Contamination des produits utilisés ;
- Contamination de l'environnement ;
- Perte de clientèle due à l'incapacité de livrer les produits et services (dans les délais) ;
- Une publicité défavorable et une mauvaise image en raison d'une manière non professionnelle de travailler avec un danger pour le personnel, le cadre de travail et l'environnement.[10]

I.7. Les formes de corrosion

Les formes de la corrosion, sont classées principalement selon la forme qui se manifeste à la surface corrodée

- corrosion uniforme ;
- corrosion localisé.[11][12]

I.7.1. La corrosion uniforme

C'est le phénomène de corrosion le plus simple et le mieux connu. Il survient dans le cas d'un environnement homogène (absence de gradient de température, de pression ou de concentration le long de l'interface) et lorsque le métal lui-même présente vis à vis de cet environnement un comportement suffisamment homogène. Cette homogénéité de comportement peut être le fait soit d'une homogénéité intrinsèque du matériau due à l'absence d'inclusions ou de défauts structuraux, soit au non sélectivité de l'environnement vis à vis de ces défauts. La vitesse de corrosion exprimée en tonnes de

perte de masse par unité de surface et par unité de temps (après desquamation dans le cas d'un oxyde adhérent) ou par l'épaisseur de métal corrodé en fonction du temps. Ces deux grandeurs sont bien évidemment reliées par la masse volumique du matériau ρ considéré. [13]



Figure .I.4: la corrosion uniforme

Tableau I.2 : Classification de la tenue en corrosion en fonction du taux de corrosion [13].

Taux de corrosion	Tenue
<0.05mm /an	Excellente
0.05 à0.130mm/an	Bonne
0.130à1.25mm/an	Satisfaisante
>1.25mm/an	Non satisfaisante

Sa vitesse est généralement facile à prévoir avec une précision suffisante pour déterminer la durée de vie probable d'un appareil.

$$\text{Taux de de corrosion en (mm/an)} = \frac{\text{masse perdue(mg)} * 87,6}{\text{surface(mm}^2\text{)} * \text{desité}\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) * \text{temps(heurs)}} \quad (\text{I.1})$$

La corrosion généralisée est la forme la plus répandue et peut être détectée longtemps avant qu'un ennui vienne interrompre la vie de la structure métallique. Le taux de corrosion uniforme dépend par la vitesse d'écoulement, le pH et la température du milieu.

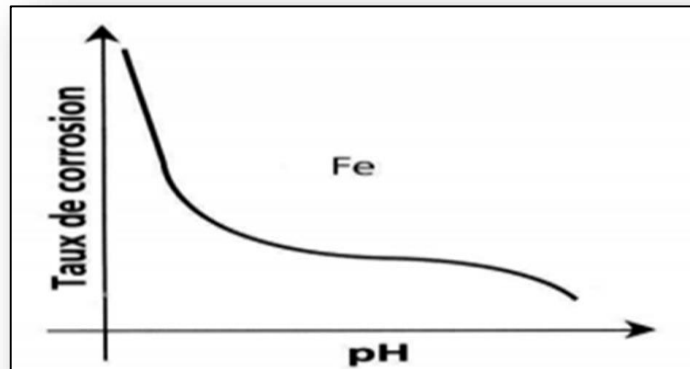


Figure.I.5. Variation du taux de corrosion en fonction du pH.[14]

I.7.2. Corrosion Localisée

C'est la corrosion qui se concentre sur une petite surface. Elle entraîne des dégradations sous la forme de pénétration profonde et la destruction rapide des composants. [17] donc c'est une attaque qui se déroule en un milieu spécifiquement anodique d'une surface d'un matériau. Dans ce cas de réaction, on distingue clairement les zones anodiques et cathodiques. [15]

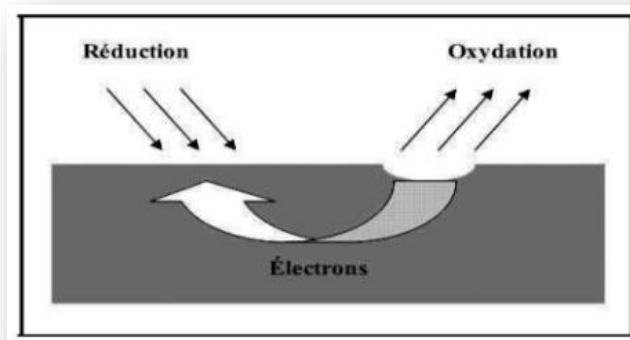


Figure I.6 : la corrosion localisée [15]

On distingue plusieurs types de corrosion localisée :

I.7.3. La corrosion par piqûres

Cette forme de corrosion est caractérisée par une attaque très localisée en certains points de la surface et provoque des piqûres. Elle est produite par certains anions, notamment les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. La

corrosion par piqûres affecte en particulier les métaux ou les alliages passivés (aciers inoxydables, les alliages d'aluminium, etc.) La corrosion par piqûres est la forme la plus souvent rencontrée. De l'industrie maritime et pétrolière (navire, pipeline,...) en passant par la construction et le transport (câbles de suspension, canalisations, citernes,...).

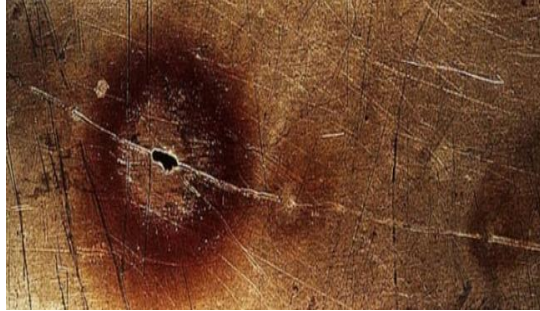


Figure.I.7: la corrosion par piqûre.

Ce type de corrosion comprend au moins deux étapes :

Une étape d'amorçage qui correspond à une rupture du film protecteur (film passif, dépôt formé par des inhibiteurs).

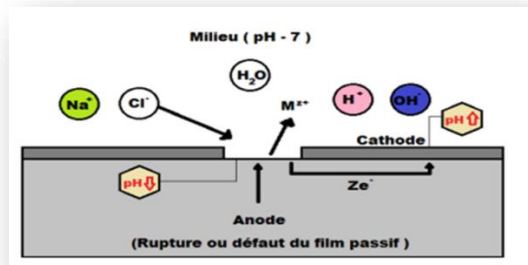


Figure I.8 : l'étape d'amorçage [16].

Une étape de propagation correspondante à une croissance en largeur et en profondeur de la zone attaquée. L'hydrolyse des ions fer libérée conduit à une acidification de la solution au niveau de la piqûre.

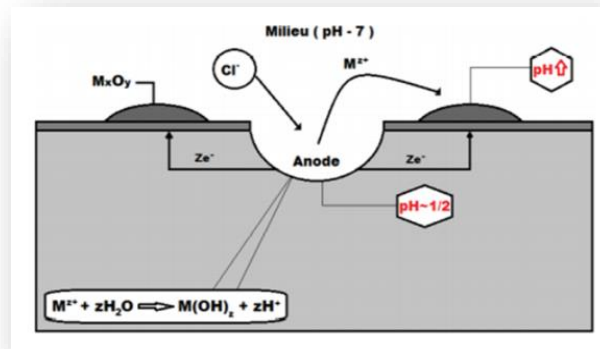


Figure. I.9 : l'étape de propagation [16].

I.7.4. Corrosion caverneuse

Elle siège entre deux surfaces fermées ou dans des zones très étroites où l'échange d'oxygène est impossible, avec des solutions stagnantes. En premier lieu il y a une diminution du pH. Puis, la couche passive de l'alliage se dissout et le processus de corrosion s'accélère.



Figure I.10 : la corrosion caverneuse

I.7.5. Corrosion galvanique

C'est, en générale, lorsque deux métaux différents sont en contact ou reliés électriquement dans un milieu corrosif aqueux. La corrosion s'établit sur le métal le

moins noble et s'arrête sur le métal le plus noble. Les sites anodiques et cathodiques sont distincts. Mais elle se manifeste aussi lorsque les deux parties d'un objet métallique d'un même métal ne sont plus au même potentiel à cause d'une hétérogénéité ou à cause d'un âge différent. [21]



Figure I.11 : corrosion galvanique.

I.7.6. Corrosion inter-granulaire

Ce type de corrosion se manifeste aux joints de grains. Elle peut provoquer des fissures qui affaiblissent les caractéristiques mécaniques du métal. Certains aciers inoxydables et alliages (fer, chrome, nickel) sont très affectés par ce mode de corrosion qui réduit de façon catastrophique leur résistance mécanique. Il peut être dû soit à la présence d'impuretés dans le joint de grain, soit à l'enrichissement (ou l'appauvrissement) local en l'un des constituants. [16]



Figure I.12 : la corrosion inter-granulaire

I.7.7. Corrosion sélective

Est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.[22]

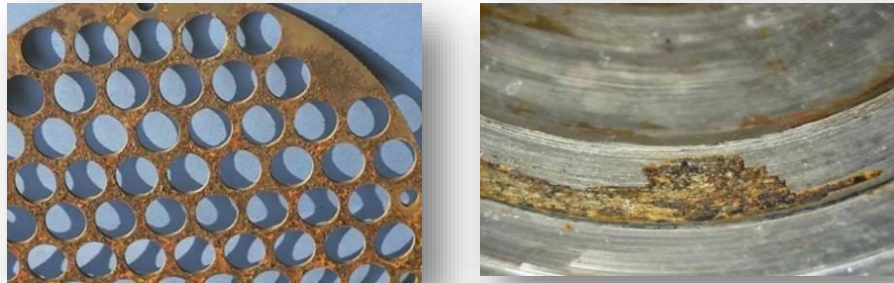


Figure I.13 : la corrosion sélective

6. Corrosion par érosion, abrasion, cavitation

Cette corrosion est produite par le mouvement relatif d'un fluide corrosif et d'une surface métallique. On a apparition de sillons, vallées, surfaces ondulées, trous... ayant un aspect directionnel caractérisé (queue de comète, sabot d'un cheval...) .[20]



Figure I.14 : la corrosion par érosion

7. Corrosion sous contraintes

La corrosion sous contrainte est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. Le processus se déroule en deux phases successives :

- Une phase d'initiation qui correspond à la formation d'un défaut local en surface (piqûre) ;
- Une phase de propagation : ce processus dépend essentiellement de l'intensité des contraintes imposées, de la nature du matériau (composition chimique et structure), de l'état de surface et du milieu corrosif et de la température, dans laquelle la piquûre devient fissure et progresse jusqu'à la rupture. [19]

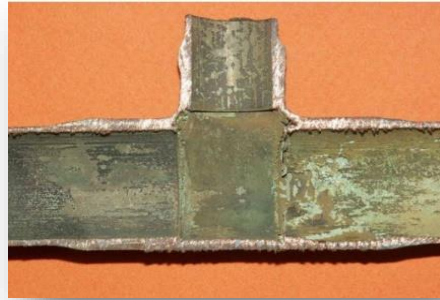


Figure I.15 : la corrosion sous contraintes

I.8. Les paramètres influençant sur la vitesse de corrosion

I.8.1. Effet de la température

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau. [23]

I.8.2. Effet de l'acidité

La susceptibilité du matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu.[24]

I.8.3. Régime hydrodynamique

Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers 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 fixent les vitesses de réactions en contrôlant le transport de matière par l'établissement d'une couche limite de diffusion des espèces, appelée couche de Nernst, ce qui explique l'importance de l'agitation d'électrolyte lors des essais de corrosion en laboratoire. [25]

I.8.4. La salinité

La salinité a une influence sur la conductivité du milieu aqueux : d'une part, les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosions localisées, d'autre part leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, leur concentration locale induit une acidification du milieu. [23]

I.9. Les conséquences de la corrosion sur les métaux

Dans tout secteur industriel, les structures métalliques et en acier sont nécessaires à la construction et au fonctionnement des usines, des ponts, des bâtiments, des exploitations pétrolières, gazières et énergétiques, ... Il est très important de bien entretenir ces installations industrielles et de les traiter contre les différentes formes d'usure et de détérioration. Dans l'industrie, la corrosion est un processus qui peut causer beaucoup de dégâts avec des conséquences désastreuses. Il n'est pas toujours facile de reconnaître la corrosion tant que la détérioration de la surface du métal n'est pas déjà très avancée. Les effets de la corrosion sur le métal des installations industrielles peuvent être importants et de natures diverses. La liste des risques les plus importants :

- Risque de blessure ou d'accident pour votre personnel en raison d'une instabilité structurelle ou d'une défaillance mécanique ;
- Coûts de maintenance plus élevés ;
- Arrêt de tous les travaux en raison d'une détérioration de l'équipement, de l'unité de traitement ou d'assemblage ;

- Perte de productivité et donc de rentabilité ;
- Contamination des produits utilisés ;
- Contamination de l'environnement ;
- Perte de clientèle due à l'incapacité de livrer les produits et services (dans les délais) ;
- Une publicité défavorable et une mauvaise image en raison d'une manière non professionnelle de travailler avec un danger pour le personnel, le cadre de travail et l'environnement.

Il est donc crucial que vous preniez les mesures nécessaires concernant la protection anticorrosion pour éviter de telles conséquences. [26]



Figure I.16: des photos présentent la corrosion dans l'industrie

I.10. Généralité sur les aciers

L'acier est un alliage métallique utilisé dans les domaines de la construction mécanique. L'acier est constitué de deux éléments au moins, majoritairement le fer puis le carbone dans des proportions comprises entre 0,02 % et 1,67 % en masse. C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ». Les aciers sont élaborés pour résister à des sollicitations mécaniques ou des agressions chimiques ou une combinaison des deux.[27][28]

I.10.1. Les composants des aciers

Les constituants les plus importants sont le Fer et le Carbone, et les éléments chimiques présents dans l'acier peuvent être classés en trois (03) catégories :

I.10.1.1. Les impuretés

Originellement présentes dans les ingrédients de haut fourneau qui serviront à produire la fonte qui servira à fabriquer l'acier. Ce sont le soufre (S) et le phosphore (P) présent dans le coke mais aussi le plomb (Pb) et l'étain (Sn) qui peuvent être présents dans les aciers de récupération ainsi que nombre d'autres éléments à bas point de fusion comme l'arsenic (As), l'antimoine (Sb).

I.10.1.2. Les éléments d'additions

Des éléments chimiques peuvent être ajoutés pour résister à des sollicitations mécaniques ou chimiques ou une combinaison des deux, les principaux sont le manganèse (Mn), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le molybdène (Mo)

I.10.1.3. Les éléments d'accompagnements

Que l'aciériste utilise en vue de maîtriser les diverses réactions physico chimiques nécessaires pour obtenir en final un acier conforme à la spécification. C'est le cas d'éléments comme l'aluminium, le silicium, le calcium .[29]

I.10.2. Corrosion des aciers ordinaires dans les milieux acides

Les milieux acides sont largement utilisés dans l'industrie pétrolière. La plupart des problèmes de corrosion graves rencontrés dans les industries de transformation impliquent aussi des acides. Ces environnements sont naturellement corrosifs et constituent des milieux agressifs pour les métaux et alliages. Le métal se dissout au niveau des zones anodiques par la réaction d'oxydation d'atomes de métal devenant des ions métalliques en solution. La réaction de réduction d'équilibrage au niveau des cathodes est la consommation des ions hydrogène dans l'acide avec le dégagement d'hydrogène. Dans l'acide sulfurique (H_2SO_4) et l'acide phosphorique (H_3PO_4), la surface du métal est considérée comme exempté de toutes couches protectrices (oxydes, hydroxydes). Cependant, avec le temps, elle peut être recouverte d'hydrogène atomique

uniformément adsorbé et de couches de produits de corrosion insolubles. La corrosion du fer dans les milieux acides est due à l'oxydation du fer et la réduction du dioxygène, avec l'intervention du couple O₂/H₂O.[30]

I.11. Les méthodes d'évaluation de la corrosion

Les méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion sont celles de la corrosion d'une manière générale. Ces méthodes peuvent être électrochimiques ou gravimétrique. Parmi ces méthodes on peut citer :

I.11.1. Méthode gravimetric

Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple et qu'elle ne nécessite pas un appareillage compliqué. Elle nécessite uniquement une balance de haute précision d'erreur de 10⁻⁴ minimum, mais elle ne permet pas l'approche des mécanismes mise en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de masse (Δm) subie par un échantillon métallique de surface (S), lorsque celui-ci est immergé pendant le temps (t_m), dans une solution agressive.

La vitesse de corrosion déterminée par l'équation suivant

$$V_{\text{corr}} = \frac{\Delta m}{s.t} \quad (\text{I.2})$$

m : la masse de l'échantillon avant l'essai (**mg**). **mr**: la masse de l'échantillon après l'essai (**mg**);

V_{cor}: la vitesse de corrosion (**mg/cm².h**);

S: la surface exposée en (**cm²**);

t: temps d'immersion dans la solution (**h**).

L'efficacité inhibitrice est mesurée par la relation suivante :

$$EI\% = \frac{V_{\text{corr}} - V_{\text{inh}}}{V_{\text{corr}}} * 100 \quad (\text{I.3})$$

Où **V_{corr}** et **V_{inh}** sont les vitesses de corrosion de l'échantillon après immersion dans la solution respectivement sans et avec inhibiteur .[31]

I.11.2. Méthode électrochimique

Les méthodes électrochimiques utilisées permettant l'étude du phénomène de corrosion selon les courbes de polarisation : La courbe de polarisation de l'interface métal-solution est une caractéristique fondamentale de la cinétique électrochimique, mais ne rend compte que de l'étape la plus lente du processus global à l'interface électrochimique.

