



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2020-2021

N° D'ORDRE : 0500/2021

N°CARTE D'ETUDIANT :
CI0415009650

MASTER

Physique Chimie

Option : Physique Chimie Appliquée à l'Environnement

THEME :

**UTILISATION DE L'ARTEMESIA HERBA
ALBA COMME INHIBITEUR VERT DE LA
CORROSION DE L'ACIER EN MILIEU
HCl(1M)**

LABORATOIRE :
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

TALL Aboubakar Sidiki

JURY

**Président : Mme TRAORE. OUATTARA Karidia, Professeure Titulaire
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Directeur : M. DONGUI Bini Kouamé, Professeur Titulaire
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Encadreur : M. CISSE M'bouillé, Maître-Assistant,
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Examineur : M. DOUMBIA Mohamadou Lamine, Maître-Assistant,
Université Jean Lorougnon Guédé**

Soutenu publiquement
le : 16/10/2021



UNIVERSITE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2020-2021
N° D'ORDRE : 0500/2021
N°CARTE D'ETUDIANT :
CI0415009650

LABORATOIRE :
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

Soutenu publiquement
le : 16/10/2021

MASTER

Physique Chimie

Option : Physique Chimie appliquée à L'environnement
THEME :

**UTILISATION DE L'ARTEMESIA HERBA
ALBA COMME INHIBITEUR VERT DE LA
CORROSION DE L'ACIER EN MILIEU
HCl(1M)**

Présenté par :

TALL Aboubakar Sidiki

JURY

**Président : Mme TRAORE OUATTARA Karidia, Professeur Titulaire
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Directeur : M. DONGUI Bini Kouamé, Professeur Titulaire
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Encadreur : M. CISSE M'bouillé, Maître-Assistant,
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Examineur : M. DOUMBIA Mohamadou Lamine, Maitre de Conférence,
Université Jean Lorougnon Guédé**

DEDICACES

A mon père.

A ma mère.

A Mes Sœurs.

Ma grande famille.

Mes enseignants du département Physique-Chimie.

Et à mes chers amis.

REMERCIEMENTS

Je voudrais exprimer ma considération distinguée à la Professeure TIDOU Abiba Sanogo Epouse KONE, Présidente de l'Université Jean Lorougnon GUEDE de Daloa.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Professeur KOUASSI Kouakou Lazare, Directeur de l'UFR Environnement à l'Université Jean Lorougnon GUEDE de Daloa.

Je voudrais adresser mes remerciements au Professeur DONGUI Bini Kouamé pour avoir accepté la direction scientifique de ce travail. Je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance. Mes remerciements vont naturellement au Docteur CISSE M'bouille, mon encadreur scientifique. Je le remercie pour sa disponibilité, pour son enthousiasme et pour l'attention particulière avec laquelle il a suivi et encadré ce travail. Je tiens encore à lui exprimer ma profonde gratitude pour son aide et ses précieux conseils. J'exprime toute ma reconnaissance aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de lire ce mémoire et aussi d'avoir accepté de le juger pour son amélioration.

Je remercie sincèrement l'ensemble des enseignants de l'UFR Environnement, auprès desquels j'ai énormément appris, plus particulièrement, les enseignants du département de **Physique Chimie Mathématique Informatique** pour leur disponibilité et leur assistance aux étudiants du laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement.

Je remercie tous mes amis de la 3ème promotion de la physiques-chimie sans exception, Particulièrement SALIFOU TOURE Ibrahim, SOUMAHORO Aboulaye, KOUADIO Paul Noel Bernard pour leurs encouragements et leur soutien de tout genre durant tout ce parcours.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : GENERALITES	3
I-Généralité sur la corrosion.....	3
I-1- Définition	3
I-1-1- Corrosion uniforme ou généralisée.....	3
I-1-2- Corrosion localisée.....	3
I-1-3- Corrosion des aciers	4
I-2-Mécanisme de base de la corrosion.....	5
I-3- Facteurs de la corrosion	5
II-Prévention contre la corrosion par les inhibiteurs.....	5
II-1- Définition.....	5
II-2- Propriétés des inhibiteurs.....	6
II-3- Utilisations des inhibiteurs	6
II-4- Classes des inhibiteurs.....	7
II-4-1- Inhibiteurs organiques	7
II.4.2. Inhibiteurs minéraux.....	8
II.4.3. Inhibiteur vert de corrosion	8
II-5- Impact environnemental des inhibiteurs	10
II-6-1- Les inhibiteurs anodiques	11

II-6-2- Les inhibiteurs cathodiques	12
II- 6-3- Inhibiteurs mixtes	12
II-7- Classification par mécanisme d'interface	12
II-7-1- Inhibition par adsorption	13
II-7-2- Inhibition par passivation	15
II-7-3- Inhibition par précipitation	15
PARTIE II : MATERIELS ET METHODES	16
II-1- Matériels	16
II-1-1-Inhibiteur	16
II-1-2- Matériaux	18
II-1-3 - Matériel de la laboratoire.....	18
I-1-4- Appareillage	20
II-2- Méthode	22
II-2-1- Technique gravimétrique	23
II -2-2- Techniques électrochimiques.....	24
II-2-3- Courbe de Polarisation intensité-potentiel.....	24
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	25
III-1 Résultats.....	25
III-1-1- Caractérisation des inhibiteurs	
III-1-2 Effet de la concentration	26
III-I-3 Effet du temps d'immersion	28
III-1-4 Effet de la température	29
II-1- Courbes de polarisation.....	31
III-2 Discussion.....	32
CONCLUSION	31
REFERENCES	32

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

C_{inh} : concentration de l'inhibiteur (mg/mol)

E_{corr} : potentiel de corrosion (V)

EI : L'efficacité inhibitrice (%)

I_{corr} : densité de courant de corrosion (A.cm⁻²)

I_{inh} : densité de courant de corrosion en présence d'inhibiteur (A.cm⁻²)

B_a : pentes de Tafel anodique

B_c : pentes de Tafel cathodique

AHA : Artémisia Herba Alba

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Composition chimique de l'acier	18
Tableau II: Résultat de la phytochimie qualitative des extraits aqueux d'espèces végétales AHA.	
Tableau III: Valeurs de la vitesse de corrosion et de l'efficacité inhibitrice de AHA à différentes concentrations dans HCl 1M à 303 K.	27
Tableau IV: Temps d'immersion et l'efficacité inhibitrice EI(%) de l'acier au carbone dans HCl 1M en présence et en absence d'extraits de AHA.	28
Tableau V: Influence de la température sur la vitesse de corrosion de l'acier au carbone et l'efficacité inhibitrice en milieu HCl 1M sans et avec addition de différentes concentrations de AHA.	30
Tableau VI: Valeurs de la vitesse de corrosion et de l'efficacité inhibitrice de AHA à différentes concentrations dans HCl 1M à 303 K.	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Modèle de la double couche interfaciale métal/solution	13
Figure 2: Représentation schématique d'adsorption de molécules inhibitrices sur une surface métallique.	14
Figure 3: Plante artémisia herba alba	16
Figure 4: Plaque chauffante.....	19
Figure 5: Balance de précision	20
Figure 6: Appareil expérimental pour les mesures gravimétriques	20
Figure 7: Photo du dispositif des mesures électrochimiques.....	21
Figure 8: Schéma d'une cellule de dépôt.....	21
Figure 9: Schéma de l'électrode de travail	22
Figure 10: Courbe de polarisation de 1M de HCl sans et avec addition du AHA à 303K	25
Figure 11: Spectre infrarouge de l'extrait aqueux de l'AHA.	
Figure 12: Vitesse de corrosion (W_{corr}) et l'efficacité inhibitrice EI(%) de l'acier dans HCl 1M en présence et en absence d'extraits de AHA à 303 K.	27
Figure 13: Variation de la perte de masse en fonction du temps d'immersion de l'acier au carbone dans hcl 1m sans et avec l'inhibiteurs AHA à 303K.....	28
Figure 14: Variation de l'efficacité inhibitrice EI(%) en fonction de la température pour différente concentration en inhibiteur AHA en milieu HCl 1M	31
Figure 15: Courbe de polarisation de 1M sans et avec addition de l'AHA à 303K	32

INTRODUCTION

La corrosion est la détérioration des matériaux par interaction physico-chimique avec leur environnement, entraînant des modifications des propriétés du métal souvent accompagnés d'une dégradation fonctionnelle de cette dernière (Oulaba, 2009). C'est un phénomène spontané qui progresse lentement. Elle entraîne d'importantes pertes de matériaux, d'argent, d'énergie, de produit, de production et d'accident graves. Elle nécessite une maintenance accrue. En outre, la corrosion peut participer à la pollution de l'environnement. L'une des méthodes de lutte contre la corrosion est l'utilisation des inhibiteurs de corrosion qui réduisent son taux au niveau souhaité avec un impact environnemental minimal. Le domaine des inhibiteurs de corrosion subit des changements spectaculaires du point de vue de la compatibilité environnementale. Les agences environnementales de divers pays ont imposé des règles et des réglementations strictes pour l'utilisation et le rejet des inhibiteurs de corrosion (Houria, 2019).

Historiquement, les inhibiteurs ont été très bien acceptés dans les industries en raison de leurs excellentes propriétés anticorrosives. Cependant, beaucoup d'entre eux peuvent s'avérer toxiques et causer d'une part des dommages réversibles ou irréversibles sur les organes du corps humain, perturber un processus biochimique ou un système enzymatique du corps, et d'autre part endommager l'environnement (Frankel, 2002).

En observant la nature, on peut trouver beaucoup de substances chimiques. Les plantes peuvent nous fournir des produits chimiques nécessaires pour inhiber le processus de corrosion. La plupart des substances présentes dans la nature sont sans danger et peuvent être extraites par des procédés simples et peu coûteux. De nombreuses recherches sur les huiles extraites des plantes pour des applications d'inhibition de la corrosion sont réalisées. Les exemples sont nombreux, tels que le henné, l'olive, la vanilline, le miel naturel, le khella, l'oignon, l'opuntia, aloès vera, Saraca Ashoka, de nombreuses huiles extraites de différentes plantes, et bien d'autres encore (Chilingar, 2013). Un grand nombre de ces substances naturelles ont prouvé leur capacité à agir comme inhibiteurs de la corrosion de différents métaux et alliages dans différents milieux agressifs. Ils sont donc plus efficaces, plus économiques, pour l'environnement et pour la santé humaine (Short, 2003).

Ce mémoire a pour objectif général l'évaluation de l'effet inhibitrice de l'extrait brut des feuilles de AHA sur la corrosion de l'acier. Pour l'atteindre, il s'agira de :

- Caractériser l'inhibiteur
- Faire une étude gravimétrique
- Faire une étude électrochimique

En plus de l'introduction et de la conclusion générale, ce mémoire de master est constitué de trois parties. La première est consacrée à la généralité suivie de la présentation du matériel et méthodes expérimentales de l'étude et une dernière partie exposant les résultats découlant de la méthodologie appliquée.

PARTIE I : GENERALITES

I-Généralité sur la corrosion

I-1- Définition

La corrosion est une réaction chimique ou électrochimique entre un matériau et son environnement, généralement un métal, et qui entraîne une dégradation du matériau et de ses propriétés. Il existe deux types de corrosion : la corrosion généralisée (ou uniforme) et la corrosion localisée (Bozec, 2000 ; Rouibah, 2003 ; Nadir, 2004 ; Bensaada, 2013).

