

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ 20 AOÛT 1955 SKIKDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie de l'environnement

Etude de l'efficacité protectrice de l'acier
contre la corrosion par un médicament

Soutenu le 04/07/2023

Réalisé par :

Encadré par : REMACHE Malika

BOUKEHLA AYMEN SEIF EDDINE

FERNANI SALAHE EDDINE

Année Universitaire 2022- 2023



REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement Remache Malika, mon encadreur, pour toute son attention, sa disponibilité, ses conseils et pour ses encouragements durant la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier également les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous tenons à remercier particulièrement tous mes collègues de génie de l'environnement et de génie des procédés de l'Université 20 août 1955 de Skikda.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail
A ceux qui m'ont poussé à continuer
Mes études.

A ma mère qui m'a donné tout le courage et le
soutien pour continuer
À mon cher père qui ne cesse de m'orienter et me
donner l'espoir et la volonté de faire le maximum
pour réussir.

A tous mes frères et mes sœurs.
A toute ma famille.



Liste des Symboles et des abréviations

v : la vitesse de corrosion

M : la perte de masse après le temps d'exposée de l'échantillon (mg)

K : une constante

S : Surface

t : temps

mg : milligrammes

cm² : centimètre carré

h : heures

j : jours

V : la vitesse de réaction

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

i : la densité de courant de transfert de charge

V_{corr} : Vitesse de corrosion

R : Constante universelle des gaz parfaits.

T : Température absolue.

EI: l'efficacité d'un inhibiteur

g : gramme

RP : Résistance de polarisation

C : Concentration de l'inhibiteur

M : Mole par litre

T : Température

E : Le potentiel électrode/solution

E_{corr} : Potentiel de corrosion

Δm: différence de masse

M : masse moléculaire en (g / mol)

A : Facteur pré exponentiel

Ea : Energie d'activation

Corr : corrosion

Inh : inhibiteur

an: année

HCl : acide chlorhydrique

T : Taux de corrosion

Liste des Figures

Figure I.1 :	<i>Variation du taux de corrosion en fonction du pH.</i>	05
Figure I.2 :	<i>Corrosion Généralisée</i>	06
Figure I.3 :	<i>Corrosion localisée</i>	07
Figure I.4 :	<i>Corrosion par piqûres sur la paroi d'une cuve en acier Inoxydable austénitique Cr18Ni10</i>	07
Figure I.5 :	<i>Amorçage (a) et propagation (b) d'une piqûre</i>	08
Figure I.6 :	<i>Corrosion caverneuse d'un acier allié sous un joint</i>	08
Figure I.7 :	<i>Représentation schématique d'une pile de corrosion</i>	09
Figure I.8 :	<i>Corrosion sous contrainte</i>	10
Figure I.9 :	<i>Corrosion inter granulaire</i>	10
Figure I.10 :	<i>Dézincification d'un boulon en laiton</i>	11
Figure I.11 :	<i>Corrosion filiforme</i>	12
Figure I.12 :	<i>Corrosion-érosion</i>	12
Figure I.13 :	<i>Diagramme de Pourbaix du fer</i>	15
Figure II.1 :	<i>Métal au contact d'un milieu agressif.</i>	18
Figure II.2 :	<i>Classement des inhibiteurs de corrosion</i>	20
Figure II.3 :	<i>Représentation du rôle d'un inhibiteur anodique en milieu acide a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur</i>	21
Figure II.4 :	<i>Schéma de polarisation potentiostatique : comportement électrochimique d'un métal dans une solution en présence (a) et en absence (b) d'inhibiteur anodique</i>	21
Figure II.5 :	<i>Illustration des effets des inhibiteurs inorganiques anodiques et leur mécanisme d'action</i>	22
Figure II.6 :	<i>Représentation du rôle d'un inhibiteur cathodique, (a) sans inhibiteur, (b) avec Inhibiteur</i>	23
Figure II.7 :	<i>comportement électrochimique d'un métal dans une solution d'inhibiteur cathodique (a) par rapport à la même solution, sans inhibiteur (b).</i>	23

Figure II.8 :	<i>Mécanisme d'action des inhibiteurs cathodiques.</i>	24
Figure II.9 :	<i>Inhibiteur formant une couche tridimensionnelle</i>	24
Figure II.10 :	<i>Formation des couches barrières cathodiques(A) et anodiques(B) en milieu acide.</i>	26
Figure II.11 :	<i>modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique</i>	28
Figure III.1:	<i>Préparation des échantillons (polissage).</i>	34
Figure III.2:	<i>Balance analytique</i>	35
Figure III.3:	<i>Bécher</i>	35
Figure III.4:	<i>Courbe de polarisation $I=f(E)$.</i>	36
Figure III.5:	<i>Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel.</i>	37
Figure III.6:	<i>Principe de la spectroscopie l'impédance électrochimique</i>	38
Figure III.7:	<i>schéma représentatif d'une électrode de travail utilisée dans les essais électrochimique.</i>	39
Figure III.8:	<i>dispositif expérimental pour les essais électrochimiques.</i>	40
Figure IV.1:	<i>Évolution de la vitesse de corrosion de l'acier au carbone en fonction de temps en milieu HCl (1M) en absence d'inhibiteur.</i>	43
Figure IV.2:	<i>Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier étudié et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de l'inhibiteur CO-Dolyc pendant 2 heures d'immersion.</i>	44
Figure IV.3:	<i>Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier étudié et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de l'inhibiteur CO-Dolyc pendant 4 heures d'immersion.</i>	45
Figure IV.4:	<i>Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier étudié et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de l'inhibiteur CO-Dolyc pendant 6heures d'immersion.</i>	46
Figure IV.5:	<i>Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier étudié et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de l'inhibiteur CO-Dolyc pendant 24 heures d'immersion.</i>	47

Figure IV.6:	<i>Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier étudié et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de l'inhibiteur CO-Dolyc pendant 48 heures d'immersion.</i>	48
Figure IV.7:	<i>Courbes de polarisation de l'acier A 283 C dans HCl (1M), en absence et en présence de Co-Dolyc</i>	50
Figure IV.8 :	<i>Spectres d'impédance de l'acier A 283 C dans HCl (1M) sans et avec addition du Co-Dolyc</i>	52

Liste des Tableaux

Tableau I.1 :	<i>Classification de la tenue en corrosion en fonction du taux de corrosion</i>	06
Tableau I.2 :	<i>Les principaux facteurs de corrosion</i>	13
Tableau III.1:	<i>Composition chimique de l'acier A 283 C</i>	32
Tableau IV.1:	<i>Vitesse de corrosion de l'acier au carbone A 283 C en milieu HCl 1M.</i>	42
Tableau IV. 2:	<i>Vitesses de corrosion et efficacités inhibitrices pour différentes concentrations en inhibiteur, pour la corrosion de l'acier dans HCl 1M pendant 2 heures.</i>	44
Tableau IV. 3:	<i>Vitesses de corrosion et efficacités inhibitrices pour différentes concentrations en inhibiteur, pour la corrosion de l'acier dans HCl 1M pendant 4 heures.</i>	45
Tableau IV. 4:	<i>Vitesses de corrosion et efficacités inhibitrices pour différentes concentrations en inhibiteur, pour la corrosion de l'acier dans HCl 1M pendant 6 heures.</i>	46
Tableau IV. 5:	<i>Vitesses de corrosion et efficacités inhibitrices pour différentes concentrations en inhibiteur, pour la corrosion de l'acier dans HCl 1M pendant 24 heures.</i>	47
Tableau IV. 6:	<i>Vitesses de corrosion et efficacités inhibitrices pour différentes concentrations en inhibiteur, pour la corrosion de l'acier dans HCl 1M pendant 48 heures.</i>	48
Tableau IV. 7:	<i>Les paramètres électrochimiques et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de Co-Dolyc pour la corrosion de l'acier dans HCl (1M).</i>	51

