



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi TEBESSI-Tébessa



Facultés des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département: Science de la matière

MEMOIRE DE MASTER

Domaine: Science de la matière

Filière: Chimie

Option: Chimie organique

Thème

Etude chimique et électrochimique de l'inhibition de la corrosion de l'acier grade B de l'extrait de la plante *Unula viscosa* dans le milieu HCl1M

Présenté par:

GUEDRI Yousra

Devant le jury:

HARKATI Brahim	M.C.A	Président
LIFA Said	M.A.A	Examineur
ELHASSASNA Souhir	M.A.A	Rapporteur

Date de soutenance: 25_06_2019

Année universitaire : 2018/2019

تسبة في 07-07-2019

الطالبة

قدري يسري

الموضوع : تأخذ بتصحيح المذكورة

أشكركم بشرفي أنا الطالبة قدري يسري لجنة المناقشة

أذنه في تصحيح الأخطاء المطروحة من طرفكم للمذكورة التصحيح

اجنوا :

Etude chimique et electro chimique de l'inhibition de la
Corrosion de l'acier grade B de l'extrait de la plante
Imula viscosa dans la milieu HCl 1M.

وتذكرا

الأستاذ المحمدي

ليقة السيد



الأستاذ الرقيدي

حرثاتي ابراهيم



الأستاذة الموضرة

الحسانة سمير





Déclaration sur l'honneur de non-Plagiat
 (À joindre obligatoirement au mémoire; Remplic et signée)



Je soussigné(e).

Nom, prénom: *Emadine Youssouf*

N° de carte d'étudiant: *13 / 34019831*

Régulièrement inscrit (e) en **Master** au **Département Sciences de la Matière**

Année universitaire: **2018/2019**

Domaine: **Sciences de la matière**

Filière: **Chimie**

Spécialité: *Organique*

Intitulé du mémoire: *étude chimique et électrochimique de l'inhibition de la corrosion de l'acier grade B de l'extrait de la plante I nula viscosa*

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie également que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article, ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Sanctions en cas de plagiat prouvé:

L'étudiant sera convoqué devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité du plagiat sont:

- L'annulation du mémoire avec possibilité de le refaire sur un sujet différent.
- L'exclusion d'une année du master *04*
- L'exclusions définitive.



*المجلس الشعبي البلدي
 ويتفويض
 المالك نجود
 متصرف إقليمي*

Tébessa, le: *04 - 07 - 2019*

Signature de l'étudiant (e):

[Signature]

Abstract

The plant *Inula viscosa* known as Magarmane in Algeria is a medicinal plant of the Asteracea family, it is widespread in the Mediterranean basin has many medical uses the treatment of wounds, diabetes and calming the pain rheumatism.

The objective of this work is to study the action corrosive of BuOH inhibitory phase of *Inula viscosa* plant on steel corrosion API 5 L Gr – B.

Finally, the result inhibition efficiency decreases with increasing temperature and increases as the added concentration of extract are increased. The extract acts as a mixed inhibitor.

Keywords: *Inula viscosa*, **Extrait, inhibitor, corrosion...**

Résumé

La plante *Inula viscosa* connue sous le nom de Makermame est une plante médicinale, de la famille des astéracées, répandue dans le bassin méditerranéen .et a de nombreuses utilisations médicales pour le traitement des plaies, du diabète et Calmant les douleurs rhumatismales.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'action inhibitrice de la phase BuOH de la plante Unula viscosa sur la corrosion de l'acier API 5 L Gr – B.

Les résultats de la partie gravimétrie obtenus montrent que l'efficacité de l'inhibition diminue avec l'augmentation de la température et augmente avec la concentration.

Les résultats de la partie électrochimique obtenus montrent que l'efficacité de l'inhibition diminue avec l'augmentation de la température et augmente avec la concentration, dans ces conditions, l'extrait se comporte comme un inhibiteur mixte.

Mots clés : *Inula viscosa*, Extrait, Inhibition, corrosion.

التلخيص

نبتة *Inula viscosa* المعروفة في الجزائر باسم المكرمان وهي نبتة طبية من عائلة Astéracée تنتشر في حوض البحر الابيض المتوسط ولها استعمالات طبية منها علاج الجروح ومرض السكر و تهدئة الام الروماتيزم.

يهدف هذا العمل المتواضع الى دراسة الفعل المثبط للطور BuOH ضد تآكل الحديد، وقد بينت نتائج الدراسة الكهروكيميائية التي تم الحصول عليها ان فعالية التثبيط تنقص بزيادة درجة الحرارة و تزداد مع تركيز لطور البيتانول كما ان هذا الاخير يتصرف مثل مثبط مختلط.

الكلمات المفتاحية: المستخلص، تآكل الحديد، التثبيط، *Inula viscosa*

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

Ma mère et mon père qui me sont très chers, Mes frères : Amar et Fouad, Mes sœurs : Mawada, Ranime, et tous la famille sur tous ma grande mère Tibr et mon oncle Ferhat et mes amies nina,wada, naho,wada,khaoula ,samona ,kamilia, zaynab et mes enseignants et tous ceux qui ont participé de près ou de loin afin de réaliser cette recherche scientifique.

Yousra

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé ,la force et le courage afin d'achever ce travail.

Je remercie très sincèrement **Madame. El hassasna Souhir**, d'avoir accepté de m'encadrer, pour son suivi permanent, ses conseils judicieux et l'aide constante qu'elle m'a prodigué au cours de l'élaboration de ce travail.

Mes sincères remerciements s'adressent à **Dr. Harkati Brahim** qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

J'adresse toute ma reconnaissance à **Mr. Lifa Said** pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Je tiens à remercier et exprimer ma profonde gratitude à tous les professeurs de chimie organique, spécialement **Mr. Benahmed Merzoug**.

J'adresse mes meilleurs remerciements à tous mes amies et ma famille.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci

Sommaire

I- Généralité sur la corrosion : I.1. Introduction :	5
I.2. Définition la corrosion :	5
I.3. Facteurs provoquant la corrosion :	6
I.3.1. Facteurs définissant le mode d'attaque (facteurs liés au milieu): [5]	6
I.3.2. Facteurs liés au métal: [5].	6
I.3.3. Facteurs dépendants du temps: [5].	6
I.4. Les différentes formes de corrosion :	7
I.4.2. La corrosion galvanique :	7
I.4.3. La corrosion caverneuse :	7
I.4.4. La corrosion par piqures :	8
I.4.5. La corrosion inter granulaire :	8
I.4.6. La corrosion sélective :	9
I.4.7. Corrosion par érosion :	9
I.4.8. La corrosion sous contrainte :	10
I.5. Les différents types de corrosion :	10
I.5.1. La corrosion chimique :	10
I.5.2. La corrosion bactérienne :	11
I.5.3. La corrosion électrochimique :	11
I -6- Etude de la vitesse de corrosion :	11
I -6-1- L'équation de BUTLER-VOLMER :	12
Référence	13
II.1. Introduction :	15
II.2.1. Description botanique et Taxonomie de la plante :	15
II.2.2. Répartition géographique :	18
II.2.3. Utilisation :	18
II.2.4. Séchage:	18
II.2.5. Pulvérisation:	19
II.2.6. Distribution géographique:	20
II.2.7. Etude chimiques antérieures :	21
II.2.7.1. Les flavonoïdes :	21
II.2.7.2. Les sesquiterpènes lactones :	21

II.2.8. Les huiles essentielles :.....	21
Référence :.....	22
III.2. Méthodes d'études des inhibiteurs de corrosion :.....	28
III.2.2. Méthodes électrochimiques :.....	29
III.2.2.1. Suivi du potentiel en circuit ouvert :	30
III.2.2.2. Courbes de polarisation :.....	31
III.2.2.3. La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) :	31
Référence	33
IV.1. Rendements d'extraction :.....	35
Conclusion :	35
IV.2.a. Etude gravimétrique de synergie :	36
Conclusion :	38
IV.2. a.1. Isotherme d'adsorption :.....	39
IV.2.1.2. Mécanisme d'adsorption de l'EBAUV :	41
IV.2.1.3. Energie d'activation apparente :.....	42
IV.2.b. Etude électrochimique :	45
IV.2. b.1. Courbes de polarisation :	45
Référence	55
Conclusion :	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Taxonomie de la plante *Inula viscosa*

Tableau II.2 : Taxonomie d' *Inula viscosa*

Tableau. IV.1 : Phase obtenues après épuisement de la plante *Inula viscosa*

Tableau. IV.2 : Contenu de la plante *Inula viscosa* dans chaque phase

Tableau IV.3 : Influence de la concentration de la phase butanolique sur l'efficacité inhibitrice à différentes températures (20-50) °C.

Tableau IV.4: Coefficient de corrélation pour chaque modèle d'isotherme à différentes température

Tableau IV.5: Les paramètres thermodynamiques relatif à l'adsorption de l'EBAIV sur la surface de l'acier grade B.

Tableau IV.6: Paramètres thermodynamiques relatif à l'adsorption de l'EBAIV sur la surface de l'acier grade B.

Tableau IV.7 : Paramètre d'activation de la dissolution de l'acier dans la solution HCl 1M en absence et en présence de l'EBAIV à différentes températures.

Tableau IV.8 : Paramètres électrochimiques, taux de recouvrement et efficacité inhibitrice de l'acier B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à températures 20°C

Tableau IV.9: Paramètres électrochimiques de l'acier B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à températures 30°C.

Tableau IV.10 : Paramètres électrochimiques de l'acier B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à températures 40°C.

Tableau IV.11 : Paramètres électrochimiques de l'acier B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à températures 50°C.

Tableau IV.12: Résultat de l'essai d'impédance électrochimique et efficacité inhibitrice de l'acier B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à température 20°C.

Tableau IV.13: Résultat de l'essai d'impédance électrochimique et efficacité inhibitrice de l'acier B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à différentes température (30,40,50°C) .

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Schémas du phénomène de corrosion
Figure I.2 : Schéma récapitulatif de la corrosion
Figure I.3: Les principaux facteurs de la corrosion
Figure I.4: La corrosion uniforme
Figure I.5: La corrosion galvanique
Figure I.6 : La corrosion caverneuse
Figure I.7 : La corrosion par piqure
Figure I.8 : La corrosion inter granulaire
Figure I.9 : La corrosion Sélective
Figure I.10 : La corrosion par érosion
Figure I.11 : La corrosion sous contrainte
Figure I.12 : La corrosion chimique
Figure I.13 : La corrosion bactérienne
Figure I.14 : La corrosion électrochimique
Figure II.1 : Taxonomie d'<i>Inula viscosa</i>
Figure II.2 : Fruit d'<i>Inula Viscosa</i>
Figure II.3 : Fleur d'<i>Inula Viscosa</i>
Figure II.4: Feuille d'<i>Inula Viscosa</i>
Figure II.5 : Photo de la plante <i>Inula viscosa</i>
Figure II.6: Séchage de plante
Figure II.7: Broyage de la plante <i>Inula viscosa</i>
Figure II.8: distribution de l'<i>Inula</i>
Figure II.9: structure de flavonoïde
Figure III.1 : Extrait de la plante <i>Inula viscosa</i>
Figure III.2 : photo du dispositif des mesures électrochimiques
Figure. III.3: Différentes allures de potentiel en fonction du temps d'immersions
Figure III.4 : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel

Figure III.5: Exemple du tracé dans le plan complexe (plan de Nyquist).

Figure IV.1 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration de la plante *Inula viscosa* dans la solution à 1M HCl à différentes températures.

Figure IV.2 : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration de la plante *Inula viscosa* dans la solution à 1M HCl à différentes températures.

Figure IV.3 : L'isotherme d'adsorption de Freundlich de l'EBAIV sur la surface de l'acier garde B dans la solution HCl 1M à différentes températures.

Figure IV.4 : La variation de $\ln K_{ads}$ en fonction de l'inverse de la température

Figure IV.5 : La variation de logarithme de la vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de la température pour les différentes concentrations.

Figure IV.6: La variation du $\ln \frac{V_{corr}}{T}$ en fonction de $1/T$

Figure IV.7 : Présentation du tracé des courbes de polarisation en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 20°C.

Figure IV.8 : Présentation du tracé des courbes de polarisation en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 30°C.

Figure IV.9 : Présentation du tracé des courbes de polarisation en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 40°C.

Figure IV.10 : Présentation du tracé des courbes de polarisation en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 50°C.

Figure IV.11 : Présentation du tracé des courbes d'impédance en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à 20°C.

Figure IV.12 : Présentation du tracé des courbes d'impédance en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à 30°C.

Figure IV.13 : Présentation du tracé des courbes d'impédance en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à 40°C

Figure IV.14 : Présentation du tracé des courbes d'impédance en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à 50°C.

Liste des abréviations

[1], [2],...	Désignation mentionnée dans la partie bibliographique
pH	Potentiel d'hydrogène
Hcl	Acide chlorhydrique
1M	Une fois molaire
K	Kelvin
S	Spectroscopie d'Impédance Electrochimique
C_{bu}	Concentration de la phase butanolique
C_{ac}	Concentration de la phase acetate
Ph.	Phase
O, N, S	Oxygène, azote, soufre.
n-BuOH	Butanol
Eocp	Potentiel à circuit ouvert
SIE	Spectroscopie d'impédance électrochimique
CEE	Circuit électrique équivalent
aq	Aqueuse
EBAIV	Extrait butanolique et acétate d'éthyle de la plante <i>Inula viscosa</i>
Hz	Hertz.