I-1-1- Corrosion uniforme ou généralisée

On parle de la corrosion uniforme lorsque toute la surface du métal en contact avec la solution est attaquée de la même façon. Elle se traduit par une dissolution uniforme de la surface métallique en contact avec l'agent agressif. Cette forme de corrosion du matériau se développe dans les milieux acides ou alcalins.

I-1-2- Corrosion localisée

Ce phénomène survient au contraire lorsque le matériau est mis en présence d'un environnement présentant vis à vis de lui un comportement sélectif. Cette sélectivité peut avoir des origines multiples tant au niveau du matériau (alliage hétéro phase, présence d'inclusions, protection de surface localement défectueuse, matériau bimétallique...) qu'au niveau de l'environnement (variation locale de composition, de pH ou de température)

Cette forme de corrosion s'effectue en quelque point de surface d'un matériau. Cette forme de corrosion est subdivisée en plusieurs types :

- **Corrosion galvanique**

C'est une des formes les plus courantes de corrosion en milieu aqueux. Elle est due à la formation d'une pile électrochimique (entre deux matériaux ou alliages) dans laquelle une des électrodes (l'anode) se consomme (s'oxyde) au bénéfice de l'autre (la cathode) qui reste intacte.

- **Corrosion par piqûre**

Elle se produit quand les métaux protégés par un film d'oxyde mince comme l'aluminium et ses alliages et les aciers inoxydables sont mis en contact avec un milieu aqueux (pour un pH voisin de la neutralité) contenant les halogénures, notamment l'ion chlorure Cl^- .

- **Corrosion érosion**

La corrosion par érosion affecte de nombreux matériaux (aluminium, acier...). Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de la matière, elle est souvent favorisée par l'écoulement rapide d'un fluide.

- **Corrosion Caverneuse (crevasse)**

Cette forme d'attaque est généralement associée à la présence de petits volumes de solution stagnante dans des interstices, sous des dépôts et des joints, ou dans des cavernes ou crevasses, par exemple sous les écrous et têtes de rivets.

- **Corrosion intergranulaire**

Cette forme de corrosion se manifeste par une attaque localisée aux joints de grains du matériau. L'hétérogénéité au niveau du joint de grain et l'existence d'un milieu corrosif jouant le rôle d'électrolyte représentent deux conditions pour développer cette forme de corrosion.

- **Corrosion sélective**

Comme son nom l'indique, ce mode de corrosion se traduit par la dissolution sélective de l'un des éléments de l'alliage si celui-ci est homogène, ou de l'une des phases si l'alliage est polyphasé.

- **Corrosion sous contrainte (CSC)**

Ce type de corrosion se définit comme un processus de développement de fissures, pouvant aller jusqu'à la rupture complète de la pièce sous l'action combinée d'une tension mécanique et d'un milieu corrosif.

I-1-3- Corrosion des aciers

Le processus de corrosion détériore le fer à l'intérieur de l'acier, entraînant la perte de ses principales caractéristiques telles que la dureté ou la résistance. L'oxyde ferrique ou la rouille consomme le métal. C'est le sous-produit le plus courant de la corrosion et provient de l'ajout d'oxygène. La corrosion de l'acier est due à l'oxydation du fer et à la réduction du dioxygène, avec intervention du couple O_2/H_2O (Millet, 2008). Des deux formes de corrosion, la plus connue et la plus fréquemment rencontrée est la corrosion uniforme. Cette dernière est souvent considérée comme moins dangereuse que les différents types de corrosion localisée (Lacombe *et al.*, 1990), mais il n'en demeure pas moins que la quantité de métaux et d'alliage détruit est considérable.

I-2-Mécanisme de base de la corrosion

Les mécanismes de base de la corrosion d'un matériau métallique, en milieu aqueux, sont d'origine électrochimique. Ces réactions électrochimiques peuvent être décrites de la façon simplifiée suivante :

- ✓ Réaction anodique de dissolution du métal (M)



- ✓ Réaction cathodique de réduction d'une espèce de l'électrolyte (Ox)



L'espèce susceptible de se réduire doit être présente en quantité suffisamment importante dans le milieu (Barralis & Maeder, 1990). Lorsqu'un métal est mis en contact avec une solution agressive, les comportements qui peuvent se manifester sont :

- Corrosion du métal,
- Immunité du métal,
- Passivité du métal.

I-3- Facteurs de la corrosion

La corrosion d'un métal ou d'un revêtement dépend d'un certain nombre de facteurs (Chaouche, 2010 ; Madora, 2011).

- Il y a les facteurs du milieu corrosif : Il s'agit par exemple de la concentration du réactif, la teneur en oxygène, le pH du milieu, la température et la pression.
- les facteurs liés à la fabrication des pièces métalliques : ce sont les facteurs métallurgiques. Ceux-ci prennent en compte : la composition de l'alliage, les procédés d'élaboration, les impuretés, les traitements thermique et mécanique.
- Les facteurs liés aux conditions d'emploi des matériaux qui concernent : l'état de surface, la forme des pièces, l'emploi d'inhibiteur et les procédés d'assemblage.
- le facteur temps : Ce facteur comprend le vieillissement des pièces, les tensions mécaniques et la modification des revêtements protecteurs.

II-Prévention contre la corrosion par les inhibiteurs

II-1- Définition

Le mot "inhiber" est dérivé du mot latin "inhibere", qui signifie arrêter. Un inhibiteur de corrosion est une substance qui réduit le taux de corrosion lorsqu'elle est ajoutée à l'environnement corrosif à une concentration appropriée, sans que les concentrations des

espèces corrosives présentes soient modifiées de manière significative. Un inhibiteur est, en règle générale, efficace lorsqu'il est présent en petites concentrations. Pour des raisons économiques et de facilité d'application, les inhibiteurs de corrosion restent la technique de prévention de la corrosion la plus courante (Said *et al.*, 2020).

II-2- Propriétés des inhibiteurs

Un inhibiteur de corrosion doit :

- Abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques ; physico-chimiques de ce dernier ;
- Etre non seulement stable en présence des autres constituants du milieu, mais également ne pas influencer sur la stabilité des espèces contenues dans ce milieu ;
- Etre stable à la température d'utilisation ;
- Etre efficace à faible concentration ;
- Etre compatible avec les normes de non toxicité ;
- Etre peu onéreux ;

Et aussi peut être utilisé en vue d'une protection permanente (surveillance primordiale du dispositif) ou plus couramment en vue d'une protection temporaire : durant une période où la pièce est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage...) (Sylvain, 2010).

II-3- Utilisations des inhibiteurs

- Milieu acide : Ils sont utilisés pour éviter une attaque électrochimique de l'acier lors du décapage.
- Milieu neutre : Ils servent surtout à protéger les circuits de refroidissement
- Phases gazeuses : Ils sont destinés à la protection temporaire des matériaux métalliques placés dans cette atmosphère pour les conditions de stockages ou de transport ;
- Industrie pétrolière : Ils sont ajoutés dans les environnements acides pour éviter la corrosion des équipements de forage.
- Traitement des eaux : Ils sont utilisés pour traiter les eaux sanitaires, les eaux des procédés industriels, les eaux de chaudières, etc.
- Peintures : Ils sont utilisés comme additifs pour assurer la protection des métaux (Landolt, 1993).

II-4- Classes des inhibiteurs

Les inhibiteurs de corrosion peuvent être des produits chimiques synthétiques ou naturels, Il existe plusieurs possibilités pour les classer, celles-ci se distinguent de diverses manières par :

- La formation des produits (inhibiteurs organiques ou minéraux),
- Les mécanismes d'action électrochimique (inhibiteurs cathodique, anodique ou mixtes),
- Le mécanisme d'interface et principe d'action (adsorption, précipitation ou passivation) (Aliofkhazraei, 2014).

II-4-1- Inhibiteurs organiques

Les composés organiques utilisés comme inhibiteurs agissent parfois comme inhibiteurs cathodiques ou anodiques ou comme inhibiteurs cathodiques et anodiques en même temps. Mais en règle générale, ils agissent par un processus d'adsorption de surface, appelé formation de film.

Naturellement, on trouve des molécules présentant une forte affinité pour les surfaces métalliques, des composés présentant une bonne efficacité d'inhibition et un faible risque pour l'environnement. Ces inhibiteurs forment un film hydrophobe protecteur par l'adsorption des molécules inhibitrices sur la surface du métal, ce qui constitue une barrière à la dissolution du métal dans l'électrolyte. Ils doivent être solubles ou dispersables dans le milieu qui entoure le métal (Camila *et al.*, 2014). La figure (II.2) montre le mécanisme d'action des inhibiteurs organiques, lorsqu'ils sont adsorbés à la surface du métal et forment un film protecteur sur celui-ci.

L'efficacité de ces inhibiteurs de corrosion organiques est liée à la présence d'au moins d'un centre actif susceptible d'échanger des électrons avec le métal, ces centres actifs sont des hétéroatomes tel que l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. Parmi les composés organiques parfois utilisés, on peut citer :

- Les amines, triazoles,
- Les carboxylates, oxadiazole
- Les Composés thiourée, thiazoles,
- Les phosphonates (Normand *et al.*, 2004).

II.4.2. Inhibiteurs minéraux

Ces inhibiteurs sont souvent utilisés dans des milieux neutre, alcalin et rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et ce sont leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions ou cations). Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type XO_4^{n-} tels les chromates, molybdates, phosphates, silicates, etc.

Les cations sont essentiellement Ca^{2+} et Zn^{2+} et les cations qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle OH^- . L'utilisation des inhibiteurs minéraux reste à ce jour limités, car la plupart des composés efficaces présentent un côté néfaste pour l'environnement (Karima, 2017).

II.4.3. Inhibiteur vert de corrosion

C'est une molécule extraite des plantes, elle ne contient pas de métaux lourds sous d'autres composés toxiques ; elle a un double effet se traduisant par une bonne capacité à protéger les métaux et dans le même temps n'a aucun effet négatif sur l'environnement.

Les inhibiteurs de corrosion verts sont :

- Peu coûteux,
- Facilement disponibles,
- Favorables pour l'environnement,
- Écologiquement acceptables,
- Renouvelable (Lipiar *et al.*, 2019).

Ces dernières années, les plantes traditionnelles sont devenues des sources potentielles d'antioxydants, d'antimicrobiens et de métabolites secondaires pour les interventions thérapeutiques, ce qui a ouvert la voie au développement de nouveaux agents antibactériens à base de plantes (Anand, 2019 ; Gorlenko, 2020). Dans un même temps le phénomène de corrosion et la toxicité des inhibiteurs chimique montant en flèche a accru le besoin de trouver de nouvelle source inhibitrice à base de plante. Ces inhibiteurs verts de corrosion constituent un moyen de lutte original contre la corrosion des métaux. L'originalité vient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui-même mais par l'intermédiaire du milieu corrosif (Ouchenane, 2013). Selon la norme ISO 8044 (Organisation internationale de normalisation) un inhibiteur vert est une substance à base de plante ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité, celle-ci entraîne une diminution de la vitesse de corrosion du métal sans modifier de manière significative la concentration d'aucun agent corrosif contenu dans le milieu agressif (Fiaud,2002).

Dans cette étude il sera question d'utiliser l'*Artemisia herba-alba* comme inhibiteur vert de corrosion. Cette plante est connue sous le nom d'absinthe du désert, qui est largement utilisée en médecine conventionnelle et à base de plantes pour le traitement du diabète, des infections parasitaires, de l'hypertension et du rhume (Singh, 2016 ; Messaoudène, 2011).