Sommaire

	Page
Introduction Générale	01
Chapitre I : Généralité sur la corrosion	
I.1. Définition	04
I.2. Les différents types de corrosion	04
I.2.1. La corrosion électrochimique	04
I.2.2. Corrosion biochimique	05
I.2.3. Corrosion chimique	05
I.3. Formes de corrosion	05
I.3.1. Corrosion uniforme ou généralisée	05
I.3.2. Corrosion localisée	06
I.4. Les facteurs de la corrosion	12
I.4.1. Effet de la température	13
I.4.2. Régime hydrodynamique	13
I.4.3. La salinité	14
I.4.4. Effet de l'acidité	14
Chapitre II: Protection et lutte contre la corrosion	
II.1. Généralités	17
II.2. Inhibiteurs de corrosion	17
II.2.1. Historique	17
II.2.2. Définition	18
II.2.3. Conditions d'utilisations et propriétés	19
II.2.4. Classement des inhibiteurs	19
II.2.4.1. Classement par mécanisme d'action électrochimique	20
II.2.4.2. Classement par la nature des molécules de l'inhibiteur	25
II.2.4.3. Classement Par domaine d'application	25
II.2.4.4. Classements par mécanisme réactionnel	27
II.3. Travaux antérieurs sur les inhibiteurs contre la corrosion de l'acier en milieu acide chlorhydrique	39

Chapitre III : Matériaux et méthodes expérimentales utilisées

III.1. Introduction	32
III.2. Matériau	32
III.2.1. L'acier utilisé	32
III.2.2. L'inhibiteur utilisé	32
III.2.3. Milieu d'étude	33
III.3. Méthodes expérimentales utilisées	33
III.3.1. Méthode gravimétrique (la perte de masse)	33
III.3.1.1. Vitesse de corrosion	33
III.3.1.2. Efficacité inhibitrice	34
III.3.1.3. Préparation des échantillons et polissage	34
III.3.1.3. Matériels utilisé	35
III.3.2. Méthodes électrochimiques	35
III.3.2.1. Tracé des courbes intensité-potentiel	36
III.3.2.2. Spectroscopie d'impédance électrochimique SIE	37
III.3.2.3. Dispositif expérimental pour les essais électrochimiques	38

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction	42
IV.2. Méthode de la masse perdue	42
IV.2.1. Cinétique de corrosion sans inhibiteur	42
IV.2.2. Cinétique de corrosion en présence de l'inhibiteur	43
IV.3. Etudes électrochimiques	49
IV.3. 1. Courbes de polarisations potentiodynamique	49
IV.3. 2. Les impédances électrochimiques (SIE)	51
Conclusion Générale	



INTRODUCTION
Générale



Introduction Générale

La corrosion des métaux et alliages est un phénomène universellement connu qui entraîne chaque année des pertes matérielles considérables, directes et indirectes, pour l'industrie et la collectivité. La corrosion détruit un quart de la production annuelle mondiale d'acier, ce qui représente environ 150 millions de tonnes par ans ou encore 5 tonnes par seconde [1]. Elle entraîne parfois des problèmes de santé dus à l'induction de pollution et contamination. Elle affecte souvent les appareils et les installations en service en provoquant des altérations des pièces constitutives telles que la diminution d'épaisseur, la génération de piqures, mais aussi des fissures. Toutes ces considérations justifient l'intérêt manifeste et croissant de lutter contre la corrosion.

Aujourd'hui la protection contre la corrosion comprend une panoplie de traitements tels que la protection par revêtements, la protection électrochimique (cathodique ou anodique), ou encore par l'emploi d'inhibiteurs de corrosion, etc. Ce dernier est devenu indispensable pour limiter l'attaque des matériaux. Les nouvelles directives concernant les rejets industriels étant de plus en plus sévères en terme d'écologie, la mise au point d'inhibiteurs de corrosion éco-compatibles, biodégradables et qui n'ont pas couteux devient, de nos jours, un enjeu important. Les recherches actuelles s'orientent vers l'emploi des inhibiteurs organiques. La structure moléculaire de ces inhibiteurs joue un rôle très important dans le processus de l'inhibition.

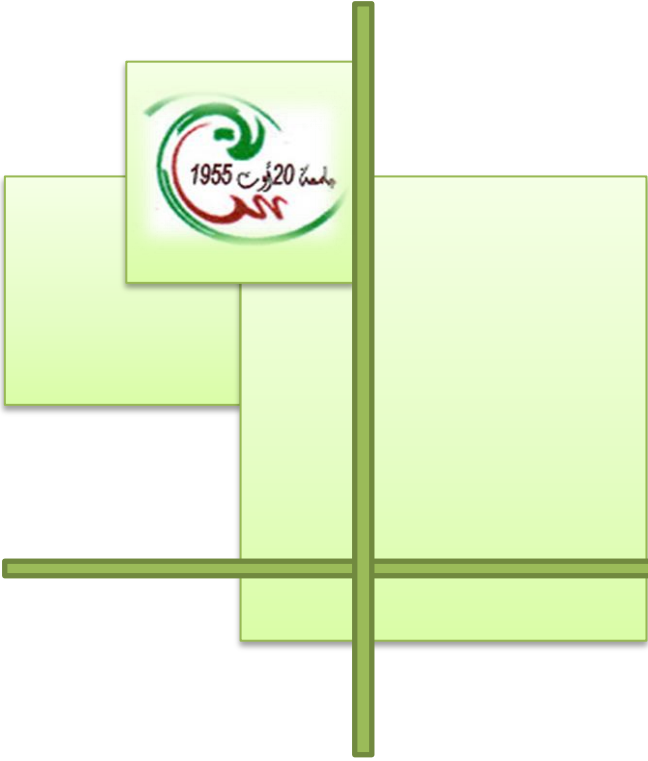
Dans ce travail, nous nous proposons d'étudier la corrosion de l'acier A 283 C en milieu acide (HCl) 1M et d'utiliser un médicament (*Co-Dolyc*) comme un inhibiteur de corrosion.

Ce manuscrit est constitué de quatre chapitres incluant une partie bibliographique et une partie expérimentale.

- Le premier chapitre donne un aperçu sur le phénomène de la corrosion, les différents types, formes etc.....
- Le second chapitre présent un rappel théoriques sur les inhibiteurs de corrosion, leurs propriétés, modes d'action.
- Le troisième chapitre traite les matériaux utilisés et les méthodes expérimentales.

- Les résultats expérimentaux et les discussions sont regroupés dans le quatrième chapitre.

En fin une conclusion générale sur l'ensemble de ce travail termine cette étude.



CHAPITRE I



I.1. Définition :

La corrosion désigne l'interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même, de son environnement ou du système technique constitué par les deux facteurs. La corrosion représente donc tout processus de dégradation des matériaux métalliques, ou de leurs propriétés, par suite d'une réaction avec le milieu environnement [2].