Pour déterminer une Courbe de polarisation potentiostatique, on applique à l'aide d'un potentiostat, différents potentiels entre l'électrode de travail et une électrode de référence.

On mesure le courant stationnaire qui s'établit après un certain temps dans le circuit électrique entre cette électrode de travail et une contre-électrode. Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact de l'électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion (I_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}), les pentes de Tafel, les résistances de polarisations (R_p), les courants limites de diffusion.

Elle donne des mesures rapides et sa mise en œuvre est relativement simple. La détermination de la vitesse de corrosion à partir des courbes de polarisation est étroitement liée à la cinétique régissant le processus électrochimique. Pour déterminer expérimentalement les paramètres électrochimiques (I_{corr}, E_{corr}) une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable, car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de la densité de courant et le potentiel .[32]

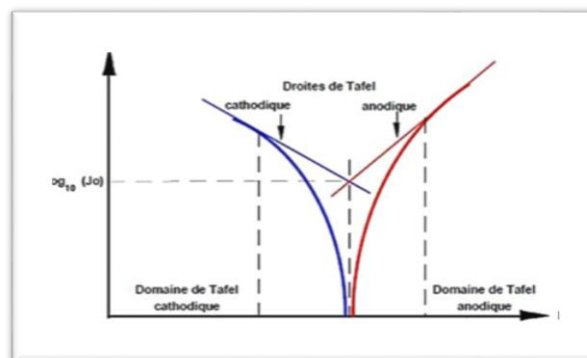


Figure .I.15: Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel

I.11.3. Isotherme d'adsorption

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

I.11.3.1. Isotherme de Langmuir

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

$$V_{ads} = K_{ads}(1 - \theta)C_{inh} \quad (I.4)$$

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

$$V_{des} = K_{des} \theta \quad (I.5)$$

A l'équilibre, les deux vitesses sont égales :

$$K_{ads}(1 - \theta)C_{inh} = K_{des} \theta \quad (I.6)$$

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

$$\frac{\theta}{(1-\theta)} = \frac{K_{ads}}{K_{des}} C_{inh} = b C_{inh} \quad (I.7)$$

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

$$\theta = \frac{b C_{inh}}{1+b C_{inh}} \quad (I.8)$$

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

I.11.3.2. Isotherme de Temkin

Dans le modèle de Temkin, l'énergie libre d'adsorption de l'adsorbat est une fonction linéaire du taux de recouvrement θ et les constantes de vitesse chimiques sont fonction de θ . Il y a attraction ou répulsion entre espèces adsorbées à la surface. L'équation de l'isotherme de Temkin est :

$$bC_{inh} = \frac{\exp(a\theta) - 1}{1 - \exp[-a(1-\theta)]} \quad (I.9)$$

Où a est une constante d'interaction entre particules adsorbées, b désigne le coefficient d'adsorption et C_{inh} la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte. Il est en général très délicat de définir à quel type d'isotherme obéit le comportement d'un inhibiteur dans un système donné. On peut simplement souligner que l'adsorption sur une surface hétérogène correspond le plus souvent à une isotherme de type Langmuir. Ces remarques doivent conduire à une grande prudence dans le maniement des taux de recouvrement.

I.11.3.3. Isotherme de Frumkin

L'isotherme de Frumkin est représentée après réarrangement par l'expression suivante :

$$\ln [\theta/C(\theta - 1)] = \ln K + 2a\theta \quad (I.10)$$

Le paramètre a possède les dimensions suivantes : J/mol par mol/cm³, il exprime la manière modifiée l'énergie d'adsorption de l'espèce. Si a est positif, les interactions entre deux espèces à la surface sont attractives, si a est négatif, les interactions sont répulsives, si $a \rightarrow 0$, l'isotherme de Frumkin se rapproche de l'isotherme de Langmuir. [33][34]

I.12. Les moyens de lutte contre la corrosion

La lutte contre la corrosion doit être une préoccupation constante, depuis la conception des équipements jusqu'à leur entretien quotidien. Si les moyens à mettre en

œuvre sont variés et dépendent en grande partie des situations d'utilisation particulières, le but recherché est le même : enrayer la dégradation des équipements pour augmenter la durée de leur vie, en empêchant que se produisent les réactions électrochimiques qui entraînent une dissolution et une attaque du métal ; autrement dit, réduire ou même annuler la circulation des électrons de l'anode vers la cathode.

En termes de prévention, il existe quatre moyens pour lutter contre la corrosion, à savoir :

❖ **Choix du matériel de fabrication des conduites** : Cette étape vient en priorité du fait qu'elle donne l'avantage au réseau de mieux résister aux conditions opérationnelles et environnementales.

❖ **Application de revêtements** : Ce type de protection a pour but d'isoler la conduite électriquement et d'éliminer tout contact direct avec le milieu environnant. Ainsi, ce revêtement anticipe la formation des cellules de corrosion sur la surface de la conduite

❖ **Application de la protection cathodique** : La technique de protection repose sur l'injection d'un courant électrique continu permettant d'abaisser le potentiel de la structure métallique à protéger jusqu'à la zone d'immunité.

❖ **Utilisation des inhibiteurs de corrosion** : Ce type de protection est destiné à la protection des surfaces internes de la conduite métallique. Ils forment une couche passive sur la paroi interne avant d'empêcher la production des cellules de corrosion [35, 36].

I.12.1. Protection par revêtements

I.12.1.1. Revêtements métalliques

Les revêtements métalliques sont couramment employés pour protéger l'acier, notamment contre la corrosion atmosphérique, on peut aussi les appliquer sur d'autres substrats comme le cuivre et ou le laiton, outre leurs effets anticorrosion, ils remplissent souvent une fonction décorative comme c'est le cas par exemple pour les revêtements de chrome. Selon leur comportement, il existe deux types de revêtements métalliques :

a. Revêtements nobles ou cathodiques : Le métal à protéger est moins noble que le revêtement. C'est le cas par exemple d'un revêtement de nickel ou de cuivre

sur l'acier.

b.Revêtements moins nobles anodiques ou sacrificiel : Le substrat est plus noble que le revêtement, c'est le cas du procédé de galvanisation (revêtement de zinc). [35]

c.Revêtements organiques : Les revêtements organiques forment une barrière plus ou moins imperméable entre le matériau et le milieu. Ils se divisent en trois familles :

- Les peintures et vernis ;
- Les bitumes ;
- Le revêtement polymérique. [36]

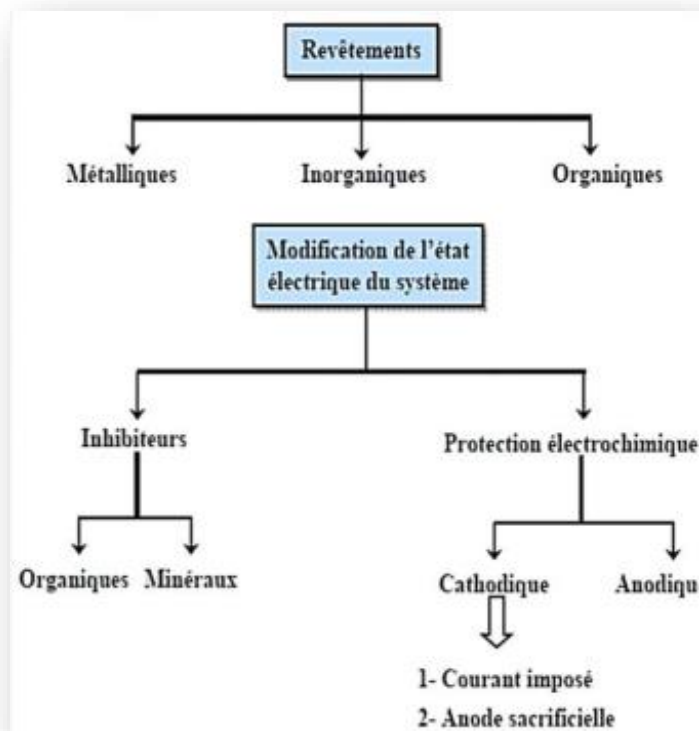


Figure I.16 : Les moyens de protection contre la corrosion [37].

I.12.1.2. Protection cathodique

La protection cathodique consiste à amener par des moyens extérieurs et artificiels l'ensemble de la surface extérieure du métal à un potentiel suffisamment négatif pour rendre le métal entièrement cathodique et supprimer ainsi tout risque de corrosion [38].

I.12.1.3. Protection par inhibition

L'inhibiteur de corrosion est une forme de substance rajoutée avec une faible

concentration au liquide transporté pour réduire le taux de corrosion sur les conduites du réseau.

Les interactions chimiques s'établissant entre l'inhibiteur et la surface du métal permettent de former un écran passif sur la paroi de la conduite qui sert à empêcher le processus de corrosion de se produire. Les inhibiteurs de corrosion sont de deux types, soit anodique ou cathodique [39, 40].

I.13. L'inhibiteur

I.13.1. Définition d'inhibiteur

Un inhibiteur est une substance chimique que l'on ajoute en petite quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion du matériau métallique à protéger par formation de couche superficielle sur le métal soit direct ou bien indirect. Il ne modifie donc pratiquement pas la nature, ni la concentration du milieu.

Les inhibiteurs de corrosion agissent en créant une barrière entre le métal et le réactif. Ils sont utilisés dans les ateliers de décapage, dans l'industrie mécanique et électronique (inhibiteurs volatils), l'industrie de pétrole (dans les huiles et carburants), Les canalisations, l'industrie alimentaire...leur domaine d'utilisation recouvre les milieux acides, la vapeur, et les eaux de refroidissement. [41, 42, 43, 44]



Figure I.17 : Métal au contact d'un milieu corrosif, (a) sans inhibiteur ; (b) avec inhibiteur. [45]

I.13.2. Classement des inhibiteurs

Il existe plusieurs façons de classer les inhibiteurs de corrosion. Généralement, ils sont classés en fonction de leur domaine d'application, de la formulation des produits (inhibiteur organique, inhibiteur inorganique), de la réaction électrochimique inhibée (inhibiteur cathodique, inhibiteur anodique ou mixte), ou du mécanisme réactionnel mis en jeu (adsorption et/ou formation d'un film). Néanmoins, cette classification n'est pas tout à fait adéquate car un même inhibiteur peut présenter à la fois des caractéristiques propres à chaque groupe de classement. [46, 47]

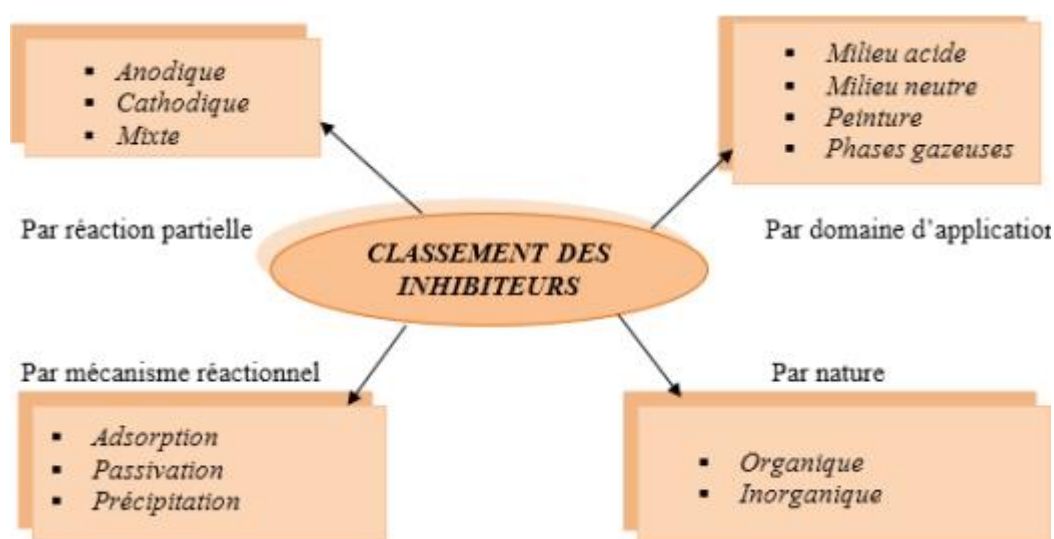


Figure I.18 : Classement des inhibiteurs de corrosion. [47]

I.13.2.1. Par nature

I.13.2.1.1. 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 sur les 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. La plupart de ces inhibiteurs ont dans leur structure principalement des atomes d'azote, de soufre ou d'oxygène. Les inhibiteurs qui

contiennent du soufre sont plus efficaces que ceux qui contiennent l'azote, car le soufre est un meilleur donneur d'électrons que l'azote. La principale caractéristique de ces inhibiteurs est leur efficacité élevée, même à faible concentration. L'effet inhibiteur augmente souvent avec le poids moléculaire de l'inhibiteur. L'utilisation d'inhibiteurs organiques est préférée pour des raisons d'écotoxicité. [48]

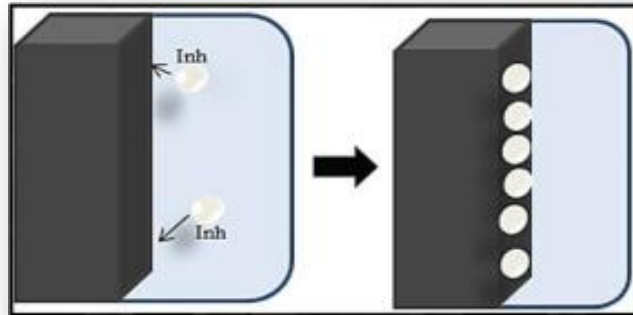


Figure I.19 : Le mécanisme d'action d'un inhibiteur organique agissant par adsorption des molécules inhibitrices sur la surface du métal. [49]

I.13.2.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux)

Ces inhibiteurs minéraux sont utilisés en milieux alcalins et presque jamais en milieux acides. Les molécules minérales se dissocient en solution et les anions et cations assurent en fait l'inhibition. Les chromates, les molybdates, les silicates, les phosphates sont les plus importants inhibiteurs minéraux. Maintenant, l'emploi de la plupart de ces produits est réglementé car ils créent des problèmes pour l'environnement. [50]

I.13.2.2. Par domaine d'application

Dans la classification relative au domaine d'application, on peut distinguer les inhibiteurs de corrosion utilisés en milieu aqueux, organiques ou gazeux. Ceux utilisés en milieu aqueux sont choisis en fonction de pH du milieu, ils sont utilisés afin d'éviter l'attaque chimique du zinc lors d'un décapage ou de détartrage et en milieu neutre/alcalin, ils sont souvent utilisés pour protéger les conduites des circuits de refroidissement. Les inhibiteurs utilisés en milieu organique sont incorporés dans les lubrifiants pour moteurs, dans l'essence ou dans les peintures. Les inhibiteurs en phase gazeuse sont employés pour protéger les objets métalliques pendant leur transport et

stockage. Pour cela, des composés organiques ayant une pression de vapeur élevée sont souvent utilisés. [51]

I.13.2.2.1. Les inhibiteurs en milieu acide

Les inhibiteurs en milieu acide sont employés pour éviter l'attaque de l'acier lors du décapage acide. Dans l'industrie pétrolière, on les ajoute aux fluides de forage. Les inhibiteurs les plus fréquemment utilisés sont des molécules de type organique. Ces molécules s'adsorbent à la surface du métal et ralentissent ainsi la corrosion. [52]

I.13.2.2.2. 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). [53]

➤ Inhibition par passivation :

Elle sert notamment à protéger l'acier dans les circuits d'eau de refroidissement. Ce type d'inhibition peut être obtenu par les inhibiteurs oxydants et les agents tampons qui maintiennent le pH élevé au voisinage de la surface du métal. [52]

➤ Inhibition par précipitation :

En milieux neutres, de nombreux inhibiteurs forment des couches superficielles par Précipitation, Agissant principalement sur la réaction cathodique (barrière de diffusion), ils réduisent la vitesse de corrosion en présence d'oxygène. [53]

I.13.2.2.3. Inhibition en phase gazeuse

Les inhibiteurs pour phases gazeuses sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport et le stockage tels les instruments de précision, les composants électroniques, les machines, etc. Il s'agit le plus souvent de composés organiques ayant une pression de vapeur élevée, notamment certaines amines. Ces composés s'adsorbent sur la surface métallique et la protègent contre la corrosion atmosphérique. [54]

I.13.2.2.4. Inhibiteurs par 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 $ZnCrO_4$. [55]

I.13.2.3. Par réaction partielle

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique, on peut distinguer les inhibiteurs anodiques, cathodiques ou mixtes. Les inhibiteurs de corrosion forment une couche barrière sur la surface métallique, qui modifie les réactions électrochimiques en bloquant soit les sites anodiques (siège de l'oxydation du métal) soit les sites cathodiques (siège de la réduction de l'oxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide). [55]

I.13.2.3.1. 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. [55]

I.13.2.3.2. Les inhibiteurs cathodiques

Les inhibiteurs cathodiques, en revanche, diminuent la densité de courant de réduction du solvant et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens négatif. Du fait de leur mode d'action, les inhibiteurs cathodiques sont considérés comme plus sûrs que les inhibiteurs anodiques car ils ne risquent pas de favoriser la corrosion localisée. [51]