Liste de symboles

Im (Z)	Partie imaginaire de l'impédance	$\Omega.cm^2$
Re (Z)	Partie réelle de l'impédance	$\Omega.cm^2$
i_{corr}^{inh}	les densités de courant de corrosion présence de l'extrait	
i_{corr}^0	les densités de courant de corrosion sans de l'extrait	
βa	Coefficient de Tafel cathodique	V/décade
	Coefficient de Tafel anodique	V/décade
EI	Efficacité inhibitrice	%
V_{corr}^{inh}	La vitesse de corrosion en présence de l'inhibiteur	$mg/cm^2.h$
θ	Le taux de recouvrement	-
V_{corr}^0	La vitesse de corrosion en absence de l'inhibiteur	$mg/cm^2.h$
S	Surface totale de l'échantillon	cm^2
n	valence du métal (nombre d'oxydation)	
t	temps d'immersion d'échantillon dans la solution	h
m_2	masse de l'échantillon après l'essai	mg
m_1	masse de l'échantillon avant l'essai	mg
T	Température	C°
C	Concentration	(mg/l)ou(ppm)
K_{ads}	Constante d'équilibre de la réaction	(l/mg)
ΔS°_{ads} KJ/mol	L'entropie standard d'adsorption	
ΔH°_{ads} KJ/mol	L'enthalpie standard d'adsorption	
ΔG°_{ads} KJ/mol	Energie d'adsorption libre	
E_a	Energie d'activation	KJ/mol

<i>Rs</i>	La résistance de la solution	$\Omega.cm^2$
<i>Rtc</i>	La résistance de transfert de charges	$\Omega.cm^2$
<i>Cdc</i>	Capacité de la double couche	$\mu F/cm^2$
<i>v_c</i>	la vitesse de réaction	$mol / s.m^2$
<i>n</i>	valence du métal (nombre d'oxydation)	
<i>Z</i>	Impédance	
<i>F</i>	Constante de Faraday	$96500 C/ mol$
<i>i</i>	la densité de courant de transfert de charges	$A./m^2$
η	Surtension appliquée à l'électrode	(V) ($\eta = E_{app} - E_{eq}$).
α	le coefficient de transfert de charges	($0 < \alpha < 1$) .



Introduction



Introduction general

Introduction

La corrosion des métaux est un phénomène de dégradation sous l'effet oxydant de leur environnement. Cette corrosion affecte toutes les structures avec des éléments métalliques [1].

Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu corrosif, pour retarder la corrosion des matériaux. Il peut être affecté soit à une protection continue de la pièce (l'installation requiert alors une attention scrupuleuse), soit à une protection provisoire (notamment lorsque la pièce est particulièrement sensible à la corrosion ou lorsqu'elle est exposée à un milieu très agressif).

La plupart de ces inhibiteurs sont des composés organiques basés sur une combinaison d'atomes hétérogènes tels que S, O, N ... [2, 3] et présentent un bon effet inhibiteur.

Les acides sont la forme la plus largement utilisée de solutions agressives pour le décapage, le détartrage, le nettoyage industriel [4].

Des études récentes ont été menées sur les propriétés d'inhibiteur de corrosion dans les produits naturels d'origine végétale et il a été démontré qu'une grande majorité de ces produits présentaient une bonne efficacité de corrosion. [5-9].

L'acier doux est largement utilisé dans l'industrie en raison de ses propriétés physiques et mécaniques.

L'objectif principal de ce mémoire est l'étude chimique à partir d'un mélange de deux extraits de la plante *Inula viscosa* contre la corrosion de l'acier grade B en milieu acide chlorhydrique, et l'étude électrochimique de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* contre la corrosion de l'acier grade B en milieu acide chlorhydrique à différentes températures.

Cette recherche comprend quatre chapitres :

- Le premier chapitre consacré à un rappel bibliographique sur la corrosion.
- Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude bibliographique sur l'espèce *Inula viscosa*.
- Le troisième chapitre : une description du protocole expérimental.



Introduction general

- Le quatrième chapitre nous exposerons les résultats obtenus dans ce présent travail suivi par une discussion et un traitement de ces différents résultats.

Enfin nous finirons par une conclusion générale dont laquelle nous rapporterons l'ensemble des résultats et perspectives concernant l'étude des inhibiteurs de la corrosion des aciers en milieu acide.



Introduction general

Référence

- [1] F. Abdelali. Thèse de doctorat, université mentouri Constantine (2007).
- [2] Hmamou, D.B., et al., Investigation of corrosion inhibition of carbon steel in 0.5 M H₂SO₄ by new bipyrazole derivative using experimental and theoretical approaches. *Journal of environmental chemical engineering*, 2015. 3(3): p. 2031-2041.
- [3] Ramya, K., et al., Electrochemical and theoretical studies on the synergistic interaction and corrosion inhibition of alkyl benzimidazoles and thiosemicarbazide pair on mild steel in hydrochloric acid. *Materials Chemistry and Physics*, 2015. 149: p. 632-647.
- [4] Adewuyi, A., A. Gupfert, and T. Wolff, Succinyl amide gemini surfactant from *Adenopus breviflorus* seed oil: A potential corrosion inhibitor of mild steel in acidic medium. *Industrial crops and products*, 2014. 52: p. 439-449.
- [5] Ekpe, U., E. Ebenso, and U. Ibok, Inhibitory action of *Azadirachta indica* leaves extract on the corrosion of mild steel in H₂SO₄. *JW Afri. Sci. Assoc*, 1994. 37: p. 1330.
- [6] Ebenso, E. and U. Ekpe, Kinetic study of corrosion and corrosion inhibition of mild steel in H₂SO₄ using *Carica papaya* leaves extract. *W. Afri. J. Biol. Appl. Chem*, 1996. 41: p. 21-27.
- [7] Avwiri, G.O. and F. Igho, Inhibitive action of *Vernonia amygdalina* on the corrosion of aluminium alloys in acidic media. *Materials Letters*, 2003. 57(22-23): p. 37053711.
- [8] El-Etre, A., M. Abdallah, and Z. El-Tantawy, Corrosion inhibition of some metals using lawsonia extract. *Corrosion Science*, 2005. 47(2): p. 385-395.
- [9] El-Etre, A., Khillah extract as inhibitor for acid corrosion of SX 316 steel. *Applied Surface Science*, 2006. 252(24) : p. 8521-8525.

Chapitre 9

Généralité sur la corrosion



Généralité sur la corrosion

I- Généralité sur la corrosion :

I.1. Introduction :

Les métaux d'origine sont instables dynamiquement et ont tendance à revenir à leur état d'origine sous forme de sels, d'oxydes ou de composés. Ce phénomène se produit en présence d'humidité. En fait, la corrosion est un processus irréversible qui se produit en présence d'eau ou d'humidité. En contact avec le métal, ces facteurs conduisent à la corrosion. Ce dernier est un vaste domaine qui affecte tous les types de matériaux (métaux, céramiques, polymères) dans des conditions spécifiques (sel, acide, haute température ...).

La corrosion est un problème majeur et important en industries. En l'absence de traitement appropriété, le nombre de tonnes d'acier perdues chaque seconde dans le monde est en augmentation constante. Cette dégradation est la source de la faible présence de ressources naturelles. [1]

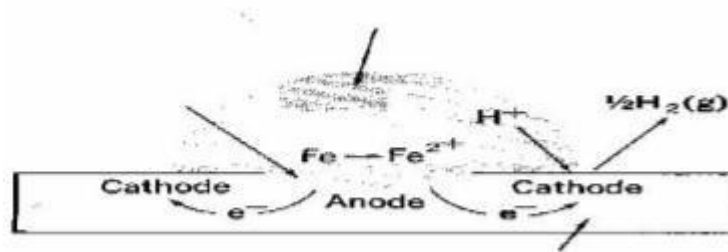


Figure I.1 : Schémas du phénomène de corrosion [2]

I.2. Définition la corrosion :

L'origine du mot corrosion provient du latin *corrodere*, qui signifie nécrose, pour attaquer. L'effet de la corrosion est sur tous les métaux. Elle résulte de réactions physico-chimiques conduisant à des modifications des propriétés des métaux souvent associés à une dégradation fonctionnelle de ces derniers. [3]

La corrosion est la dégradation chimique ou électrochimique de matériaux métalliques. Il s'agit en fait d'un phénomène dans lequel les minéraux ont tendance à retrouver leur état normal d'oxyde, de sulfate, de carbonate

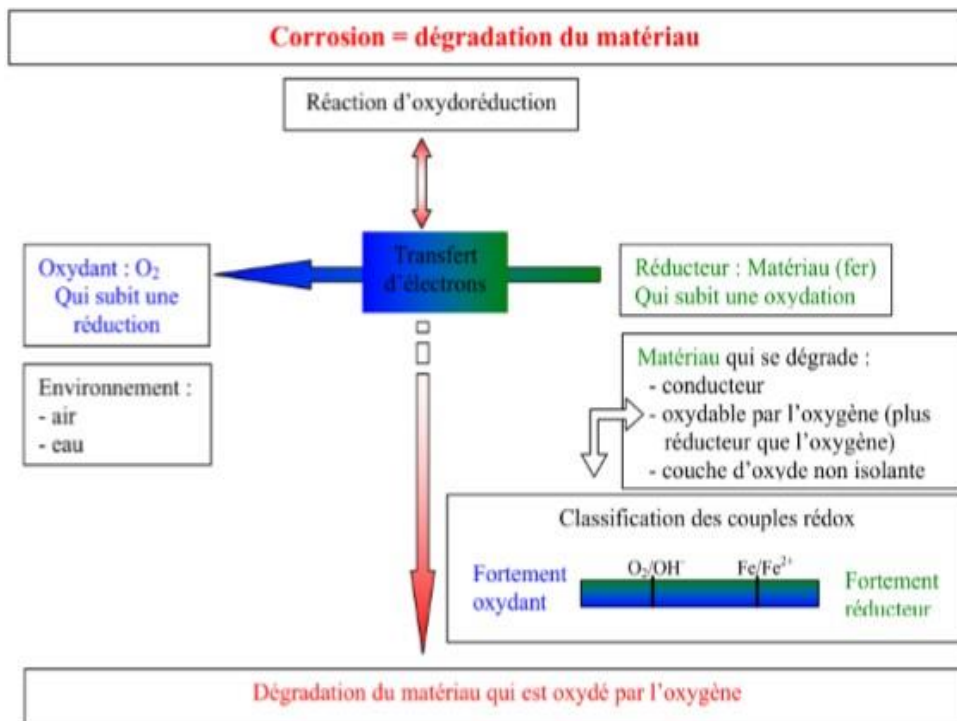


Figure I.2.: Schéma récapitulatif de la corrosion [4]

I.3. Facteurs provoquant la corrosion :

Trois groupes de facteurs sont susceptibles d'agir sur le processus de corrosion sont :

I.3.1. Facteurs définissant le mode d'attaque (facteurs liés au milieu): [5]

Ces facteurs :sont la concentration du réactif oxydant, la teneur en oxygène et autre gaz dissous, la resistivite du milieu, l'acidite du milieu, la temperature, la pression, la presence de bacteries et la vitesse d'ecoulement.

I.3.2. Facteurs liés au métal: [5]

Parmi les facteurs liés au métal sous; on cite l'homogeneite du metal, les impuretes dans le métal, le nombre de coordination, la noblesse du métal, la tendance à la passivation, les contraintes résiduelles internes et la nature du produit de corrosion.

I.3.3. Facteurs dépendants du temps: [5]

En fin, les facteurs dépendant du temps sont les suivants : la fatigue, la modification des dépôts protecteurs et la dégradation des revêtements protecteurs.



Généralité sur la corrosion

I.4. Les différentes formes de corrosion :

I-4-1- La corrosion uniforme : Est une Perte de matière sur toute la surface, ce type est produit par l'exposition du métal aux environnements acides. [6]



Figure I.3 La corrosion uniforme

I.4.2. La corrosion galvanique :

Aussi appelée corrosion bivalente, elle existe une composition d'une cellule électrochimique qui se produit entre la corrosion de deux métaux différents et le métal ayant subi la corrosion la plus négative subit une corrosion accélérée d'autres métaux. [7]

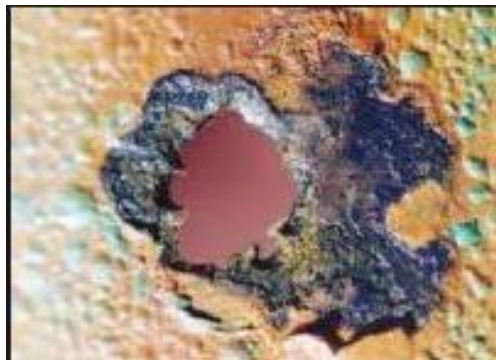


Figure I.4: La corrosion galvanique

I.4.3. La corrosion caverneuse :

Le processus de la corrosion caverneuse est proche de celui par pique. Il est généralement associé à la présence de petits volumes de solution stagnante dans des trous, sous des dépôts et dans des joints ou crevasses. Cette solution s'appauvrit en oxygène et s'acidifie [8].



Figure I.5: La corrosion caverneuse

I.4.4. La corrosion par piqures :

Cette forme de corrosion est particulièrement insidieuse. L'attaque se limite à des trous, très localisés et pouvant progresser rapidement en profondeur alors que le reste de la surface reste intacte.. [9]

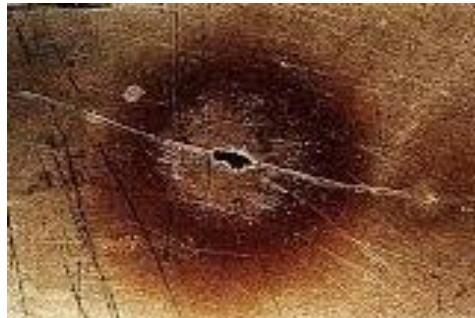


Figure I.6: La corrosion par pique

I.4.5. La corrosion inter granulaire :

Ce type de corrosion se produit à la limite, formant des fissures qui affaiblissent les propriétés mécaniques du métal. Certains types d'acier inoxydable et d'alliages (fer, chrome, ...) sont fortement affectés par ce type de corrosion qui en affaiblit considérablement la résistance mécanique. [8]



Figure I.7 : La corrosion inter granulaire

1.4.6. La corrosion sélective :

Est un alliage d'oxydation, résultant la formation d'une structure métallique poreuse. Ce type de dommage est plus dangereux en raison de l'improbabilité, la partie érodée ne semble pas avoir de sens, de sorte que sa résistance mécanique est grandement affaiblie. Il consiste en l'alliage d'un élément d'alliage sélectif, les autres éléments ne semblant pas affectés. Le metal deviant porous et perd sa résistance mécanique. [6]



Figure I.8 : La corrosion sélective

1.4.7. Corrosion par érosion :

La corrosion peut se produire lorsque la couche de corrosion sur la surface métallique est endommagée par la corrosion due au mouvement du liquide lui-même ou des particules solides qu'il contient. [9]



Figure I.9: La corrosion par érosion

I.4.8. La corrosion sous contrainte :

Est une fissure dans le métal résultant de la pression mécanique et de la réaction électrochimique. Dans la plupart des cas (galvanique, caverneuse, piqûre, etc.), la corrosion est provoquée par la formation du pieu corrosif. [7]



Figure I.10: La corrosion sous contrainte

I.5. Les différents types de corrosion :

La corrosion peut se multiplier à travers différents processus. [8, 10]

I.5.1. La corrosion chimique :

Se produit lors d'une interaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase gazeuse ou une phase liquide. N'a aucun revenu sur le passage de l'électricité. Il est très difficile de donner des exemples car ils s'accompagnent souvent d'une érosion électrochimique. [8, 10]

..... ..