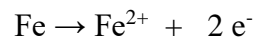
I.2. Les différents types de corrosion

Selon la nature de l'environnement et son comportement qui autour le métal, on peut déterminer le type de corrosion :

I.2.1. Corrosion électrochimique :

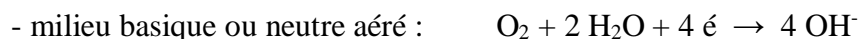
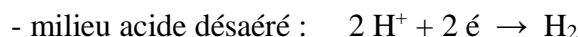
C'est une réaction électrochimique entre la surface d'un matériau et un liquide électrolyte. Cette réaction est accompagnée de la formation de piles qui sont le siège de circulation de courant électrique. La dégradation de l'aluminium par l'acide sulfurique dilué appartient à ce type de corrosion [3].

La corrosion électrochimique de fer peut être décrite de manière simplifiée, l'acier se dissout selon la réaction suivante (réaction anodique):



Quand le fer se corrode, la vitesse est généralement contrôlée par la réaction cathodique.

Les réactions cathodiques ou de réduction sont liées au milieu et dépendent de son pH et de sa teneur en oxygène. On distingue quatre réactions :



I.2.2. Corrosion biochimique :

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobiques qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [4].

I.2.3. La corrosion chimique :

C'est la réaction entre le métal et une phase gazeuse ou liquide. Si cette corrosion se produit à haute température elle est alors appelée « corrosion sèche » ou corrosion à haute température. Au cours de la corrosion chimique, l'oxydation du métal et la réduction de l'oxydants fait en une seule action, c'est-à-dire les atomes du métal forment directement des liaisons chimiques avec l'oxydant qui arrache les électrons de valence des atomes métalliques. La réaction qui se produit est de la forme.

I.3. Formes de corrosion

Il existe plusieurs formes de corrosion :

I.3.1. Corrosion uniforme ou généralisée:

La corrosion généralisée est la forme la plus répandue et peut être détectée longtemps avant qu'un ennui vienne interrompre la vie de la structure métallique.

La vitesse d'écoulement, le pH et la température du milieu ont une influence importante sur le taux de corrosion uniforme (*Figure I.1*) [5].

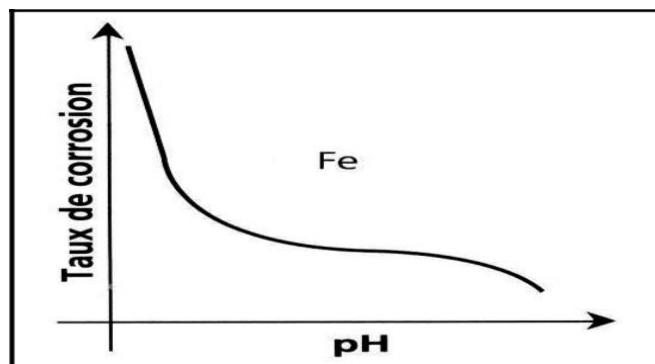


Figure I.1. Variation du taux de corrosion en fonction du pH.



Figure I.2 : Corrosion généralisée.

Tableau I.1 : Classification de la tenue à la corrosion en fonction du taux de corrosion [6]

Taux de corrosion	Tenue
< 0,050mm/an	Excellente
0,050 à 0,130 mm/an	Bonne
0,130 à 1,250 mm/an	Satisfaisante
>1,250mm/an	Nonsatisfaisante

I.3.2. 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 dans quelques points de la surface d'un matériau [7].



Figure I.3 : Corrosion localisée.

➤ **Corrosion par piqûres:** La corrosion par piqûres est caractérisée par une attaque très localisée en certains points de la surface et provoque des piqûres. Cette forme de corrosion est produite par certains anions, notamment les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. La corrosion par piqûres affecte en particulier les métaux ou les alliages passivés (aciers inoxydables, les alliages d'aluminium, etc.). Selon le schéma de la (Figure I.5), ce type de corrosion comprend au moins deux étapes :

- L'amorçage (Figure. I.5.a) qui se produit lors de la rupture locale de la passivité.
- La croissance ou propagation (Figure. I.5.b).



Figure. I.4 : Corrosion par piqûres sur la paroi d'une cuve en acier Inoxydable austénitique Cr18Ni10.

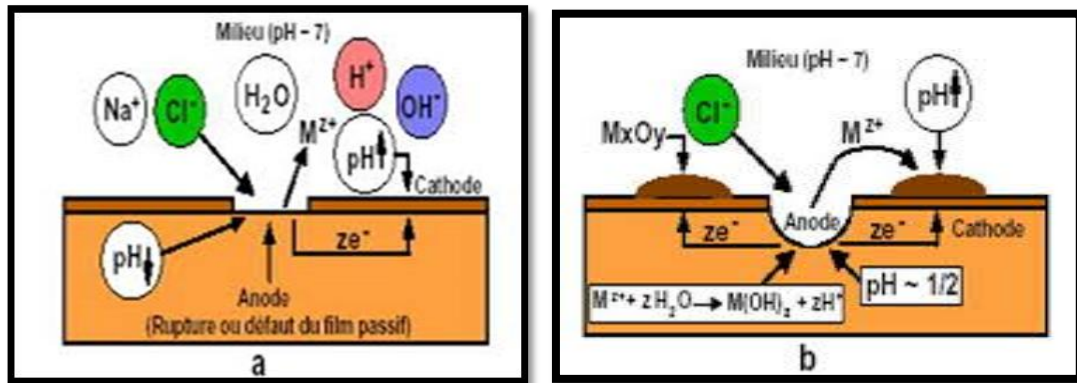


Figure I.5 : Amorçage (a) et propagation (b) d'une piqûre [8].

- **Corrosion caverneuse:** Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure ; créant ainsi une pile électrochimique. Cette attaque sélective du métal est observée dans les fissures et autres endroits peu accessibles à l'oxygène. Souvent, la corrosion caverneuse est associée à la présence de petits volumes de solution corrosive stagnante dans des cavités et des surfaces jointives ou dans des dépôts discontinus.

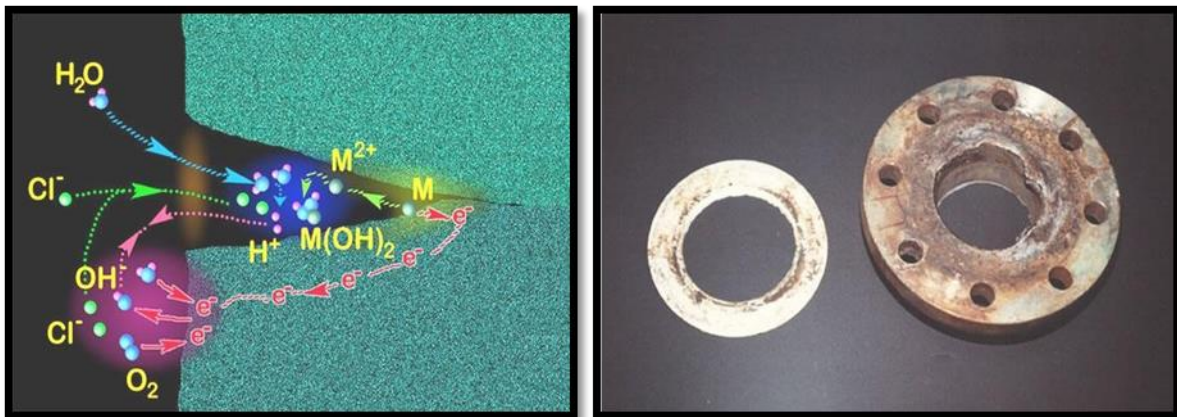


Figure I.6 : Corrosion caverneuse d'un acier allié sous un joint

- **Corrosion galvanique (bimétallique) :** Contrairement à certaines formes de corrosion, la corrosion galvanique est largement indépendante des données métalliques des matériaux. Ce type de corrosion résulte du couplage électrique de deux métaux

différents et immergés dans la solution.