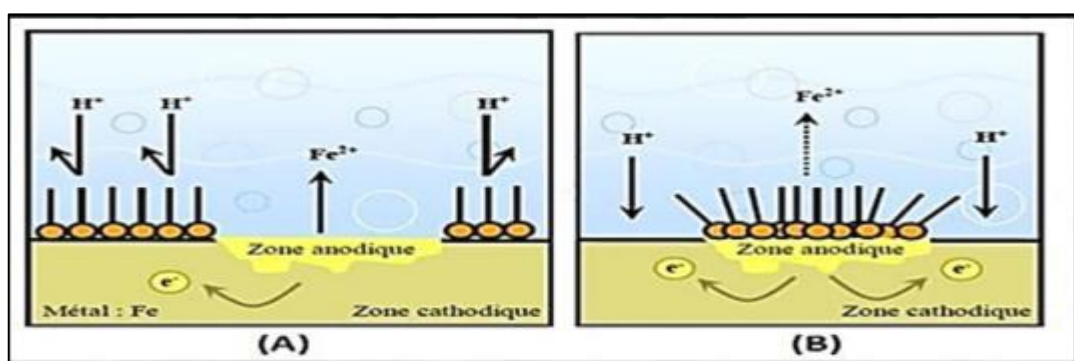


Figure I.20 : Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide. [56]

I.13.2.3.3. Les inhibiteurs mixtes :

Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion. Les inhibiteurs de corrosion qui augmentent la résistance ohmique de l'électrolyte sont considérés, dans certains cas, comme inhibiteurs filmant (anodique et cathodique). La résistance de la solution augmente suite à la formation d'un film à la surface de corrosion du métal. Lorsque le film est déposé sélectivement sur la surface anodique, le potentiel de corrosion se déplace vers des valeurs positives. Dans le cas où le film est déposé à la surface cathodique, le potentiel de corrosion balance vers des valeurs négatives. [51,57]

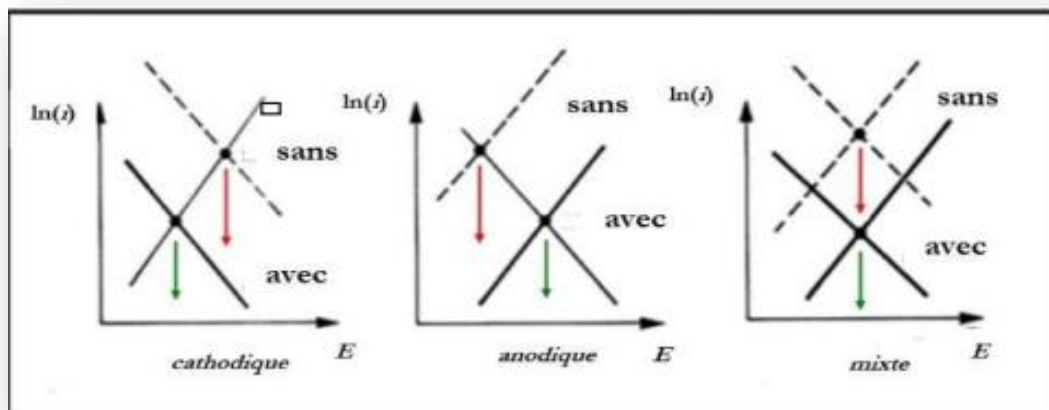


Figure I.21 : Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion. [58]

I.13.2.4. Par mécanismes réactionnel

Dans la classification liée au mécanisme réactionnel mis en jeu en fonction de leur mode d'action, on peut distinguer différents types d'inhibiteurs : ceux agissant par adsorption, par passivation ou par précipitation. a- Les inhibiteurs agissant par passivation : Sont en général les 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'oxydes/hydroxyde plus ou moins protectrice qui se forme naturellement sur la surface du métal. L'ion chromate est un des inhibiteurs passivant par excellence mais son caractère cancérigène et sa forte toxicité réduisent notablement son utilisation. [48]

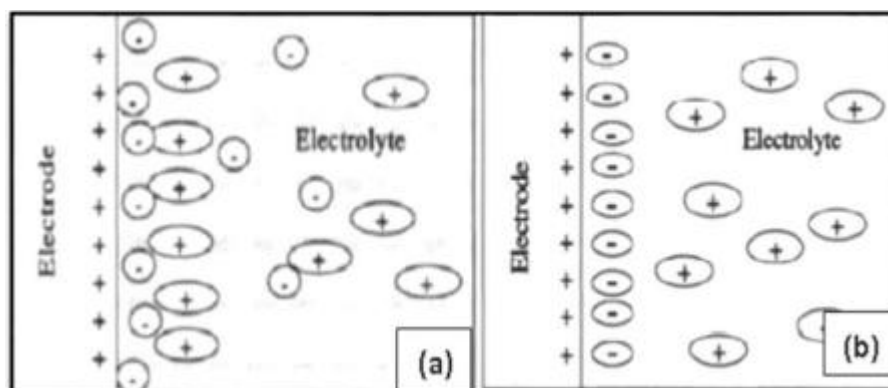


Figure I.22 : (a) Adsorption d'un inhibiteur chargé négativement à la surface d'un métal chargé positivement ; (b) Adsorption d'un inhibiteur chargé positivement à la surface d'un métal chargé négativement. [59]

I.13.2.4.1. 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 polys phosphates et les sels de zinc. [48]

I.13.2.4.2. 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. [60]

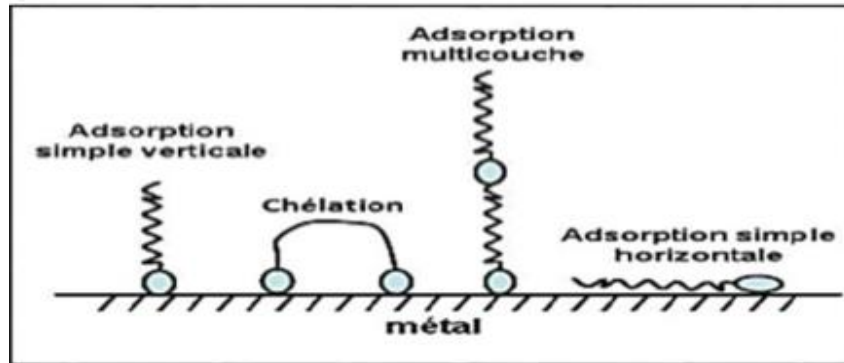


Figure I.23 : Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique. [60]

I.13.3. Conditions d'utilisation

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

- Soit comme protection permanente :

L'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métalliques (ferreux non alliés, par exemple) dans des conditions satisfaisantes de résistance à la corrosion ; une surveillance de l'installation s'impose ;

- Soit comme protection temporaire :

Pendant une période où la pièce ou l'installation est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage). Dans ce cas, le contrôle du système est à priori plus simple, la prévision du comportement de l'inhibiteur dans le temps étant plus facile à réaliser. [62, 61]

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être combiné à un autre moyen de protection : protection supplémentaire d'un alliage à haute résistance à la corrosion, addition à un revêtement de surface tel que peinture, graisse, huile, etc.

I.13.3.1. Fonctions essentielles

En dehors de tout mécanisme d'action, un inhibiteur de corrosion doit vérifier un certain nombre de propriétés fondamentales :

- Abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans en affecter les caractéristiques physico-chimiques, en particulier la résistance mécanique (par exemple, risque de fragilisation par l'hydrogène en milieu acide) ;
- Être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants ;
- Être stable aux températures d'utilisation ;
- Être efficace à faible concentration ;
- Être compatible avec les normes de non-toxicité ;
- Être peu onéreux pour espérer déboucher sur des valorisations industrielles. [62]

I.13.3.2. Utilisations industrielles courantes

Bien que leur utilisation puisse être théoriquement envisagée dans la plupart des cas de corrosion (avec, comme principales limitations, un volume trop important du milieu corrosif ou l'impossibilité éventuelle d'y incorporer des additifs), les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

- Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux de procédés industriels, eaux de chaudières, etc.) ;
- L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport. A tous les stades de cette industrie, l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion est primordiale pour la sauvegarde des installations ;
- La protection temporaire des métaux, que ce soit pendant le décapage acide, le nettoyage des installations ou le stockage à l'atmosphère (inhibiteurs volatils, incorporation aux huiles et graisses de protection temporaire) ou pour le traitement des huiles de coupe ;
- L'industrie des peintures sur métaux où les inhibiteurs sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux. [62]

I.13.4. Choix d'un inhibiteur

Le choix de l'inhibiteur doit être conforme aux normes et aux réglementations concernant la toxicité et l'environnement. Cela remet en cause l'utilisation de certains inhibiteurs, en particulier les chromates de sodium et de potassium. Ils ont été utilisés par ce qu'ils sont parmi les inhibiteurs les plus efficaces. Il en est de même de l'usage des inhibiteurs volatils. Depuis des années, des recherches ont été menées pour les remplacer par d'autres sels minéraux tels que les vanadates, les molybdates, les silicates...etc. [63]

Références bibliographiques

- [1] Dr. Philipp Wagener, Metals Innovation Center Manag
- [2] F. Ziania, M. Benyahia, L'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone par les huiles essentielles en milieu acide sulfurique, Mémoire de Master, Université Moulay Tahar- Saida, 2014.
- [3] Pineau, S., Dupont, I., Matériaux et Techniques, N° 9-10, 2002.
- [4] Corrosion des métaux, ENSPM formation industrie - IFP training, France, 2005.
- [5] L. Ihaddadene, Etude de la corrosion et la protection des pipelines de réseau de collecte d'huile de la région TFT-secteur nord, Mémoire de Master, Université Akli Mohaned Oulhadj- Bouira, 2018.
- [6] Radhia Y., Synthèse de nouveaux composés de l'acide phosphonique et mise en évidence de leur acidité affinité de chélation et de leurs propriétés inhibitrices de corrosion, Mémoire de Magister, Université de Setif (Algérie), 2012.
- [7] P.Boumersbach, C.Doumont, J.Pmillet, <<electrochemical characterization of a corrosion inhibitor :influence of temperature on the inhibition mechanism.'''207th meeting of the electrochemical society, 15-20 mai 2005, quebec city (canada).
- [8] L. Ihaddadene, Etude de la corrosion et la protection des pipelines de réseau de collecte d'huile de la région TFT-secteur nord, Mémoire de Master, Université Akli Mohaned Oulhadj- Bouira, 2018
- [9] D.Kane, S.Srinivasan, Expérience survey on corrosion monitoring on oil and' gas pipelines , corr ocean USA, paper n°83, Nace, Houston, 1998,P83
- [10] P. OLAV GARTLAND, Choosing the right positions for corrosion monitoring on oil and gras pipelines, Corr ocean USA paper n°83, Nace, Houston, 1998,P83
- [11] N.BOUDIEB,<< Evaluation des performances des peintures par des techniques Electrochimique >>, mémoire de magister,2008.

- [10] L. N. Putilova, S. A. Balezin, V. P. Barranki, «Métallique corrosion inhibitors», Pergamon Press, New- York, USA 196, (1960).
- [11] I. A. Ammar, F. M. El Khorafi, Werkst, Corrosion, 24.702, (1973)
- [12] L'effet de la corrosion sur vos structures métalliques industrie site:(www.iris.be)le 02 février 2021
- [13] Y. M. D. Abreu De Gonzales « Etude de l'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone par l'association d'un sel de zinc et d'un acide phosphonique ; exploitation couplée des données électrochimiques et des analyses de surface » Thèse de Doctorat, I.N.P. de Toulouse, France (1995).
- [14] N. Akilal, « Étude de la corrosion de la soudure de l'acier A33 utilisé en construction navale », Mémoire de Magister, Université de Bejaia, 2004
- [15] H. Mamache. « Etude du problème de corrosion au niveau des installations de surface ». Mémoire de fin de période de mise en situation professionnel Ingénieur Exploitation. IAP. 2017.
- [16] H. El Bakouri. Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide ortho phosphorique par un antibiotique organique. Mémoire pour du DESA. Université Mohammed 1 – Oujda.
- [17] <https://www.suezwaterhandbook.fr>
- [18] Commission exploitation, Corrosion et inhibition des puits et du gaz naturel, Edition Technip, Paris 1981
- [19] M. Aliouat. M. Rouissat. « Etude de la corrosion bactérienne des aciers API – 5L grade B pour pipelines Utilisés dans le transport d'eau ». Mémoire en Science et Génie des Matériaux. Ecole nationale supérieure des mines et métallurgie Annaba. 2015.
- [20] N. Redon. Résistance à la corrosion des fils Copper Ni- Ti 35 et des fils acier inoxydable multi brins D-Rect en milieu acide. Mémoire pour l'obtention du certificat d'études cliniques spéciales mention orthodontie. Université Lorraine. 2012.
- [21] A. Marif. « Etude sur la méthode de maintenance par protection cathodique - Cas de la ligne de pipeline GZ1 40'' ». Mémoire Pour l'obtention du diplôme du master génie mécanique. Université Abou Bekr Belkaid–Tlemcen. 2014.

- [22] D.Lando. « Corrosion et chimie de surface des matériaux. Presse polytechniques et universitaires romandes. 1997.
- [23] P.Boumersbach, C.Dumont, J.P.Millet, “electrochemical characterization of a corrosion inhibitor: influence of temperature on the inhibition mechanism.” 207th meeting of the electrochemical society, Quebec City (Canada) 15-20 mai (2005).
- [24] R.D.kane, S.SRinivasan, “experience survey on corrosion monitoring and mitigation techniques for sweet well production.” CLI International, INC, HOUSTON, TX, <http://www.corrosionsource.com/InterCorr/96> (1996)
- [25] C. Fiaud, C. Lemaitre, N. Pébère, Corrosion et anticorrosion, chapitre 13. Lavoisier, Paris (2002).
- [26] <https://www.iris.be> › actualité › blogs- L'effet de la corrosion sur vos structures métalliques industrielle.2 févr. 2021
- [27] L. Saou, Le procédé de fabrication des pipes X52 pour transport hydrocarbures (El-Hadjar), Mémoire de Master, Université Mohamed Kheider- Biskra, 2015.
- [28] Boudiaf, Relation microstructure -comportement macroscopique dans les aciers (Effet de la taille de grain austénitique sur la plasticité de transformation), Thèse de Doctorat, Ecole Militaire Polytechnique et Institut National des Sciences Appliquées de Rouen , 2011.
- [29] M. Jossic, M. Confente, M. Lemoine, M. Margotm, Étude d’aciers faiblement alliés résistant à la corrosion marine, Commission des communautés européennes Direction générale de Télécommunications, Industries de l'Information et Innovation L-2920 Luxembourg Convention n° 7210- KB/305, 1986.
- [30] J.Millet, Durabilité et corrosion, cours Master Science et technologie des Matériaux, Pitesti, 2008.
- [31] D.C. Zocher, Mater. Perform, 15, 33, 1976

[33] D. Landolt, Corrosion et chimie de surface des métaux, 1st Edition, Alden Press, oxford, 1993.

[34] H Hamani, Synthèse ; caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules bases de schiff, Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas- Sétif, 2015.

[35] J. Catonné, L. Lacourcelle, Les revêtements protecteurs dans l'industrie, principe application choix, CAST Lyon, 1977.

[36] D. Bouzidi, Corrosion et protection cathodique de conduites souterraines, École de technologie supérieure, Université de Québec, 2001.

[37] Matériaux métalliques, Phénomène de corrosion, 5^{ème} chapitre protection et lutte contre la corrosion, Pp 89,104. [34] H. Mamache, Etude du problème de corrosion au niveau des installations du surface, Mémoire de fin de période de mise en situation professionnel Ingénieur Exploitation, IAP, 2017.

[38] L. Ihaddadene, Etude de la corrosion et la protection des pipelines de réseau de collecte d'huile de la région TFT-secteur nord, Mémoire de Master, Université Akli Mohaned Oulhadj- Bouira, 2018.

[39] N. thuy, Document de synthèse relatif à une barrière technique de sécurité (BTS) protection cathodique, coll. (Rapport technique de l'INERIS) Institut national de l'environnement industriel et des risques, pp41, Paris, 2008.

[40] Bofardi, Bennet, Control of environmental variable in water recirculating system; In ASM book Corrosion of metals handbook. 9th éd, Pp387, 397, 1987.

[41] H. Messaoudi, Nouvelle voie d'inhibiteur de la corrosion du cuivre par la caféine (corrélation entre la simulation par la DFT et l'étude expérimentale), Mémoire de Magister, Université de 20 Aout 1955- Skikda , 2014.

[42] F. Bentiss, Hétérocycles penta atomique, synthèses organique, études des propriétés inhibitrices de la corrosion et des propriétés complexantes, Habilitation à diriger des recherche, Université de Lille- France, 2006.

[43] M. A. Migahad, prog, org, Coat, 5491, 2005.