L'*Artemisia Herba-alba* appartient principalement au genre *Artemisia* qui peut généralement pousser dans la région semi-aride de la Méditerranée (Moyen-Orient), en Afrique du Nord, en Espagne et dans la région nord-ouest de l'Himalaya (Wang, 2004). Depuis l'Antiquité, l'extrait végétal de l'*Artemisia Herba-alba* a été utilisé en médecine traditionnelle dans de nombreuses cultures car il possède de nombreuses activités pharmacologiques et biologiques, en particulier des activités antidiabétiques, antimicrobiennes, antitumorales, antipaludiques, antioxydantes, insecticides et neurologiques (Mohamed, 2010 ; Mohamed, 2019).

Au cours des dernières décennies, de nombreux chercheurs ont mené des analyses phytochimiques d'*Artemisia Herba-alba* dans plusieurs pays (Younsi, 2016 ; Younsi, 2015 ; Bourgou, 2017). Le terpénoïde sesquiterpène lactone déhydroleucodine, principalement présent dans ses parties aériennes, est responsable de ses propriétés médicinales (Altemimi, 2020). Divers composés volatils, tels que l'acétate de chrysanthényle, le chrysanthénol, l'acétophénone, la xanthocycline, le 1,8-cinéole, la - et la -thuyone, le terpinène-4-ol, le camphre et le bornéol, ont été observés dans différentes populations collectées d' *A. Herba-alba* plantes à Eilat et dans la région du désert de Judée en Israël (Moussei, 2020) et aussi au Maroc (Mohamed, 2019). Les monoterpènes et les α - et -thuyones étaient dominants dans les populations jordaniennes mais l'acétate de sabinyle, le germacrène D, l'eudesmol et l'acétate de caryophyllène ont également été identifiés (Mohamed, 2019). Les huiles essentielles des plantes du genre *Artemisia* auraient une activité antibactérienne contre certaines bactéries pathogènes. Des enquêtes très récentes en Égypte ont révélé deux nouveaux composés antimicrobiens (métabolites), à savoir le 1,3,8-trihydroxyeudesm-4-en-7 α ,11 β H-12,6 α -olide et le 5- β -D-glucopyranosyloxy-7-methoxy-6H -benzopyran-2-one des parties aériennes d' *Artemisia herba-alba*.

Le défi pour les chimistes et autres est de développer de nouveaux produits, processus et services qui assurent les avantages sociaux, économiques et environnementaux qui répondent aux nouvelles exigences de la vie. Cela nécessite une nouvelle approche qui vise à réduire les matériaux et l'intensité énergétique des procédés et des produits chimiques, à minimiser ou à éliminer la dispersion des produits chimiques nocifs dans l'environnement, à maximiser

l'utilisation des ressources renouvelables et à prolonger la durabilité et la recyclabilité des produits.

Pour pouvoir répondre à ces exigences, les chimistes sont confrontés à la découverte et le développement de nouvelles voies synthétiques utilisant des matières premières alternatives ou une chimie plus sélective, et concevoir des produits chimiques moins toxiques et intrinsèquement plus sûrs. L'idéal sera la combinaison d'un certain nombre d'objectifs environnementaux, sanitaires et sécuritaires, et économiques (Clark, 2010).

La réflexion environnementale se doit toujours d'être globale, et la prévention de la corrosion n'est pas forcément neutre. Ainsi, les inhibiteurs ou les peintures peuvent finir un jour dans la mer, et les métaux incorrodables à fort contenu énergétique augmentent nécessairement l'effet de serre (Normand., 2004).

Le critère de sélection des inhibiteurs de corrosion au XXe siècle a considérablement changé. Avant les années 1960, c'était l'efficacité, puis jusqu'aux années 1980, c'était l'économie, maintenant le critère principal est l'écologie. Des recherches intensives ont été menées sur la substitution des inhibiteurs toxiques aux produits moins toxiques ou non toxiques. Par exemple, les extraits végétaux de feuilles d'aloès et de pelures d'oranges, de mangues et de grenades, de tabac, de poivre noir, de graines de ricin, de gomme d'acacia et de lignine sont recommandés pour la protection de l'acier contre la corrosion par les acides (Groysman, 2009).

Il n'existe pas de définition claire et acceptée des inhibiteurs de corrosion « respectueux de l'environnement » ou « verts ». Ils doivent être évalués du point de vue de la santé, de la sécurité et de l'environnement. Les inhibiteurs de corrosion doivent être peu toxiques (mieux non toxiques), biodégradables, à faible bioaccumulation et ne pas contenir d'éléments et de composants nocifs (Groysman, 2009).

II-5- Impact environnemental des inhibiteurs

Au cours des dernières années, de nombreux articles, livres, et conférences ont porté sur le thème de réduire les impacts négatifs des activités humaines sur la planète et sur sa capacité à soutenir la vie. Souvent, à partir de ces discussions, les objectifs spécifiques ont vu le jour, tels que la réduction des déchets, l'augmentation du recyclage, ou approchant la durabilité. Ces déclarations peuvent être très utiles pour fournir une vision de ce qui doit être atteint. Des approches sont développées pour atteindre ces objectifs entre les disciplines, les industries et les secteurs.

Les inhibiteurs de corrosion substances chimiques, après utilisation seront rejetés dans l'environnement avec les rejets industriels (Normand, 2004 ; Hansson, 2011 ; Petrović, 2016).

Quelques exemples sont donnés à titre indicatif :

- Les inhibiteurs inorganiques contenant les ions (chromate/hydrazine) sont cancérigènes.
- Les inhibiteurs incorporés dans un revêtement protecteur, se dégradent dans la nature.
- Après utilisation, les exploitations du pétrole et du gaz en mer (offshore) évacuent l'eau directement en mer. Cette eau contient des inhibiteurs de corrosion qui présente de graves effets néfastes sur la vie aquatique. C'est clair que des préoccupations doivent être exprimées quant à l'impact environnemental des inhibiteurs de corrosion.

II-6- Classification par mécanismes d'action électrochimique

La présence d'un inhibiteur de corrosion réduit la vitesse de corrosion en affectant la vitesse des réactions électrochimiques partielles impliquées. Selon la réaction partielle qui est le plus souvent ralentie (Landolt, 1993), on distingue trois types d'inhibiteurs :

- Les inhibiteurs anodiques ;
- Les inhibiteurs cathodiques ;
- Les inhibiteurs mixtes ;

II-6-1- Les inhibiteurs anodiques

Les inhibiteurs anodiques suppriment la réaction anodique, en déplaçant le potentiel de corrosion dans le sens positif et réduisant la densité de courant. Ils sont donc également appelés inhibiteurs de passivation. Les inhibiteurs anodiques réagissent avec les ions métalliques produits sur l'anode, formant généralement des hydroxydes insolubles adsorbés sur la surface du métal sous forme de film de protection insoluble et imperméable aux ions métalliques, réduisant ainsi le taux de corrosion. La figure (II.2) montre le mécanisme d'action d'un inhibiteur anodique.

Bien que ce type de contrôle soit affecté, il peut être dangereux car des attaques locales peuvent se produire, si certaines zones sont laissées sans protection par l'épuisement de l'inhibiteur. Si de tels inhibiteurs sont utilisés à très faibles concentrations, ils provoquent une stimulation de la corrosion telle que des piqûres et pour cette raison ces inhibiteurs sont désignés comme dangereux (Singh, 2019).

II-6-2- Les inhibiteurs cathodiques

Les inhibiteurs cathodiques réduisent la corrosion en déplacent le potentiel de corrosion vers le sens négative, cela se fait en formant une barrière de précipités insolubles sur le métal, qui le recouvre et bloque les sites cathodiques. Ainsi, ils limitent le contact du métal avec l'environnement, même s'il est complètement immergé, empêchant ainsi la réaction de corrosion de se produire. De ce fait, l'inhibiteur cathodique est indépendant de la concentration, il est donc beaucoup plus sûr que l'inhibiteur anodique. La figure (II.3) montre l'illustration de l'effet mécanique des inhibiteurs cathodiques pour arrêter le processus de corrosion (Singh, 2019).

II- 6-3- Inhibiteurs mixtes

Les inhibiteurs mixtes peuvent diminuer la vitesse de réaction cathodique et anodique en même temps car ils affectent la réaction d'oxydation et de réduction, avec peu de changement dans le potentiel de corrosion (Said, 2020). L'ajout simultané de deux inhibiteurs peut donner comme résultat la croissance d'effet inhibiteur et il peut aussi éliminer aux faibles concentrations le risque à la corrosion par piqûres. Un tel inhibiteur consiste souvent en une combinaison d'agent oxydant, comme le nitrate ou les chromates, et un agent non oxydant, mais qui précipite comme orthophosphate ou silicate. Des exemples de tels inhibiteurs sont le mélange nitrate et benzoate, qui est l'inhibiteur le plus répandu et efficace pour les radiateurs d'automobile et le mélange orthophosphate et chromate, qui est très efficace même en eau salée. Dans d'autres cas, l'inhibiteur mixte est un mélange entre un inhibiteur cathodique et un inhibiteur anodique, tels que les polyphosphates et chromate. Le schéma d'Evans synthétise les divers cas de ces types d'inhibiteurs.

II-7- Classification par mécanisme d'interface

Les inhibiteurs de corrosion agissent par différents mécanismes décrits ci-dessous.

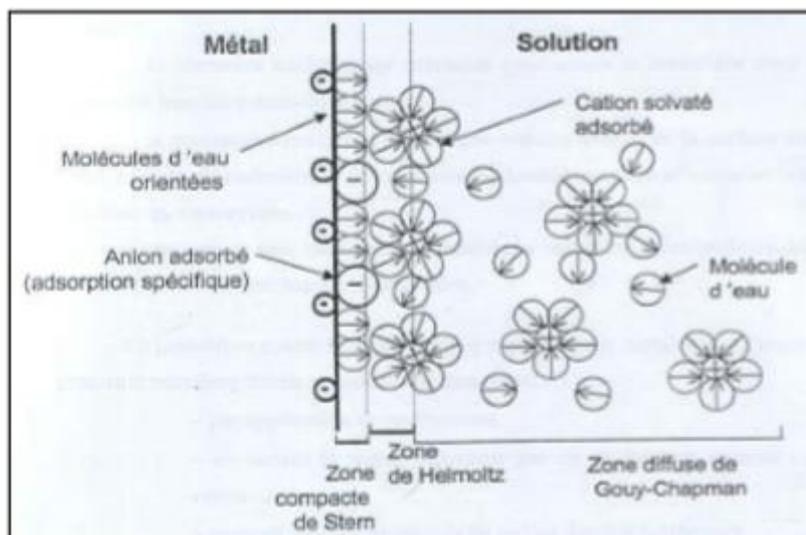


Figure 1: Modèle de la double couche interfaciale métal/solution

II-7-1- Inhibition par adsorption

Entre l'espèce adsorbée et la surface métallique existent deux types de liaisons: liaison électrostatique et liaison chimique, donc deux types distincts d'adsorption: la physisorption et la chimisorption.

L'adsorption physique conserve l'identité aux molécules adsorbées. On distingue ici trois types des liaisons : les liaisons de Van der Waals (toujours présentes), les liaisons polaires (dépendant des charges de surface et de l'inhibiteur) et les liaisons hydrogène (s'établissant entre un donneur de liaison hydrogène et un accepteur, uniquement N, O, P porteur de doublets libres (Khaled, 2009).