La polarisation des surfaces métalliques par un couplage galvanique a pour conséquence l'accroissement de la résistance à la corrosion de l'alliage le plus noble (la cathode) et la réduction de la résistance à la corrosion de l'alliage le moins noble (l'anode). Elle résulte de la formation d'une pile qui conduit à une hétérogénéité de l'attaque (Figure I.7).

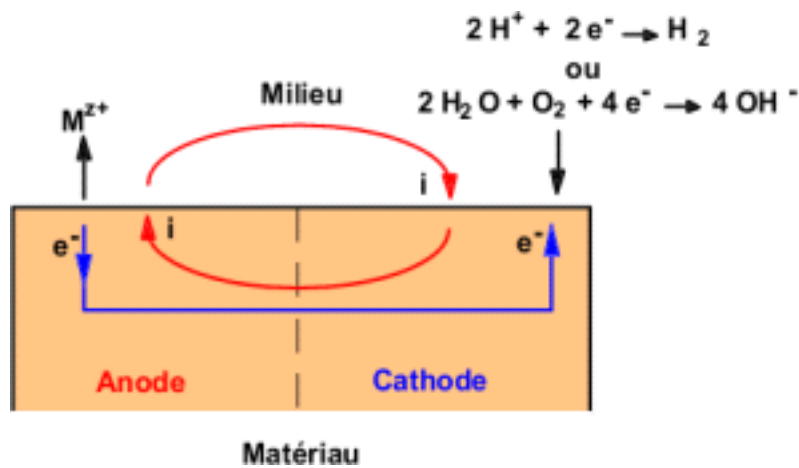


Figure I.7 : Représentation schématique d'une pile de corrosion [9].

- **Corrosion sous contrainte :** C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action conjointe d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. Comme son nom l'indique, la corrosion sous contrainte (CSC) résulte de l'action conjuguée d'une contrainte mécanique (résiduelle ou appliquée), et d'un milieu agressif vis-à-vis du matériau, chacun de ces facteurs pris séparément n'étant pas susceptible à lui seul d'endommager la structure. Ce type de corrosion, particulièrement sournois et dangereux pour les installations, se caractérise par les fissures inter ou Trans granulaires dont la direction générale de propagation est perpendiculaire à la plus grande contrainte [10].



Figure I.8 : corrosion sous contrainte.

- **Corrosion inter granulaire (inter cristalline)** : C'est une forme de corrosion localisée s'attaquant aux joints de grains, rendant la Structure mécaniquement fragile. C'est une attaque sélective aux joints de grains, souvent, il s'agit de phases qui ont précipitées lors d'un traitement thermique. C'est un type de corrosion particulièrement dangereux car, bien que la quantité de métal attaque soit faible, les caractéristiques mécaniques du métal sont altérées car les fissures ainsi produites affaiblissent le métal. Par exemple ; l'acier inoxydable austénitique sensibilisées à chaud par précipitation du carbure de chrome aux joints des grains [11].

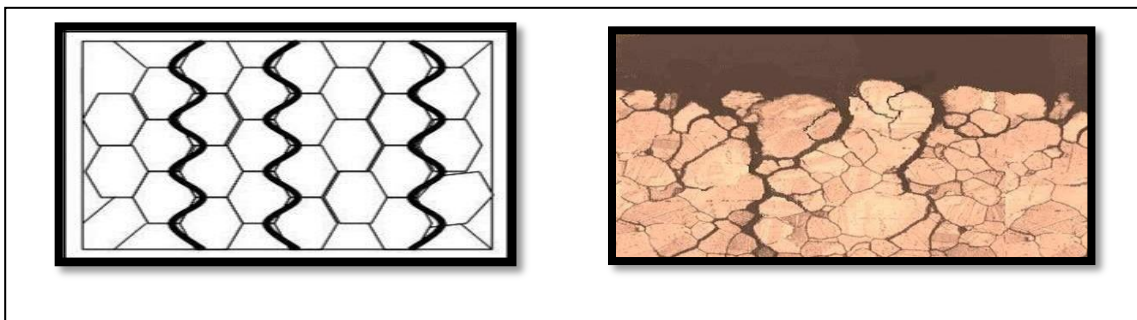


Figure I.9 : corrosion intergranulaire.

- **La corrosion sélective** : Pour certains alliages, l'attaque intervient sélectivement sur l'un des constituants (qu'il s'agisse d'une solution solide ou d'un mélange de phase). Les exemples les plus connus sont l'attaque des laitons par la déliquification (attaque

sélective du zinc) qui se traduit par l'existence des zones poreuses de cuivre. Cette attaque peut être très localisée (taches) et se propager alors dans l'épaisseur de l'alliage plutôt que latéralement. L'addition d'arsenic, d'antimoine ou de phosphore dans le laiton permet d'éviter le phénomène. Les fontes grises peuvent être le siège d'une dissolution sélective du fer qui conduit à laisser en place une structure poreuse de graphite, d'où le nom corrosion graphitique ou graphitisation donné à cette forme d'attaque qui est favorisée par les sulfates. Dans tous les cas ces attaques sélectives conduisent à modifier profondément les caractéristiques mécaniques du matériau [12].

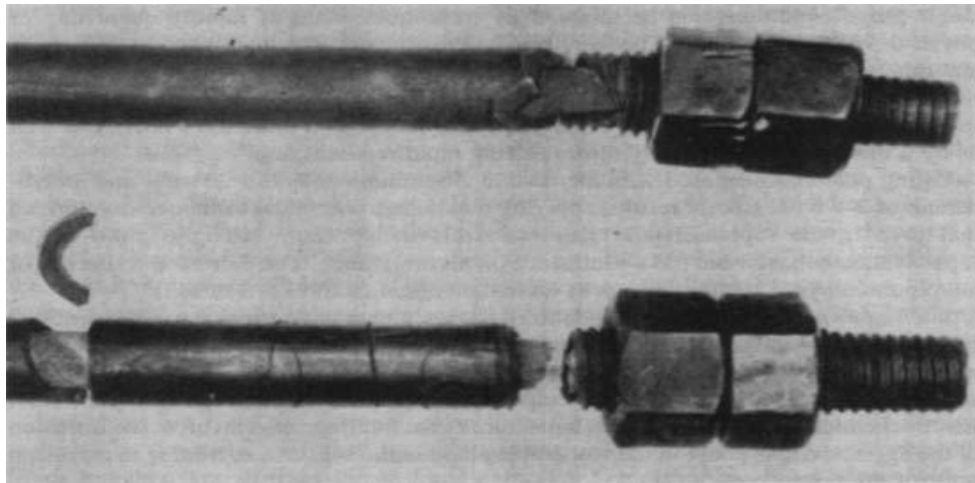


Figure I.10 : Dézincification d'un boulon en laiton [12].