- [44] B. Nadjet, B. Ezahra, Evaluation de pouvoir inhibiteur de l'huile de l'armoise arborescente (Absinthe) vis-à-vis de la corrosion de l'acier au carbone en milieu acide chlorhydrique, Mémoire de Master, Université Dr Moulay Tahar- Saida, 2016.
- [45] H. Marmi, Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par l'utilisation des inhibiteurs, Thèse de Doctorat, Université Mohamed khider-Biskra, 2017.
- [46] K. Rahmouni, Etude électrochimique et spectroscopique de la surface d'objets archéologiques et synthèse d'une patine équivalente sur un bronze du commerce, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie- Paris, 2005.
- [47] S. Bradford, Corrosion and Protection, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- [48] D. Labbassen, F. Boumeguet, Etude de l'inhibition de la corrosion de zinc dans l'acide chlorhydrique par l'extrait d'ortie, Mémoire de Master, Université A. MiraBejaia, 2017.
- [49] A. Oulabass, Effet des inhibiteurs verts sur la corrosion des aciers ordinaires dans deux milieux acides, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2019.
- [50] I. F. Constantin, Étude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement, Thèse de Doctorat, Université de Pitești- Roumanie ,2011.
- [51] F. Bentiss, M. Lebrini, M. Lagrenee, Corros. Sci.47, 2005.
- [52] G. Trabanelli, T. M. Dekker, F. Mansfield, Corrosion Mechanism, 1987.
- [53] K. Dob, Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux, Thèse de doctorat, Université de 20 Aout 1955-Skikda, 2018.
- [54] J. C. Scully, The Fundamentals of corrosion, international series of monographs on materials Science and Technology, 2ème éd, Pergamon international, vol 17, oxford, 1975.
- [55] S. Bilgic, N. Cahskan, Appl, Surf Sci, 1999.

[56] M. Schaschl, NACE corrosion inhibitors, National Association of corrosion Engineers, USA, 1973.

[57] J. Fils, T. Zakroczymski, Electrochem, Soc, 1999.

[58] J. Millet, Durabilité et corrosion, cours Master Science et technologie des Matériaux, Pitesti, 2008.

[59] S. Papavinasam, Corrosion inhibitors, in Uhlig's Corrosion Handbook, 2nd edition, 1089- 1105, Ontario Canada, 2000.

[60] J. G. N, Thomas, 5th European Symposium on corrosion inhibitors, Université Ferrara- Italy, 1980.

[61] A. Khadraoui, A. Khelifa, H. Hamitouch, R. Mehdaoui, Inhibitive effect by extract of mentha rotund folia leaves on the corrosion of steel in 1M Hcl solution, Res, chem, Intermed, volume 40, 2014.

[62] I. Boukrioua, N. Benslim, Effet inhibiteur des extraits de coloquinte sur la corrosion d'acier (C 38) en milieu acide chlorhydrique (HCL) 0,5 M, Mémoire de Master Professionnelle, Université Ziane Achour -Djelfa, 2014.

[63] E. Heitz, proc, 4th European Symposium on corrosion inhibitors; Ann, Université Ferrara-Italy, 1975.



Chapitre II
Etude
bibliographique sur
la plante

II. Description des matières inhibitrices



Figure .II.1 : plante eucalyptus globulus

II.1. Généralité sur Eucalyptus globulus

L'eucalyptus est un arbre médicinal originaire d'Australie dont il existe différents espèces. Parmi elles se trouve notamment les Eucalyptus globulus, Eucalyptus radiata et Eucalyptus citriodora. Aujourd'hui, ces espèces sont cultivées aussi bien en Asie qu'en Europe.

Possédant une exceptionnelle capacité d'absorber l'eau du sol sur lequel il croît, l'eucalyptus assèche rapidement les marais qu'il colonise. Il élimine ainsi les milieux de reproduction des insectes qui transmettent la malaria, d'où son nom [1].

II.2. Historique de la plante

En 1792, il prend part, sous les ordres de Bruni d'Entrecasteaux, à la mission chargée de tenter de retrouver en Océanie les vaisseaux La Boussole et L'Astrolabe de l'expédition de La Pérouse. Malgré l'échec de cette mission, les vaisseaux de l'expédition de secours effectuent une reconnaissance du sud-ouest de l'Australie, de la Tasmanie, de la Nouvelle-Zélande et des Antilles. Jacques-Julien Houtou de La Billardière, Claude Antoine Gaspard Riche (1762-1798) et Étienne Pierre Ventenat (1757-1808) en profitent pour effectuer d'amples collections de spécimens zoologiques,

botaniques et géologiques, et décrire les coutumes et les langues des aborigènes d'Australie.

Le 6 mai 1792, entouré de botanistes de l'expédition et de quelques hommes de l'équipage, il découvre l'Eucalyptus globulus. Il détaille soigneusement leur feuillage à la longue-vue et remarque que les plus hautes branches portent des fleurs. Après avoir abattu un exemplaire pour en observer les fleurs il est surpris par la forme du bouton floral : il lui trouve une ressemblance avec le bouton de son habit et baptise l'arbre globulus. De retour au navire, il constate que les hommes d'équipage se sont servis du bois de cet arbre pour réparer une chaloupe endommagée.

Revenu en France, il publie ses Relations de voyages à la recherche de La Pérouse en 1799 où il consigne entre autres ses observations et ses recherches sur l'Eucalyptus globulus. [2 ; 3]

II.3. Définition

. Eucalyptus globulus est un arbre à feuillage persistant originaire d'Australie. Il est largement cultivé et peut croître jusqu'à 30-55 m de haut. L'huile essentielle d'Eucalyptus globulus contient

- majoritairement de l'eucalyptol (environ 60%) ;
- plus de 25 composés....

Les eucalyptus sont des arbres à croissance rapide et facile, et sont donc souvent plébiscités dans les programmes de foresterie industrielle dans les pays tropicaux, où ils s'acclimatent en général très facilement, y compris sur des terrains dégradés. Cependant, étant originaires d'Australie, ils peinent souvent à s'intégrer à l'écosystème local, et hébergent relativement peu de biodiversité, d'autant qu'un certain nombre de leurs propriétés les rendent hostiles aux espèces indigènes .Le terme Eucalyptus dérive du mot grec "Eu" et "kalyptus" : couvercle ou opercule. [4 ; 5]

Le genre eucalyptus contient plus de 750 espèces (Eucalyptus gigantea, Eucalyptus diversifolia, et Eucalyptus globulus, etc..) Le genre de l'Eucalyptus qui définit sept sous

genres (Corymbia, Blakella, Eudesmia, Gaubea, Idiogenes, Monocalyptus et Symphyomyrtus).[6;7]

Un grand nombre d'espèces du Eucalyptus ont été introduites en Algérie, notamment par M Cordier de 1864 à 1876.

Les premiers planteurs étaient des missionnaires d'origine européenne, ils l'ont exploité dans le but d'assainir les terrains marécageux où pullulaient les anophèles et les moustiques qui sont vecteurs d'une maladie parasitaire endémique: le paludisme).[8]



Figure.II.2 : photographie d'un eucalyptus globulus.[8]

II.4. Description Eucalyptus globulus

Les feuilles d'Eucalyptus globulus sont une composante importante du genre Eucalyptus dégagent un parfum agréable et distinct présente des structures sécrétrices endogènes sous forme de cavité, ce sont des proches sécrétrices sphériques schizogènes qui sont nombreuses et actives.[9]

Les boutons floraux, en forme de toupie, sont côtelés et recouverts d'un opercule aplati portant un bouton central.[10]

Les grains de pollen sont de forme triangulaire aplatie oblique - convexe en vue pétaire.[11]

La tige lisse et parfaitement droite, garnie du haut en bas de rameaux décussés .

Les rameaux sont assez robustes anguleux, singulièrement Tétragones et blanchâtres dans les pousses nouvelles .

Le fruit une capsule ligneuse en forme de 15 mm, largement sommitales ou arrondies, noir Terme , Turbine anguleux.[12]

Le tronc, dont les lames corticales extérieures sont souvent tachées, est lisse cendre, quelque fois entouré à la base d'ancienne écorce fibreuse

Les filets des étamines sont allongés, les anthères subovales.

Principaux arbres cultivés dans les plantations d'Eucalyptus des régions tempérées du monde. [13]



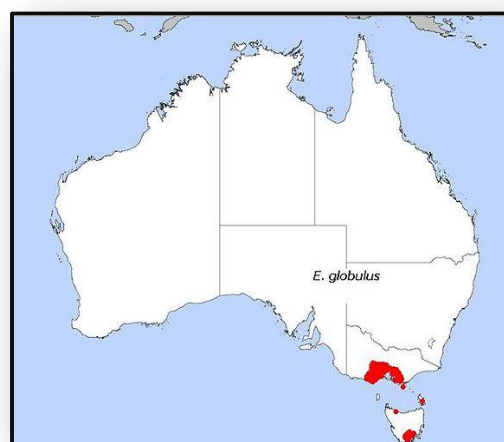
Figure.II.3 :les feuilles et les grains d'Eucalyptus globulus

Tableau 1 : classification d'eucalyptus globulus.[14]

Classification	
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtaceae

II.5. L'espèce Eucalyptus globulus

Est un espèce à un feuilles larges à croissance rapide avec un forte capacité d'adaptation.. à été découvert dans les iles de Tasmanie en 1792 par des explorateurs français d'origine Australia, Brazil, Spain . [15]

**Figure.II.4** : aire d'origine d'eucalyptus globulus. [15]

II.6. La composition d'eucalyptus

La plante d'eucalyptus contient de : lipides, protéines, fer, fibres alimentaires, calcium, phosphore, magnésium, sodium, potassium, vitamine A, vitamine E, vitamine C, et vitamine K. [16]

II.6.1. Essai botanique :

II.6.1.1. Caractères macroscopiques

Longues feuilles falciformes à pétiole court et tordu, à limbe coriace et étroit. Couleur verte grisâtre sur les deux faces .Odeur forte et balsamique.

Coupe :

- Nervure centrale très peu saillante ;
- Appareil conducteur comprenant :
- Un arc libéro-ligneux avec tissu criblé pérимédulaire ;
- Et deux petits arcs opposés de structure analogue.
- Fibres péricycliques sclérifiées et parfois moelles sclérifiées ;
- Limbe à mésophylle symétrique avec plusieurs assises de tissu palissadique sur chaque face ;
- Epiderme glabre à cuticule épaisse ;
- Dans les parenchymes : grosses poches sécrétrices schizogènes à essence, macles et prismes d'oxalate de calcium.

II.6.2. Essai physico-chimique

Les feuilles d'eucalyptus renferment de 2à3% v/m d'huile essentielle riche en un éther-oxyde monoterpénique, le cinéole -1,8(ou eucalyptus) et en un alcool monoterpénique, l' α terpinéol. [17]

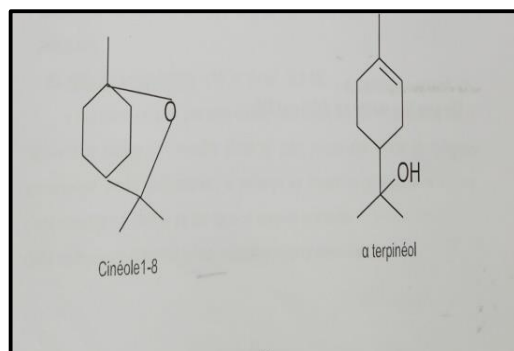


Figure.II.5 : le cinéole -1,8 et l' α -terpinéol. [17]

II.7. Répartition géographique d'espèce *Eucalyptus globules*

Principaux arbres cultivés dans les plantations d'*Eucalyptus* des régions tempérées du monde [18] originaire du sud – Est de l'Australie, mais il est cultivé dans le monde entier pour les bois à pâte et le bois [19] (sa distribution indigène comprend Victoria, sur le continent australien, il de Tasmanie et plusieurs îles du droit de Bass [20], de nos jours, il est largement cultivé en Europe, en Afrique du sud, l'Espagne est le pays qui compte le plus de plantations d'*Eucalyptus*, couvrant environ 0.6 million d'hectares [21]

II.8. L'utilisation d'*Eucalyptus globules*

II.8.1. Usage thérapeutique d'*Eucalyptus globules*

II.8.1.1. Usages antimicrobiens

De par sa richesse en huiles essentielles et en polyphénols, l'*eucalyptus* peut être considéré comme un antibiotique naturel pour le traitement des maladies broncho-pulmonaires: grippe, toux, rhinopharyngite.) [22]. L'*eucalyptus* est recommandé comme antifongique pour le traitement de la candidose) (sur le cuir chevelu, il élimine les poux et divers parasites chez l'homme et les animaux, vermifuge et soigne les piqûres. [23]

II.8.1.2. Usages anti-inflammatoires

Grâce à ses principes actifs : cinéole, thymol, flavonoïdes, l'eucalyptus peut être utilisé pour traiter certaines inflammations : troubles gastro-intestinaux. Il stimule les villosités qui recouvrent les voies nasales [24]

II.8.2. Propriétés médicinales d'Eucalyptus globulus

L'huile d'Eucalyptus globulus a un effet rafraîchissant indéniable sur la température corporelle. Ceci est un réducteur de fièvre. Il est utilisé dans de nombreuses spécialités pharmaceutiques. Inspirez les vertus sur l'arbre. Il favorise la dissolution et l'élimination du mucus bronchique (baumes, plus mince, expectorant), combat les infections bactériennes et virales. Antiseptique des voies urinaires, il possède également des propriétés antirhumatismales, irritantes et Inspirant. De plus, c'est un excellent antibiotique naturel. L'eucalyptus est utilisée en confiserie principalement dans la fabrication de gommes au goût de menthe, ainsi que dans la fabrication de pastilles ou de pâtes destinées au traitement des maux de gorge. [25]



Figure.II.6 : exemple d'un médicament à base d'eucalyptus globulus

II.8.3. Autre domaines d'utilisation

Il est utilisé dans le domaine cosmétique :

l'huile d'eucalyptus est connue pour ses bienfaits anti-inflammatoires qui réduit également les symptômes de l'acné et l'eczéma, donc il est bien pour le visage et la peau. [26]

Aussi pour les cheveux il fonctionne pour se débarrasser des pellicules gênantes et traite les infections, il traite la casse des cheveux et renforce ses racines, stimule la circulation sanguine dans le cuir chevelu et donne un bon parfum distinctif aux cheveux.

[27]

Dans les produits pour le bain, tels que le savon Baladi à l'eucalyptus, est un savon Baladi marocain qui contient un grand pourcentage d'huile d'eucalyptus. Il convient aux peaux sensibles et les aides à éliminer le stress nerveux.il fournit également à la peau de nombreux nutriments de grande valeur qui restaurent à nouveau la beauté de la peau.

[28]



Figure.II.7 : le savon Baladi à l'eucalyptus

II.9. Conclusion

On plus de son usage médicinale et ses avantages, nous avons recherché de la possibilité d'utilisation donne le coté industrielle comme un inhibiteur de corrosion.

Références bibliographiques

- [1] journal des Femmes Santé [http : // Santé.journal des femmes.fr](http://Santé.journal-des-femmes.fr)>15juin 2021
- [2] Pelt, Jean Marie. La Cannelle et le panda : les grands naturalistes explorateurs autour du Monde « La Billardièrre, un botaniste révolutionnaire ». s.l. : Fayard, 1999.
- [3] Citizen Labillardièrre: A Naturalist's Life in Revolution and Exploration (1755-1834). Duyker, Edward. Melbourne : Melbourne University Press, 2003.
- [4] Revenir plus haut en :a et b APA Thijs, K. W., Aerts, R., Van de Moortele, P., Musila, W., Gulinck, H., & Muys, B. (2014). Contrasting cloud forest restoration potential between plantations of different exotic tree species. *Restoration ecology*, 22(4), 472-479, résumé [archive
- [5] Bergfeld, W. F., Belsito, D. V, Hill, R. A., Klaassen, C. D., Liebler, D. C., James, G., Shank, R. C., Slaga, T. J., et Snyder, P. W. (2018). Safety Assessment of Amino Acid Alkyl Amides as Used in Cosmetics Status : Release Date : Panel Meeting Date : Draft Final Report for Panel Review..
- [6] Marque, G. (2008). Isolement et caractérisation chez l'Eucalyptus de gènes codant les facteurs de transcription CBF impliqués dans la réponse au froid. En vue de l'obtention du Doctorat de l'université de toulouse.P.6.
- [7] Trabut, M . L . (1914). Naturalisation d'un Eucalyptus en Algérie: *Eucalyptus algeriensis* Trab.; *Bulletin de La Societe Botanique de France*, 61(5), XIII-Xhttps://doi.org/10.1080/00378941.1914.10832605
- [8] Aït youssef, M. (2006). *Eucalyptus globulus* L. In *Plante Médicinale de Kabylie* » Ed.: Paris,pp: 126-130
- [9] Sakina, 2009Thème Activité antioxydante et antibactérienne des extraits. 2009–2010

[10] Boukhatem, M. N., Ferhat, M. A., Kameli, A., et Mekarnia, M. (2017). Eucalyptus globulus (Labill.): un arbre à essence aux mille vertus. Phytothérapie. <https://doi.org/10.1007/s10298-017-1114-3>

[11] Azzazy, M. (2016). Environmental Impacts of Industrial Pollution on Pollen Morphology of Eucalyptus globulus Labill. (Myrtaceae). Journal of Applied Biology & Biotechnology, 4(05), 57–62. <https://doi.org/10.7324/jabb.2016.40509> Badiaga, M .

[12] Orwa, C., Mutua, A ., Kindt, R ., Jamnadass, R., et Simons, A. (2009). Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 (<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb>)

[13] Hingston, A. B. (2002). Pollination ecology of Eucalyptus globulus subsp. globulus and Eucalyptus nitens (Myrtaceae). January, 295

[14] Quézel, P et Santa, S. (1963). Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome 2, p 637

[15] Pan, M., Lei, Q., et Zhang, H . (2020). Prediction and confirmation of active ingredients in Eucalyptus globulus Labill leaves. Industrial Crops and Products, 154(June), 112631. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112631>.