Par contre, la chimisorption résulte de la mise en commun des électrons entre la surface métallique et la molécule d'inhibiteur (un centre actif comme les atomes N, S, P, O) et ainsi se forment des liaisons chimiques covalentes très fortes. L'inhibiteur a le comportement d'un donneur d'électrons vis-à-vis de l'atome métallique de la surface (Landolt, 1993).

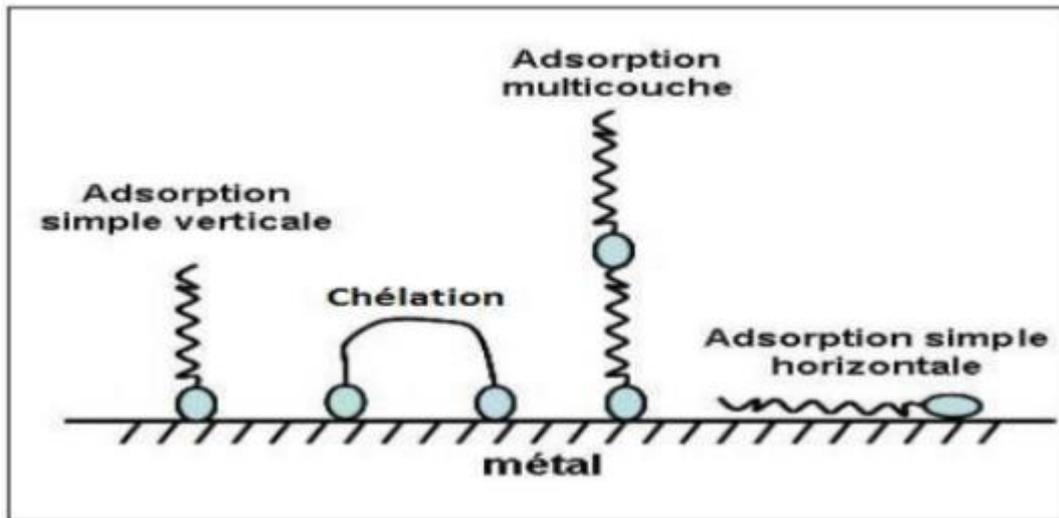


Figure 2: Représentation schématique d'adsorption de molécules inhibitrices sur une surface métallique.

Le blocage de la surface est réalisé sans

modifier les réactions élémentaires anodique et cathodique sur les parties non recouvertes et sans modifier l'énergie d'activation. Un recouvrement neutre de la surface représente un recouvrement purement géométrique, sans préférence de l'adsorbant pour des sites particuliers de la surface. Dans ce cas le taux de recouvrement θ est:

$$\theta = \gamma / \gamma_s$$

Où: γ - le nombre de sites bloqués par l'espèce inhibitrice;

γ_s - le nombre total de sites de surface disponibles (recouvrement à saturation)

Dans d'autres cas l'effet de blocage peut être limité aux seuls sites actifs anodiques ou cathodiques:

$$\theta = \gamma / \gamma_a, \text{ s avec } \gamma_a, s < \gamma_s$$

Pour la détermination du taux de recouvrement θ on utilise les pentes de Tafel. L'identité des pentes de Tafel pour un système non inhibé et pour le même système en présence d'inhibiteur est une indication du blocage non réactif de la surface et permet la détermination de θ . Après avoir trouvé les valeurs de θ on peut accéder aux isothermes d'adsorption de l'espèce inhibitrice sur la surface et calculer certaines valeurs thermodynamiques caractérisant l'interaction métal-inhibiteur.

L'isotherme de Langmuir

Cette équation indique que les constantes de vitesse chimique des réactions de transfert de charge anodique et cathodique ne dépendent pas du taux de recouvrement θ , et aussi qu'il n'y a pas d'interactions entre les espèces adsorbées à la surface.

$$\frac{\theta}{1-\theta} = BC_i$$

Où : B - constante d'équilibre d'adsorption ; θ - taux de recouvrement de la surface par l'inhibiteur ($0 < \theta < 1$) et C_i - concentration de l'inhibiteur.

II-7-2- Inhibition par passivation

Ces inhibiteurs forment des films de passivation tridimensionnels entre la surface corrodée et les molécules d'inhibitrices. L'inhibition s'appelle aussi inhibition d'interphase. Ils sont également incorporés dans les couches barrières et ainsi ces molécules inhibitrices conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant de ce fait une faible porosité et une bonne stabilité (Bommersbach, 2005).

Il existe deux catégories d'inhibiteurs passivants :

- les ions oxydants comme CrO_4^{2-} qui peuvent passiver l'acier en absence d'oxygène,
- les ions non oxydants (MoO_4^{2-} , WO_4^{2-} , PO_4^{3-} , $C_6H_5COO^-$) qui nécessitent la présence d'oxygène et déplacent la réaction cathodique de réduction de ce dernier en favorisant son adsorption à la surface du métal. Tous ces ions se consomment lentement et il est donc nécessaire de contrôler périodiquement la concentration du circuit lors d'utilisation de tels inhibiteurs (Landolt, 1993).

II-7-3- Inhibition par précipitation

Certains inhibiteurs provoquent la formation de films superficiels par précipitation de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles. Ces films réduisent l'accessibilité de l'oxygène à la surface et en plus (Landolt, 1993).

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

II-1- Matériels

II-1-1-Inhibiteur

La plante utilisée dans cette investigation est Artémisia Herba Alba(AHA), il s'agit d'une plante saharienne connue pour ses vertus dans la médecine traditionnelle. Elle a été collectée dans la région de grand Bassam au sud de la Cote d'Ivoire. La partie aérienne de la plante a été coupé en petits morceaux et séchés à l'ombre à température ambiante pendant deux semaines. La matière végétale est stockée soigneusement dans des sacs hermétiques jusqu'à son utilisation. Le choix de cette plantes est guidé par plusieurs facteurs :

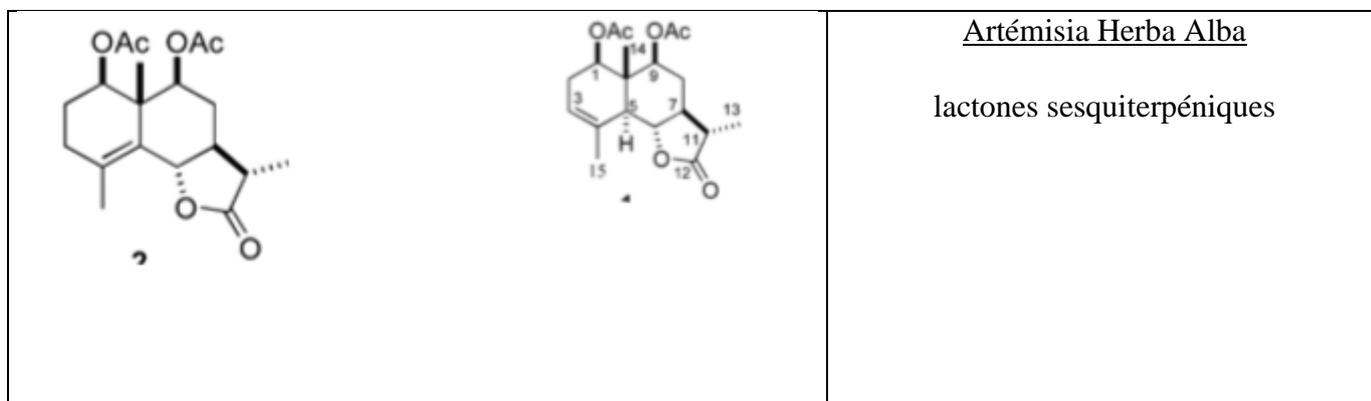
- La disponibilité,
- Leur utilisation dans la médecine traditionnelle,
- La non toxicité,
- Leur prix (non couteux),
- Produit naturel



Figure 3: Plante *Artémisia Herba Alba*

❖ Artémisia Herba Alba

Artémisia Herba Alba, connue sous le nom de 'Chih', est un arbuste nain, herbacée à tiges ligneuses, ramifiées et tomenteuses de 30 à 50 cm de long. Les feuilles sont courtes, sessiles, pubescentes et argentées. Les capitules sont groupés en panicules de petite taille de 1,5 à 3 mm allongés et étroits contenant de 3 à 6 des fleurs jaunâtres. Les bractées externes de l'involucre sont orbiculaires et pubescentes (Ozanda, 1991)(Figure 3). Artémisia Herba Alba pousse dans les zones arides du Bassin méditerranéen, et s'étend dans l'Himalaya nord-ouest. Cette plante est abondante dans la péninsule ibérique et atteint une plus grande population dans le centre de l'Espagne qui s'étend sur l'est, le sud et le sud de l'Espagne (Mansour, 2015). L'Artémisia herba alba est très utilisé au Moyen-Orient et en Afrique du nord comme analgésiques, antibactériens, antispasmodiques et hémostatiques (Laid, 2008). Il a été prouvé son effet hypoglycémiant (Awad, 2012). Il a été démontré que l'extrait de la partie aérienne de l'Artemisia Herba-alba d'Algérie est une source d'antioxydants et ayant une activités anti-inflammatoires (Eddine, 2016). Cette plante est également suggérée comme une importante source de fourrage pour les moutons et pour le bétail dans des régions comme les haut-plateau Algérien où il pousse abondamment (Furlon et al., 1974).



❖ Technique de caractérisation de l'Artémisia Herba Alba

La caractérisation qualitative de l'extrait aqueux de AHA est effectuée par un criblage phytochimique.

La phytochimie qualitative ou le screening phytochimique est un ensemble de méthodes et techniques d'analyse des substances organiques naturelles de la plante. Cette technique se base sur des réactions colorées ou de précipitation par des réactifs chimiques spécifiques réalisée sur l'extrait (Harborne, 2013 ; Kaur et al., 2011). Le criblage phytochimique génère une première

estimations sur les constituants des différents extraits issus des plantes étudiées. Les réactions de caractérisation phytochimique permettent la mise en évidence des saponosides, flavonoïdes, cyanidines, antracénosides, anthocyanosides, alcaloïdes, anthraquinone, composé réducteurs, amidon, stéroïdes et triterpènes.

❖ **Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IR-TF)**

A partir du spectre d'absorption, la spectroscopie IR-TF permet d'avoir des informations très intéressantes sur la structure d'une molécule. Elle représente une excellente technique d'analyse qualitative. De nombreux groupes fonctionnels peuvent être identifiés par leurs fréquences de vibration caractéristiques. La technique IR est la méthode la plus simple et souvent la plus fiable pour identifier un composé (Qureshi et al., 2013). Pour découvrir les groupes fonctionnels présents dans les extraits aqueux, 10 ml de chaque extrait est porté à l'évaporation dans une étuve à 40°C. Le résidu obtenu est analysé directement par un spectrophotomètre de type Perkin Elmer Spectrum 400 FT-IR.

II-1-2- Matériaux

- **Acier**

L'acier trouve un grand nombre d'application. Il se trouve dans la construction de bâtiments, la carrosserie et aussi dans les bateaux. L'acier est utilisé aussi dans les boîtes de conserve, les puces électroniques. Les outils de coupe et les pièces couramment usinées sont en grande majorité constitués de métaux ferreux. Ces matériaux sont soumis à de nombreuses sollicitations extérieures agressives les rendant, de fait, vulnérables face à la corrosion (échauffement en température, hydrodynamique, etc.) (Bommersbach, 2005).