- **Corrosion filiforme** : Elle est souvent associée à la présence d'un revêtement protecteur (peinture, vernis,...) semi perméable à l'oxygène et à l'eau. L'attaque se manifeste par des filaments émis dans toutes les directions, à partir des défauts du revêtement, qui peut affecter divers matériaux tels que le fer et l'aluminium lorsqu'ils sont soumis à des atmosphères humides entre 20°C et 30°C. L'oxygène et l'eau sont les réactifs nécessaires au développement de la corrosion filiforme [13]. La présence d'ions agressifs tels que Cl^- , SO_4^{2-} et CO_3^{2-} favorisent l'initiation de cette corrosion en développant une acidification locale. D'après les mesures du potentiel et du pH, le fil de corrosion filiforme est composé d'une tête contenant une solution aqueuse acide et d'une queue alcaline contenant des produits de corrosion. Les conditions alcalines favorisent le décollement du revêtement [14], [15].



Figure I.11 : Corrosion filiforme.

- **Corrosion érosion :** Est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a souvent lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide de fluide (Figure I.12.). 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 [16].

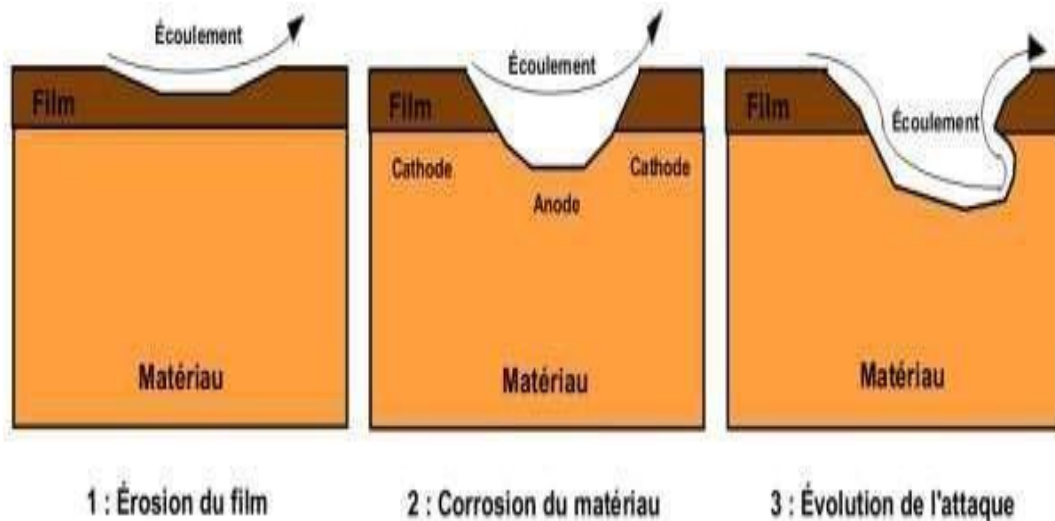


Figure I.12 : Corrosion-érosion.

I.4. Les facteurs de la corrosion

La corrosion dépend d'un très grand nombre de facteurs dont nous avons dressé une liste, d'après Porte-vin. La corrosion mettant en présence deux « partenaires », le réactif et le métal ou l'alliage, il est logique de penser qu'elle dépendra à la fois des caractéristiques du

réactif et de celles du métal. En ce qui concerne ces dernières, il convient de souligner que la connaissance de la composition chimique est nécessaire mais tout à fait insuffisante, de même que les traitements thermiques et mécaniques subis par le métal. (Tableau I.2) [17].

Tableau I.2 : Les principaux facteurs de corrosion :

Facteurs du milieu Corrosif	Facteurs métallurgiques	Facteurs définissant les conditions d'emploi	Facteurs dépendant du temps.
<ul style="list-style-type: none"> •Concentration du réactif •Teneur en oxygène •pH du milieu •Température •Pression 	<ul style="list-style-type: none"> •Composition de l'alliage •Procédés d'élaboration •Impuretés •Traitement thermique •Traitement mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> •Etat de surface •Forme des pièces •Emploi d'inhibiteur •Procédés d'assemblage 	<ul style="list-style-type: none"> •Vieillessement •Tensions mécaniques •Modification des revêtements Protecteurs.

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques de ces deux paramètres.

La température et le pH ont une influence directe sur la vitesse de corrosion, et une influence indirecte à travers la phase aqueuse (eau de condensation, eau de production). Les conditions de flux, le film formé à la surface du métal et la pression ont une influence directe à travers la pression partielle du CO₂ [18].

I.4.1. Effet de la température: Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau.

I.4.2. Régime hydrodynamique : Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers l'électrolyte est de nature à modifier la cinétique des réactions électrochimiques en changeant la concentration des espèces et donc le potentiel d'équilibre. Les conditions hydrodynamiques fixent les vitesses de réactions en contrôlant le transport de matière par

l'établissement d'une couche limite de diffusion des espèces, appelée couche de Nernst, ce qui explique l'importance de l'agitation de l'électrolyte lors des essais de corrosion en laboratoire [19].

I.4.3. La salinité : Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de la corrosion localisée, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité a une influence sur la conductivité du milieu aqueux [20].

I.4.4. Effet de l'acidité : La susceptibilité du matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu.

POURBAIX a établi des diagrammes tension-pH qui délimitent différents domaines dans lesquels le métal est corrodé, susceptible de se passiver, ou stable vis à vis du réactif.

Selon l'état et la nature de l'espèce considérée on distinguera 3 domaines [21]:

- ✓ Les domaines de corrosion ;
- ✓ Les domaines de passivité ;
- ✓ Les domaines d'immunité ;

La représentation du diagramme de corrosion du fer est donnée par la figure I.13.

Le diagramme Pourbaix du fer montre clairement les trois zones différentes. Un produit soluble se forme dans certaines conditions d'activités et en milieu acide. Ce sont des domaines de corrosion.

Entre ces domaines, un film insoluble se forme. Il a une grande importance car il peut empêchera la corrosion, on appelle ce domaine le domaine de passivation.

Le troisième correspond à la phase thermodynamiquement stable du métal où aucune corrosion ne pas apparaître.

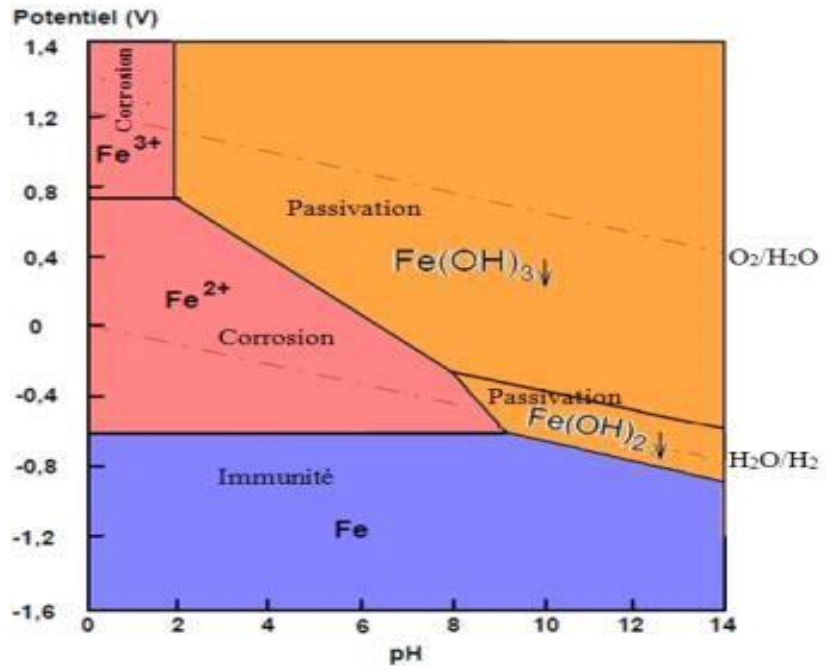


Figure I.13: Diagramme de Pourbaix du fer.