[16] <http://www.almolakgs.com>>23juil.2019

[17] Tp pharmacognosie 3ème année pharmacie .Annaba

[18] Hingston, A. B. (2002). Pollination ecology of Eucalyptus globulus subsp. globulus and Eucalyptus nitens (Myrtaceae). January, 295

[19] Jones, R. C., Hecht, V. F. G., Potts, B. M., Vaillancourt, R. E., et Weller, J. L. (2011). Expression of a Flowering locus T homologue is temporally associated with annual flower bud initiation in Eucalyptus globulus subsp. globulus (Myrtaceae). Australian Journal of Botany, 59(8), 756–769. <https://doi.org/10.1071/BT11251>

- [20] Steane, D. A., Conod, N., Jones, R. C., Vaillancourt, R. E., et Potts, B. M. (2006). A comparative analysis of population structure of a forest tree, *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae), using microsatellite markers and quantitative traits. *Tree Genetics and Genomes*, 2(1), 30–38.
- [21] Puig, C. G., Revilla, P., Barreal, M. E., Reigosa, M. J., et Pedrol, N. (2019). On the suitability of *Eucalyptus globulus* green manure for field weed control. *Crop Protection*, 121(February), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.03.016>
- [22] Fisher, K., et Philip, C. (2008). Potential Antimicrobial Uses Of Essential Oils In Food: Is Citrus The Answer? *Trends In Food Science & Technology* 19 (2008) 156e164.r
- [23] Luís, A. A., Duarte, A., Gominho, B. J., Domingues, A. F et Paula-Duarte, A. (2016). Chemical Composition, Antioxidant, Antibacterial And Anti-Quorum Sensing Activities Of *Eucalyptus Globulus* And *Eucalyptus Radiata* Essential Oils. *Industrial Crops And Product*. 79 :274-283
- [24] Fabre, M.C., Genin, A., Merigoux, J., et Moget, E. (1992). *Herboristerie Familiale, Des Recettes Simples Avec Des Plantes Simples Pour Résoudre Les Problèmes Simples*
- [25] Huile essentielle d'eucalyptus radiata » [archive], sur <https://www.passeportsante.net/> [archive], 21 octobre 2014 (consulté le 31 août 2020)
- [26] <http://www.fitnessbody.me> > 2021/...
- [27] <http://www.almrsal.com> > post 23mars2022
- [28] <http://afanin.co> > products >...



Chapitre III

Matériels et méthodes

III .1. Introduction

La majorité des inhibiteurs utilisés aujourd'hui sont soit synthétisés à partir de matières premières peu coûteuses ou proviennent de composés organiques ayant des hétéroatomes tels que l'azote, le soufre, le phosphore ou l'oxygène dans leur système aromatique ou dans leur chaîne carbonée. Ces substances anticorrosives sont toxiques vis-à-vis des êtres humains et de l'environnement [1]. La toxicité de ces composés se manifeste durant la synthèse ou durant leurs applications. Ces inhibiteurs n'étant pas biodégradables, ils causent également des problèmes de pollution. En conséquence, ces inconvénients ont orienté la recherche dans la direction des substances naturelles qui peuvent également offrir des propriétés inhibitrices vis-à-vis des métaux [2].

Les plantes sont des sources de composés d'origine naturelle, elles ont certaines des structures moléculaires complexes et ayant des propriétés physiques, biologiques et chimiques différents [3]. La plupart des composés extraits de plantes sont principalement utilisés dans plusieurs domaines (les produits pharmaceutiques, les biocarburants, dans le domaine de cosmétique et de la gastronomie) [4]. L'utilisation des substances naturelles est intéressante puisque celles-ci sont biodégradables, écologiques, peu onéreuses et présentent une disponibilité abondante. Ainsi, de nombreux groupes de recherche ont étudié des produits végétaux pour des applications en qualité d'inhibiteurs de corrosion pour métaux et autres alliages dans différents milieux corrosifs [5].

Dans notre recherche on a choisi l'extrait des feuilles d'eucalyptus globulus comme inhibiteur de corrosion.

III .2. Matériels et Méthodes

Notre travail a été réalisé au laboratoire N° 1 et 3 du département génie des procédés et pétrochimie de l'université de Skikda et au niveau de laboratoire N°16 de Haul de technologie.

III .2.1.Matériels végétal

III.2.1.1. Larécolte

Les feuilles des eucalyptus globulus sont récoltées au niveau de la résidence universitaire « el Hadaik 2 » la Wilaya de Skikda .La récolte faite par ramassage à la main.

III .2.1.2.Traitement de la plante

La première étape : le lavage des feuilles

Les feuilles de la plante fraîche ont été recueillies, puis lavées avec l'eau distillée, et séchées par Un papier, ensuite laissées de compléter le séchage naturel à température ambiante pendant 5 Jours.



Figure III.1 : le lavage des feuilles

La deuxième étape : l'élimination de l'excès d'eau

Pour éliminer le maximum d'eau et sécher bien les feuilles d'eucalyptus on a les placés vers l'étuve pendant une heure à température de 60c°.



Figure III.2 : les feuilles d'eucalyptus dans l'étuve et après le séchage.

La troisième étape : le broyage des feuilles séchées :



Figure III.3 : le broyage des feuilles.



Figure III.4 : la poudre d'eucalyptus.

III .2.1.3 L'extraction de la poudre d'eucalyptus

III.2.1.3.1. Matériels utilisés

- Balance électronique ;
- Erlenmeyer ;
- Bicher ;
- Agitateur ;
- Dispositif filtration :
- Fiole à vide ;

- Entonnoir ;
- Papier filtre humide.
- Dispositif évaporateur rotatif (Rotavapor) :
- 2 ballons (de solution initiale, de récupération du solvant) ;
- Réfrigérant ;
- Pompe à vide ;
- Bain marie ;
- Elévateur ;
- plaque chauffante ;
- Entonnoirs ;
- Eprouvettes graduées.

III.2.1.3.2. Produits utilisés

- Méthanol ;
- L'eau distillée ;
- Poudre d'eucalyptus.

III.2.1.3.3. Mode opératoire

La 1^{ère} étape : la macération (extraction solide –liquide)

Dans cette étape on a aspiré à extraire la plus grande quantité d'extrait de poudre d'eucalyptus d'une quantité de 200g qui a été mise en contact pendant 1 jour sous l'agitation avec 1000ml de méthanol et 200 ml d'eau distillée.

Après l'agitation pendant 1 jour on a lissé le mélange à décanté encore fois un jour.

-Le choix de méthanol comme un solvant d'extraction car la manière à solubiliser le maximum de composés.



Figure III.5 : l'étape de macération.

La 2^{ème} étape : la filtration

- On a filtré le macérât à l'aide de papier filtre pour séparer la phase solide (la poudre d'eucalyptus) de la phase aqueuse (méthanol+ l'extrait de la plante +l'eau distillé).

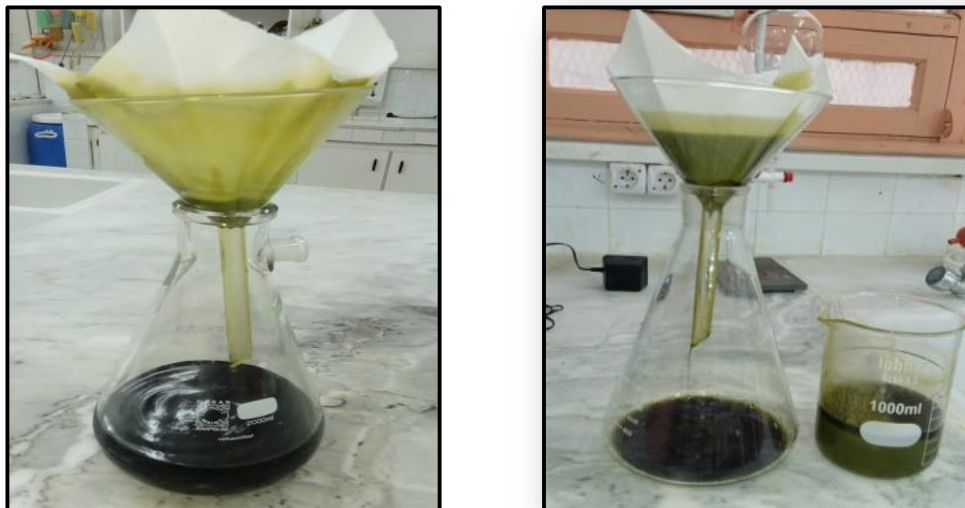


Figure III.6 : l'étape de filtration.

La 3^{ème} étape : évaporation du solvant d'extraction

On a placé la solution obtenue après la filtration à évaporer dans le ballon qui est dans le bain marie et le mettre ensuite sous rotation .on ouvre le robinet d'eau froide reliait au réfrigérant .On chauffe le bain d'eau à $T=60^{\circ}\text{C}$, et on fait le vide à l'intérieure de l'appareillage à l'aide d'une pompe à vide. La fin de la distillation s'observe par l'arrêt de l'écoulement dans le ballon de récepteur. Quand la distillation terminée, on coupe l'eau du réfrigérant et on éteint le chauffage de bain d'eau et on récupère le ballon d'évaporation.



Figure III.7: le montage de l'évaporateur rotatif.

La 4^{ème} étape : Récupération de l'extrait

On récupère l'extrait obtenu de l'évaporateur rotatif et on conserve dans une biche.



Figure III.8 : l'extrait d'eucalyptus avec une quantité d'eau.

La 5^{ème} étape : le séchage de l'extrait

On a fait cette étape pour éliminer la quantité d'eau qui reste dans l'extrait pendant un jour pour obtenir l'extrait brut.

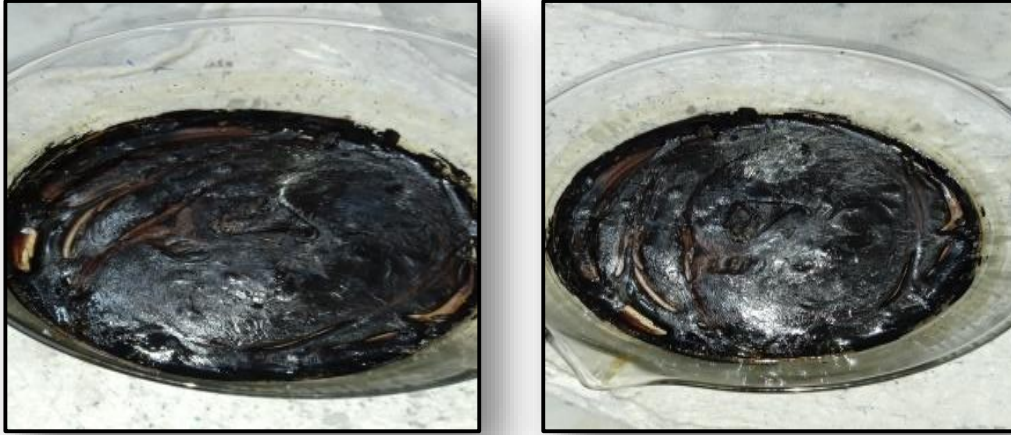


Figure III.9 : l'extrait d'eucalyptus.

La 6^{ème} étape : le broyage de l'extrait puis le broyage

Figure III.10 : l'extrait brut d'eucalyptus.

III .2.2 .Détermination du rendement de l'extrait

Le rendement d'une extraction se calcule par le rapport entre la masse de l'extrait obtenu et la masse de la matière première végétale (la poudre), le rendement exprimé en pourcentage est calculé par la formule suivante :

$$R(\%) = \frac{m_{\text{extrait}}}{m_{\text{matière première}}} * 100$$

R(%) : rendement de l'extraction en %

m matière première : masse de la matière végétale en (g)

m extrait : masse de l'extrait en (g)

III .2.3. Propriété métallurgique (composition chimique) :

La composition chimique est donnée après prise d'échantillon par un appareillage spécifique à ultra son, la composition chimique de l'acier C1020 est résumée par le tableau III .1 :

Tableau III .1 : Compositions chimique d'Acier au carbone C1020 [6].

Elément	C	Cu	Ti	V	Cr	Mn	Fe
%	0,18- 0,23	0,015	0,054	0,024	0,021	0,062	0,108
Elément	Mo	S	P	Si	Ni	Nb	Co
%	0,007	0,05	0,04	0,15-0,25	0,046	0,006	0,007

III .2.3.1 Propriétés mécanique de l'acier

Tableau III.2 : Propriété mécanique de l'acier C1020 [7]

Caractéristique	Limite d'élasticité (MPA)	Résistance à la traction(MPA)	Allongement (%)	La striction à la rupture (%)
C1020	245 (min)	410 (min)	25%(min)	55% (min)

III .2.4. Préparation des échantillons

◆ Découpage :

Les échantillons utilisés sont découpés sous les dimensions (1cm,1cm) et de l'épaisseur 1cm .

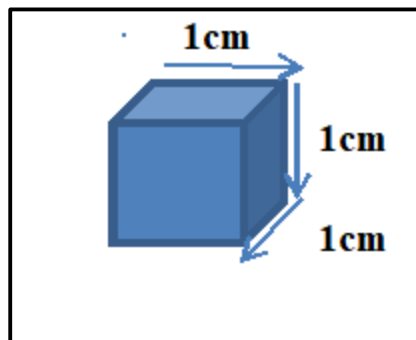


Figure III.11 : la forme et dimensions des échantillons en cm.

◆ Polissage :

Le polissage des échantillons est fait à l'aide de papier vert de« 80, 100,120, 1000, 2000,2400 » et d'une polisseuse

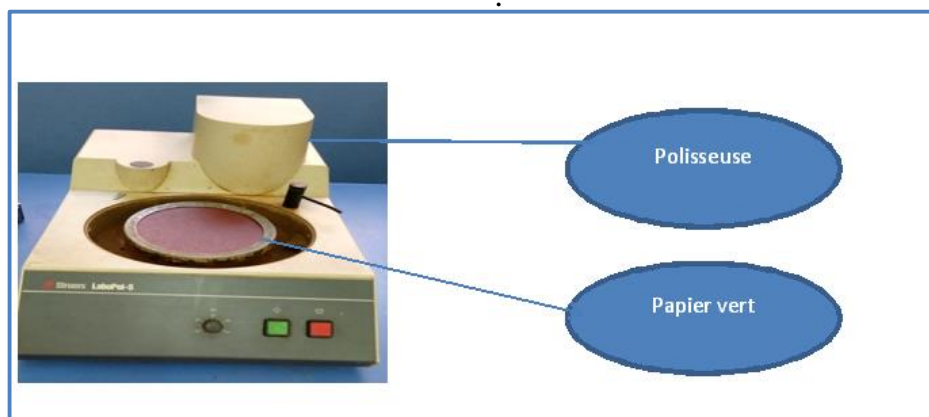


Figure III.12 : le procédé de polissage.

◆Nettoyage :



Figure III.13 : Les échantillons avant et après le polissage.

III .2.5. Milieux d'étude

III .2.5.1. La préparation des milieux acides Na cl, H cl, H₂So₄(5%)

À partir la relation suivante :

$$v = \frac{c.M.V}{P\%d.\rho} * 100 \quad (II.2)$$

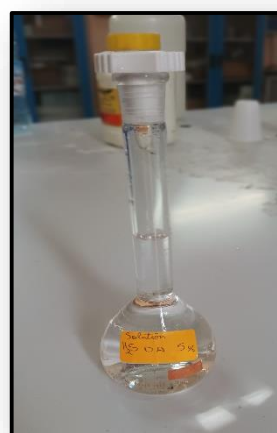
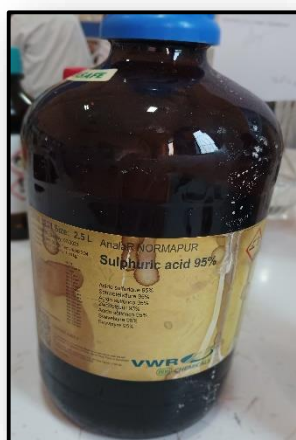
Et à l'aide des informations qu'ils sont montrés dans les boîtailles des solutions concentrées de chaque de solution, on a préparé des solutions filles avec une concentration de 5%.

III.2.5.1.1.Préparation de milieu corrosive 01(H₂So₄ 5%)

A partir de solution concentrée d'acide sulfurique on a préparé une solution fille de concentration 5%, la solution fille obtenue par la dilution de 28,05 ml avec 100ml d'eau distillée .Le tableau suivant présente les propriétés de l'acide sulfurique

Tableau III.3 : propriétés d'acide Sulfurique.

Forme brute	H ₂ SO ₄
Densité	1,84
Masse molaire	98,08 g /mol
Pureté	95%

**Figure III.14 :** solution mère de H₂SO₄. **Figure III.15 :** solution fille de H₂SO₄.**III.2.5.1.2. Préparation de milieu corrosif 02 (H cl5%)**

La solution 2 est une solution d'acide chlorhydrique obtenue par la dilution de 41,75 ml d'acide Commercial concentré (37%) avec 100ml d'eau distillé.

Tableau III.4 : propriétés d'acide chlorhydrique.