Dans la présente étude, nous utilisons des échantillons d'acier au carbone dont la composition chimique (%) est précisée dans le tableau I

Tableau I : Composition chimique de l'acier

Elément	C	S	Si	Mn	Cr
%	0,370	0,016	0,230	0,680	0,077
Elément	Ti	Ni	Co	Cu	Fe
%C	0,011	0,059	0,009	0,160	Balance

II-1-3 - Matériel de la laboratoire

- **Erlenmeyer**

La fiole erlenmeyer, aussi connue sous le nom de fiole conique ou fiole de titrage, couramment appelée erlenmeyer ou plus familièrement erlen, est un récipient largement utilisé en verrerie de laboratoire.

- **Plaque chauffante**

La plaque chauffante est un appareil de laboratoire portable qui sert de source de chaleur pour chauffer divers objets. Elle peut être couplée avec un système d'agitation magnétique afin d'assurer une homogénéisation efficace du contenu d'un récipient.



Figure 4: Plaque chauffante

- **Balance de précision**

La balance de précision a pour rôle de pesage.



Figure 5: Balance de précision

I-1-4- Appareillage

□ Appareil de mesure gravimétrique

Dans le présent travail l'échantillon d'acier, préalablement préparé et pesés (Figure 6), ont été immergé dans le milieu HCl 1M (100 mL) (Figure 6), en absence et en présence de l'inhibiteur. Après un temps d'immersion choisi, les pièces d'acier sont retirées, lavées avec l'eau bi distillée, séchés et pesés à nouveau. La température est maintenue grâce à un bain thermostat à circulation d'eau de marque Huber (Figure 6).



Figure 6: Appareil expérimental pour les mesures gravimétriques

□ Appareil de mesure électrochimique

L'appareillage utilisé pour les mesures potentiodynamiques est un potentiostat-galvanostat, PGZ301 type Radiometer, associé au logiciel VoltaLab PGZ 100, qui était contrôlé par un ordinateur personnel (Figure 7).



Figure 7: photo du dispositif des mesures électrochimiques

- **Cellule de dépôt**

La cellule de dépôt (Figure 8) est une cuve en Pyrex, d'un volume utile d'environ 200 ml. La cellule est maintenue, par l'intermédiaire d'un bain thermostaté. Elle est munie d'un couvercle en Téflon à cinq ouvertures, dont trois permettent le passage des électrodes de travail (ET), de référence (ER) et auxiliaire ou contre-électrode (CE).

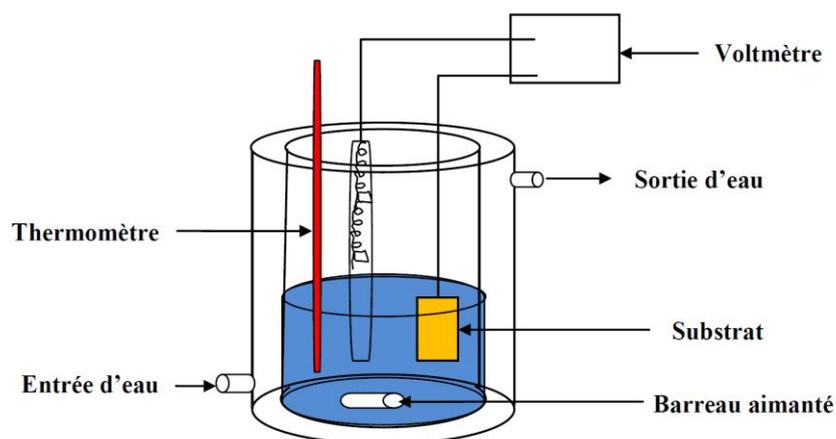


Figure 8: Schéma d'une cellule de dépôt

- ✓ **Electrode de travail** : Dans cette étude notre électrode de travail est un acier doux ordinaire, le contact électrique est assuré par le soudage à l'étain d'un fil de cuivre, recouvert d'une gaine isolante, à la face arrière de l'échantillon. Par la suite nous l'avons enrobé dans une résine à froid, de manière à ne laisser exposer au milieu corrosif que la surface de la section droite de l'échantillon. La dimension en contact avec la solution corrosive était de 1 cm^2 .

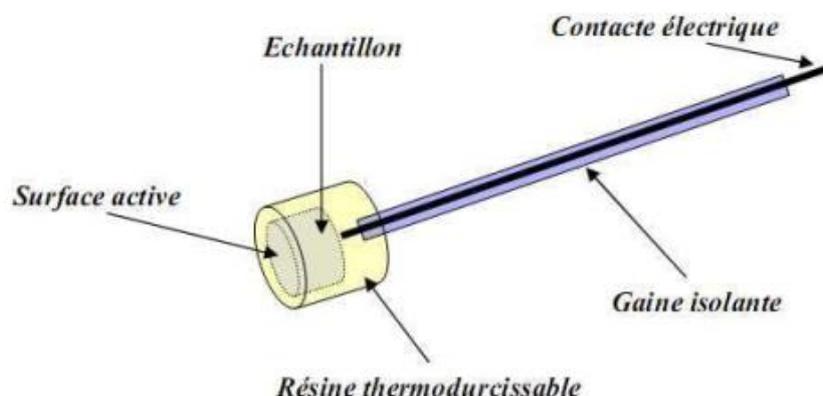


Figure 9: Schéma de l'électrode de travail

- ✓ **Electrode de référence** : L'électrode de référence utilisée est une électrode au calomel saturée (ECS) schématisée par la séquence électrochimique $\text{Hg (l) /HgCl}_2\text{(s) /KCl(s)}$. La valeur du potentiel standard ECS est + 0,241 V par rapport à l'électrode standard d'hydrogène.
- ✓ **Electrode auxiliaire** : L'électrode auxiliaire ou la contre électrode utilisée est une plaque en platine de forme carrée.

L'électrode de travail a été immergée dans la solution d'essai pendant 1 heure jusqu'à ce qu'il soit stable. La courbe de polarisation a été enregistrée par polarisation de -0,9 à 0,2 V/ecs dans des conditions potentiodynamiques correspondant à 1 mV/s (vitesse de balayage).

II-2- Méthode

II-2-1- Electrolyte

En raison de l'augmentation énorme des activités industrielles, l'acide chlorhydrique est largement utilisé pour le décapage, le nettoyage de l'équipement de la raffinerie et l'élimination des dépôts calcaires des chaudières, des radiateurs des véhicules, etc. Ainsi, les solutions utilisées sont des solutions d'acide chlorhydrique (HCl 1M) avec ou sans inhibiteurs étudiés. Les solutions d'acide ont été préparées à partir de solution commerciale d'acide concentré de pureté 37 % avec de l'eau bi-distillée.

II-2-2- préparation des inhibiteurs

Les solutions mères de l'extrait végétal ont été préparées en faisant bouillir une quantité (10 g) de la partie aérienne de plante pendant 5 h au reflux dans du HCl 1M trois fois. Le filtrat obtenu est concentré jusqu'à 100 mL (Derfouf, 2019 ; Singh *et al.*, 2010). La concentration de l'extrait est déterminée en portant 10 mL de filtrat à l'évaporation dans une étuve à 40°C. Le résidu obtenu est pesé (Abdel-Gaber *et al.*, 2009).

A partir de la solution mère extraite, des solutions d'essai d'inhibiteur ont été préparées dans la plage de concentration de 100-1000 mg/L.

II-2-1- Technique gravimétrique

C'est une des plus anciennes techniques d'étude de la corrosion. Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple et de ne pas nécessiter un appareillage important. Elle est basée sur l'immersion d'un coupon métallique dans le milieu d'essai. Après une période de temps prédéterminée, lavé, séché et enfin pesé. Ces échantillons sont exposés à la surface (S) d'un milieu corrosif maintenue à température constante pendant un temps (Δt), et à mesurer la différence de masse (Δm) de ces échantillons avant (m_i) et après (m_f) chaque essai. La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S \cdot \Delta t}$$

- V_{corr} : vitesse de corrosion en (cm/min)
- $\Delta m = m_i - m_f$ perte de masse exprimé en mg
- S : surface de l'échantillon exposé en cm^2
- ρ : masse volumique du métal (mg/cm^3)

Une des premières démarches suivies pour connaître le comportement inhibiteur/métal, c'est la mesure directe de la vitesse moyenne de corrosion par le biais de la méthode gravimétrique. La vitesse de corrosion de l'acier (W_{corr}), est déterminée par la méthode gravimétrie après 3 h d'immersion dans le milieu corrosif en absence et en présence de l'inhibiteur testé à différentes concentrations. La vitesse de corrosion et l'efficacité EI, sont calculées à partir de la relation suivante :

$$EI(\%) = \left(1 - \frac{W_{inh}}{W_{corr}}\right) \times 100$$

Où W_{corr} et W_{inh} représentent respectivement, la vitesse de corrosion de l'acier en milieu HCl 1M, sans et avec inhibiteur.

La méthode gravimétrique, nous a permis de suivre l'évolution de l'efficacité inhibitrice des extraits aqueux de la partie aérienne des plantes étudiées en fonction de la variation de la concentration, du temps d'immersion et de la température.

II -2-2- Techniques électrochimiques

Cette technique apporte d'intéressantes indications quant au mécanisme d'action de l'inhibiteur et, dans la mesure où elles sont correctement interprétées, sur la vitesse des processus de corrosion à l'instant où est faite la mesure. L'aspect quantitatif (tracé de courbes de polarisation, spectroscopie d'impédance) permet, quant à lui, d'accéder à des valeurs de paramètre physique décrivant l'état du système (courant de corrosion, taux d'inhibition, capacité de double couche, résistance de transfert de charge).

L'appareil de mesure le plus utile à l'électrochimie est le potentiostat. La cellule électrochimique la plus courante est la cellule à trois électrodes :

- l'électrode de travail et la contre électrode entre lesquelles passe le courant
- l'électrode de référence(ou impolarisable) qui permet d'évaluer la différence de potentiel entre l'électrode de travail et l'électrolyte.

Les segments linéaires des courbes Tafel ont été extrapolés au potentiel de corrosion pour obtenir les valeurs de densité de courant de corrosion (i_{corr}). L'expression de l'efficacité de protection à partir des courbes de polarisation est donnée par :

$$E_I(\%) = \left(1 - \frac{i_{corr}}{i_{corr}^0}\right) \times 100$$

Où i_{corr}^0 et i_{corr} sont respectivement les valeurs de courant de corrosion sans et avec le revêtement d'alliage du substrat.

II-2-3- Courbe de Polarisation intensité-potentiel

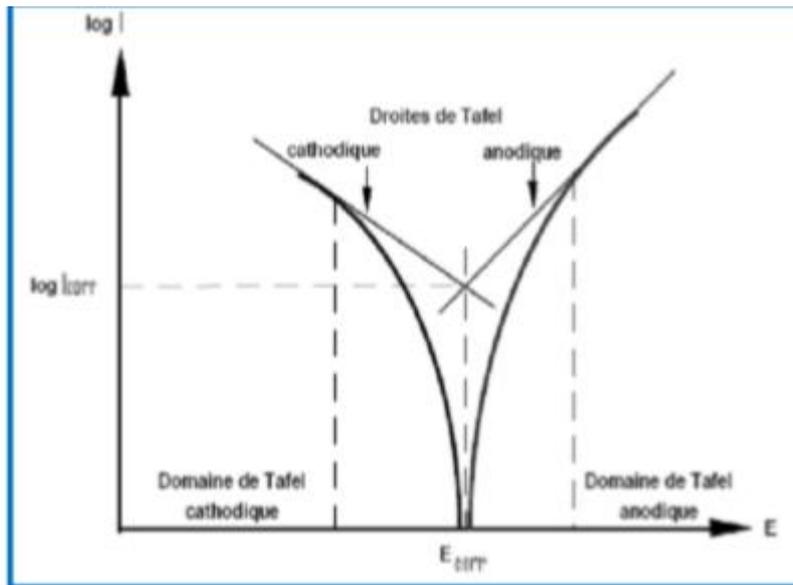
Les valeurs du potentiel de corrosion (E_{corr}), la densité de courant de corrosion (I_{corr}) anodique et cathodique des pentes de Tafel (b_a et b_c) peuvent être évaluées à partir de la région anodique et cathodique des parcelles de Tafel. Les segments linéaires de Tafel, des courbes anodiques et cathodiques, ont été extrapolés au potentiel de corrosion pour obtenir les densités de courant de corrosion (I_{corr}).