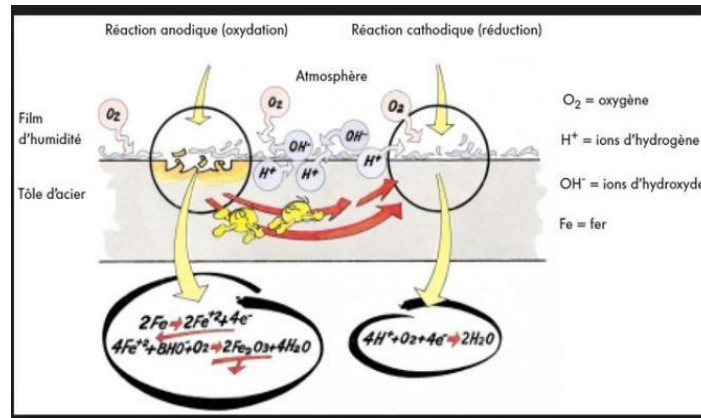


Figure I.11 : La corrosion chimique

I.5.2. La corrosion bactérienne :

Est une attaque de métal par les produits métaboliques de certains microorganismes. Ils sont souvent observés sur des canalisations enterrées et des structures en eau de mer.

La solution contre cette forme de corrosion est biologiquement, elle est injectée de produits bactéricides dans les milieux corrosifs. [11]

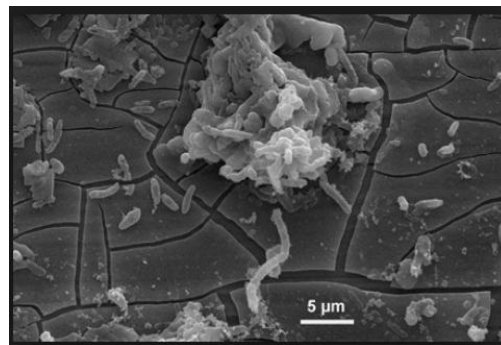


Figure I.12 : La corrosion bactérienne

I.5.3. La corrosion électrochimique :

Se produit quand il y a des changements dans le métal ou dans la solution de corrosion. Ces modifications déterminent la composition à la surface métallique de micro-anodes et de petites cathodes formant des micropiles. Les régions attaquantes appelées anodes et les zones appelées cathodes accueillent une ou plusieurs réactions de réduction. [11]



Généralité sur la corrosion

-Une demi-réaction d'oxydation :

()..... I.2

- Une demi-réaction de réduction :

() I.3

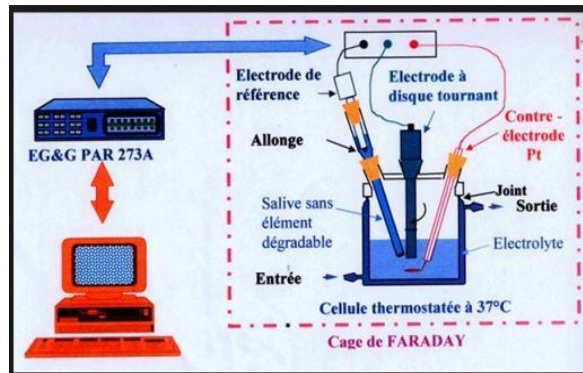


Figure I.13 : La corrosion électrochimique

I-6- Etude de la vitesse de corrosion :

La vitesse à laquelle le matériau se dissout et elle est importante paramètre à cet égard, elle indique que la perte d'épaisseur du matériau par unité de temps et de surface. La formule de la vitesse de corrosion [12] est :

= / I.4

=I.5

Où' : :masse de l'échantillon avant l'essai en mg.

: masse de l'échantillon après l'essai en mg.

S : surface totale de l'échantillon en .

t : temps d'immersion d'échantillon dans la solution en h.

: La vitesse de corrosion en absence de l'inhibiteur.



Généralité sur la corrosion

I-6-1- L'équation de BUTLER-VOLMER :

Dans le cas où les réactions à l'électrode sont limitées par le transfert de charges, l'équation de Butler-Volmer (I.2) donne une relation entre la surtension η étant définie comme l'écart entre le potentiel appliqué au système E et sa valeur à l'équilibre E_{corr} et l'intensité du courant [13] :

$$* \quad (-) \quad (() -) + \dots \dots \dots I.5$$

Avec :

i : densité de courant global (A.).

α : le coefficient de transfert de charges ($0 < \alpha < 1$).

n : valence du métal (nombre d'oxydation).

F : constante de Faraday (96500 c/mol).

R : constante des gaz parfaits (8,31J/ mol. K).

T : la température absolue (K).

η : surtension appliquée à l'électrode (V) ($\eta = E_{app} - E_{eq}$).



Référence

- [1] Stephen D. Cramer, Bernard S. Covino, Manuel ASM, volume 13A : Corrosion : principes de base, essais et protection, ASM International, 2003.
- [2] K. E. Heusler, D. Landolt and S. Trasatti, « Electrochemical corrosion nomenclature ». Pure. Appl. Chem.61 (1989)19-22.
- [3] EVANS U.R., J. Franklin 208 (1929), p. 45 cité dans " ROBIN J., Introduction aux méthodes électrochimiques, Édition MASSON et Cie (1967), 357 p. "
- [4] M. De Kesel - P. HAUTIER - B. TINANT - Université Catholique de Louvain.
- [5] P. OLAY GARTLAND, "Choosing the right positions for corrosion monitoring on oil and gas pipelines", Corr Ocean USA, Paper n°83, Nace, Houston,1998, pp83.
- [6] F. Dabosi, G. Beranger, B. Baroux, Corrosion localisées, les éditions de physique (Avenue du Hoggar, Zone industrielle de Courtaboeuf) 305(1987).
- [7] P. OLAY GARTLAND, "Choosing the right positions for corrosion monitoring on oil and gas pipelines", Corr Ocean USA, Paper n°83, Nace, Houston,1998, pp83.
- [8] CEFRACOR. Matériaux métalliques : phénomènes de corrosion, quatrième partie : les différentes formes de corrosion aqueuse. CEFRACOR 2003, pp.75-86
- [9] Corrosion Failureschapter 5, p332.
- [10] A. ZEGHLOUL. Mécanismes d'endommagement des structures métalliques, disponible sur le site : www.mim.univ-metz.fr/formations/documents/1/cours DMLuno.pdf, p 5-3.
- [11] K. Rouibah, « Contribution à l'étude du comportement électrochimique du couple galvanique acier au carbone/anodes de zinc dans l'eau de mer naturelle », mémoire de magistère (2003).
- [12] MARMI Hayat. Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs. MOHAMED KHIDER-BISKRA.Doctorat.10.2017.
- [13] C. Fiaud, C. Lemaitre, N. Pebere, « Inhibiteurs de corrosion », In : G. Beranger, H. Mazille, « Corrosion et anticorrosion (pratique industrielle) », Mécanique et ingénierie des Matériaux, « Lavoisier », Paris, Hermès Science Publications, (2002) 245-266.

Chapitre 99

*Description de la
plante*

Description de la plante



II. Étude botanique d'*Inula viscosa* :

II.1. Introduction :

Depuis que l'ancienne la plante a été largement utilisée en médecine traditionnelle et sous de nombreuses formes, des recherches phytochimique et la biologique ont été menées.

II.2. Etude botanique de la plante *Inula Viscosa* :

II.2.1. Description botanique et Taxonomie de la plante :

L'inula viscosa est une plante de longue date, de la famille des Astéracées. Cette plante verte a un parfum odorifant. [1,2]



Figure II.1: Un champ de *Dittrichia Inula viscosa*



Description de la plante

- La taille : Sa hauteur atteint de 0.5 à 1m [3]

- La tige : très ramifiée. Avec le temps, elle devient ligneuse et d'une couleur plus foncée à la base. Elle est recouverte d'un poil glanduleux, libérant une résine collante, à forte odeur (odeur de camphre), présente sur toute la plante. [1]

- La racine : forte, visqueuse, glanduleuse, odoriférante, peut atteindre jusqu'à 30 cm de long [4]

- Les feuilles : de taille moyenne (larges de 5 mm), denses, lancéolées, glanduleuses. Elles sont rattachées directement à la tige. [5]

- Les fleurs : regroupées en inflorescences, elles forment des grappes de capitules d'un diamètre entre 10-20 mm Elles sont de deux types : des fleurs jaune orange en tubes et des fleurs jaunes à pétales. Les premières (les tubulées) sont situées au centre du capitule et les secondes (les ligulées) à l'extérieur. [6,7]

Les fruits: sont des akènes (fruits secs) velus, un peu ovoïdes, sont surmontés par une petite aigrette jaunâtre de soies denticulées. [5]

Régné	Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Plante	Spermaphytes	Dicotylédones	Campunulales	Astéracées	Inula	<i>Inula viscosa</i>

Tableau II.1. : Taxonomie de la plante *Inula viscosa* [8,9]



Tableau II.2 : Taxonomie d'*Inula viscosa* [11]

Langue	Inula	Viscosa
Arab	الراسن	اللزوج
Grec	Inéo	Visqueuse [10]
Latin	Dittrichia	Viscosa



Figure II.2 : Fruit d'*Inula Viscosa* [2]



Figure II.3 : Fleur d'*Inula Viscosa*



Figure II.4: Feuille d'*Inula Viscosa*



Figure II.5 : Photo de la plante *Inula viscosa*

II.2.2. Répartition géographique :

Répandue dans tout le bassin méditerranéen, sur les sols salés, les prairies humides et les cours d'eau [12], largement répandue en Algérie dans les rocailles et les terrains argileux. [11]

II.2.3. Utilisation :

Inula viscosa est largement utilisée dans la pharmacopée traditionnelle marocaine. Unula est faite de propriétés médicinales [3] pour :

Calmant les douleurs rhumatismales, Antiseptique calmant, asséchant des voies respiratoires, antispasmodique respiratoire, expectorant, et cholérétique, bactéricide, antiviral, tonique, diurétique, le diabète, les plaies. [13,14]

II.2.4. Séchage :

La plante a été séchée à l'air libre, à l'abri de la lumière et de l'humidité pendant quelques jours.



Figure II.6: Séchage de plante

II.2.5. Pulvérisation:

Après séchage, la plante est broyée à l'aide d'un broyeur électrique.



Figure II.7: Broyage de la plante *Inula viscosa*



Description de la plante

II.2.6. Distribution géographique:

L'inula viscosa est commune dans tout le bassin Méditerranéen, ainsi qu'en l'Afrique du Nord [15] Elle est très répandue au Nord d'Algérie.

Les habitats typiques d'*Inula viscosa* sont les rivières asséchées et les champs abandonnés, les bords de routes, sentiers de randonnée, ou même des zones urbaines. Elle apparaît aussi sur les sols argileux et sableux [5] les côtes rocheuses ou dans des marécages naturels et autres zones humides. Elle exige de la lumière. *L'inula viscosa* se produit également dans des surfaces où les sols ont de hautes concentrations en magnésium et en azote. [16]

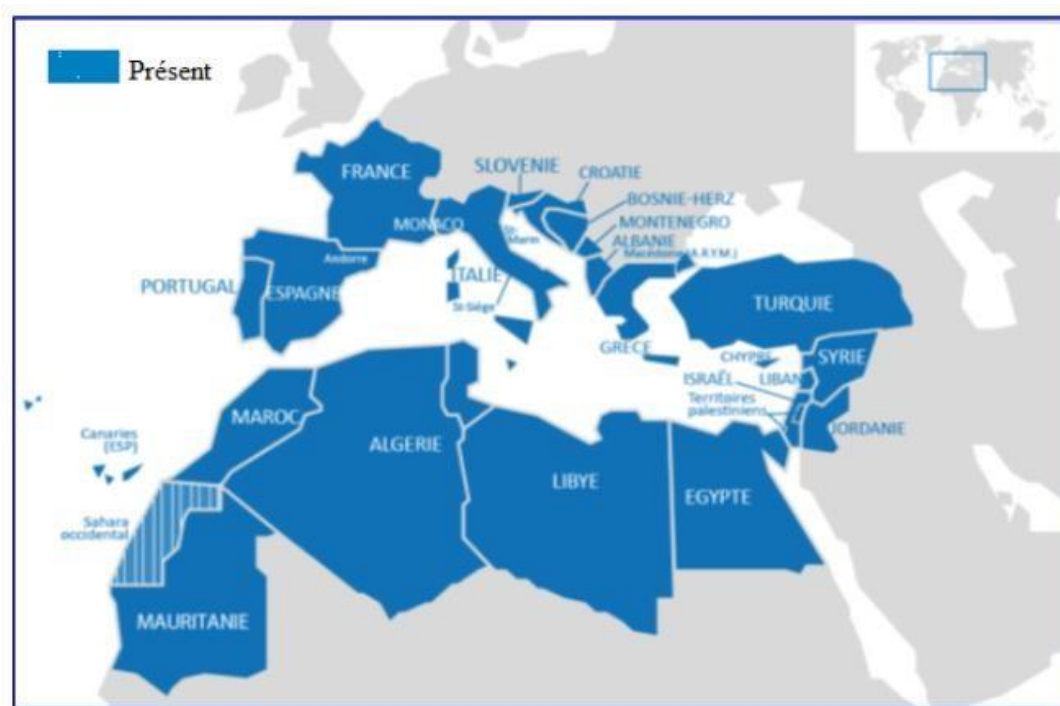


Figure II.8: Distribution de *Inula viscosa* [17]



Description de la plante

II.2.7. Etude chimiques antérieures :

Des travaux réalisés sur l'espèce *Inula viscosa* ont permis d'isoler des métabolites secondaires divers tels que les flavonoïdes, les sesquiterpènes.