Chapitre II



II.1. Généralités

Dans la plupart des industries où les installations sont constituées de structures métalliques, la corrosion est toujours présente. Ce problème crée d'énormes pertes matérielles et économiques en raison du remplacement partiel ou complet des équipements et des structures ainsi que des fermetures d'usines. Une protection contre la corrosion doit être envisagée afin d'éviter de nombreux problèmes et d'assurer une certaine durée de vie. La solution appliquée doit être compatible avec la réglementation relative à la protection de l'environnement et permettre le recyclage ou l'élimination des différents composants en fin d'utilisation.

En 1957, Vernon présente un schéma de "méthodes de prévention de la corrosion" définies en quatre catégories : modifications de procédés, modifications environnementales, modifications métalliques et revêtements protecteurs [22]. L'application d'une couche de finition est le moyen le plus approprié pour protéger les surfaces métalliques. Dans notre cas, nous nous concentrerons sur la deuxième méthode anticorrosion, à savoir l'utilisation de l'inhibiteur de corrosion.

II.2. Inhibiteurs de corrosion

II.2.1. Historique

Comme dans de nombreux domaines différents, il est difficile de voir l'origine exacte de l'inhibition comme une technologie distincte. Mais il y a plusieurs décennies, il a pleinement découvert que la composition du calcaire dans les tuyaux d'eau naturels associés protège le pipeline; Au lieu d'augmenter continuellement la résistance des tuyaux à la corrosion en travaillant directement sur eux, il serait prudent de modifier la concentration en métal des solutions transférées, cette boîte à l'origine des carrières de calcaire "protectrices". En 1945, il n'y avait que 30 articles sur les inhibiteurs. Dans un article publié en 1948, le père de Reap a discuté d'un rapport de 1943 sur sa discussion de la protection contre l'érosion dans les puits de pétrole [23].

Elle a écrit de nombreux articles sur l'inhibition pendant 1945-1954; Ils sont interdits,

entre autres, l'inhibition dans les domaines de l'aviation, chaudières, systèmes de refroidissement, moteurs diesel, enlèvement de sel de la neige, raffineries, et pétroliers...

Les éléments détectés au cours de cette période représentent un bon progrès dans la technologie d'inhibition de la corrosion. Au cours des 40 dernières années, des résumés, des articles et d'autres publications sur le sujet sont devenus viraux : en 1970, 647 matériaux liés à l'inhibition ont été répertoriés [24].

II.2.2. Définition

Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui, ajouté à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu [25].



(a) sans inhibiteur de corrosion (b) avec inhibiteur de corrosion

Figure II.1 : Métal au contact d'un milieu agressif.

En général, les inhibiteurs vont former une couche membranaire entre la paroi métallique et le liquide. Ces inhibiteurs sont choisis en fonction des caractéristiques de la canalisation, de plus, certains inhibiteurs peuvent être efficaces d'un point de vue protection avec un métal et à l'inverse, accélérer la corrosion avec un métal. Les inhibiteurs sont généralement identifiés en fonction de leur effet sur les courbes de polarisation. Les gens préfèrent utiliser des inhibiteurs ou des mélanges cathodiques le plus souvent parce qu'ils ne

sont pas de risqué.

II.2.3. Conditions d'utilisations et propriétés

En pratique, le choix d'un inhibiteur de corrosion pour son utilisation nécessite la recherche d'une solution modèle idéale, évaluée selon un certain nombre de critères importants pour chaque cas individuel. Une caractéristique très importante des inhibiteurs, en plus de réduire la vitesse de corrosion, est la stabilité (thermique et chimique). Parce que l'inhibiteur peut être utilisé pour une protection permanente ou temporaire ". Pendant une période critique où le métal est plus sujet à la corrosion, par exemple pendant l'entreposage ou le nettoyage, ou lorsque le métal subit un traitement important), le choix de l'inhibiteur peut dépendre de la plage de stabilité prévue.

En plus des études préliminaires et avant d'être choisi comme candidat approprié pour les essais sur place, l'inhibiteur doit :

- ❖ abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter ses caractéristiques physiques être efficace à faible concentration ;
- ❖ être stable en présence des autres constituants du milieu être stable aux différentes températures d'utilisation ;
- ❖ être d'un comportement d'influence zéro sur la stabilité d'autres espèces du milieu ;
- ❖ être conforme aux normes relatives à la toxicité avoir un bon rapport performance-cout. [26]

II.2.4. Classement des inhibiteurs

Il existe plusieurs façons de classer les inhibiteurs de corrosion.

Généralement, ils sont classés en fonction de leur domaine d'application, de la formulation des produits (inhibiteur organique, inhibiteur inorganique), de la réaction électrochimique inhibée (inhibiteur cathodique, inhibiteur anodique ou mixte), ou du mécanisme réactionnel mis en jeu (adsorption et/ou formation d'un film).

Néanmoins, cette classification n'est pas tout à fait adéquate car un même inhibiteur peut présenter à la fois des caractéristiques propres à chaque groupe de classement [27].

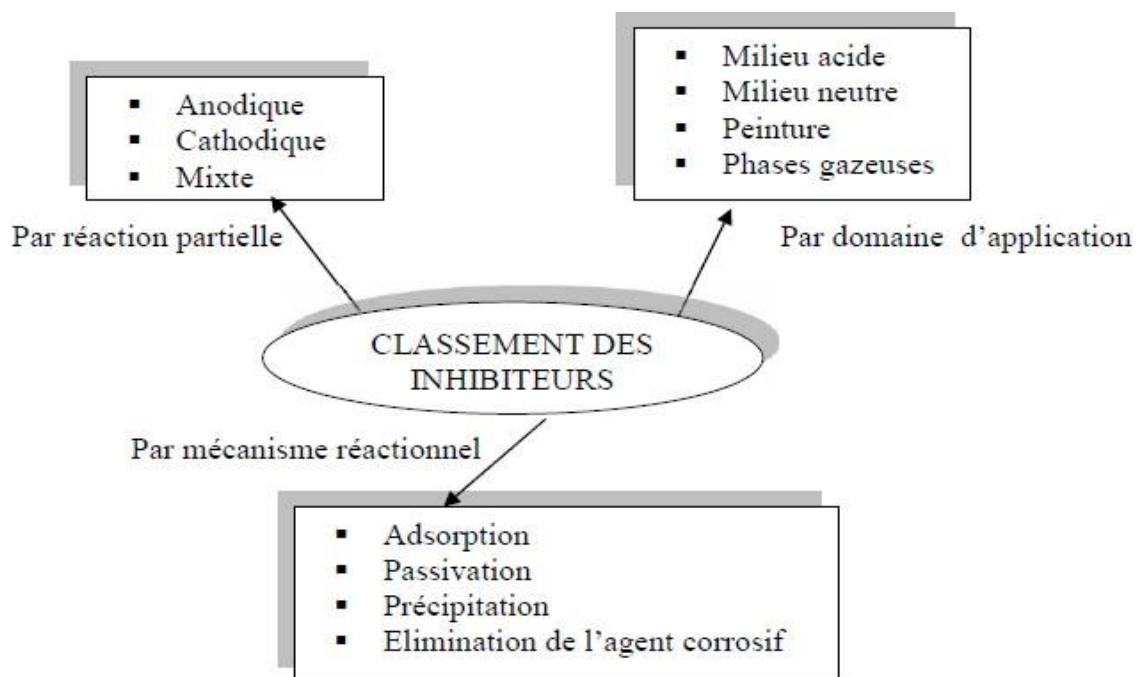


Figure I.2 : Classement des inhibiteurs de corrosion

II.2.4.1. Classement par mécanisme d'action électrochimique :

Il n'existe pas de mode d'action unique des inhibiteurs de corrosion. Un même composé aura d'ailleurs souvent un mécanisme d'action qui sera fonction du système de corrosion (métal + solution) en présence duquel il se trouvera.