Pour la méthode de polarisation de Tafel, l'efficacité d'inhibition de la corrosion (EI%) est déterminé à partir des valeurs corrélées d' I_{corr} en utilisant la relation suivante :

$$EI(\%) = \frac{I_{corr} - I_{inh}}{I_{corr}} \times 100$$

Où I_{corr} et I_{inh} sont les densités de courant de corrosion en absence et en présence de l'inhibiteur.

La technique électrochimique stationnaire est la seule à porter sur des grandeurs physiques



intimement liés au déroulement même de la corrosion in-situ et en particulier à ses
 Figure 10: Courbe de polarisation de 1M de HCl sans et avec addition du AHA à 303K

composantes cinétiques (Baroux, 2014). A l'aide de cette méthode, une étude plus approfondie vise à mieux caractériser le mode d'action de l'inhibiteur AHA.

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III-1 Résultats

III-1-1- Caractérisation des inhibiteurs

❖ Criblage phytochimique

La phytochimie qualitative basée sur des réactions colorées ou de précipitation par des réactifs chimiques spécifiques réalisée sur les extraits, préparés selon la méthode décrite au chapitre II, génère pour une première estimation des données préliminaires sur les constituants des extraits. Les résultats de ce criblage phytochimique sont résumés dans le Tableau II.

Tableau II : Résultat de la phytochimie qualitative des extraits aqueux d'espèces végétales AHA.

Famille des composants	Artemisia Herba-Alba
Alcaloïde	+++
Tanin	++
Saponoside	++
Flavonoïde	-
Quinone	+
Stéroïdes	-
Anthracenoside	++
Anthocyanoside	+

(-): absent; (+) faible; (++) moyenne; (+++) importante.

D'après le Tableau II, on note la présence de certains métabolites secondaires dans l'extrait aqueux des plantes en questions. Ces résultats reflètent la richesse de l'extrait aqueux de AHA en alcaloïdes, saponosides et quinones. Nos résultats sont confirmés par plusieurs travaux antérieurs (Zouari et al., 2016 ; Moustafa, 2007).

❖ Spectroscopie Infra-Rouge

La Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (ou FTIR: Fourier Transformed Infra Red spectroscopy) permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, la mise en évidence des fonctions chimiques présentes dans l'extrait utilisé. L'analyse de l'extrait aqueux, séché dans l'étuve à 40°C, de la plantes étudiée AHA a donné plusieurs bandes de longueur d'ondes différentes selon le groupe fonctionnel correspondant. Le figure11 illustre les différentes bandes IR de l'extrait étudié.

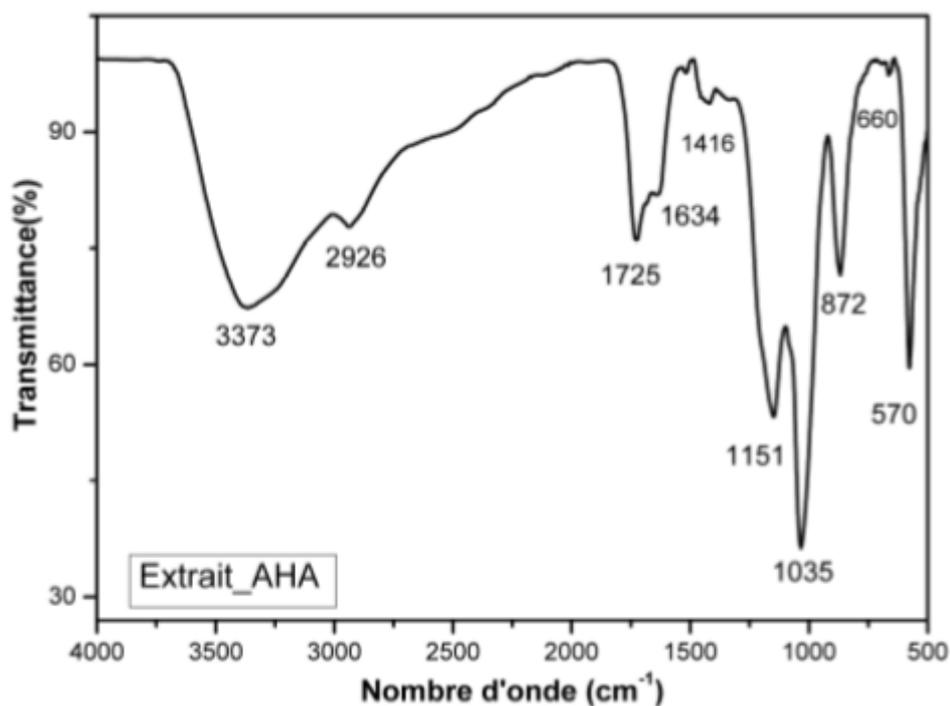


Figure 11: Spectre infrarouge de l'extrait aqueux de l'AHA.

Le spectre FTIR de l'extrait AHA de la figure 11, présente une bande à 3373 cm⁻¹ correspondant à la vibration du groupement OH/N-H, la bande attribuée aux C=O apparaît vers 1634 cm⁻¹. La bande attribuée aux C=C apparaît vers 1725 cm⁻¹. Un pic observé à 872 cm⁻¹ est dû à la vibration aromatique C-H.

Les constatations préliminaires sont prometteuses du fait que les extraits des trois plantes étudiées contiennent des alcaloïdes, quinones, tanins et des saponosides. Ces composés contiennent différents groupes fonctionnels tels que carbonyle, amino et hydroxyle avec des atomes N, O et des noyaux aromatiques. Cette composition chimique apparaît souvent dans des inhibiteurs de corrosion organiques (Siddiqui et al., 2018 ; Shahid, 2011).

III-1-1 Effet de la concentration

La variation de la vitesse de corrosion (W_{corr}) et le pourcentage d'inhibition EI (%) ont été déterminés à partir des mesures de la perte de poids de l'acier au carbone dans le milieu corrosif à 303 K en présence d'extrait d'AHA. Le spécimen a été immergé pendant 3h dans des solutions de concentrations en inhibiteur comprises entre 200 et 1000 mg. L⁻¹. Les valeurs de W_{corr} et EI (%) ont été calculées à l'aide des équations des équations ci-dessus. L'évolution de la vitesse de corrosion W_{corr} et de l'efficacité inhibitrice EI (%) avec la concentration des inhibiteurs est présentée par les figures 9.

Tableau III : Valeurs de la vitesse de corrosion et de l'efficacité inhibitrice d'AHA à différentes concentrations dans HCl 1M à 303 K.

Inhibiteur	Concentration (mg/L)	Wcorr (mg /h.cm-2)	EI (%)	Θ
AHA	200	0,2462	68,33	0,6833
	400	0,1566	79,86	0,7986
	600	0,1191	84,86	0,8486
	800	0,1005	87,08	0,8708
	1000	0,0876	88,73	0,8873

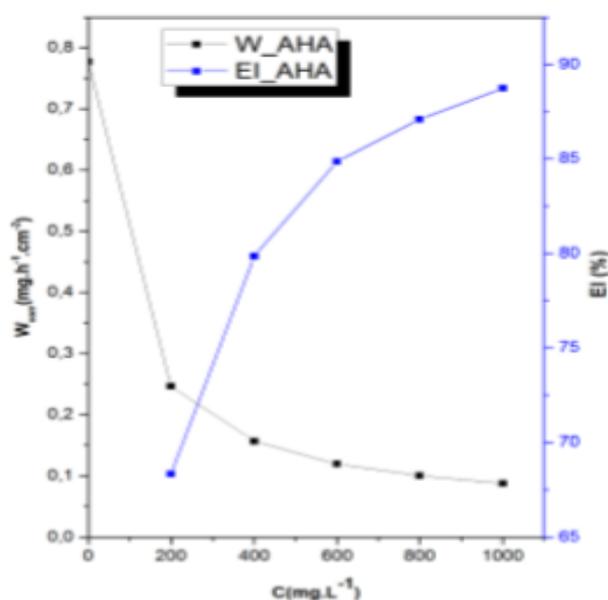


Figure12: Vitesse de corrosion (W_{corr}) et l'efficacité inhibitrice (EI) de l'acier dans HCl 1M en présence et en absence d'extraits de AHA à 303 K.

III-I-3 Effet du temps d'immersion

L'évaluation de la stabilité de l'adsorption des inhibiteurs à la surface de l'acier au carbone a été réalisée par la mesure de perte de poids. La variation de la perte de masse de l'acier au carbone est déterminée à différents temps d'immersion (1-24 h) dans HCl à 303 K, avant et après addition d'extrait d'AHA à une concentration optimale (1000 mg. L^{-1}) (Figure III).

Tableau IV: Temps d'immersion et l'efficacité inhibitrice (EI) de l'acier au carbone dans HCl 1M en présence et en absence d'extraits d'AHA.

Inhibiteur	Temps d'immersion(h)	Perte de poids (mg.cm^{-3})	EI(%)
AHA	1h	0,5	77,891
	3h	2,5	88,64
	8h	4,5	88,64
	24h	12,5	77,891

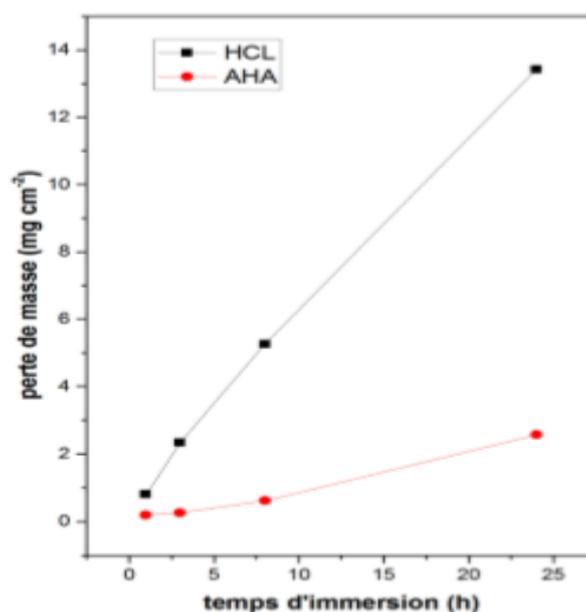


Figure 13: Variation de la perte de masse en fonction du temps d'immersion de l'acier au carbone dans HCl 1M sans et avec l'inhibiteurs AHA à 303K

III-1-4 Effet de la température

La température est l'un des facteurs susceptibles d'influencer le comportement d'un matériau dans un milieu corrosif, en modifiant l'interaction métal-inhibiteur dans ce milieu. Lors de décapages dans les bains acides à haute température, l'inhibiteur utilisé doit avoir une certaine stabilité qui lui permettra de protéger les surfaces acides. D'un autre côté, l'étude de l'effet de la température est d'une grande importance puisqu'elle peut nous renseigner sur le mécanisme d'action de l'inhibiteur (chimisorption ou physisorption) et sur les énergies apparentes d'activation du processus de corrosion en absence et en présence de celui-ci.

