

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



UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 03
FACULTÉ DE GÉNIE DES PROCÉDÉS
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT

N° d'ordre :... ..

Série :... ..

Mémoire

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
EN GÉNIE DES PROCÉDÉS
OPTION : GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT

ÉTUDE EXPERIMENTALE DE L'EFFICACITE D'UN INHIBITEUR VERT POUR LA PREVENTION DE LA CORROSION DANS LES CANALISATIONS DE TRANSPORT

Présenté par :

Amira Guenifa
Houneida Sidemou
Nour Elhouda Nouioua
Hayem Boucetta

Dirigé par :

Dr. F.Z. Benlahreche - Nouicer

MCA

Année universitaire
2024-2025
Session : Juin

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

INTRODUCTION GENERALE.....1

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉ SUR LA CORROSION.

I.1 INTRODUCTION.....	3
I.2 DEFINITION DE LA CORROSION.....	3
I.3 MECANISME DE LA CORROSION.....	3
I.4 TYPE DE CORROSION	4
I.4.1 Corrosion généralisée uniform.....	4
I.4.2 Corrosion localisée.....	5
I.4.2.1 Corrosion par piquûre.....	5
I.4.2.2 Corrosion et dissolution sélective.....	6
I.4.2.3 Corrosion galvanique.....	6
I.4.2.4 Corrosion caverneuse.....	7
I.4.2.5 Corrosion sous contrainte et fatigue-corrosion.....	7
I.4.2.6 Corrosion par frottement.....	7
I.4.2.7 Corrosion bactérienne.....	8
I.4.2.8 Corrosion inter-cristalline.....	9
I.4.2.9 Corrosion par érosion (Érosion Corrosion).....	10
I.5 MILIEUX CORROSIFS.....	10
I.6. ACIER DOUX COMME MATERIAU DE REFERENCE.....	12
I.7. METHODES D’EVALUATION DE LA CORROSION.....	13
I.7.1 Méthode gravimétrique (perte de masse).....	13
I.7.2 Méthodes électrochimiques.....	13
I.7.2.1 Polarisation potentiodynamique (PDP).....	14
I.7.2.2 Spectroscopie d’impédance électrochimique (EIS).....	15

CHAPITRE 2: PROTECTION DE LA CORROSION PAR INHIBITION.

II.1 INTRODUCTION.....	16
II.2 PREVENTION PAR UN CHOIX JUDICIEUX DU MATERIAU.....	16
II.3 PREVENTION PAR UNE FORME ADAPTEE DE LA PIECE.....	17
II.4 PROTECTION PAR REVETEMENTS.....	18
II.4.1 Revêtement métallique.....	18
II.4.1.1 Revêtements anodiques.....	18
II.4.1.2 Revêtements cathodiques.....	18
II.4.2 Revêtement inorganique non-métallique.....	19
II.5 PROTECTION ELECTROCHIMIQUE.....	20
II.5.1 Protection cathodique.....	20
II.5.1.1 Protection par anode sacrificielle.....	21
II.5.1.2 Protection par courant imposé.....	22
II.5.2 Protection anodique.....	23
II.6 PROTECTION PAR INHIBITEUR DE CORROSION.....	23
II.6.1 Définition.....	23
II.6.2 Utilisations industrielles courantes.....	24
II.6.3 Classes d'inhibiteurs.....	25
II.6.3.1 Classement selon leur composition chimique.....	26
II.6.3.1.1 Inhibiteurs organiques.....	26
II.6.3.1.2 Inhibiteurs inorganiques (minéraux).....	26
II.6.3.2 Classement selon la nature électrochimique du processus	26
II.6.3.2.1 Inhibiteurs anodiques.....	26
II.6.3.2.2 Inhibiteurs cathodiques.....	27
II.6.3.2.3 Inhibiteurs mixtes.....	27
II.6.3.3 Classement selon leur mode d'action.....	28
II.6.3.3.1 Inhibiteurs d'adsorption.....	28
II.6.3.3.2 Inhibiteurs passivants.....	29
II.6.4 Mécanismes et principes d'action d'inhibiteur.....	30
II.6.4.1 Adsorption des inhibiteurs.....	30
II.6.4.1.1 Isotherme de Langmuir.....	31