L'adsorption de l'inhibiteur à la surface du métal conduit au blocage de sites réactionnels, ce qui empêche soit les réactions anodiques, soit les réactions cathodiques (ou les deux) et, de ce fait, il en résulte une diminution du courant de corrosion.

➤ **Les inhibiteurs anodiques :**

Sont les inhibiteurs qui forment une couche mince installée sur la surface du métal, Ils comportent les agents oxydants tels que les chromates et les nitrites, ou d'autres sels comme les hydroxydes, les silicates, les borates, les phosphates, les carbonates et les benzoates. Ces

inhibiteurs diminuent la densité de courant de dissolution du métal et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif [28]. L'inhibiteur anodique s'adsorbe préférentiellement sur les sites anodiques de dissolution du métal (figure II.3.).

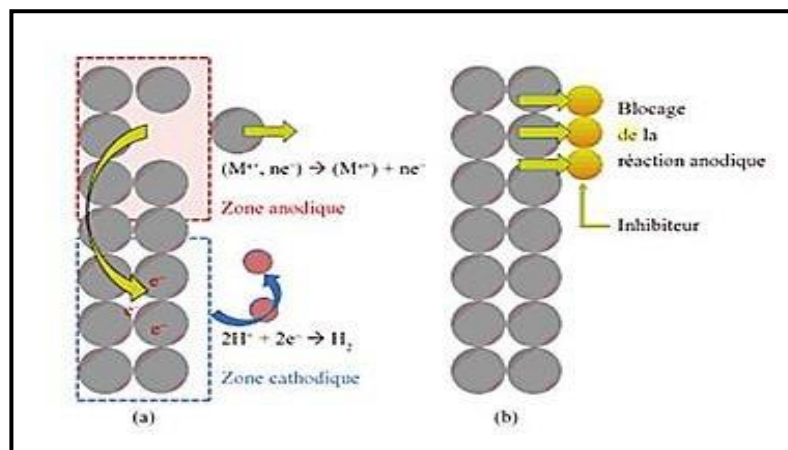


Figure II.3 : Représentation du rôle d'un inhibiteur anodique en milieu acide :(a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur [29].

L'interaction anodique est affectée par les inhibiteurs de corrosion métallique et le potentiel de corrosion est converti en valeurs plus positives. En outre, la valeur actuelle diminue avec la présence d'inhibiteurs de corrosion.

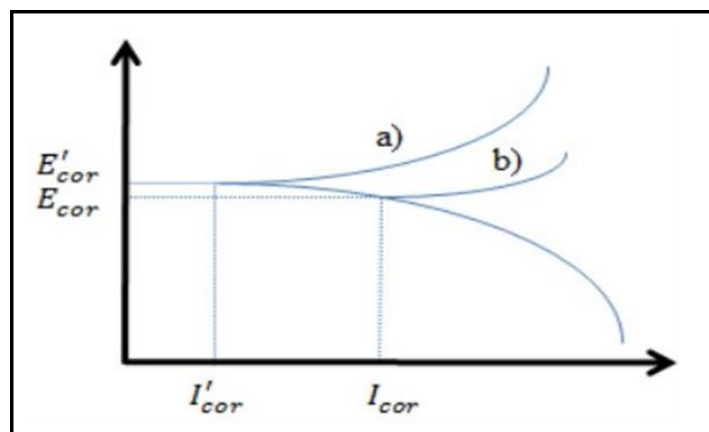


Figure II.4 : Schéma de polarisation potentiostatique : comportement électrochimique d'un métal dans une solution en présence (a) et en absence (b) d'inhibiteur anodique.

L'inhibiteur anodique réagit avec les ions métalliques Me^{n+} produits sur l'anode, formant souvent des oxydes insolubles qui se déposent sur la surface métallique sous la forme d'un film insoluble qui ne permet pas aux ions métalliques de pénétrer. L'hydrolyse de l'inhibiteur produit des ions OH^- .

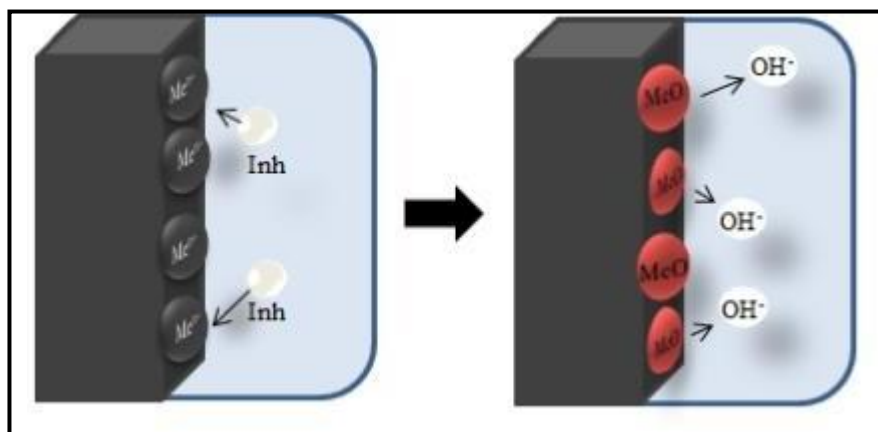
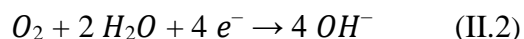


Figure II.5 : Illustration des effets des inhibiteurs inorganiques anodiques et leur mécanisme d'action.

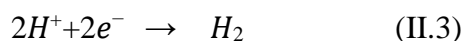
➤ Inhibiteurs cathodiques

Si l'inhibiteur s'adsorbe préférentiellement sur les sites cathodiques de réduction d'un oxydant contenu dans la solution. Il s'agit d'un inhibiteur cathodique (figure II.6).

En milieu aqueux neutre ; la réaction cathodique (II.2) s'effectue essentiellement sur les portions de surface a nue et stabilise la couche d'oxyde protectrice.



.En milieu aqueux acide, la réaction cathodique est :



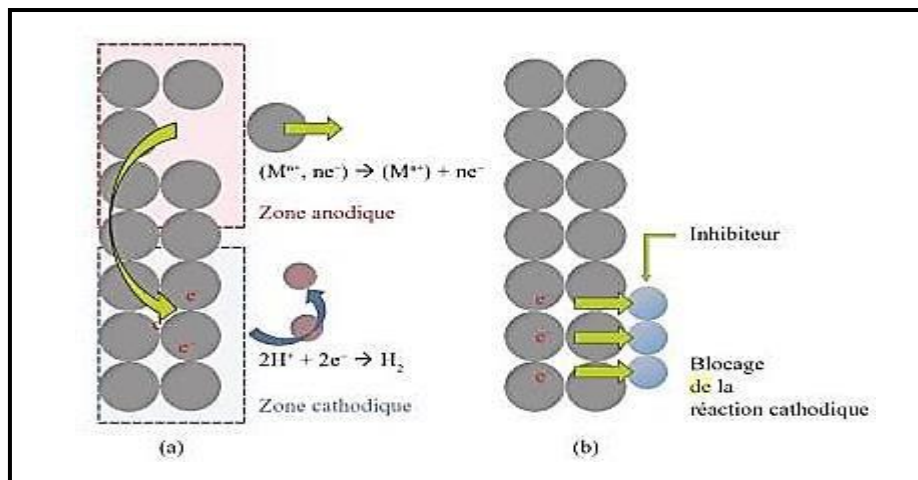


Figure II.6 : Représentation du rôle d'un inhibiteur cathodique, (a) sans inhibiteur,(b)avec Inhibiteur.