Tableau III : Influence de la température sur la vitesse de corrosion de l'acier au carbone et l'efficacité inhibitrice en milieu HCl 1M sans et avec addition de différentes concentrations d'AHA.

T (K)	C (mg/L)	W (mg/cm².h)	EI (%)	Θ
303	Blanc	0,7773
	200	0,2462	68,33	0,6833
	400	0,1566	79,86	0,7986
	600	0,1191	84,86	0,8708
	800	0,1004	87,08	0,8873
	1000	0,0876	88,73	0,8187
313	Blanc	1,2653
	200	0,4467	64,70	0,6470
	400	0,3244	74,36	0,7436
	600	0,2752	78,25	0,7825
	800	0,2643	79,11	0,7911
	1000	0,2294	81,87	0,8187
323	Blanc	1,7190	
	200	0,8076	53,02	0,5302
	400	0,5991	65,15	0,6515
	600	0,5253	69,44	0,6944
	800	0,4641	73,00	0,7300
	1000	0,4190	75,62	0,7562
333	Blanc	2,9025	
	200	1,8314	36,90	0,3690
	400	1,5200	47,63	0,4763
	600	1,3648	52,98	0,5298
	800	1,0674	63,22	0,6322
	1000	0,9350	67,79	0,6779

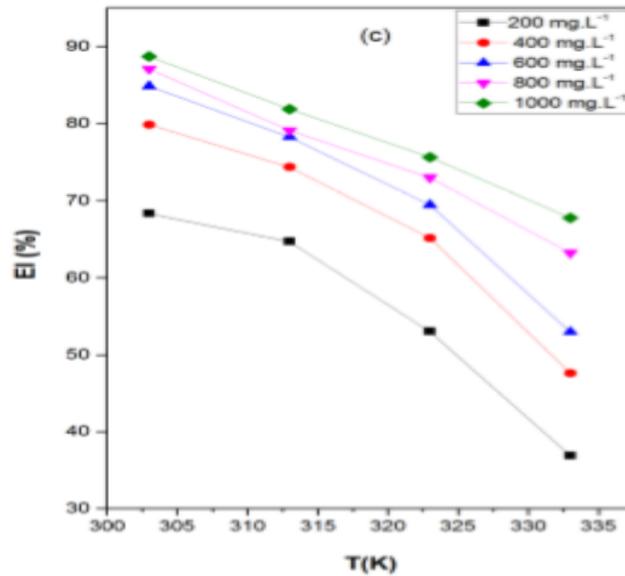


Figure 14: Variation de l'efficacité inhibitrice EI(%) en fonction de la température pour différente concentration en inhibiteur AHA en milieu HCl 1M

II-1- Courbes de polarisation

Les courbes de polarisation de l'acier au carbone dans les solutions HCl 1M à 303 K en absence et en présence de l'inhibiteur AHA à différentes concentrations. Ces courbes ont été obtenues après 2h d'immersion. Le tableau II résumant les valeurs des densités de courant de corrosion (I_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}), la pente de Tafel (β_c) et l'efficacité d'inhibition EI (%) pour différentes concentrations d'inhibiteur dans HCl 1M. L'efficacité inhibitrice de corrosion EI (%) est définie par l'équation :

$$EI(\%) = \left(1 - \frac{I_{inh}}{I_{corr}}\right) \times 100$$

Où I_{corr} et I_{inh} sont les densités de courant sans et avec inhibiteur respectivement, déterminés par extrapolation des droites de Tafel.

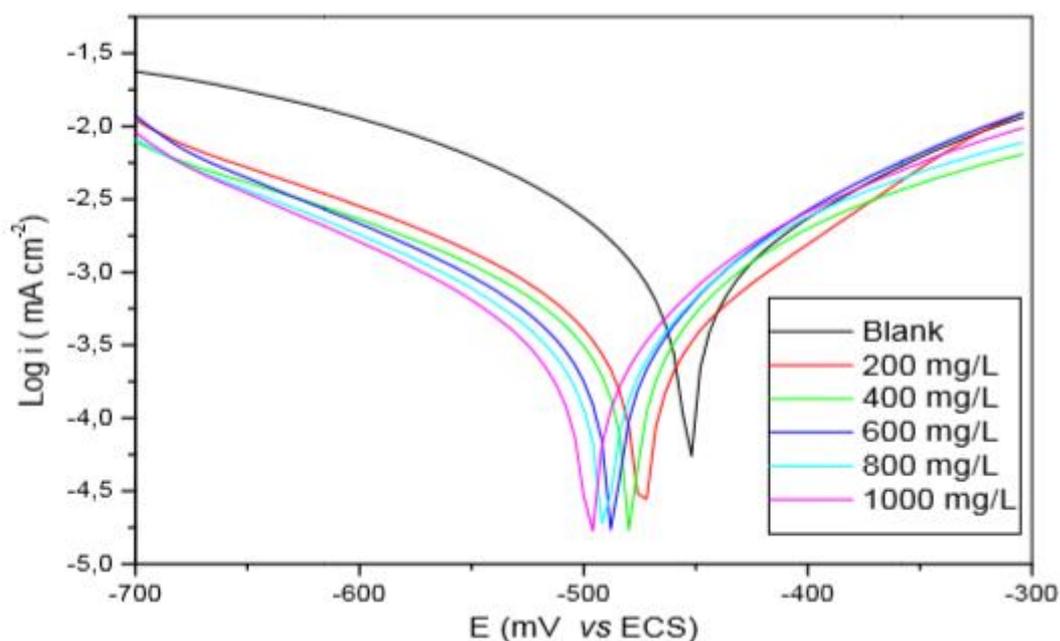


Figure 15: Courbe de polarisation de 1M sans et avec addition de l’AHA à 303K

Tableau IVI : Valeurs de la vitesse de corrosion et de l’efficacité inhibitrice d’AHA à différentes concentrations dans HCl 1M à 303 K.

	Conc. (mg/L)	-E_{corr} (mV/SCE)	I_{corr} (mA.cm ⁻²)	-β_c (mV.dec ⁻¹)	IE %
AHA	200	464	0.425	130	68.52
	400	475	0.323	127	76.07
	600	476	0.219	124	83.78
	800	496	0.165	117	87.78
	1000	507	0.142	115	89.48

III-2 Discussion

L'augmentation de la concentration en inhibiteur, est une indication d'une augmentation du nombre de composants de l'extrait adsorbé sur la surface de l'acier. Il bloque ainsi les sites actifs dus à l'attaque directe de l'acide et protègent le métal contre la corrosion.

Il est clair que cet inhibiteur retarde la corrosion à des températures plus basses, et l'effet d'inhibition est diminué à des températures élevées. Selon la littérature (Karthik *et al.*, 2017), cela est probablement dû à la désorption partielle des composants des extraits de AHA de la

surface du métal. Dans ce cas, l'adsorption est principalement due à une interaction électrostatique qui s'est réduite à haute température (Oguzie *et al.*, 2010 ; Trémillon, 1993). Ceci confirme que le processus d'adsorption est principalement du type physisorption. Ces interprétations prouvent que le processus d'inhibition provoque un conflit interne entre les phénomènes d'adsorption/désorption des composés d'inhibiteurs.

L'analyse de la courbe de polarisation permet de soulever certains points importants. Les valeurs du courant de corrosion (I_{corr}) anodique et cathodique, diminuent avec l'augmentation de la concentration en extrait de AHA. Les courbes de polarisation cathodiques forment des droites quasi parallèles, cela indique que l'introduction de l'inhibiteur au milieu acide ne modifie pas le mécanisme de l'évolution de l'hydrogène et la réduction des ions H^+ à la surface du métal a lieu principalement par le biais d'un mécanisme de transfert de charge (mécanisme d'activation pure).

Dans le cas étudié et d'après les résultats du tableau III, l'ajout de l'inhibiteurs testés provoquent une légère modification des pentes des droites de Tafel (β_c). Ce résultat nous amène à suggérer que le mécanisme de réduction du proton (la plus lente) n'est pas modifié par l'addition des inhibiteurs (Trémillon, 1993). Un léger déplacement de potentiel de corrosion (E_{corr}) est à signaler. Dans ces conditions, un inhibiteur est généralement considéré comme anodique ou cathodique, lorsque la différence entre le potentiel de corrosion (E_{corr}) sans et avec inhibiteur est supérieure à 85 mV (Hmamou *et al.*, 2013 ; Olivares-Xometl, 2018). Dans la présente étude, le (Tableau III.2), révèle un petit déplacement dans le potentiel de corrosion de l'ordre de (20-36) mV. En plus, les valeurs du potentiel de corrosion (E_{corr}) décalées vers le sens négatif, indiquent ainsi que l'inhibiteur en question, AHA agit comme un inhibiteur mixte ayant une prédominance cathodique. Vue cette analyse, il est bien clair que l'addition de l'extrait aqueux de la partie aérienne AHA, diminue la vitesse des deux réactions partielles en réduisant la dissolution anodique et en retardant la réaction d'évolution de l'hydrogène (Jeyaprabha *et al.*, 2015). L'addition de 200 mg/L à 1000 mg/L d'inhibiteur en question conduit rapidement à une diminution de la densité de courant de corrosion (I_{corr}) et une augmentation de l'efficacité d'inhibition (E.I %). Cette dernière atteint les valeurs de 91,94% ; 88,59% et 89,48 % à 1000 mg/L AHA respectivement. Selon le tableau III.2, l'évolution de l'inhibition en fonction de la concentration semble tendre vers une limite.

CONCLUSION

L'objectif de ce mémoire était de mettre en valeur de nouveaux inhibiteurs de corrosion de l'acier dans un milieu acide. L'inhibiteur utilisé est l'extrait aqueux de la partie aérienne de *Artémisia Herba Alba* (AHA).

L'évaluation du pouvoir inhibiteur des extraits sur l'acier en milieu HCl 1M au travers de l'influence de la concentration, du temps d'immersion et de la température sur les processus de corrosion en l'absence et en présence d'inhibiteur a été étudiée par des mesures gravimétriques.

Les résultats obtenus montrent une augmentation de l'efficacité avec la concentration. Un maximum de 90%, 89% est atteint pour une concentration de 1000 mg.L⁻¹ de AHA. L'effet du temps d'immersion a également été réalisé, cette étude a permis de confirmer la stabilité de l'inhibiteur en question.

La cinétique de l'inhibition de corrosion de l'acier au carbone à l'aide des courbes de polarisation relatives aux composés testés (AHA) a montré que la réaction de réduction de l'hydrogène à la surface de l'acier se fait selon un mécanisme d'activation pure. L'inhibiteur agit comme inhibiteur mixtes à prédominance cathodique.

Finalement, vue la diversité des résultats, le processus d'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone en milieu HCl 1M par AHA est plus complexe qu'une simple adsorption physique. Le processus d'adsorption chimique ne peut être complètement exclu. Le transfert ou le partage d'électrons entre les molécules des inhibiteurs et les orbitales d'insaturées de la surface est renforcé par la présence d'hétéroatomes avec des paires d'électrons libres, des orbitales des molécules ayant des électrons faiblement liés ; comme il peut se produire avec des molécules ayant des liaisons multiples ou des noyaux aromatiques possédant des électrons π . L'inhibition se fait par adsorption physique renforcée par formation de liaison chimique entre les composants des inhibiteurs et la surface de l'acier au carbone.