II.6.4.1.2 Isotherme de Temkin.....	31
II.6.4.1.3 Isotherme de Frumkin.....	32
II.6.4.1.4 Isotherme de Freundlich.....	32
II.6.4.2 Influence de la température sur l'inhibition de corrosion.....	32
II.6.4.2.1 Energie libre d'adsorption.....	33
II.6.4.2.2 L'enthalpie ΔH_a et l'entropie ΔS_a	33
II.6.4.3 Efficacité d'un inhibiteur de corrosion.....	34
II.7 INHIBITION DE LA CORROSION DES METAUX PAR DES SUBSTANCES NATURELLES.....	35
II.7.1 Principaux inhibiteurs organiques utilisés en milieu acide.....	39
II.7.1.1 Composés organiques azotés.....	39
II.7.1.2 Composés organiques soufrés.....	40
II.7.1.3 Composés organiques oxygénés.....	40
 CHAPITRE 3 : MATÉRIELS, MILIEUX ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES	
III.1 INTRODUCTION.....	41
III.2 SUBSTRAT METALLIQUE.....	41
III.3 MILIEUX DE CORROSION (milieux d'étude).....	43
III.4 PREPARATION DE LA SOLUTION INHIBITRICE.....	44
III.4.1 Extraction de l'huile des graines d'Hibiscus sabdariffa par Soxhlet.....	44
III.4.2 Extraction hydro-alcoolique par macération chauffée.....	46
III.4.3 Préparation des solutions inhibitrices.....	47
III.5 TECHNIQUE D'ETUDE (METHODE GRAVIMETRIQUE).....	47
III.5.1 Étude de l'effet du temps d'immersion.....	48
III.5.2 Étude de l'effet de la concentration de l'inhibiteur.....	49
III.5.3 Étude de l'effet de la température.....	49
 CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.	
IV.1 INTRODUCTION.....	51
IV.2 ÉTUDE DANS L'EAU SYNTHETIQUE.....	52
IV.2.1 Effet du temps d'immersion sur la vitesse de corrosion sans inhibiteur.....	52
IV.2.2 Effet de la concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion.....	53
IV.2.3 Évaluation de l'efficacité inhibitrice de l'extrait naturel.....	55

IV.2.4 Effet de la température sur l'efficacité de l'inhibiteur.....	56
IV.3 ÉTUDE DANS LE MILIEU ACIDE.....	65
IV.3.1 Effet du temps d'immersion sur la vitesse de corrosion en milieu acide.....	65
IV.3.2 Effet de la concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion.....	66
IV.3.3 Évaluation de l'efficacité inhibitrice de l'extrait naturel dans le milieu acide ...	68
IV.3.4 Effet de la température sur l'efficacité de l'inhibiteur dans un milieu acide.....	70
CONCLUSION GENERALE.....	76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	78

Résumés

Résumé :

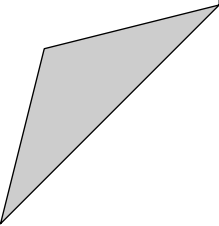
Ce travail porte sur l'étude de l'efficacité anticorrosive d'un inhibiteur naturel extrait des graines d'*Hibiscus sabdariffa*, appliqué à la protection de l'acier ASTM A53 dans deux milieux corrosifs : une solution d'eau synthétique simulant des conditions réelles de transport d'eau, et un milieu acide à pH 2,9. L'approche expérimentale adoptée repose principalement sur des tests gravimétriques permettant de quantifier la vitesse de corrosion en l'absence et en présence de l'inhibiteur, selon différents paramètres : temps d'immersion, concentration de l'extrait et température.

Les résultats obtenus montrent que l'extrait végétal exerce une action inhibitrice notable, avec une efficacité maximale atteinte pour une concentration optimale de 450 ppm dans l'eau synthétique et 600 ppm dans le milieu acide. L'étude de l'effet de la température a révélé une diminution de l'efficacité avec l'augmentation de la température, traduisant un processus d'adsorption physique.

Les données expérimentales ont été modélisées à l'aide de différentes isothermes d'adsorption (Langmuir, Temkin, Freundlich et Frumkin), mettant en évidence une bonne conformité avec l'isotherme de Langmuir. Les paramètres thermodynamiques calculés, notamment l'énergie libre standard d'adsorption ($\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$), ont permis de confirmer la nature spontanée du processus d'adsorption de l'inhibiteur sur la surface de l'acier.