Forme brute	H cl
Densité	1,18
Masse molaire	36,46g/mol
Pureté	37%

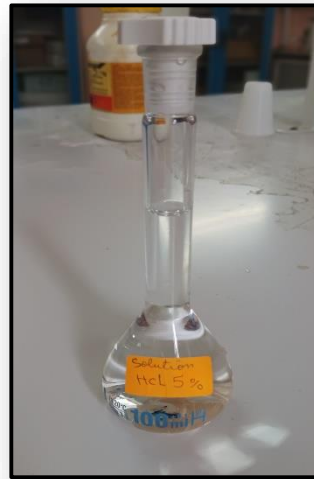
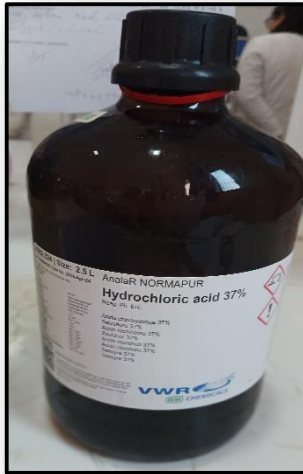


Figure III.16 : solution mère de HCl. **Figure III.17** : solution fille de HCl.

III.2.5.1.2 Préparation de milieu corrosif 03 (Na cl 5%)

Cette solution est une solution de chlorure de sodium préparé par la dilution de 5g de poudre cristalliser d'Na cl dans un 100 ml d'eau distillé avec l'agitation pour prendre une solution homogène.

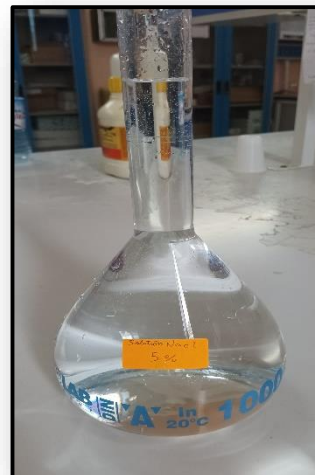
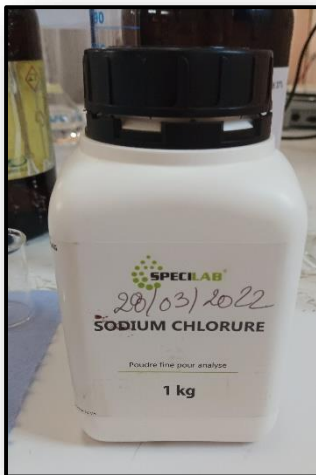


Figure III.18 : chlorure de sodium. **Figure III.19** : solution de NaCl 5%.

III.2.5.1.3. Préparation des solutions acides dilués de H₂SO₄, HCl, NaCl de concentration de (1%,2%,3%,4%)

A partir de la relation de dilution : $C_1V_1=C_2V_2$ **(III.3)**

Et à partir de la solution fille de concentration (5%), On a préparé les déférentes solutions acides.



Figure III.20 : les solutions préparées.

III .2.6.Méthode d'évaluation de l'action de l'inhibiteur sur la corrosion

III .2.6.1.Méthode gravimétrie

Cette méthode présente l'avantage d'être mise en œuvre simple et quelle ne nécessite pas un appareillage compliqué. Elle nécessite uniquement une balance de haute précision d'erreur de 10^{-4} minimum. Son principe repose sur la mesure de perte de masse (Δm) subie par un échantillon métallique de surface (S), lorsque celui-ci est immergé pendant le temps dans une solution agressive. La vitesse de corrosion déterminée par l'équation suivant :

$$V_{\text{corr}} = \frac{\Delta m}{S.t} \quad (\text{III.4})$$

Sachant que: $\Delta m = m_i - m_f$ (III.5)

m_i : la masse de l'échantillons avant l'essai (g).

m_f : la masse de l'échantillons après l'essai (g).

v_{corr} : la vitesse de corrosion ($\text{g}/\text{cm}^2.\text{h}$).

S : la surface exposée en cm^2 .

t : temps d'immersion dans la solution(h).

III .2.6.2. Le cas où l'absence d'inhibiteur

D'abord avant de placer les échantillons dans les milieux corrosives, on a mesuré leur poids à L'aide d'une balance ;

-Ensuite on a placé les échantillons dans les milieux acides successivement (dans la solution H_2SO_4 : De concentration 1%,2%,3%,4%,5% au même temps, et on a fait l'étude dans cette milieu corrosive. Avec la même manière on a complété l'étude de perte de masse à chaque fois avec les autres milieux corrosives) ;

- La mesure des poids des échantillons est faite successivement avant et après chaque 1heure, 2heure, 3heure, 4heure, et72heure (seulement les solutions qui ont la concentration de 3%).



Figure III.21 : les échantillons dans les solutions.



Figure III.22 : les solutions après la réaction avec les échantillons.

III .2.6.3.Le cas où la présence d'inhibiteur

◆ Préparation de différentes concentrations à partir de l'extrait brut

Les concentrations préparés de l'extrait d'eucalyptus pour effectués les de l'inhibition de corrosion sont variés de 1%à 5%.et pour cela on a choisi une solution d'acide forte H_2SO_4 et une solution d'acide faible Na cl, les deux solutions ont une concentration de 5%. Le choix de cette concentration c'est pour étudier l'effet de l'extrait d'eucalyptus dans les concentrations fortes des milieux agressives et si nous avant trouvé une bonne efficacité dans ces fortes concentrations d'acides, alors nous apprécierons son efficacité bien sûr, avec les milieux à plus faibles concentrations .Les expériences sont faites dans une température ambiante.

Dans la partie suivante de notre recherche nous avant essayé d'améliorer les propriétés anti corrosion de l'acier (C1020) dans les milieux (Na cl, H_2SO_4) avec les différents concentrations de l'extrait le temps d'immersion est varier entre 3h et 72havec une température ambiante.

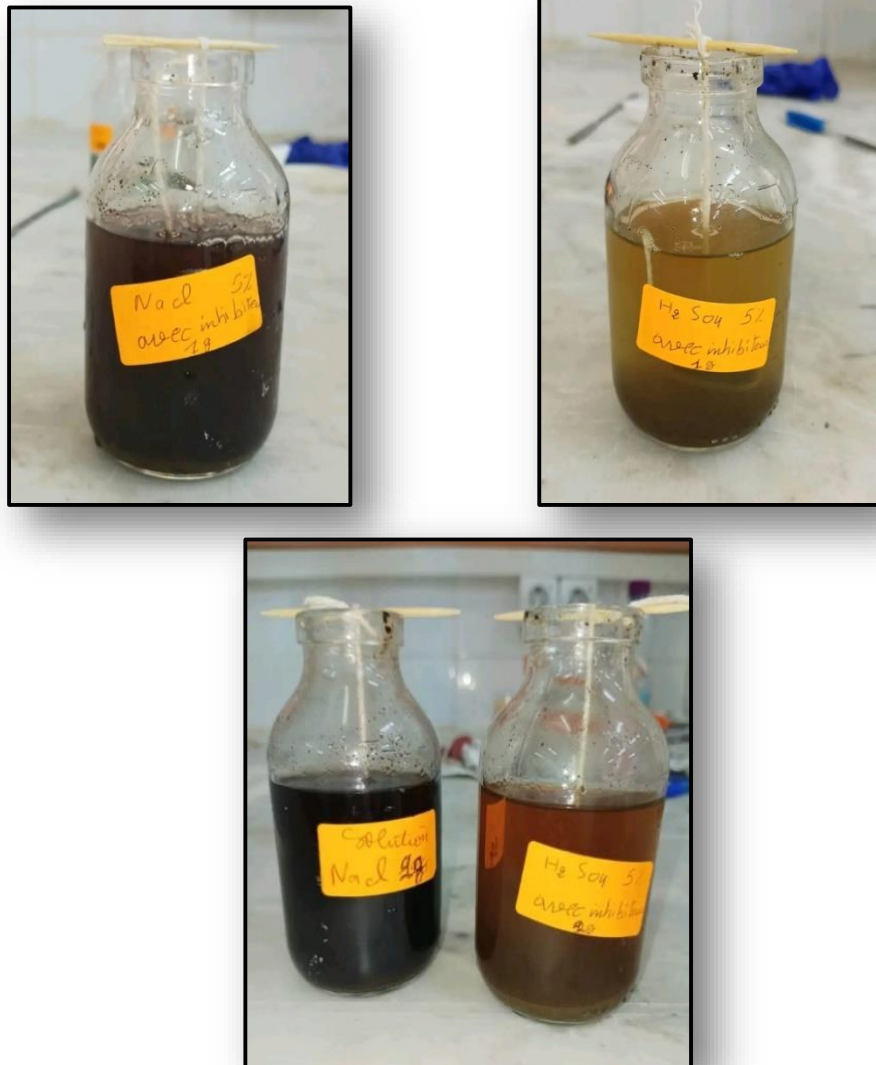


Figure III.23 : Suivi de méthode de perte de masse.

L'efficacité inhibitrice $E(\%)$ d'un composé étudié est calculée on utilise la relation suivant :

$$E(\%) = \frac{v_{cor} - v_{inh}}{v_{cor}} \cdot 100 \quad (\text{III.6})$$

V cor : la vitesse de corrosion de l'acier sans inhibiteur.

V inh : la vitesse de corrosion de l'acier avec inhibiteur.

Références bibliographiques

- [1] P.B Raja, M.G. Sethuraman, "Natural products as corrosion inhibitor for metals in Corrosive media—a review" Mater. Lett. materials letters. Volume 62 Issue 1, PP. 113 -116.(15 January 2008)
- [2] F. Milcard, "Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M":, Thèse doctorat , Université des Antilles et de la Guyane,(2013).
- [3] H.I. Farooqi, M.A. Quraishi, P.A. Saini, Natural compounds as corrosion inhibitors for mild steel in industrial cooling systems, Proceedings from European Federation of corrosion (EU-ROCORR.'97). I PP. 186. (1997)
- [4] M.H.H. Nkunya, "Natural chemicals for disease and insect management. Professorial In augural lecture series No. 44". University of Dar es salaam. Colour Print (T) Ltd, Dar es salaam; 2002, PP. 1-172.
- [5] A.M Abdel-Gaber, et al, "Inhibitive action of some plant extracts on the corrosion of steel in acidic media"Corrosion Science, Volume 48, Issue 9, (September 2006), PP. 2765-2779 .
- [6] Acier Au Carbone Aisi 1020 Sae 1020 Barres D'acier Rondes - Buy Aisi 1020,Aisi 1020 Steel, Carbon Steel 1020 Product on Alibaba.com
- [7]www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9145&fbclid=IwAR0CsGkcpct7LSm2WS5Yhc7hLRFN_wQxtnLRhMLgnwtn1KwAobsSuHxPGf



Chapitre IV

Résultats et discussions

Ce chapitre a pour but de présenter les résultats de l'étude concernant l'inhibition de l'acier au carbone (C-1020) en solution de chlorure de sodium, d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique avec des différentes concentrations par l'extrait de la plante d'eucalyptus globulus (l'inhibiteur) en utilisant la méthode gravimétrique.

IV.1. Calcul de rendement de l'extraction :

$$R(\%) = \frac{m_{\text{extrait}}}{m_{\text{matière première}}} * 100$$

$$R(\%) = \frac{35,98}{200} * 100$$

$$= 17,99 \%$$

Le rendement d'extraction obtenu avec le méthanol est élevé (17,99 %) pour les feuilles d'eucalyptus globulus.

IV.2. Méthode d'évaluation de l'action de l'inhibiteur sur la corrosion :

IV.2.1. Résultats obtenus par gravimétrie :

Selon la méthode gravimétrique, nous avons procédé aux calculs de la perte de masse, la vitesse de corrosion sans et avec l'inhibiteur et l'efficacité inhibitrice dans les milieux corrosifs.

IV.2.1.1. Résultats obtenus des milieux corrosifs sans inhibiteur:

IV.2.1.1. 1. Résultats obtenus du milieu corrosif H₂SO₄(1%,2% ,2%,3%,4%,5%)

Tableau IV.1 :les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans H₂SO₄ pendant 1h,2h ,3h,4h,72h

H ₂ SO ₄						
heur	C	1%	2%	3%	4%	5%
1h	Δm(g)	0,00276	0,00296	0,0032	0,00337	0,00354
	V(g/h.cm ²)	0,00276	0,00296	0,0032	0,00337	0,00354
2h	Δm(g)	0,00633	0,00722	0,00764	0,0085	0,0083
	V(g/h.cm ²)	0,003165	0,00361	0,00382	0,00425	0,00415
3h	Δm(g)	0,01041	0,01237	0,01266	0,0145	0,01278
	V(g/h.cm ²)	0,00347	0,00412	0,00422	0,00483	0,00426
4h	Δm	0,01532	0,01958	0,01948	0,02023	0,01837
	V(g/h.cm ²)	0,00383	0,004895	0,00487	0,00505	0,004592
72h	Δm(g)	-	-	0,79104	-	-
	V(g/h.cm ²)	-	-	0,01098	-	-

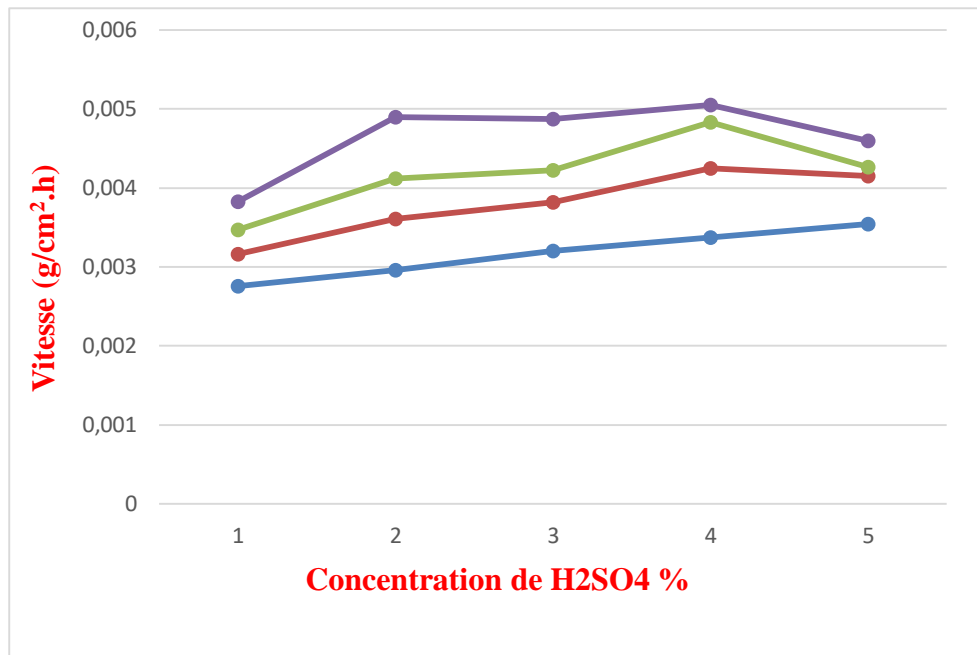
$V_{\text{corr.}}$ en fonction des concentrations d'acide sulfurique

Figure.IV.1 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie sans inhibiteur en fonction de la concentration de l'acide sulfurique.

Discussion :

Le tableau IV.1 représente les valeurs de la vitesse de corrosion de l'acier à différentes concentrations d'acide sulfurique, qui augmentent durant un temps de (1h,2h,3h,4h), et la figure IV.1 montrent que la vitesse de corrosion augmente avec la concentration de l'acide sulfurique de(1% à 3%) avec une petite diminution de (4%à5%) , ce qui explique que la vitesse de corrosion dans cet milieu augmente avec le temps et aussi la concentration du milieu.

IV.2.1.1.2. Résultat du milieu corrosif HCl

Tableau IV.2 : les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans HCl pendant 1h,2h ,3h,4h,72h (seulement dans la concentration 5%)

HCl						
heur	C	1%	2%	3%	4%	5%
1h	Δm	0,00057	0,00082	0,00083	0,00109	0,0014
	V	0,00057	0,00082	0,00083	0,00109	0,0014
2h	Δm	0,00128	0,0011	0,00151	0,0017	0,00204
	V	0,00064	0,00055	0,000755	0,00085	0,00102
3h	Δm	0,00137	0,00158	0,0017	0,00192	0,00229
	V	0,000456	0,000526	0,000566	0,00064	0,000763
4h	Δm	0,0015	0,00242	0,0018	0,00233	0,00309
	V	0,000375	0,000605	0,00045	0,000582	0,000772
72h	Δm	-	-	0,01233	-	-
	V	-	-	0,0001725	-	-

V_{corr} . en fonction des concentrations d'acide chlorhydrique.