Nous pouvons envisager quelques perspectives pour la poursuite de ce travail :

- L'évaluation de l'efficacité de ce composé comme inhibiteur de la corrosion pour d'autres alliages dans différents milieux ;
- D'utiliser ces extraits naturels comme additifs anticorrosifs pour peintures à base aqueuse ;
- Faire une étude plus poussée pour connaître l'effet inhibiteur des familles tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes et les tanins

REFERENCES

- Abdel-Gaber A., Abd-El-Nabey B. & Saadawy M. (2008). The role of acid anion on the inhibition of the acidic corrosion of steel by lupine extract. *Corrosion science*, 51(5) : 1038-1042.
- Abood S., Eichelbaum S., Mustafi S., Veisaga M. L., Lopez L.A. & Barbieri M. (2017). Propriétés biomédicales et origines des lactones sesquiterpéniques, en mettant l'accent sur la déhydroleucodine. *National Production Commun*, 12 : 654-670.
- Altemimi A.B., Mohammed M.J., Yi-Chen L., Watson D.G., Lakhssassi N., Cacciola F. & Ibrahim S.A. (2020). Optimisation de l'extraction de kaempférol par ultrasons à partir d'*Ocimum basilicum* à l'aide d'une conception Box-Behnken et de sa validation densitométrique. *Aliments*, 9 : 11357-1379.
- Anand U., Jacobo H., Altemimi A.B. & Lakhssassi N. (2019). Une revue complète sur les plantes médicinales en tant que thérapeutiques antimicrobiennes : pistes potentielles de découverte de médicaments biocompatibles. *Métabolites*, 9 : 248-258.
- Baroux B. (2014). La corrosion des métaux: Passivité et corrosion localisée : Dunod, France, 137 p.
- Bensaada S. (2013). Effet des inhibiteurs de corrosion $ZnCl_2$, Na_2MoO_4 et $ZnCl_2 + Na_2MoO_4$ sur le comportement de l'acier pour armature à béton en milieu oxydant NaCl. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, 145 p.
- Bhuvaneswari T., Vasantha V. & Jeyaprabha C. (2018). Pongamia Pinnata as a green corrosion inhibitor for mild steel in 1N sulfuric acid medium, *Silicon*, 10 (5) :1793-1807
- Bommersbach P. (2005). Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous influencé de la température et de conditions hydrodynamiques : caractérisation par techniques électrochimiques, Thèse génie des matériaux, Lyon : INSA de LYON, 154 p.
- Bourgou S., Rebey I.B., Mkadmini K., Isoda H., Ksouri R. & Ksouri W.M. (2017). Profilage LC-ESI-TOF-MS et GC-MS d' *Artemisia herba-alba* et évaluation de ses propriétés bioactives. *Research International*, 99 : 702-712.
- Chaouche K. (2010) Etude de pouvoir inhibiteur de quelques amines ferrocénique vis-à-vis la corrosion aqueuse. *Mémoire de magister*, Université d'Ouargla, 45 p.

- Derfouf H., Harek Y. & Larabi L. (2019). Corrosion inhibition activity of carbon steel in 1.0 M hydrochloric acid medium using Hammada scoparia extract: gravimetric and electrochemical study, *Journal of adhesion science and Technology*, 4: 1-26.
- Fiaud C., Lemaitre C. & Pebere N. (2002). Inhibiteur de corrosion, In : G. Beranger, H. Mazille, Corrosion et anticorrosion (pratique industrielle), Mécanique et ingénierie des matériaux, Lavoisier, Paris, *Hermès Science Publication*, 231 p.
- Gorlenko C.L., Kiselev H.Y. & Budanova E.V. (2020). Métabolites secondaires des plantes JAA dans la bataille des médicaments et des bactéries résistantes aux médicaments : nouveaux héros ou pires clones d'antibiotiques ? *Antibiotiques*, 9 : 165-170.
- Groysman A. (2009). Corrosion for Everybody: Springer, Netherlands, 231 p.
- Hansson C. (2011). The impact of corrosion on society, *Metallurgical and Materials Transactions*, 42(10) : 2952-2962.
- Hmamou D. B., Salghi R. & Zarrouk A. (2013). Weight loss, electrochemical, quantum chemical calculation, and molecular dynamics simulation studies on 2-(benzylthio)-1, 4, 5-triphenyl-1H-imidazole as an inhibitor for carbon steel corrosion in hydrochloric acid," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(40): 14315-14327
- Hudaib M. & Aburjai T. (2006). Composition de l'huile essentielle d'Artemisia herba-alba cultivée en Jordanie. *Journal of Essential. Huile Research*, 18 : 301-304.
- Karthik R., Muthukrishnan P. & Chen S.-M. (2015). Anti-corrosion inhibition of mild steel in 1 M hydrochloric acid solution by using tiliacoraaccuminata leaves extract, *Interntionnal of Joural Electrochemistry Science*, 10, 3707-3725.
- Khaled K. & Al-qahtani M.M. (2009). The inhibitive effect of some tetrazole derivatives towards Al corrosion in acid solution: Chemical, electrochemical and theoretical studies, *Materials Chemistry and Physics*, 113(1): 150-158.
- Lacombe P., Baroux B. & Beranger G. (1990). Les aciers inoxydables. Les Ulis : Les éditions de physique, 1011 p.
- Madora N. (2011). Etude de l'effet d'inhibition des composants dithiole thiones et son sel dérive dans le milieu H₂SO₄, Mémoire de magister Université d'Ouargla, 54 p.
- Messaoudène D., Belguendouz H., Ahmedi M. L., Benabdelkader T., Otmani F., Terahi, M., Youinou P. & Touilboukoffa C. (2011). Effets ex vivo des flavonoïdes extraits

- d'Artemisia herba Alba sur la production de cytokines et d'oxyde nitrique chez les patients algériens atteints de la maladie d'Adamantiades-Behcet. *Journal of Inflammation*, 8 : 35-44.
- Mohamed A.E.H., El Sayed M.A., Helaly S.E., Esmail A.M. & Mohamed N.S. (2010). Métabolites antimicrobiens de l'herbe médicinale *Artemesia Herba Alba*, *Rec. Nat Prod*, 4 : 1-25.
- Mohamed S.A.R., Amer M. & El Faky A.S.A. (2019). Retard de croissance et mort apoptotique des cellules tumorales par administration orale d' *Artemisia herba-alba* chez des souris porteuses d'un carcinome solide d'Ehrlich. *Revista Brasileira de Farmacognosia.*, 29 : 763-772.
- Mohamed T.A., Abd El Aty A.A., Shahat A.A., Abdel-Azim, N.-É., Shams K.A., ElShamy, I.A., Ahmed M.M., El-Wassimy T.M. & El-Toumy S.A. (2010). Métabolites antimicrobiens de l'herbe médicinale *Artemisia herba-Alba* . *National. Production Resaerch*, 1-9.
- Moussei I.M., Nayme K., Timinouni M., Jamaledine J., Filali H. & Hakkou F. (2020). Effets antibactériens synergiques des huiles essentielles marocaines d'Artemisia herba alba, de Lavandula angustifolia et de Rosmarinus officinalis. *Synergie*, 10 : 1456-1468.
- NACE (1965). Glossary of corrosion Terms, Materials Protection, 143 p.
- Normand B. (2004). Prévention et lutte contre la corrosion : une approche scientifique et technique : Presses polytechniques et universitaires romandes 234 p.
- Normand B. (2004). Prévention et lutte contre la corrosion: une approche scientifique et technique: Presses polytechniques et universitaires romandes, 66 p.
- Oguzie E., Enenebeaku C. & Akalezi C. (2010). Adsorption and corrosion inhibiting effect of Dacryodis edulis extract on low-carbon-steel corrosion in acidic media, *Journal of Colloid and interface Science*, 349(1): 283-292.
- Ouchenane S. (2013). Influence des inhibiteurs sur la corrosion de l'acier a37 dans différents milieux et leurs effets biocides sur e. coli. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba 234 p.
- Petrović Z. (2016). Catastrophes caused by corrosion, *Military Technical Courier/ Vojnotehnicki Glasnik*, 64(4): 1-12

- Quraishi M., Singh A. & Singh V. K. (2010). Green approach to corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid and sulphuric acid solutions by the extract of *Murraya koenigii* leaves, *Materials chemistry and Physics*, 122(1): 114-122.
- Rouibah K. (2003). 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, Université d'Ouargla 54 p.
- Singh A., Pratap-Singh A. & Ramaswamy H.S. (2016). Un processus d'agitation contrôlé pour améliorer la qualité des haricots verts en conserve pendant le traitement thermique d'agitation. *Journal of Food Science*, 81 : 1399-1411.
- Sylvian B.G. (2010). Anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages industriels, rapport de stage, Press polytechniques et universitaires Romandes 33 p.
- Trémillon B. (1993). Electrochimie analytique et réactions en solution: Masson, Paris, France, 234 p.
- Wang W.M. (2004). Sur l'origine et le développement de l'*Artemisia* (Asteraceae) dans le passé géologique. *Bot, J. Linn. Soc.*, 145, 331-336.
- Younsi F., Trimech R., Boulila A. Ezzine O., Dhahri S., Boussaid M. & Messaoud C. (2016) Huile essentielle et composés phénoliques d'*Artemisia herba-alba* (Asso.) : Composition, activités antioxydante, antiacétylcholinestérase et antibactérienne. *International Journal of Food Propice*, 19: 1425-1438.
- Younsi M., Souris H.A., Jaafari A. & Ziad A. (2015). Analyse phytochimique comparative des huiles essentielles de différentes parties biologiques d'*Artemisia herba alba* et de leur effet cytotoxique sur les cellules cancéreuses. *PLoS ONE*, 10 : 131-149.

RESUME

La préservation de l'environnement est un défi auquel sont confrontés les scientifiques et les décideurs politiques. Dans cette optique, notre objectif est la valorisation de l'extrait aqueux de plante saharienne *Artémisia Herba Alba* étant qu'inhibiteur de corrosion de l'acier dans une solution de HCl 1 M. L'influence de la concentration, du temps d'immersion et de la température sur les processus de corrosion de l'acier en milieu HCl 1M en présence d'inhibiteur a été étudiée par des mesures gravimétriques. Le suivi du mécanisme d'inhibition est assuré par la méthode électrochimique (courbes de polarisation). A partir de ces essais, la vitesse de corrosion a été calculée pour les différentes conditions expérimentales. Les paramètres thermodynamiques et d'activations sont ainsi déterminés. Ces résultats confirment la formation d'un film protecteur sur la surface de l'acier.

Mots clés : Artémisia, Acide, inhibiteur vert, acier, corrosion, polarisation

ABSTRACT

Preserving the environment is a challenge facing scientists and policy makers. From this perspective, our goal is to promote the aqueous extract of the Saharan plant *Artemisia Herba Alba* as a corrosion inhibitor of steel in a 1 M HCl solution. The influence of concentration, immersion time and temperature on the corrosion processes of steel in 1M HCl medium in the presence inhibitor was studied by gravimetric measurements. The inhibition mechanism is monitored by the electrochemical method (polarization curves). From these tests, the corrosion rate was calculated for the different experimental conditions. The thermodynamic and activation parameters are thus determined. These results confirm the formation of a protective film on the surface of the steel.

Keywords: Artémisia, Acid, green inhibitor, steel, corrosion, polarization