Ce travail met en évidence le potentiel de l'*Hibiscus sabdariffa* comme inhibiteur de corrosion écologique et efficace, et ouvre des perspectives intéressantes pour le développement de formulations naturelles de protection des métaux dans les systèmes de transport d'eau ou en milieux acides.

Mots-clés : Corrosion, Acier ASTM A53, Inhibiteur naturel, *Hibiscus sabdariffa*, Adsorption, Isothermes, Thermodynamique, Milieu acide, Eau synthétique.



Abstract

This study investigates the anticorrosive efficiency of a natural inhibitor extracted from *Hibiscus sabdariffa* seeds for the protection of ASTM A53 steel in two corrosive environments: a synthetic water solution simulating real water transport conditions, and an acidic medium with a pH of 2.9. The experimental approach is based primarily on gravimetric measurements to evaluate the corrosion rate in the absence and presence of the inhibitor, under varying conditions of immersion time, inhibitor concentration, and temperature.

The results revealed a significant inhibitory effect of the plant extract, with maximum inhibition efficiency observed at optimal concentrations of 450 ppm in synthetic water and 600 ppm in the acidic medium. The influence of temperature showed a decrease in efficiency with increasing temperature, suggesting a physical adsorption mechanism.

The experimental data were modeled using different adsorption isotherms (Langmuir, Temkin, Freundlich, and Frumkin), with a good fit obtained with the Langmuir model. Thermodynamic parameters, particularly the standard free energy of adsorption (ΔG^0_{ads}), confirmed the spontaneous nature of the inhibitor's adsorption onto the steel surface.

This work highlights the potential of *Hibiscus sabdariffa* as a green, eco-friendly corrosion inhibitor and offers promising prospects for the development of natural protective formulations for metals in water transport systems and acidic environments.

Keywords: Corrosion, ASTM A53 steel, Natural inhibitor, *Hibiscus sabdariffa*, Adsorption, Isotherms, Thermodynamics, Acidic medium, Synthetic water.

الملخص

يتناول هذا العمل دراسة فعالية مثبت طبيعي للتآكل مستخلص من بذور الكركديه (*Hibiscus sabdariffa*)، لحماية الفولاذ ASTM A53 في وسطين مسببين للتآكل: محلول ماء اصطناعي يحاكي ظروف نقل المياه الحقيقية، ووسط حمضي ذو pH يساوي 2.9. اعتمد النهج التجريبي أساسًا على اختبارات وزنية (طريقة الجرافيمترية) لقياس معدل التآكل في غياب وحضور المثبط، تحت تأثير عدة متغيرات مثل مدة الغمر، تركيز المستخلص، ودرجة الحرارة.

أظهرت النتائج أن المستخلص النباتي له تأثير مثبت معتبر، حيث بلغت الفعالية القصوى عند تركيز مثالي قدره 450 جزء في المليون في الماء الاصطناعي، و600 جزء في المليون في الوسط الحمضي. كما بينت دراسة تأثير درجة الحرارة أن الفعالية تنخفض مع ارتفاعها، مما يشير إلى أن عملية الامتزاز تتم بطريقة فيزيائية.

تمت معالجة البيانات التجريبية باستخدام عدة نماذج امتزاز (Langmuir، Freundlich، Temkin، Frumkin)، وأظهرت النتائج توافقًا جيدًا مع نموذج Langmuir. كما تم حساب المعاملات الثرموديناميكية، لا سيما طاقة جيبس الحرة للامتزاز (ΔG^0_{ads})، مما أكد الطابع التلقائي لامتزاز المثبط على سطح الفولاذ.

تبرز هذه الدراسة الإمكانيات الواعدة لمستخلص الكركديه كمثبت تآكل طبيعي وبيئي فعال، وتفتح آفاقًا مستقبلية لتطوير تركيبات طبيعية لحماية المعادن في أنظمة نقل المياه أو الأوساط الحمضية.

الكلمات المفتاحية:

التآكل، فولاذ ASTM A53، مثبت طبيعي، الكركديه، الامتزاز، النماذج الامتزازية، الثرموديناميكا، وسط حمضي، ماء اصطناعي.