II.2.7.1. Les flavonoïdes :

Le terme « flavonoïde » désigne une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols. Ils sont considérés comme les pigments quasiment universels des végétaux. Tous les flavonoïdes (plus de 4000) possèdent le même élément structural de base, à savoir l'enchaînement 2-phénylchromane. [18]

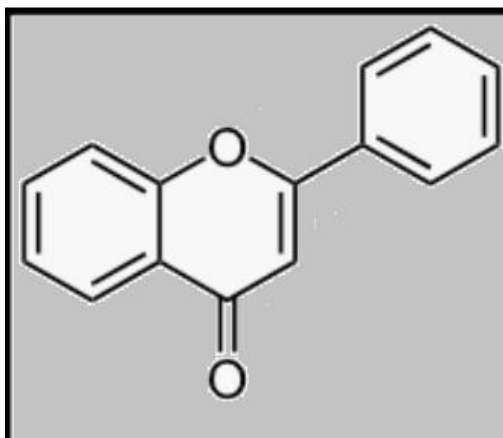


Figure II.9: Structure de flavonoïde

II.2.7.2. Les sesquiterpènes lactones :

La partie aérienne de *Inula viscosa* contient également des sesquiterpènes de la famille des lactones. [19]

II.2.8. Les huiles essentielles :

La plupart des composés dans huiles essentielles d'*Inula viscosa* sont :

(E)-nerolidol (19.75), -Eudesm-6-en-4 -ol (5.64), -Vetivone (3.60), -Eudesmol (2.68) et Caryophyllene oxide (2.57) [20].

L'extraction des huiles essentielles d'*Inula viscosa* par hydrodistillation a donnée :



Description de la plante

Les feuilles (0.35), les fleurs (0.37) [21].



Référence :

- [1] F. Quezel, S. Santa, Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Vol 1-2, Ed. CNRS, Paris France, (1962-1963).
- [2] Ciccarelli D., Garbari F., Pagni A.M., (2007) Glandular hairs of the ovary, a helpful character for Asteroideae (Asteraceae) taxonomy Ann. Bot. Fennici 44:1-7.
- [3] Benhammou N et Atik Bekkara F. (2005) -Contribution à l'étude du pouvoir antifongique de l'huile essentielle d'*Inula viscosa*, Laboratoire de produits naturels, Département de Biologie, Université Abou Bekr Belkaid BP 19, Imama Tlemcen.
- [4] Quezel, P., Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II, Ed. CNRS, Paris.
- [5] Bensegueni-Tounsi L. (2001) -Etude in vitro de l'effet antibactérien et antiphagocytique de : *Inula viscosa*-*Lawsonia inermis*- *Asphodelus microcarpus*- *Aloevera*- *Juniperus oxycedrus*, Thèse de Magistère en médecine vétérinaire. Option Biologie Animale, Département de vétérinaire, Faculté des sciences, Université de Constantine.
- [6] P. Paulian, Guide pour l'étude de quelques plantes Tropicales. Ed. Gauthier-Villards, Paris, (1967).
- [7] Rameau J.C., Mansion D., & Gauberville C., (2008). Flore forestière française guide écologique illustré, 3ème édition ; Région Méditerranéenne 1521p.
- [8] F. Quezel, S. Santa, Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Vol 1-2, Ed. CNRS, Paris France, (1962-1963).
- [9] Dupont, F., Guignard, J.L. (2007). Abrégés botaniques systématiques moléculaires. 14ème édition révisée, Masson
- [10] Fournier P. (1947) -Livres des plantes médicinales et vénéneuses de France. Ed. LE chevalier. Tome 1, pp. 176-178.



Description de la plante

- [11] S. Benayache.F. Banayache.H. Dendoughi.M. Jay.Les Flavonoides d'Unula viscosa L. Plantesmédicinales et phytotherapie.1991, Tome (25), pp170-176.
- [12] F. Quezel, S. Santa, Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Vol 1-2, Ed. CNRS, Paris France, (1962-1963).
- [13] C. Cafarchia, N. DeLaurentis; M.A. Milillo, V. Losacco, V. Puccini, Antifungal activity of essential oils from leaves and flowers of Inula viscosa(Asteraceae)by Apulian region. Parassitogia.2002, (44), pp153-156.
- [14] Enam.A.Khalil, Fatma.U.Afifi, Maysa.Al-hussaini, Journal of Ethnopharmacology.109 104–112, (2007).
- [15] ParolinP ;scotta M1et Bresch C(2014)Biology of Dittrichiaviscosa a Mediterranean, ruderal plant ;international Journal of expérimental Botany ;83(251-261).
- [16] F.Quezel, S.Santa, Nouvelle flore de l'Algérie et des régionsdésertiques méridionales. Vol 1-2, Ed. CNRS, Paris France, (1962-1963).
- [17] Benyahia ; A(2014) Contribution à l'étude photochimique et activités biologique de deux plantes médicinalesInulaviscosa et Inula montana Master en chimie ;Molécule Bioactive synthèses et application Tlemcen ;UniversitéAboubakrBelkaid 2014 ,53p.
- [18] S. Oksuz, Planta Medica, 1977, 31, 270-273.
- [19] G.Fontana.:La Rocca S, Passannanti S ; M. P. Paternostro, Sesquiterpenes compounds from Inula viscosa. Nat Prod Res,2007, 824-7.
- [20] A.Mahmoud Al-Qudah,I.Hala Al-Jaber,S.Abdulraouf Mayyas, S. T . Abu-Orabi and Musa, H. Abu. Zarga. Chemical Compositions of the Essential Oil from the Jordanian Medicinal Plant Dittrichia Viscosa,Jordan Journal of Chemistry ,2010,343-348, .
- [21] H.BerhailBoudouda,A.Benmerache,S.Chibani,A.Kabouche,S.Abuhamdah,Z.Semra,Z.



Description de la plante

Kabouche. Antibacterial Activity and Chemical Composition of Essential Oils of *Inula viscosa* (L.) Ait. (Asteraceae) from Constantine. Algeria. *Der Pharmacia Lettre*, 2012, 4 (6) :1878-1882.



Chapitre 999

Partie expérimentale



Partie expérimental

III.1. Extrait de la plante *Inula viscosa* :

Sécher 500 g de la plante, puis découper en petite morceaux, dans une grande bouteille en verre on effectue une immersion de toutes les parties de la plante découpés dans le méthanol, cette étape dite la macération.



Figure III.1 : Extrait de la plante *Inula viscosa*

Après prend le liquide obtenu est on l'évapore sous vide jusqu'à l'obtention d'un liquide visqueux (3macération) se dernier on le dissout dans 100ml d'eau très chaude (ébullition), après 1jour on filtre la solution en deux fois. Le filtrat est soumis à une extraction liquide-liquide on utilise ces solvants pour :

- L'éther de pétrole pour donner une phase aqueuse purifié (ph1).
- L'éther diéthylique pour obtenir une phase organique contenant les flavonoïdes aglycones et les aglycones méthoxyle (ph2).
- L'acétate d'éthyle pour récupérer dans la phase organique certains flavonoïdes aglycones mais surtout les mono glycosides (ph3).
- Le n-butanol pour récupérer notamment les flavonoïdes di et tri glycosides et la phase aqueuse finale comporte surtout les flavonoïdes glycosyles plus polaires(ph4).

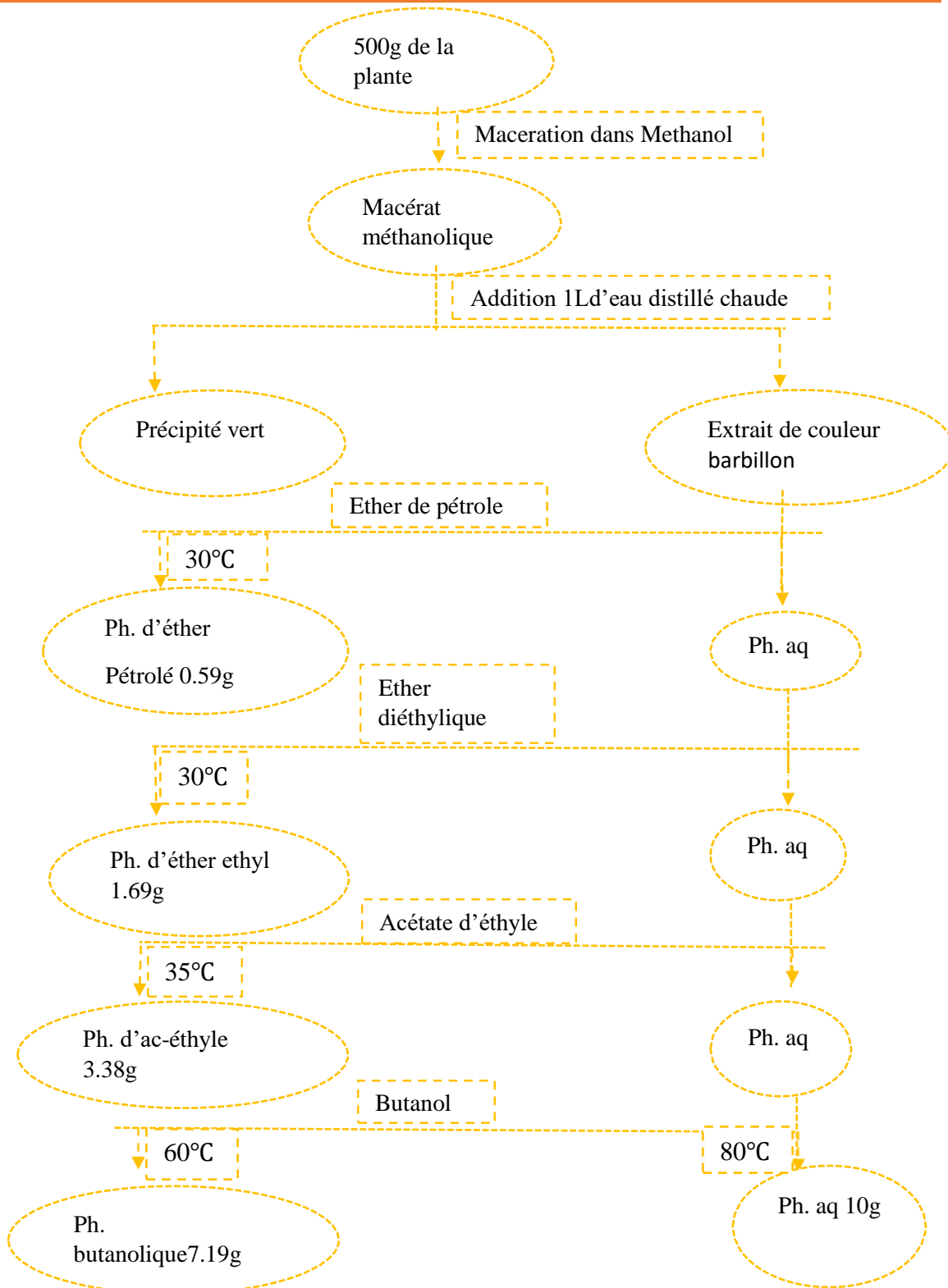


Schéma III.1: Extraction des flavonoïdes



Partie expérimental

Les trois phases (ph1, ph2, ph3) sont concentrées par évaporation à basse pression à des températures différentes : T=30°C , T=35°C la dernière phase (ph4) est concentrée par évaporation à basse pression à une température T=60°C, la phase aqueuse est concentrée par évaporation à basse pression et dans T=80°C.

III.2. Méthodes d'études des inhibiteurs de corrosion :

La complexité des phénomènes de corrosion a conduit à utiliser différentes méthodes expérimentales pour estimer le taux de corrosion et la nature des mécanismes en jeu dans la désintégration du métal. Les méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion sont des méthodes de corrosion.

Nous décrivons ci-dessous les méthodes et techniques expérimentales utiliser lors de cette étude.

III.2.1. Méthode gravimétrique de synergie :

Cette méthode se caractérise par l'avantage d'être un processus de mise en œuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important. Son principe repose sur la mesure de la perte de poids Δm subie par un échantillon de surface S, pendant le temps t d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante. [1]

= /III .1

=III .2

Ou' : :masse de l'échantillon avant l'essai en mg.

: masse de l'échantillon après l'essai en mg.

S : surface totale de l'échantillon en .

t : temps d'immersion d'échantillon dans la solution en h.

: La vitesse de corrosion en absence de l'inhibiteur.



Partie expérimental

La vitesse de corrosion de l'acier doux est déterminée par gravimétrie après 3.5 heures d'immersion dans l'acide et avec addition des inhibiteurs testés à différentes concentrations. L'efficacité inhibitrice (EI%) de ces composés est calculée à partir de la relation suivante :

$$EI(\%) = \left(\frac{v_{corrosion} - v_{inhibiteur}}{v_{corrosion}} \right) \times 100 \dots \dots \dots \text{III.3}$$

$$EI(\%) = \frac{v_{corrosion} - v_{inhibiteur}}{v_{corrosion}} \times 100 \dots \dots \dots \text{III.4}$$

$v_{corrosion}$: Le taux de recouvrement

$v_{inhibiteur}$: La vitesse de corrosion en présence de l'inhibiteur.

III.2.1.1. Les isothermes d'adsorptions :

La loi de variation de la quantité adsorbée en fonction de la concentration en inhibiteur peut souvent être représentée par les isothermes classiques suivant [2]

**Isotherme de Langmuir.*

**Isothermes de Frumkin.*

**Isotherme Freundlich.*

**Isotherme de Temkin.*

III.2.2. Méthodes électrochimiques :

Les méthodes électrochimiques sont réalisées à l'aide d'un montage classique à trois électrodes, une électrode de référence (pour donner les potentiels), une électrode en platine (pour électrode auxiliaire), l'acier ... (comme électrode de travail).

Les mesures électrochimiques sont réalisées avec un montage comprenant un potentiostat, type PZG301 (Voltalab), piloté par le logiciel Voltmaster4.



Figure III.2 : photo du dispositif des mesures électrochimiques.

Utilisées les méthodes électrochimiques pour mesures directes de :

*Potentiel de corrosion et de la densité du courant de corrosion peuvent être évalués par le tracé des courbes de polarisation (courbe de Tafel).

*Résistance à la corrosion et le mécanisme réactionnel mis en jeu qui peuvent être évalués par la spectroscopie d'impédance.