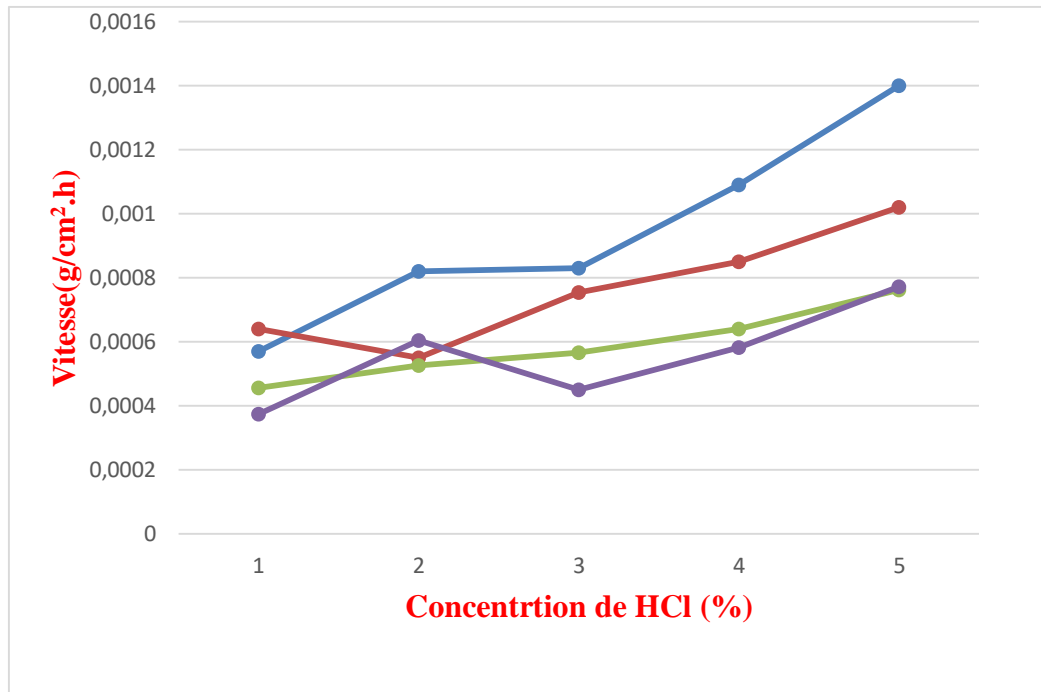


Figure.IV.2: l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie sans inhibiteur en fonction de la concentration de l'acide chlorhydrique.

Discussion :

Le tableau IV.2 qui représente les valeurs de la vitesse de corrosion de l'acier à différentes concentrations d'acide chlorhydrique, qui diminue durant un temps de (1h,2h,3h,4h), et la figure IV.2 montre que la vitesse de corrosion change d'une manière non stable avec la concentration de l'acide chlorhydrique de (1% à 3%) et généralement augmente de (3% à 5%), ce qui explique que la vitesse de corrosion dans cet milieu augmente avec la concentration fortes du milieu durant le temps.

IV.2.1.1.3. Résultat du milieu corrosif Na cl:

Tableau IV.3 :les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans H cl pendant 1h,2h ,3h,4h,72h

NaCl						
heur	C	1%	2%	3%	4%	5%
1h	Δm	0,00286	0,00092	0,00074	0,00156	0,00027
	V	0,00286	0,00092	0,00074	0,00156	0,00354
2h	Δm	0,00292	0,00092	0,00064	0,00157	0,00031
	V	0,00146	0,00046	0,00032	0,000785	0,000155
3h	Δm	0,00298	0,00067	0,00066	0,00158	0,00046
	V	0,00347	0,00412	0,00422	0,00483	0,00426
4h	Δm	0,01532	0,01958	0,01948	0,02023	0,01837
	V	0,00383	0,004895	0,00487	0,00505	0,004592
72h	Δm	-	-	0,79104	-	-
	V	-	-	0,01098	-	-

V_{corr} en fonction des concentrations d'acide chlorhydrique.

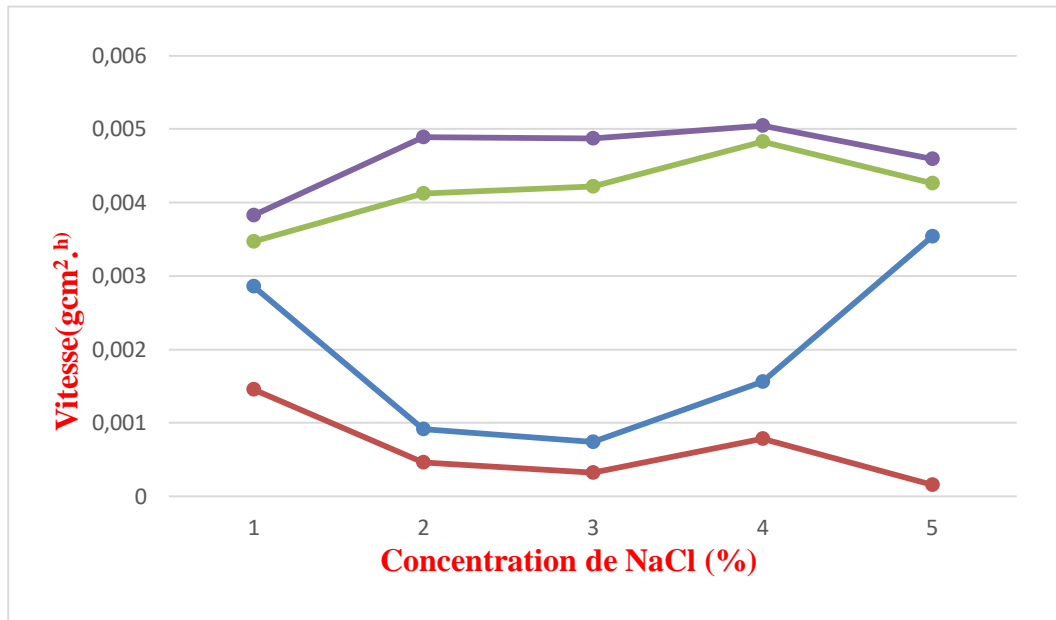


Figure.IV.3 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie sans inhibiteur en fonction de la concentration de Chlorure de sodium.

Discussion :

Le tableau IV.3 qui représente les valeurs de la vitesse de corrosion de l'acier à différentes concentrations de chlorure de sodium, qui augmente généralement durant un temps de (1h,2h,3h,4h), et la figure IV.3 montre que la vitesse de corrosion diminue avec la concentration de chlorure de sodium de(1% à 2%) et de (4% à 5%), et augmente de (2% à 4%) ce qui explique que la vitesse de corrosion dans cet milieu augmente avec les moyennes concentrations du milieu et durant le temps.

Interprétation générale :

Généralement la vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de la concentration du milieu et on observe aussi qu'elle diminue avec l'augmentation du temps, et la vitesse dans le milieu H_2SO_4 est supérieure par rapport aux d'autres milieux.

IV.2.1.2. Résultats des milieux corrosifs avec inhibiteur :

IV.2.1.2.1. Résultat du milieu corrosif H₂SO₄ 5% :

Tableau IV.4: les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans H₂SO₄ (5%) pendant 3h,72h(seulement dans la concentration 5% d' inhibiteur).

H ₂ SO ₄							
heur	C	0g	1g	2g	3g	4g	5g
3h	Δm	0,1644	0,0193	0,0233	0,0063	0,00267	0,0017
	V	0,01799	0,00211	0,00255	0,0006896	0,000292	0,000186
	E%	-	88,27	85,82	96,16	98,37	98,96
72h	Δm	-	-	-	-	-	0,1562
	V	-	-	-	-	-	0,01709
	E%	-	-	-	-	-	96,04

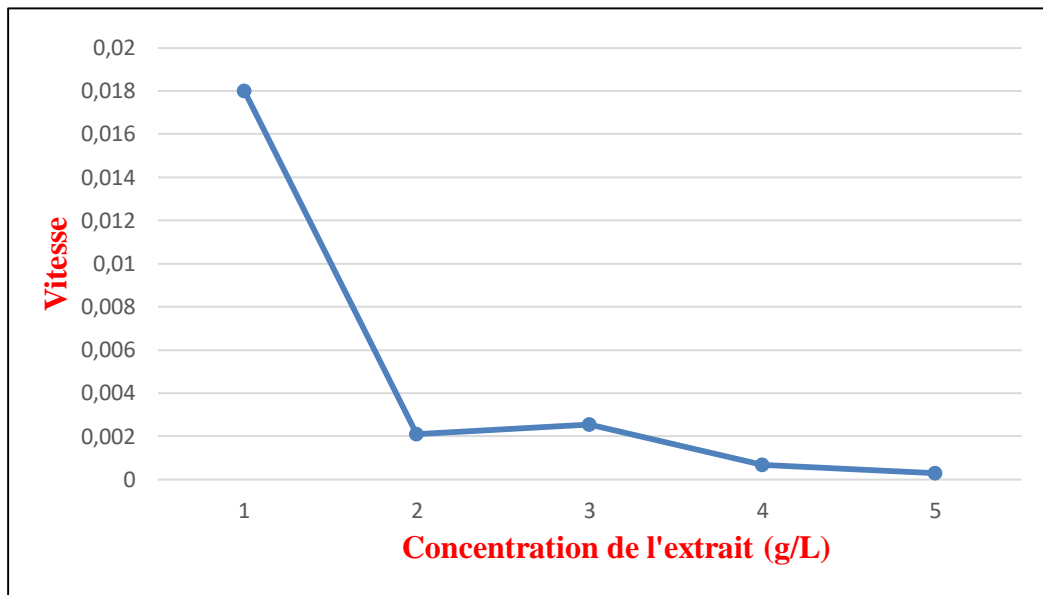
$V_{\text{corr.}}$ en fonction des concentrations d'inhibiteur

Figure.IV.4 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie en fonction de concentration d'inhibiteur en milieu H_2SO_4 5%.

Discussion :

Le tableau IV.4 qui représente les valeurs de la vitesse de corrosion de l'acier à différentes concentrations de l'extrait durant un temps de (3h) et la figure IV. 4montrent clairement que la vitesse de corrosion diminue avec l'augmentation de la concentration de l'extrait ajouté dans H_2SO_4 5% ce qui indique que l'extrait possède d'excellentes propriétés inhibitrices de la corrosion de l'acier dans H_2SO_4 , ce qui explique que l'adsorption de l'extrait augmente sur la surface de l'acier et empêche la dissolution de l'acier .

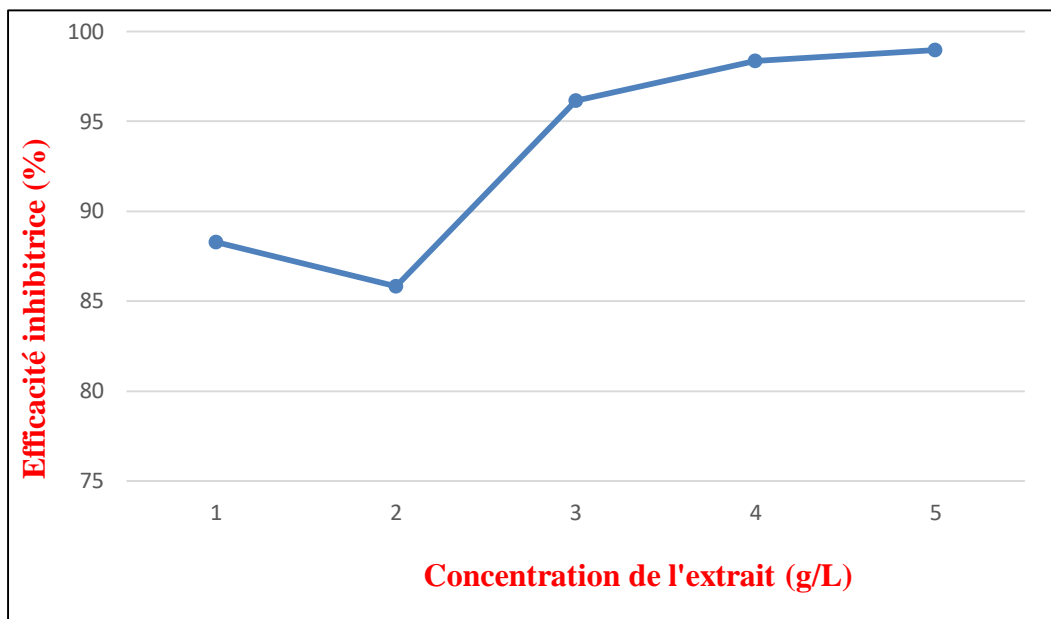
E(%) en fonction des concentrations d'inhibiteur

Figure.IV.5 : l'évolution de l'efficacité inhibitrice mesurée par en fonction de concentration d'inhibiteur en milieu H_2SO_4 5%.

Discussion :

D'après le tableau IV.4 et la figure IV.5 on observe que l'efficacité inhibitrice de corrosion augmente par l'augmentation de la concentration de l'extrait ajouté dans H_2SO_4 5%. L'efficacité inhibitrice optimale atteint une valeur de 98% pour une concentration en inhibiteur de 5g/l.

IV.2.1.2.2. Résultat du milieu corrosif Na cl 5%

Tableau IV.5: les paramètres de corrosion mesuré par gravimétrie de l'acier au carbone (C-1020) dans NaCl (5%) pendant 3h,72h(seulement dans la concentration 5% d' inhibiteur).

NaCl							
heur	C	0g	1g	2g	3g	4g	5g
3h	Δm	0,0007	0,00011	0,00010	0,00008	0,00007	0,00007
	V	0,0000589	0,0000092	0,0000084	0,0000067	0,0000058	0,0000058
	E%	-	84,38	85,57	88,62	90,15	90,15
72h	Δm	-	-	-	-	-	0,000077
	V	-	-	-	-	-	0,00000027
	E%	-	-	-	-	-	99,54

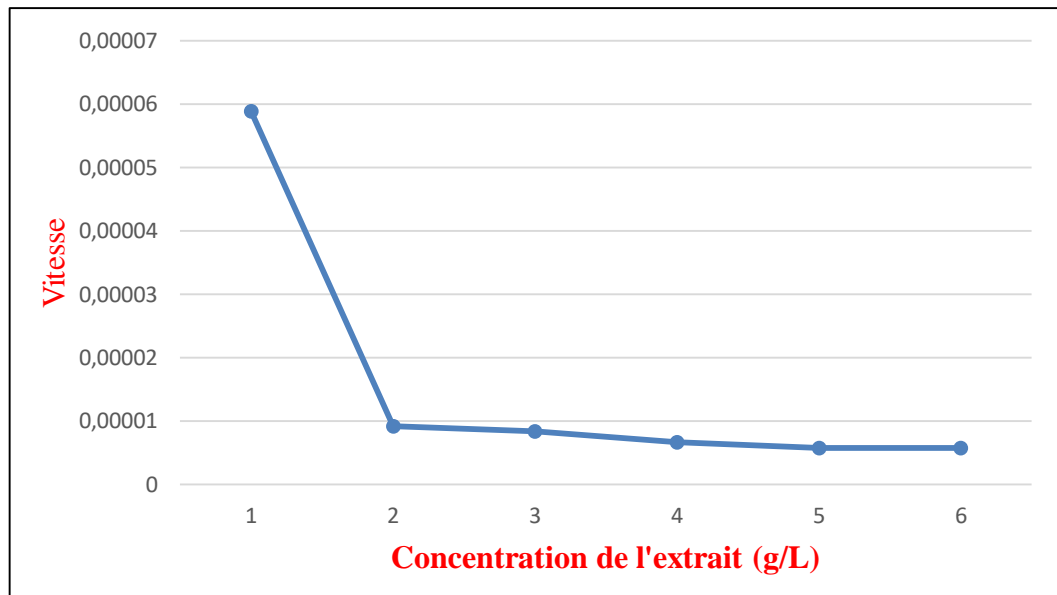
$V_{\text{corr.}}$ en fonction des concentrations d'inhibiteur

Figure.IV.6 : l'évolution de la vitesse de corrosion mesurée par gravimétrie en fonction de concentration d'inhibiteur en milieu NaCl 5%.

Discussion :

Le tableau IV.5 qui représente les valeurs de la vitesse de corrosion de l'acier à différentes concentrations de l'extrait durant un temps de (3h) et la figure IV. 6 montrent clairement que la vitesse de corrosion diminue avec l'augmentation de la concentration de l'extrait ajouté dans Na cl 5% ,ce qui indique que l'extrait possède d'excellentes propriétés inhibitrices de la corrosion de l'acier dans Na cl 5% ,ce qui explique que l'adsorption de l'extraits augmentent sur la surface de l'acier et empêchant la dissolution de l'acier .

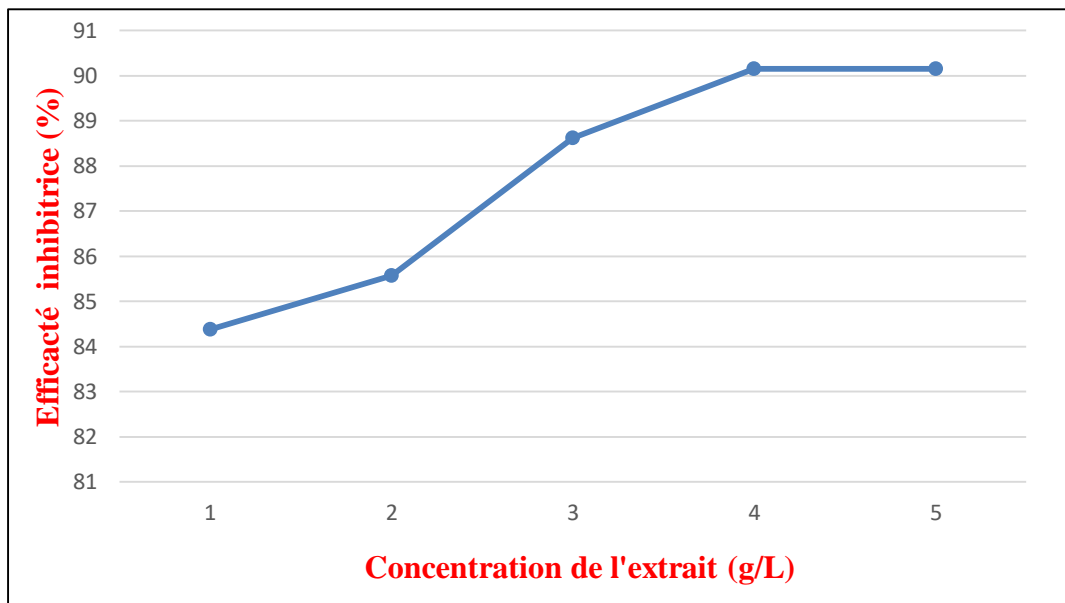
E(%) en fonction des concentrations d'inhibiteur

Figure.IV.7 : l'évolution de l'efficacité inhibitrice mesurée par en fonction de concentration d'inhibiteur en milieu Na cl.5%.