III.2.2.1. Suivi du potentiel en circuit ouvert :

En absence d'inhibiteur, Indique le type de l'inhibiteur suivant le sens de déviation du potentiel par rapport au potentiel mesuré. Les différentes allures de l'évolution du potentiel de corrosion avec le temps sont représentées par la figure III.3 [3].

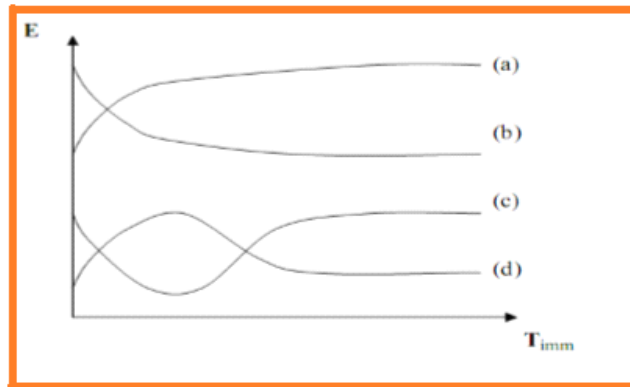


Figure. III.3: Différentes allures de potentiel en fonction du temps d'immersions. [4]

(a) : Le potentiel devient plus cathodique, il y a formation d'un film protecteur, dit film de passivation.

(b) : Le potentiel devient de moins en moins noble, ou plus négatif, il y a attaqué pour destruction le métal

(c) : il y a attaqué suivie de passivation.

(d) : Le métal est recouvert d'une couche protectrice, Le métal est alors mis à nu, alors Un film de protection préexistant disparaît.

III.2.2.2. Courbes de polarisation :

Les courbes de polarisation $E=f(i)$, consiste à balayer un potentiel dans un domaines de potentiel varie de -250mv à $+250\text{mv}$ par rapport au potentiel de corrosion à courant nul avec une vitesse de balayage du potentiel de 1 mv/s .

Avant tracé de ces courbes, l'électrode de travail est le potentiel d'abandon, pendant 60min.

*les dimensions d'acier garde API 5 L Gr – B utilisés pour tous les essais électrochimiques.

*Cette méthode permet de déterminer le paramètre électrochimique le taux de corrosion (), l'efficacité, [5] il peut être calculé en utilisant les équations suivantes :



Partie expérimental

*le taux d'inhibiteur :

$$= \dots\dots\dots .9$$

*l'efficacité inhibitrice :

$$EI() = *100 \dots\dots\dots .10$$

Est les densités de courant de corrosion sans et présence de l'extrait butanolique d'Unula viscosa.

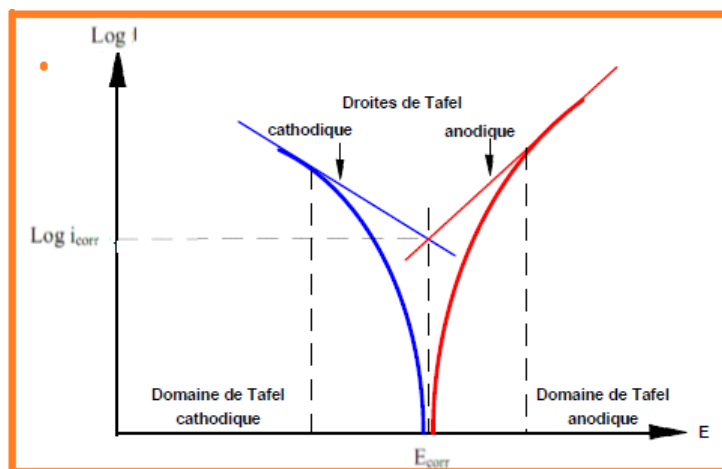


Figure III.4 : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel.

III.2.2.3. La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) :

Les diagrammes de Nyquist de l'acier B immergé dans la solution acide sans et avec l'extrait de différentes concentrations.

La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) : employée pour étudier l'effet du film d'inhibiteur par les mesures successives de la résistance de polarisation en fonction de la variation de la concentration de l'extrait de la plante par l'équation suivante :

$$() = \dots\dots\dots .11$$



Partie expérimental

$Z = \dots\dots\dots$.12

et est la résistance de polarisation en présence et en absence de l'extrait de la plante.

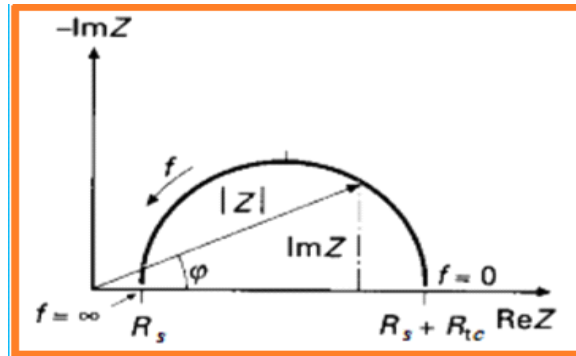


Figure- III.5: Exemple du tracé dans le plan complexe (plan de Nyquist).

L'exploitation du diagramme obtenu à partir de l'expression de l'impédance électrochimique donne accès à plusieurs paramètres représentatifs du système.

- La résistance de la solution (**Rs**).
- La résistance de transfert de charges (**Rtc**).
- La capacité de double couche (**Cdc**).

L'efficacité inhibitrice EI% est calculée en appliquant la relation suivante [6, 7] :

$EI\% = \dots\dots\dots$ III.5

L'utilisation de ces techniques nécessite la préparation des échantillons (Aciers) et les milieux électrolytiques (HCl 1M) ainsi que les solutions inhibitrices.



Partie expérimental

Référence

- [1] E. Schaschl, « Methods for evaluation and testing of corrosion inhibitors ». In: Ed. by C.C. Nahan, NACE, Houston, (1973) 28.
- [2] D.Benmessaoud Left, M.Zertoubi, A. Irhzo, M. Azzi. (2013). Oils and extracts plants as corrosion inhibitors for different metals and alloys in hydrochloric acid medium J. Mater. Environ. Sci. 855-866.
- [3] Liening, E.L., Electrochemical Corrosion Testing Techniques. National Association of Corrosion Engineers, Process Industries Corrosion--the Theory and Practice, 1986: p. 85-122.
- [4] E. L. Liening, Electrochemical corrosion testing techniques, the theory and the practice, process industries corrosion, NACE, Houston, (1986), 85-122.
- [5] A. Bard, L. Faulkner, Electrochimie, Principes, Méthodes et Application, Masson, Paris, 1983.
- [6] Abdel-Gaber, A.M., et al., Inhibitive action of some plant extracts on the corrosion of steel in acidic media. Corrosion science, 2006. 48(9): p. 2765-2779.
- [7] Pereira, S.S.d.A.A., et al., Inhibitory action of aqueous garlic peel extract on the corrosion of carbon steel in HCl solution. Corrosion science, 2012. 65 : p. 360-366.

Chapitre IV

Résultats et discussion



Résultats et discussion

IV.1. Rendements d'extraction :

Tableau. IV.1 : Phase obtenues après épuisement de la plante *Inula viscosa*.

phase	Masse(g)	Rendement()
Ether de Pétrole	0.59	0.118
Ether diéthylique	1.69	0.338
Acétate d'éthyle	3.38	0.670
Butanolique	7.19	1.438
Aqueuse	10	2

D'après mes résultats obtenus selon le tableau IV.1, les rendements des phases dans la plante *Inula viscosa* étudiée sont dans l'ordre décroissent :

- *la phase aqueuse (2)
- *la phase BuOH(1.438)
- *la phase acétate d'éthyle (0.670)
- *la phase éther diéthylique (0.338)

Conclusion :

On peut confirmer que la plante *Inula viscosa* étudiée contient d'après Brunton :

Tableau. IV.2 : Contenu de la plante *Inula viscosa* dans chaque phase.

Phase	Contenu
Ether diéthylique	*Les flavonoïdes aglycones et Les aglycones méthoxylés
Acétate d'éthyle	* Les flavonoïdes aglycone surtout Les monoglycosides
Butanolique	* Les flavonoïdes di et triglycsides
Aqueuse	* Les flavonoïdes glycosylés Plus polaires



Résultats et discussion

IV.2.a. Etude gravimétrique de synergie :

Le tableau IV.3 regroupe les résultats de l'étude gravimétrique d'un mélange des deux phases acétate d'éthyle et n-butanol

On utilise : $C = \text{_____}$

Tableau IV.3 : Influence de la concentration de mélange les phases butanolique et l'acétate sur l'efficacité inhibitrice à différentes températures (20-50) °C.

20°C				
C=	$\Delta m/S$	V_{corr}	θ	EI
(ppm)	(mg.)	(mg.)		()
0-0	0.9401	0.2686	\	\
100-600	0.2939	0.0839	0.6876	68.76
200-600	0.2706	0.07731	0.7121	71.21
300-600	0.1918	0.0548	0.7959	79.59
400-600	0.2097	0.0599	0.7769	77.69

30°C			
$\Delta m/S$	V_{corr}	θ	EI
(mg.)	(mg.)		()
1.0122	0.2892	\	\
0.3518	0.1005	0.6524	65.24
0.3096	0.0884	0.6940	69.40
0.2264	0.0646	0.7763	77.63
0.2464	0.0704	0.7564	75.64



Résultats et discussion

40°C				
C	$\Delta m/S$	V_{corr}	θ	EI
(ppm)	(mg.)	(mg.)		()
0-0	1.2048	0.3442	\	\
100-600	0.5647	0.1613	0.5311	53.11
200-600	0.4707	0.1345	0.6092	60.92
300-600	0.3839	0.1097	0.6813	68.13
400-600	0.4220	0.1206	0.6496	64.96

50°C			
$\Delta m/S$	V_{corr}	θ	EI
(mg.)	(mg.)		()
2.7058	0.7731	\	\
1.6457	0.4702	0.35177	35.177
1.2201	0.3486	0.549	54.9
1.0928	0.3122	0.5961	59.61
1.2143	0.3469	0.5512	55.12

La vitesse de corrosion diminue avec l'augmentation de la concentration de l'extrait de la plante et atteint la valeur minimale 0.0548 mg. .Efficacité inhibitrice augmente avec la concentration de l'extrait de la plante et atteint une valeur maximale 79.79 dans une concentration 600-300ppm.

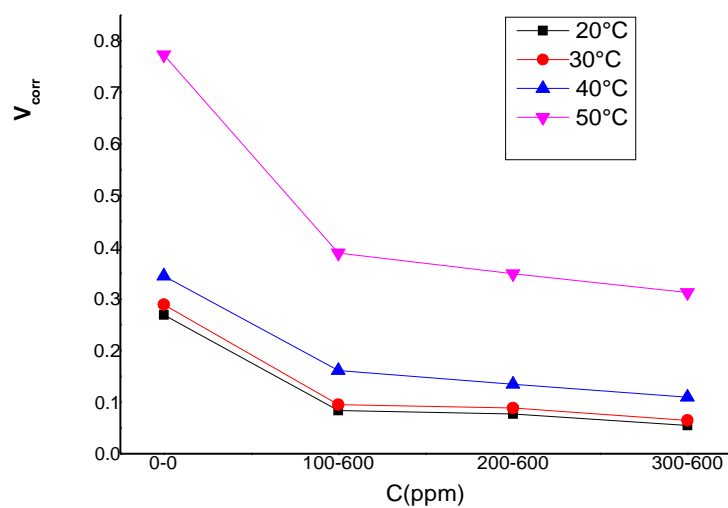


Figure IV.1 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration de la plante *Inula viscosa* dans la solution à 1M HCl à différentes températures.

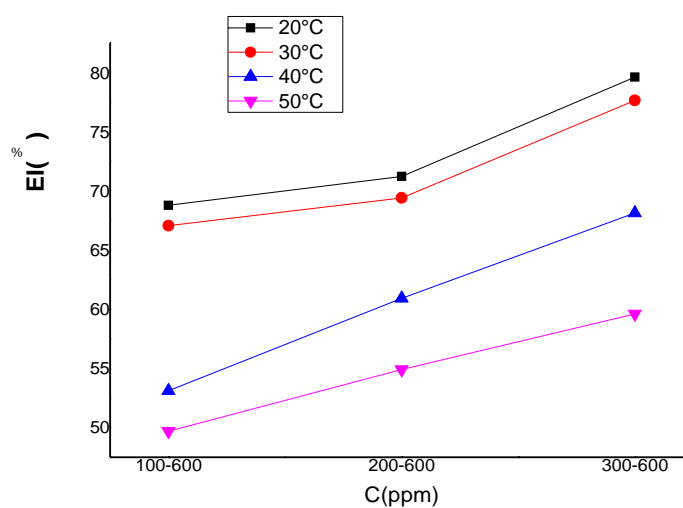


Figure IV.2 : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration de la plante *Unula viscosa* dans la solution à 1M HCl à différentes températures.

Conclusion :

L'augmentation d'efficacité inhibitrice et diminution de la vitesse de corrosion due au phénomène adsorption des molécules de l'extrait sur la surface de l'acier.



Résultats et discussion

L'augmentation de la température provoque une augmentation de la vitesse de corrosion, et une diminution de l'efficacité inhibitrice, ces résultats indiquent que la température est un facteur susceptible de modifier l'interaction entre le métal et le milieu acide en absence et en présence de l'inhibiteur [1].

IV.2. a.1. Isotherme d'adsorption :

L'adsorption est un phénomène de surface dans lequel les molécules EBAUV sont installées à la surface de l'acier selon différents procédés. Beaucoup d'auteurs ont utilisé les isothermes de Langmuir, Temkin, Freundlich et Frumkin [2,3,4].

A travers ces isothermes, pour déterminer des grandeurs thermodynamiques caractérisant l'adsorption de l'EBAUV à surface de l'acier garde API 5 L Gr – B.

Les isothermes d'adsorption proposées, correspondent au taux de recouvrement, qui est relié à la concentration de l'extrait par les équations suivantes :

Langmuir : $\theta = \frac{KC}{1+KC}$ IV.1

Temkin : $\ln \theta(1-\theta) = \ln K + \ln C$ IV .2

Freundlich : $\ln \theta = \ln K + n \ln C$ IV.3

Frumkin : $\ln \frac{\theta}{1-\theta} = \ln K + \alpha \ln C$ IV.4

α : est un paramètre qui tient compte de l'hétérogénéité de la surface et des interactions intermoléculaires dans la couche adsorbée.