Discussion :

D'après le tableau IV.5 et la figure IV.7 on observe que l'efficacité inhibitrice de corrosion augmente par l'augmentation de la concentration de l'extrait ajouté dans Na cl 5%. Il stable à la concentration 4et 5g/l en inhibiteur .L'efficacité inhibitrice optimale atteint une valeur de 99 % pour une concentration en inhibiteur de 5g /l et 54% pendant un temps 72h.

IV.3. Isotherme d’adsorption et détermination des paramètres thermodynamiques

Isotherme d’adsorption

Pour avoir une idée sur l’isotherme d’adsorption des deux inhibiteurs testés à l’interface de l’acier C1020 , nous avons fait des tests graphiques des différents modèles : Temkin, Frumkin et Langmuir, à différentes concentrations pendant 3h et à température constante 20°C.

IV.3.1. Isotherme d’adsorption et paramètre thermodynamique dans le milieu NaCl 5% avec inh

Tableau IV.6. Les paramètres nécessaires pour tracé l’isotherme d’adsorption pour l’acier C1020 dans NaCl 5% avec inh

Modèle de Temkin			Modèle de Frumkin			Modèle de Langmuir		
$C. Kads = \exp(-2a\theta)$			$C. Kads = \left(\frac{\theta}{1-\theta}\right) \cdot \exp(2a\theta)$			$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{Kads} + C$		
C inh	Ln C inh	θ	C inh	Ln [C inh (1-θ)/θ]	θ	C inh	C inh/ θ	θ
0g	-----	-----	0g	-----	-----	0g	-----	-----
1g	0	0,9361	1g	-2,6844	0,9361	1g	1,0682	0,9361
2g	0,6931	0,8722	2g	-1,2274	0,8722	2g	2,2930	0,8722
3g	1,0986	0,8083	3g	-0,3403	0,8083	3g	3,3975	0,8083
4g	1,3862	0,7444	4g	0,3173	0,7444	4g	5,3734	0,7444
5g	1,6094	0,6805	5g	0,8533	0,6805	5g	7,3475	0,6805

$$\theta = (m_{\text{acier}} - C_{\text{inh}}) / m_{\text{acier}}$$

C_{inh} = la concentration de l'inhibiteur g/l

m_{acier} = la masse de l'acier g

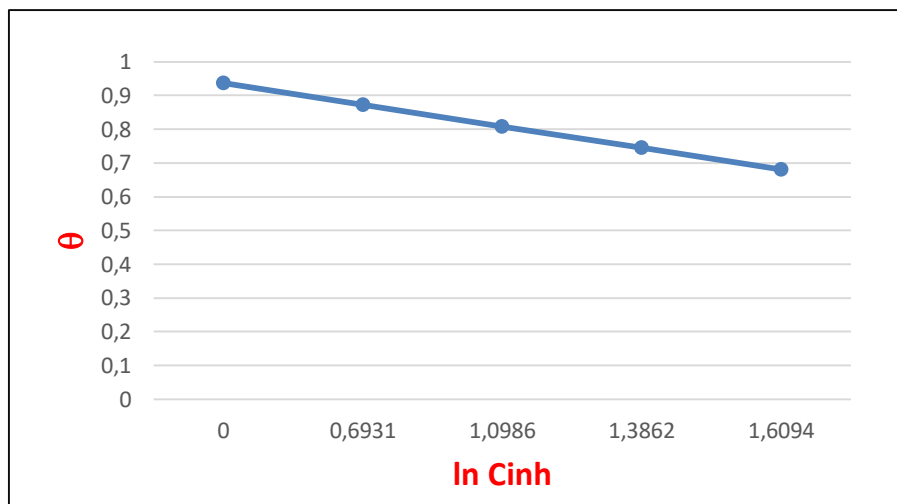


Figure. IV.8 : Isotherme de Temkin obtenu

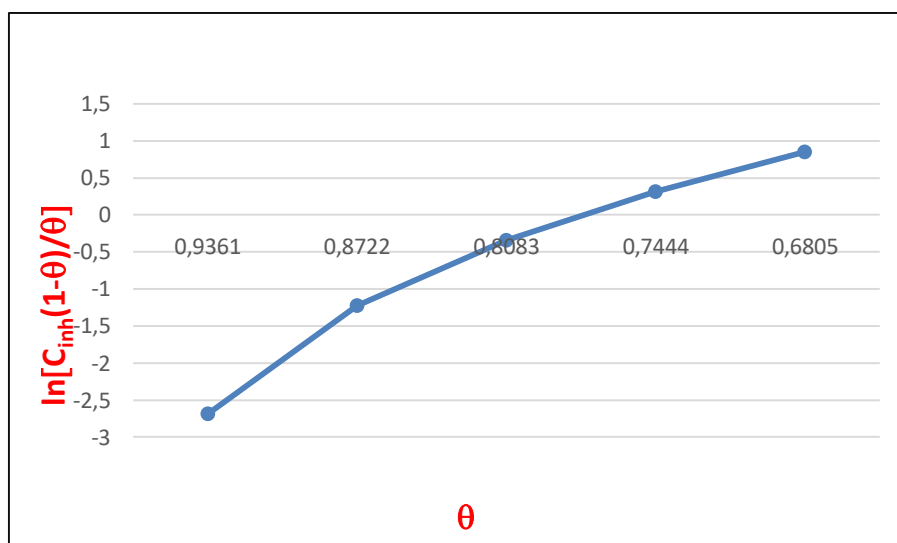


Figure. IV. 9 : Isotherme de Frumkin obtenu

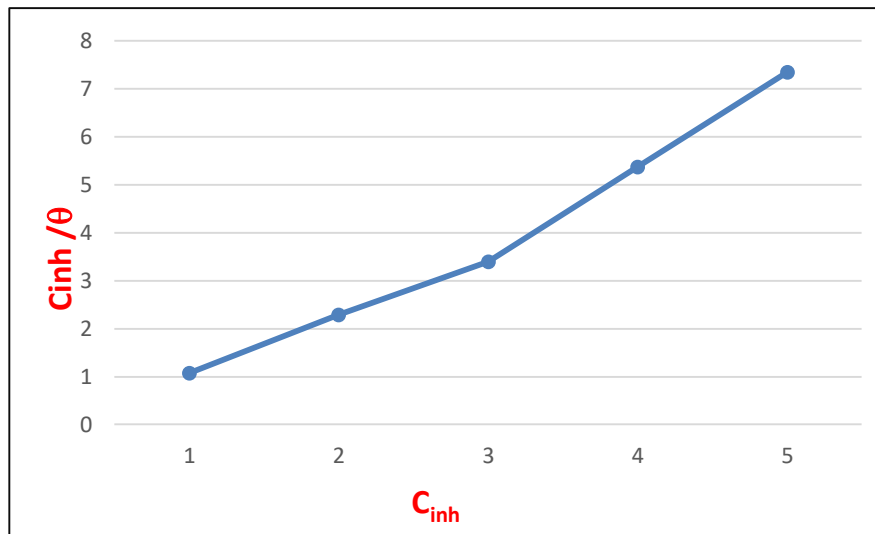


Figure. IV.10 : Isotherme de Langmuir obtenu

- **Interprétation**

Les représentations graphiques de Temkin, Frumkin et Langmuir montrent que les isothermes tracées sont sous forme de droites avec des pentes différentes. Le coefficient de corrélation R^2 a été utilisé pour choisir l'isotherme convenable. On remarque que la valeur du coefficient de corrélation linéaire pour l'isotherme de Langmuir est très proche de 1 ($R^2 = 0.9988$) ceci indique que l'adsorption de l'inhibiteur sur la surface d'acier C 1020 en milieu NaCl 5% est obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

On constate que l'inhibition de la corrosion est due à la formation d'une mono couche à la surface métallique.

IV.3.2. Isotherme d'adsorption et paramètre thermodynamique dans le milieu H₂SO₄ 5% avec inh

Tableau IV.7 : Les paramètres nécessaires pour tracer l'isotherme d'adsorption pour l'acier C1020 dans H₂SO₄ 5% avec inh

Modèle de Temkin			Modèle de Frumkin			Modèle de Langmuir		
$C. K_{ads} = \exp(-2a\theta)$			$C. K_{ads} = \left(\frac{\theta}{1-\theta}\right) \cdot \exp(2a\theta)$			$\frac{c}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + c$		
C inh	Ln C inh	Θ	C inh	Ln [C inh (1- Θ)/ Θ]	Θ	C inh	C inh/ Θ	Θ
0g	-----	-----	0g	-----	-----	0g	-----	-----
1g	0	0,9452	1g	-2,8477	0,9452	1g	1,0579	0,9452
2g	0,6931	0,8905	2g	-1,4027	0,8905	2g	2,2459	0,8905
3g	1,0986	0,8357	3g	-0,5279	0,8357	3g	3,5898	0,8357
4g	1,3862	0,7810	4g	0,1147	0,7810	4g	5,1216	0,7810
5g	1,6094	0,7262	5g	0,6340	0,7262	5g	6,8851	0,7262

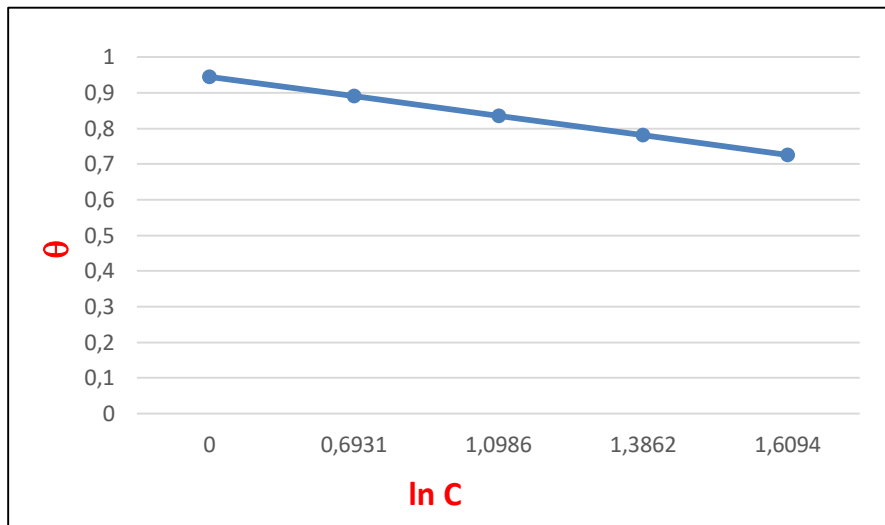


Figure. IV. 11. Isotherme de Temkin obtenu

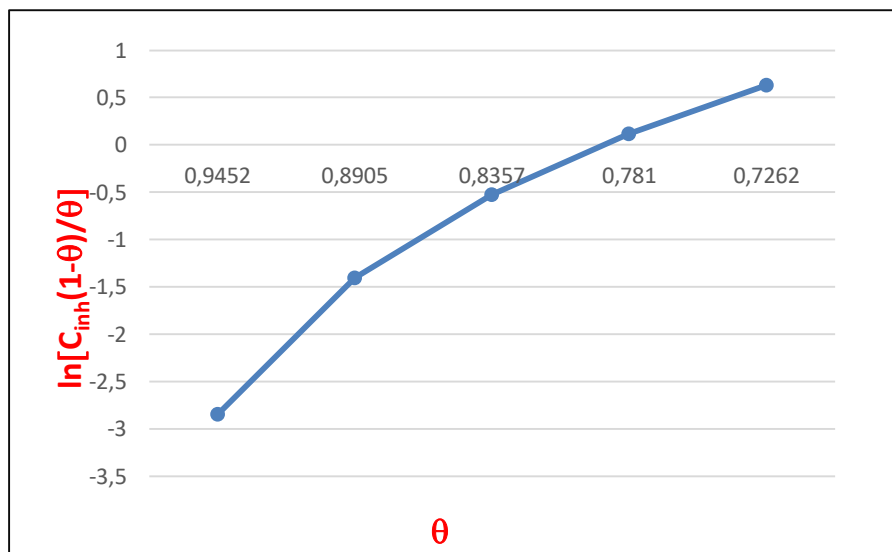


Figure. IV. 12. Isotherme de Frumkin obtenu

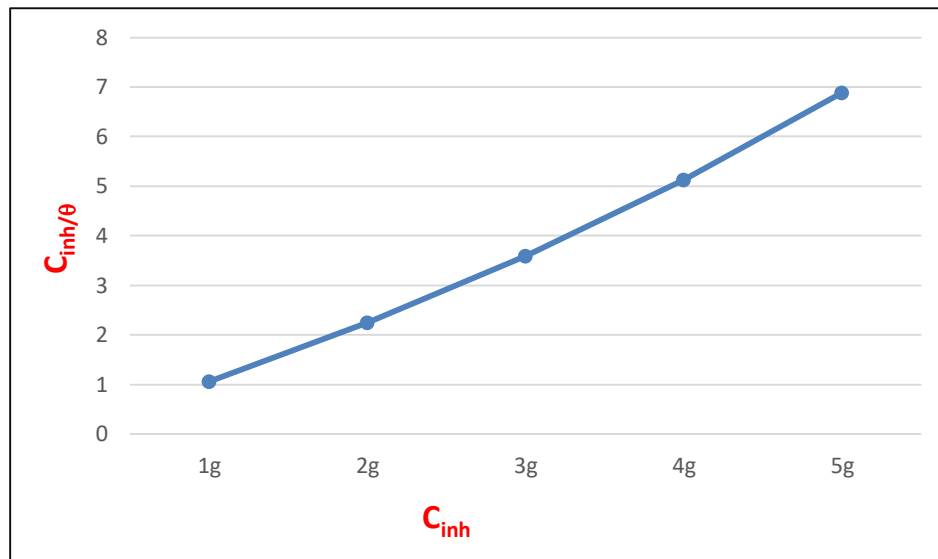


Figure. IV.13. Isotherme de Langmuir obtenu

- **Interprétation**

Les représentations graphiques de Temkin, Frumkin et Langmuir montrent que les isothermes tracées sont sous forme de droites avec des pends différentes. Le coefficient de corrélation R^2 a été utilisé pour choisir l'isotherme convenable. On remarque que la valeur du coefficient de corrélation linéaire pour l'isotherme de Langmuir est très proche de 1 ($R^2 = 0.9988$) ceci indique que l'adsorption de l'inhibiteur sur la surface d'acier C 1020 en milieu H_2SO_4 5% est obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

On constate que l'inhibition de la corrosion est due à la formation d'une monocouche à la surface métallique.

- **Interprétation Générale**

Le mécanisme d'inhibition dans les deux milieux testés sur l'acier C 1020 ce fait selon le modèle de Langmuir.



conclusion
générale

Conclusion générale

Plusieurs méthodes sont disponibles pour empêcher ou retarder la corrosion des matériaux métalliques, l'utilisation des inhibiteurs est l'une des meilleures techniques qui assure leur protection lorsqu'ils sont en contact avec des milieux très agressifs.

L'objectif principal de ce travail est de proposer une nouvelle voie d'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone (C1020) par l'utilisation d'un inhibiteur naturelle biodégradable, écologique, non toxique, peu onéreuse et présente une disponibilité abondante, et d'étudier leurs propriétés. Cet inhibiteur organique est de type de plante eucalyptus globulus. Nous avons étudié le comportement de l'acier dans les milieux agressifs acide H_2SO_4 5% et NaCl 5% seuls, ainsi que les facteurs qui influencent à la vitesse de corrosion de l'acier, notamment les concentrations de l'inhibiteur et le temps d'immersion.

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé la méthode gravimétrique qui base à la perte de poids. Les résultats obtenus montrent que la vitesse de corrosion diminue avec l'augmentation du temps d'immersion et aussi avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur ; nous avons constaté que l'efficacité inhibitrice atteint une valeur maximale dans le milieu H_2SO_4 d'environ de 88,27% et 98,96% et dans le milieu NaCl d'environ de 84,38% et 90,15%.

Après les tests graphiques des différents modèles : Temkin, Frumkin et Langmuir, à différentes concentrations de l'inhibiteur pendant 3h, 72h et à température ambiante, les résultats obtenues montrent que l'isotherme d'adsorption de l'inhibiteur sur la surface d'acier C1020 en milieu NaCl 5% et H_2SO_4 5% sont plus proche à l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Ce qui indique que l'inhibition de la corrosion est due à la formation d'une mono couche à la surface métallique.

En fin nous souhaiterons que cette étude contribue d'une manière ou d'une autre à la valorisation des produits naturels en tant qu'inhibiteurs biodégradables, ces derniers présentent un intérêt économique important à l'heure où les inhibiteurs chimiques synthétisés sont toxiques et très coûteux.