K : La constante d'équilibre du processus d'adsorption.

La consultation du tableau (IV.4) montre que l'adsorption de Freundlich présente un coefficient de corrélation le plus grand, ce qui nous donne que l'adsorption de notre inhibiteur sur l'acier API 5 L Gr – B est isotherme de Freundlich.



Tableau IV.4: Coefficient de corrélation pour chaque modèle d'isotherme à différentes température

Modèle d'isotherme	Coefficient de corrélation()			
	20°C	30°C	40°C	50°C
Langmuir	-0.89139	0.94706	0.78121	0.09449
Temkin	0.89135	0.88598	0.87477	0.79136
Frumkin	0.87009	0.83499	0.87537	0.93164
Freundlich	0.8969	0.89188	0.87938	0.79714

Le coefficient de corrélation () a été utilisé pour choisir l'isotherme convenable. Ont été utilisée l'isotherme de Freundlich puisqu'elle est la plus proches à l'unité par rapport aux autres isothermes.

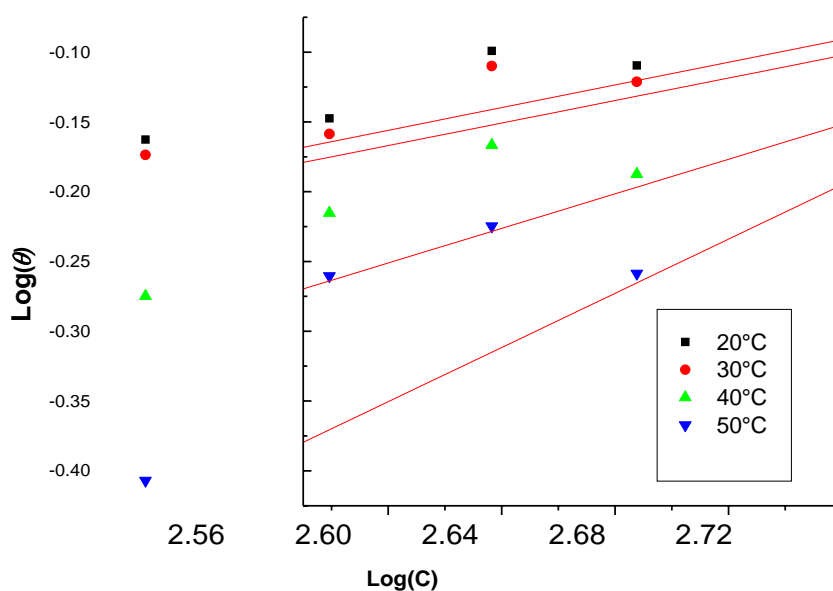


Figure IV.3: L'isotherme d'adsorption de Freundlich de l'EBAIV sur la surface de l'acier garde API 5 L Gr – B dans la solution HCl 1M à différentes températures.



Résultats et discussion

IV.2.1.2. Mécanisme d'adsorption de l'EBAUV :

Le tracé de l'isotherme de Langmuir permet la détermination de la constante d'équilibre du processus d'adsorption () de l'inhibiteur à chaque température, par laquelle on peut calculer l'énergie libre d'adsorption en utilisant la relation (IV.7) [5, 6].

$$= -RT \ln \left(\frac{C_e}{K_d} \right) \dots \dots \dots \text{IV.5}$$

R : la constante des gaz parfait = 8,314JK-1mol-1

T : la température en Kelvin.

: La concentration de l'eau dans la solution en mg.L-1 =

Tableau IV.5: Les paramètres thermodynamiques relatif à l'adsorption de l'EBAIV sur la surface de l'acier API 5 L Gr – B.

Temperature(°C)		(L/mg)	(KJ/mol)
20	0.8969	0.06323	-26.94
30	0.9128	0.0407	-26.75
40	0.87938	0.014579	-24.26
50	0.79714	0.001462	-19.57

Dans le présent travail les valeurs de varient entre -26.94 et -19.57 KJ/mol. Les signes négatifs de ces valeurs indiquent la spontanéité du processus d'adsorption de l'EBAIV sur la surface métallique [7].

Ces valeurs sont voisines de -20 KJ/mol, ce qui indique que l'adsorption des molécules de cet extrait sur la surface de l'acier est de type physique aux différentes températures [8].

L'enthalpie standard d'adsorption () peut être calculée en utilisant la relation de Van'tHoff [9] :

$$\frac{d \ln K_d}{dT} = \frac{Q}{RT^2} \dots \dots \dots \text{IV.6}$$

Par intégration, l'équation devient comme suit :



Résultats et discussion

$$= - \frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} + A \dots\dots\dots IV.7$$

A: constant intégration.

La variation de $\ln(K)$ en fonction de l'inverse de la température est une droite avec une pente $-\frac{\Delta H}{R}$ d'où on peut tirer la valeur de (ΔH).

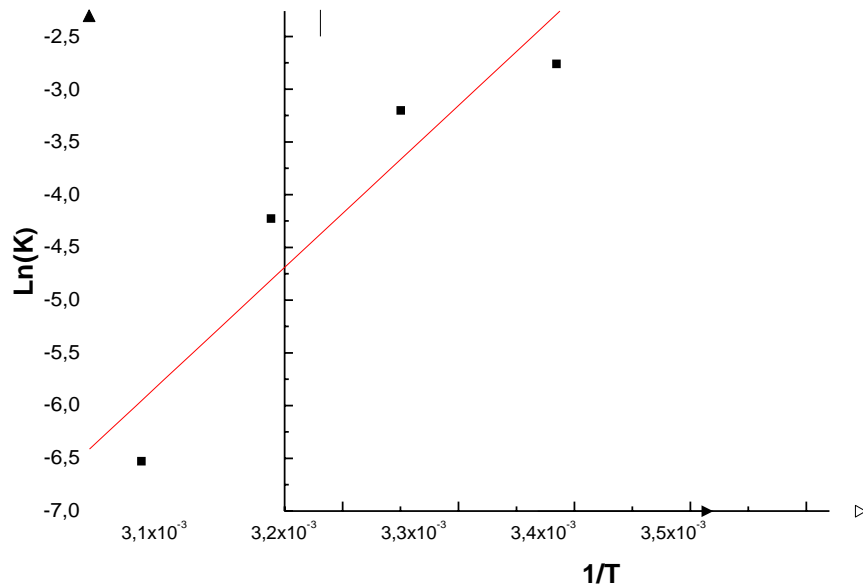


Figure IV.4: La variation de $\ln(K)$ en fonction de l'inverse de la température.

Les valeurs de l'entropie standard d'adsorption (ΔS°) peut être calculée par l'équation de Gibbs-Helmholtz: [10, 11]

$$= -T \ln(K) \dots\dots\dots IV.8$$

Alors

$$= \frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} - \frac{\Delta S^\circ}{R} \dots\dots\dots IV.9$$



Résultats et discussion

Tableau IV.6: Paramètres thermodynamiques relatif à l'adsorption de l'EBAIV sur la surface de l'acier grade API 5 L Gr – B.

Temperature (K)	(KJ/mol)	(KJ/mol)	(KJ/mol)
20	-26.94		-232.89
30	-26.75		-225.84
40	-24.26		-226.57
50	-19.57	-95.2119	-234.08

Les valeurs des paramètres thermodynamiques d'adsorption montre que la variation d'enthalpie d'adsorption est négative processus exothermique ce qui prouve que l'adsorption est physique [12]. 0 indiquant la diminution du désordre lors de la formation des réactifs en complexe active [12,13]. Les valeurs négatives de et voisin de -20KJ/mol confirme que le type d'adsorption sur l'acier garde B est physique (physisorption) [14,15].

IV.2.1.3. Energie d'activation apparente :

Nombreux auteurs [10, 16, 17] utilisent l'équation d'Arrhenius pour rendre compte de l'effet de la température sur la vitesse de corrosion.

$$= - \frac{E_a}{RT} + \ln A \dots\dots\dots IV.10$$

E_a : Energie d'activation apparente

A : Paramètre pré-exponentiel d'Arrhenius

La figure IV.5 illustre la variation du logarithme de la vitesse de corrosion () en fonction de l'inverse de la température (1/T). Les valeurs des énergies d'activation apparentes sont obtenues à partir de la pente des droites pour les différentes concentrations de l'EBAIV.

Les paramètres d'activation de la dissolution de l'acier dans la solution HCl 1M en absence et en présence de l'EBAIV à différentes températures sont regroupés dans le tableau (IV.7).



Résultats et discussion

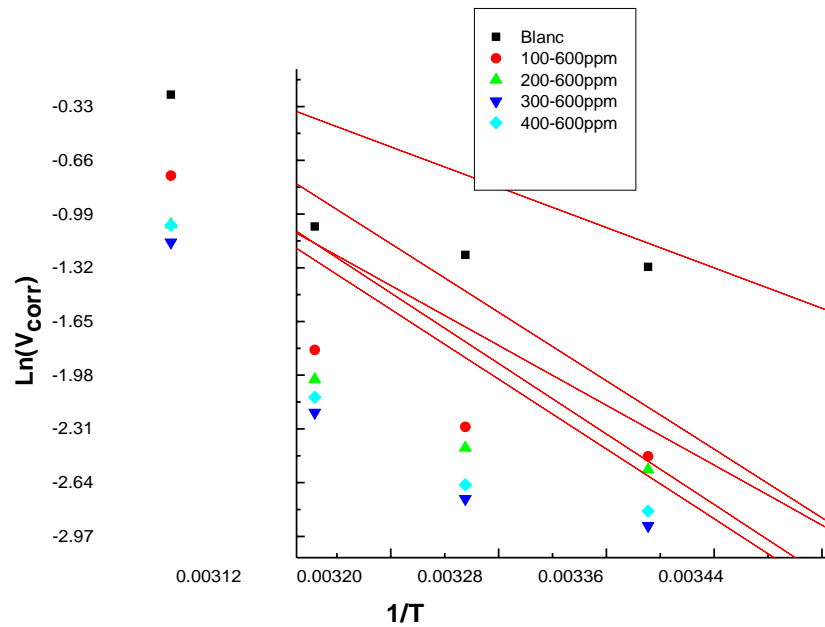


Figure IV.5: La variation de logarithme de la vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de la température pour les différentes concentrations.

D'après la figure IV.5 et pour un temps d'immersion égal à 30min à chaque température on observe que la vitesse de corrosion (V_{corr}) est élevée, donc la température est proportionnelle à la vitesse de corrosion (V_{corr}).

Une formule alternative d'Arrhenius permet la détermination de l'enthalpie d'activation et l'entropie d'activation du processus de corrosion de l'acier dans le milieu acide. Elles sont données par l'équation suivante [20,21].

$$V_{corr} = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \exp\left(\frac{S_a}{R}\right) \dots\dots\dots IV.11$$

R : Nombre d'Avogadro = 6.023. atome/mol.

h : Constante de Planck = 6.626. J/K.

$$\ln(V_{corr}) = \ln A - \frac{E_a}{RT} + \frac{S_a}{R} \dots\dots\dots IV.12$$



La variation du $\ln \text{---}$ en fonction de l'inverse de la température $1/T$ est une droite (Figure

IV.6) avec une pente de - et une ordonnée à l'origine égale $\ln \text{---} + \text{---}$

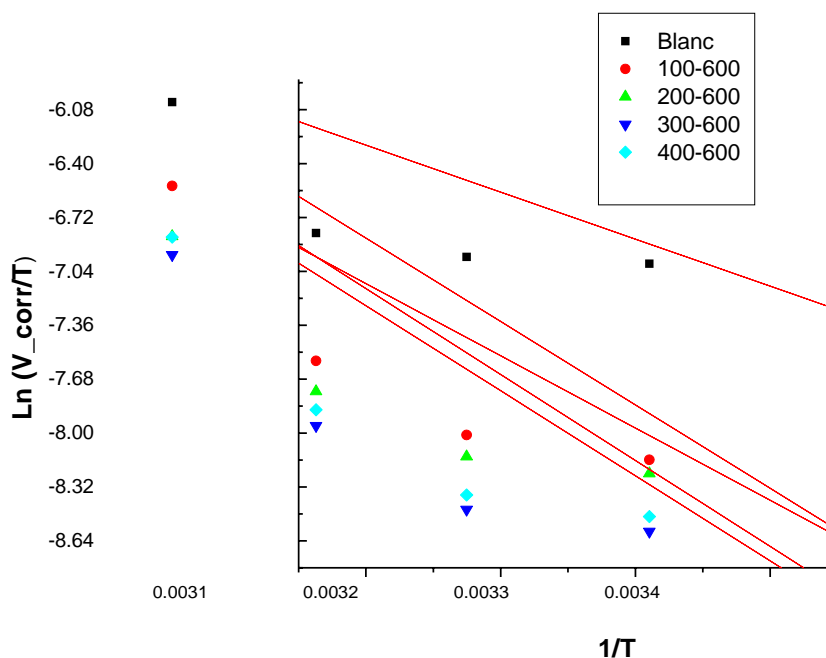


Figure IV.6: La variation du $\ln \text{---}$ en fonction de $1/T$

Les valeurs des enthalpies et des entropies d'activation sont données dans le tableau IV.7

Tableau7 : Paramètre d'activation de la dissolution de l'acier dans la solution HCl 1M en absence et en présence de l'EBAIV à différentes températures.

C (ppm)	(KJ/mol)	(KJ/mol)	(J/mol)
0-0	25.7590052	25.7590	-121.98
100-600	43.7169216	43.71692	-70.91
200-600	38.2091136	38.20911	-90.23
300-600	44.5397482	44.53964	-71.70
400-600	44.9825811	44.98258	-69.48



Résultats et discussion

D'après les résultats obtenus, on conclure que :

- * Les signes positifs des enthalpies reflètent la nature endothermique du processus de dissolution de l'acier grade B [22].
- * Les valeurs négatives de ΔH^\ddagger impliquent que le complexe actif dans l'étape déterminante de la vitesse représente une association plutôt qu'une dissociation, signifiant qu'il y a diminution du désordre lors de la transformation des réactifs en complexe activé [23, 24].

L'augmentation de l'énergie d'activation en présence de l'inhibiteur, ce comportement est rapporté comme étant caractéristique d'un phénomène de physisorption [18].

La comparaison de l'énergie d'activation obtenue en présence E_a et en absence E_a^0 d'inhibiteur permet de prévoir la dépendance du pouvoir inhibiteur avec la température.

Les inhibiteurs pour lesquels $E_a > E_a^0$ qui s'adsorbent sur le substrat par des liaisons de nature électrostatique (liaisons faibles). Ce type de liaisons sensibles à la température ne permet pas de lutter efficacement contre la corrosion quand la température augmente [19].

IV.2.b. Etude électrochimique :

Les essais électrochimiques peuvent être évaluée par une mesure du potentiel de corrosion, la densité du courant de corrosion déduite des courbes de polarisation et sur la résistance à la corrosion et le mécanisme réactionnel mis en jeu peuvent être évaluée par la spectroscopie d'impédance électrochimique (S.I.E).

IV.2. b.1.Courbes de polarisation :

Les courbes de Tafel présentées sur les figures IV.7, IV.8, IV.9, IV.10, sont réalisées à des températures 20, 30, 40, 50. Ces courbes nous ont permis de déterminer, pour chaque température, le potentiel de corrosion (E_{corr}) et la densité du courant de corrosion (i_{corr}). Les résultats de l'exploitation des courbes de Tafel, sont regroupés dans les tableaux IV.8, IV.9, IV.10, IV.11.

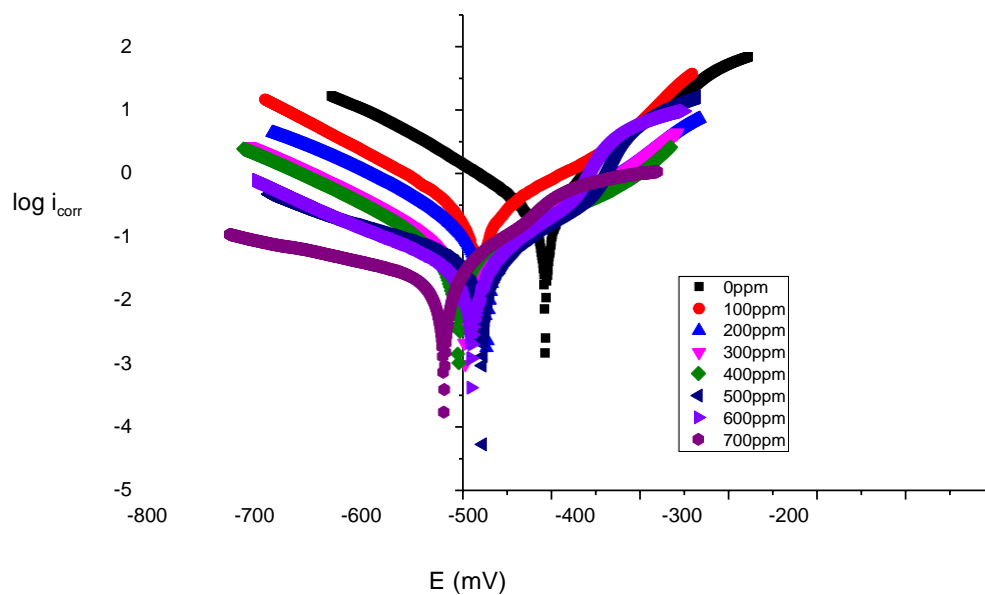


Figure IV.7 : Présentation du tracé des courbes de polarisation en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 20°C.

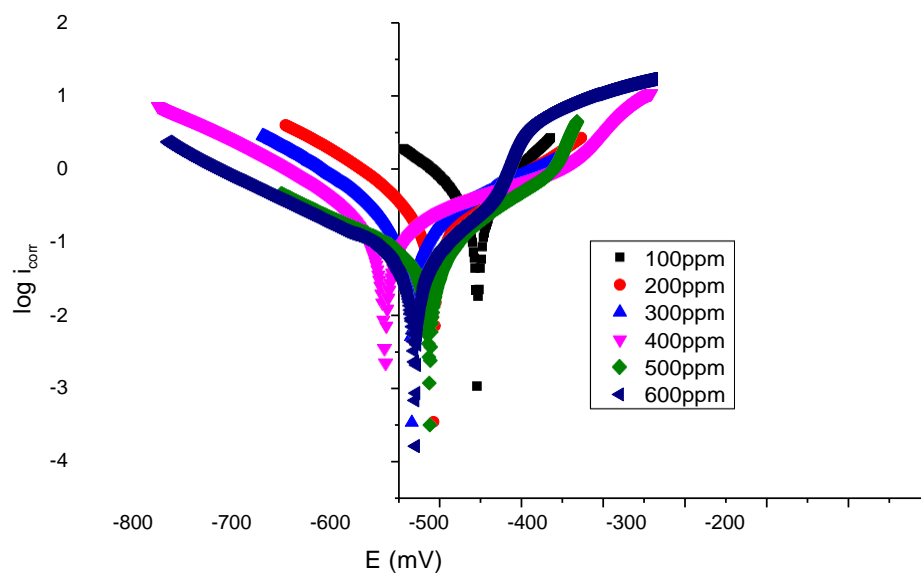


Figure IV.8 : Présentation du tracé des courbes de polarisation en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 30°C.

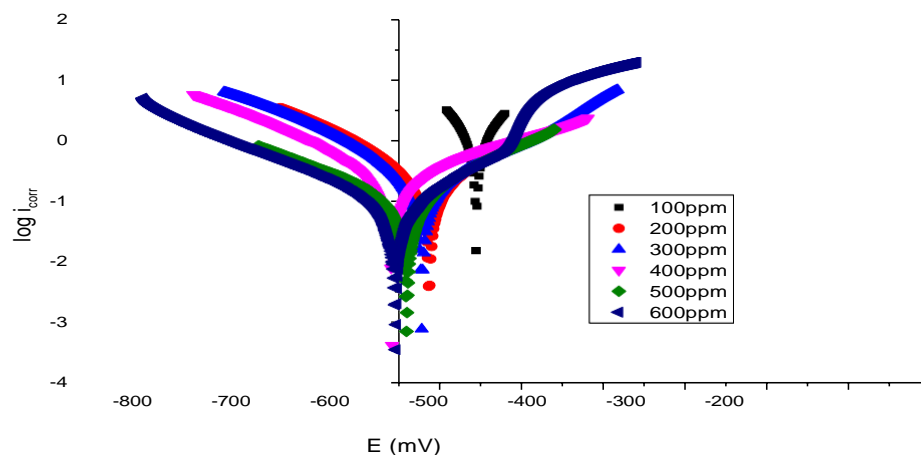


Figure IV.9 : Présentation du tracé des courbes de polarisation en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1MHCl à température 40°C.

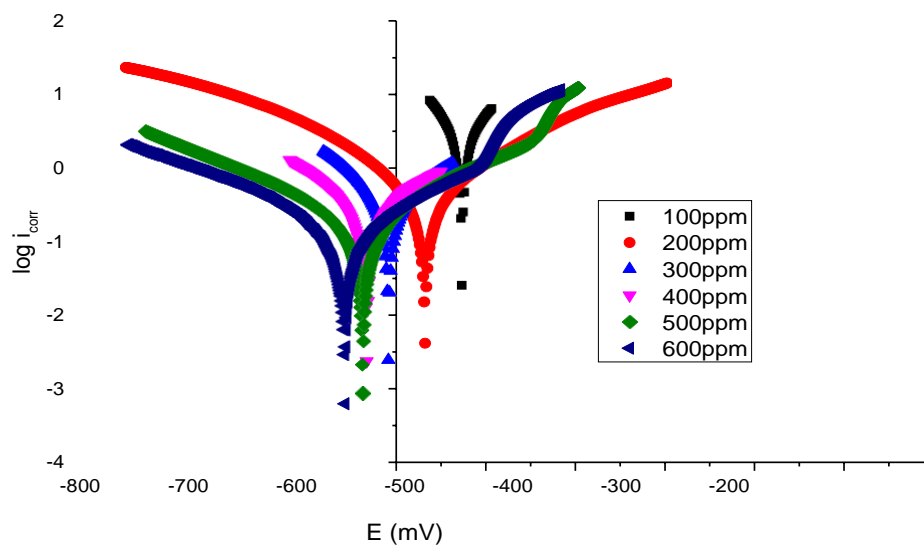


Figure IV.10 : Présentation du tracé des courbes de polarisation en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 50°C.



Résultats et discussion

Tableau IV.8 : Paramètres électrochimiques, taux de recouvrement et efficacité inhibitrice de l'acier API 5 L Gr – B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à températures 20°C.

C (ppm)	-E (mV)	(mA/)	(mV /dec)	(mV /dec)		EI
0	427.8	0.3402	75.1	113.4	/	/
100	489.1	0.2367	122.6	111.1	0.3042	30.42
200	489.2	0.1860	124.1	142.5	0.4533	45.33
300	503.3	0.0995	120.8	140.0	0.7075	70.75
400	509.6	0.0881	187.2	138.2	0.7410	74.10
500	510.1	0.0218	77.4	149.1	0.9359	93.59
600	520.5	0.0217	79.5	127.8	0.9362	93.62
700	502.6	0.0289	84.7	269.3	0.9379	91.79

Tableau IV.9 : Paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L Gr – B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à températures 30°C.

C (ppm)	-E (mV)	(mA/)	(mV /dec)	(mV /dec)
0	427.8	0.3402	75.1	113.4
100	450.8	0.2832	76.4	85.2
200	494.8	0.2069	144.5	108.7
300	517.2	0.1577	160.9	115.0
400	544.3	0.1530	222.0	136.3
500	550.6	0.0447	81.9	149.2
600	561.7	0.0429	87.1	148.2



Résultats et discussion

Tableau IV.10 : Paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L Gr – B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à températures 40°C

C (ppm)	-E (mV)	(mA/)	(mV /dec)	(mV /dec)
0	427.8	0.3402	75.1	113.4
100	451.8	1.4228	26.1	31.4
200	499.3	0.3881	192.0	158.7
300	507.0	0.3323	150.9	149.2
400	537.0	0.2400	206.7	135.7
500	522.3	0.0972	118.7	163.2
600	532.8	0.0803	116.1	157.8

Tableau IV.11 : Paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L Gr – B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à températures 50°C.

C (ppm)	-E (mV)	(mA/)	(mV /dec)	(mV /dec)
0	427.8	0.3402	75.1	113.4
100	447.2	1.2616	23.4	33.2
200	481.3	0.3925	118.8	119.5
300	515.0	0.2667	82.0	71.9
400	535.2	0.2403	113.8	93.9
500	538.6	0.2069	150.0	170.2
600	555.8	0.2017	110.6	201.7

Les courbes de Tafel des extraits sont presque superposables. Tandis que l'examen des tableaux montre que la concentration 600ppm présente la densité de courant de corrosion la moins élevée. Cette faible densité de courant montre l'existence d'une couche protectrice de l'extrait sur la surface de l'acier. On conclut que l'augmentation de la température augmente aussi le courant de corrosion.



Résultats et discussion

Tableau IV.12: Paramètres de la corrosion de l'acier API 5 L Gr – B dans le milieu HCl avec 600 ppm de l'inhibiteur à différentes températures, déterminés par la méthode d'extrapolation de Tafel.

EI) (
C(ppm)	20°C	30°C	40°C	50°C
600	92.37	88.74	86.00	54.33

On peut dire que l'efficacité inhibitrice diminue rapidement avec la température et atteint une valeur minimale de 54.33% à la température de 50°C.

IV.2. b.2. Spectroscopie d'impédance électrochimique :

Le diagramme d'impédance électrochimique suivant la représentation de Nyquist. Les essais ont été effectués à différentes concentrations de l'extrait pendant 60min d'immersion à différentes températures et dans une gamme de fréquence allant de 10Mhz à 100KHz.

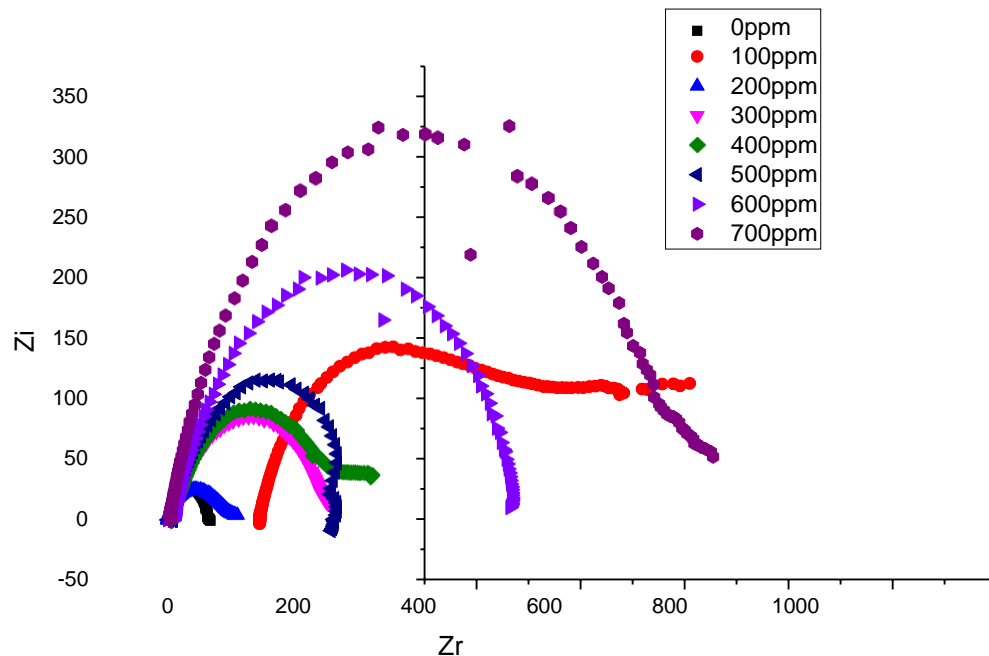


Figure IV.11 : Présentation du tracé des courbes d'impédance en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 20°C.

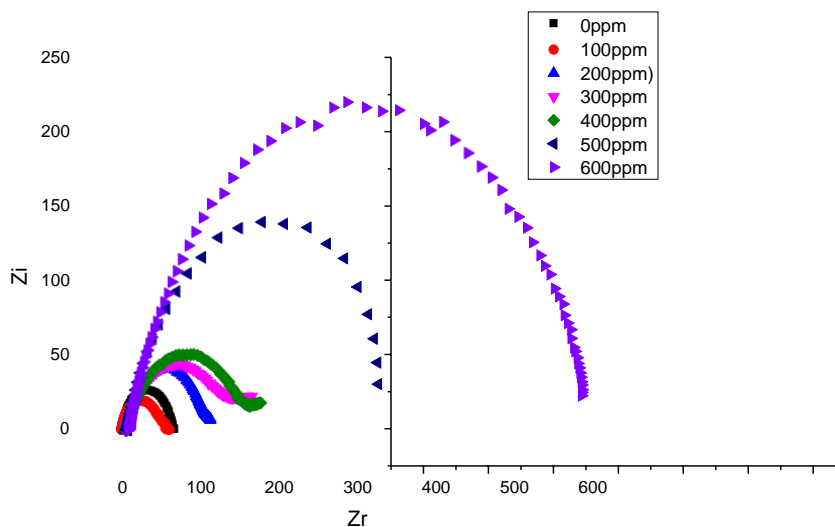


Figure IV.12 : Présentation du tracé des courbes d'impédance en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 30°C.

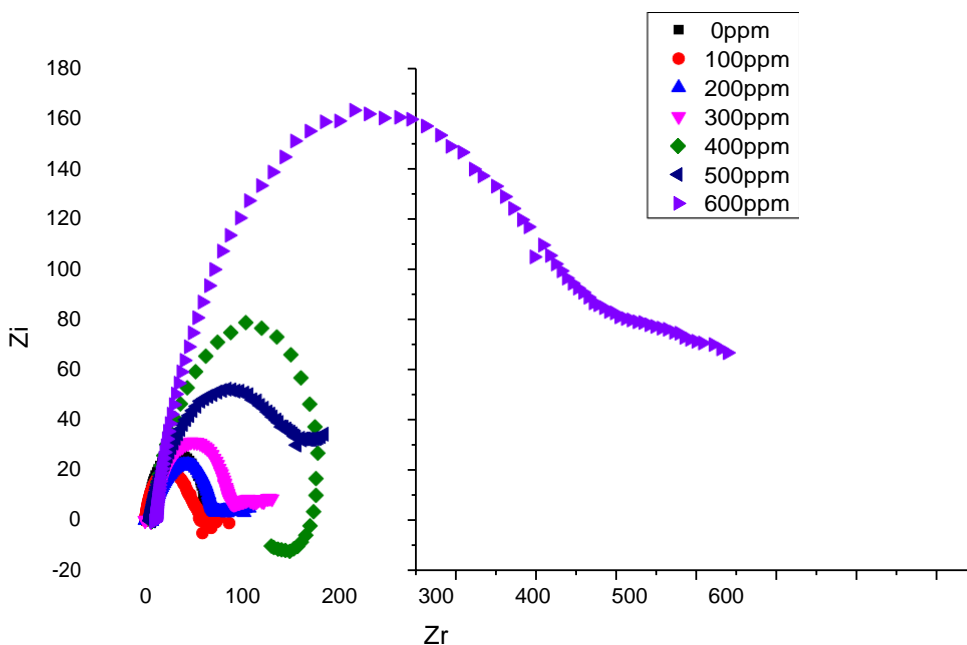


Figure IV.13 : Présentation du tracé des courbes d'impédance en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 40°C.

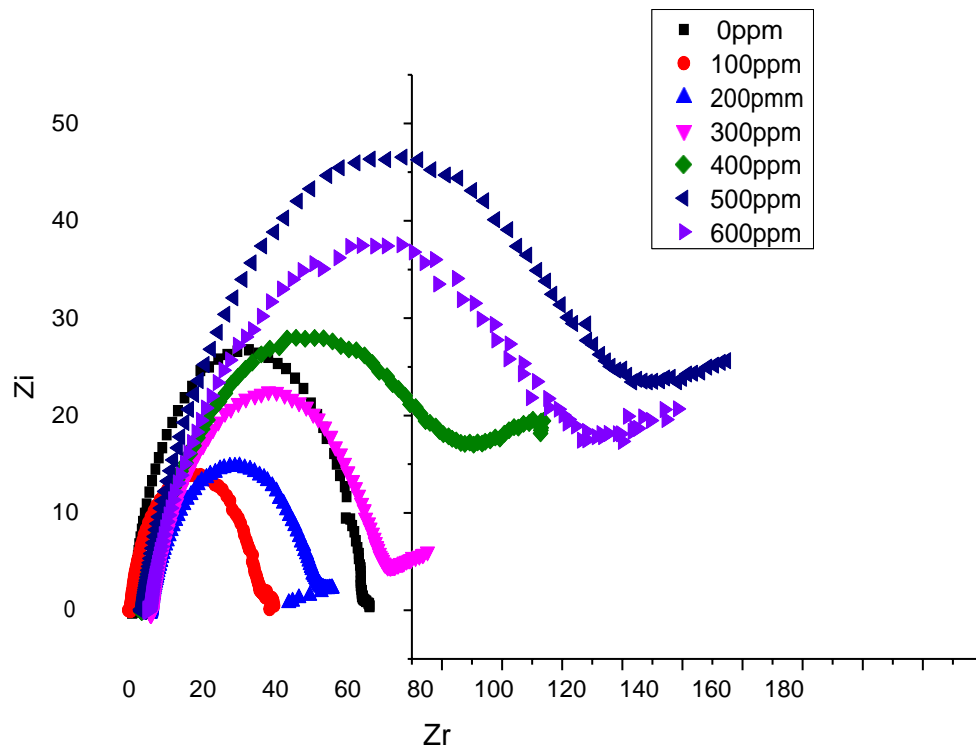


Figure IV.14 : Présentation du tracé des courbes d'impédance en absence et en présence de l'extrait butanolique de la plante *Inula viscosa* dans la solution 1M HCl à température 50°C.



Résultats et discussion

Tableau IV.13: Résultat de l'essai d'impédance électrochimique et efficacité inhibitrice de l'acier B dans la solution à 1M HCl et à différentes concentrations de la phase butanolique à température 20°C.

C (ppm)	R (Ωc^{-2})	C_{dc} ($\mu F/c^{-2}$)		EI (%)
0	64.53	87.79	/	/
100	88.74	160.6	0.2728	27.28
200	262.2	108.0	0.7539	75.39
300	277.3	64.27	0.7673	76.73
400	282.9	45.00	0.7719	77.19
500	539.4	40.61	0.8804	88.04
600	845.7	33.49	0.9237	92.37
700	421.6	26.87	0.8479	84.79

Tableau IV.14: Résultat de l'essai d'impédance électrochimique et efficacité inhibitrice de l'acier API 5 L Gr – B dans la solution à 1M Hcl et à différentes concentrations de la phase butanolique à différentes température(30,40,50°C) .

C(ppm)	30°C		40°C		50°C	
	(Ω)	($\mu F/$)	(Ω)	($\mu F/$)	(Ω)	($\mu F/$)
100	78.99	127.8	48.75	130.5	37.40	134.4
200	112.4	89.42	65.96	76.24	46.83	84.95
300	132.0	67.50	85.03	52.40	65.35	60.88
400	157.1	45.37	172.9	46.0	93.20	53.95
500	362.4	43.90	179.0	44.44	140.4	40.35
600	573.2	38.87	461.0	38.66	141.3	40.08

Des mesures d'impédance électrochimique sont effectuées au potentiel d'abandon dans le milieu corrosif en régime linéaire avec un signal sinusoïdal d'amplitude de 10 mV sur un domaine de fréquence de 100 kHz à 10 mHz, pour caractériser le comportement électrochimique de l'acier.



Résultats et discussion

Nous remarquons, par cette technique SIE, que l'inhibition de la corrosion de l'acier est assurée jusqu'à une concentration de 600ppm, ce qui est identique avec l'augmentation de la température notons que la valeur de R_p diminue avec l'augmentation de la température.



Référence

- [1] Daoud, D., et al., Corrosion inhibition of mild steel by two new S-heterocyclic compounds in 1 M HCl: experimental and computational study. *Corrosion Science*, 2015. 94: p. 21-37.
- [2] Stapathy A.K.Gunasekaran.G,Sahoo S.C.Amit.k.Rodrigues.p.v,corros.Sci,51(2009) 2848-2856.
- [3] J.Cardoz.,Corros.Sci 52(2010)2341-2348.
- [4] Uwah.I.E,Okafor P.C,Ebiekpe V.E.,J.(2010) Arab,jr (10.008).
- [5] Djeddi, N., et al., Study on methylene dichloride and butanolic extracts of *Reutera lutea* (Desf.) Maire (Apiaceae) as effective corrosion inhibitions for carbon steel in HCl solution. *Research on Chemical Intermediates*, 2015. 41(7): p. 4595-4616.
- [6] Benahmed, M., et al., *Saccocalyx satureioides* as corrosion inhibitor for carbon steel in acid solution. *International Journal of Industrial Chemistry*, 2016. 7(2): p. 109-120.
- [7] Li, L., et al., Adsorption and corrosion inhibition of *Osmanthus fragran* leaves extract on carbon steel. *Corrosion Science*, 2012. 63: p. 82-90.
- [8] Kumar, C.P. and K. Mohana, Corrosion inhibition efficiency and adsorption characteristics of some Schiff bases at mild steel/hydrochloric acid interface. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2014. 45(3): p. 1031-1042.
- [9] Muthukrishnan, P., B. Jeyaprabha, and P. Prakash, Adsorption and corrosion inhibiting behavior of *Lannea coromandelica* leaf extract on mild steel corrosion. *Arabian Journal of Chemistry*, 2017. 10: p. S2343-S2354.
- [10] Djeddi, N., et al., Study on methylene dichloride and butanolic extracts of *Reutera lutea* (Desf.) Maire (Apiaceae) as effective corrosion inhibitions for carbon steel in HCl solution. *Research on Chemical Intermediates*, 2015. 41(7): p. 4595-4616.
- [11] Muthukrishnan, P., B. Jeyaprabha, and P. Prakash, Adsorption and corrosion inhibiting behavior of *Lannea coromandelica* leaf extract on mild steel corrosion. *Arabian Journal of Chemistry*, 2017. 10: p. S2343-S2354.



Résultats et discussion

- [12] Tebbji, K., Faska, N., Tounsi, A., Oudda, H., Benkaddour, M., Hammouti, B., 2007. The effect of some lactones as inhibitors for the corrosion of mild steel in 1M hydrochloric acid. *Mater. Chem. Phys.* 106, 260-267.
- [13] Bochriss J.O'M, Reddy A.K.N. (1977). *Modern Electrochemistry*, Plenum Press, New York, 2, 1267.
- [14] Janahmadi, M., Farajnia, S., Kamalinejad, M. (2008) *Journal of ethnopharmacology* 120(3) :360.
- [15] Fu, J., Li, S., Cao, L., Wang, Y., Yan, L., Lu, L. (2010). *J Mater. Sci.*, 45, 979-986.
- [16] Tebbji, K., et al., The effect of some lactones as inhibitors for the corrosion of mild steel in 1 M hydrochloric acid. *Materials Chemistry and Physics*, 2007. 106(2-3): p. 260-267. [13] Li, X., S. Deng, and H. Fu, Inhibition of the corrosion of steel in HCl, H₂SO₄ solutions by bamboo leaf extract. *Corrosion Science*, 2012. 62: p. 163-175.
- [17] Li, X., S. Deng, and H. Fu, Inhibition of the corrosion of steel in HCl, H₂SO₄ solutions by *bamboo* leaf extract. *Corrosion Science*, 2012. 62: p. 163-175.
- [18] El Ouadi, Y., et al., Evaluation of Pelargonium extract and oil as eco-friendly corrosion inhibitor for steel in acidic chloride solutions and pharmacological properties. *Research on Chemical Intermediates*, 2015. 41(10): p. 7125-7149.
- [19] Bommersbach, P., Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous l'influence de la température et des conditions hydrodynamiques, 2005, INSA Lyon.
- [20] Uwah, I., P. Okafor, and V. Ebiekpe, Inhibitive action of ethanol extracts from *Nauclea latifolia* on the corrosion of mild steel in H₂SO₄ solutions and their adsorption characteristics. *Arabian journal of chemistry*, 2013. 6(3): p. 285-293.
- [21] Patel, N. and D. Šnita, Ethanol extracts of *Hemidesmus indicus* leaves as eco-friendly inhibitor of mild steel corrosion in H₂SO₄ medium. *Chemical Papers*, 2014. 68(12): p. 1747-1754.
- [22] Behpour, M., et al., Green approach to corrosion inhibition of mild steel in two acidic solutions by the extract of *Punica granatum* peel and main constituents. *Materials Chemistry and Physics*, 2012. 131(3): p. 621-633.



Résultats et discussion

[23] Martinez, S. and I. Stern, Thermodynamic characterization of metal dissolution and inhibitor adsorption processes in the low carbon steel/mimosa tannin/sulfuric acid system. *Applied Surface Science*, 2002. 199(1-4): p. 83-89.

[24] Muthukrishnan, P., B. Jeyaprabha, and P. Prakash, Mild steel corrosion inhibition by aqueous extract of *Hyptis suaveolens* leaves. *International Journal of Industrial Chemistry*, 2014. 5(1): p. 5.



Conclusion



Conclusion :

➤ L'efficacité inhibitrice atteinte variant de 92.37% à 93.62% pour une concentration seuil de 600ppm a été trouvée en utilisant deux méthodes d'investigation, à savoir les techniques d'impédances électrochimiques et les tracés de Tafel. Avec la méthode gravimétrique.

➤ L'augmentation de la température affecte l'efficacité inhibitrice, les données thermodynamiques obtenues montrent que ce dernier est physisorbé sur la surface d'acier.

➤ Les valeurs de R_t , déterminées à partir des limites à basses fréquences sur les diagrammes de Nyquist, confirment que le pouvoir protecteur de l'inhibiteur diminue lorsque la température croît. Nous pouvons constater, aussi, que plus la température croît plus les valeurs de la C_{dt} tendent à augmenter. Ceci est dû probablement à la désorption de l'inhibiteur à la surface métallique. Nous constatons que ce résultat est en accord avec celui issu par les mesures voltamétriques.