La figure II.7 montre un exemple d'une courbe de polarisation du métal dans une solution en présence et en absence d'un inhibiteur cathodique.

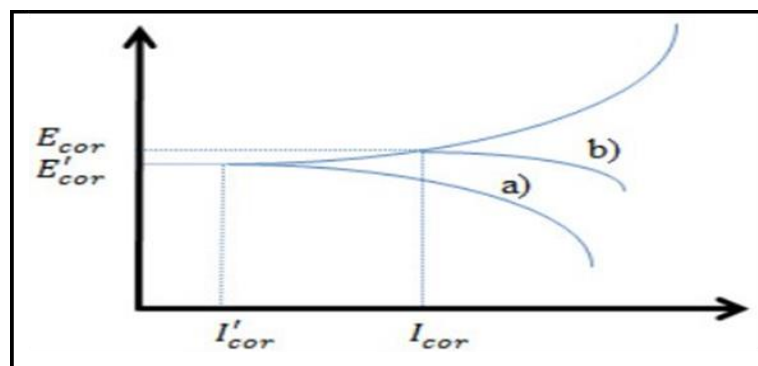


Figure II.7 : comportement électrochimique d'un métal dans une solution d'inhibiteur cathodique (a) par rapport à la même solution, sans inhibiteur (b).

Les inhibiteurs cathodiques forment une barrière de précipités insolubles sur le métal, limitant ainsi le contact métallique avec l'environnement, ce qui empêche l'apparition de la réaction de corrosion.

La figure II.8 montre l'illustration du mécanisme d'inhibiteurs cathodique pour retenir le processus de la corrosion.

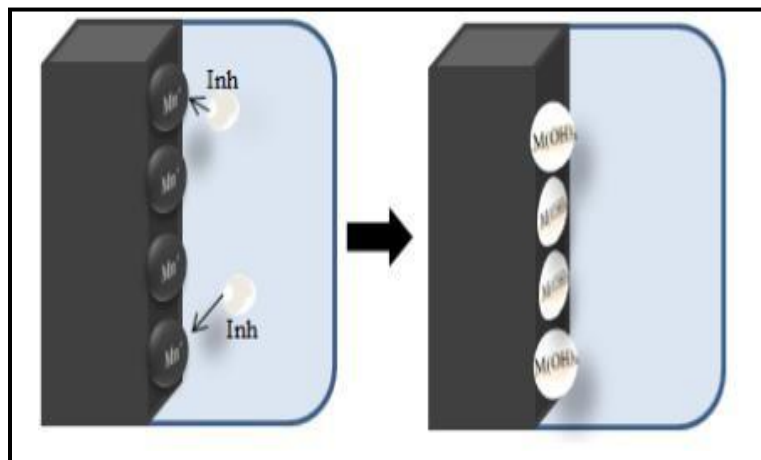


Figure II.8 : Mécanisme d'action des inhibiteurs cathodiques.

➤ Inhibiteurs mixtes

Si l'inhibiteur s'adsorbe indifféremment sur les deux types de sites, il s'agit d'un inhibiteur mixte, ils diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant le potentiel de corrosion [30].

En se combinant au cation métallique ou à l'anion provenant des réactions de surface, l'inhibiteur forme un sel insoluble qui colmate les porosités de la couche d'oxyde (figure II.9).

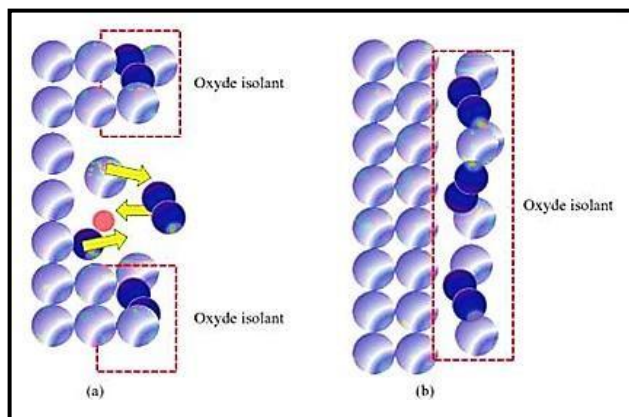


Figure II.9 : Inhibiteur formant une couche tridimensionnelle.

II.2.4.2. Classement par la nature des molécules de l'inhibiteur

➤ Inhibiteurs organiques

Les inhibiteurs organiques représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion. L'efficacité des inhibiteurs organiques est liée à la structure, à la concentration et aux propriétés chimiques de la couche formée sur la surface d'acier. L'action d'un inhibiteur organique est le résultat de son adsorption à la surface du matériau. Après cette adsorption à la surface, ils ont une double action ralentissant simultanément les processus anodique et cathodique [31]. La plupart de ces inhibiteurs ont dans leur structure au moins un centre actif (les atomes N, S, P, O) susceptible d'échanger des électrons avec le métal, tel l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont :

- La radicale amine (-NH₂),
- Le radical mercapto (-SH),
- Le radical hydroxyle (-OH),
- Le radical carboxyle (-COOH).

➤ Les inhibiteurs inorganiques (minéraux)

Les inhibiteurs inorganiques sont très populaires pour diminuer la corrosion. et en particulier celle du béton armé, parmi ces derniers le nitrite de calcium Ca(NO₂)₂ qui est l'inhibiteur inorganique le plus utilisé et qui n'a aucun effet secondaire sur la résistance du métal après une longue durée [32]. Ces inhibiteurs se dissocient dans la solution en anions et cations assurant en fait l'inhibition. Les chromates, les molybdates, les silicates, les phosphates sont aussi les plus importants inhibiteurs minéraux. Maintenant, l'emploi de la plupart de ces produits est réglementé car ils créent des problèmes pour l'environnement [33].

II.2.4.3. Classement Par domaine d'application

Pour la classification relative au domaine d'usage, on peut distinguer les inhibiteurs de corrosion utilisés en milieux aqueux, gazeux ou organiques (pour les peintures, lubrifiants et

pour l'essence). Ceux utilisés en milieux aqueux sont choisis en fonction du pH. Le classement se fait donc comme suit

➤ **Inhibition en milieu acide**

Les inhibiteurs en milieu acide sont utilisés pour éviter l'attaque chimique de l'acier durant l'opération de décapage ou de détartrage, qui se font tous en milieu acide. Ils sont employés dans l'industrie pétrolière en les ajoutant aux fluides de forage. Pour le milieu acide, ce sont les inhibiteurs organiques qui sont souvent utilisés, et ceci à cause de leur capacité exceptionnelle à s'adsorber sur les surfaces métalliques, ce qui bloque les sites électro-actifs. Elles contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, qui est essentiellement une chaîne de carbone et d'hydrogène, et une partie polaire hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels. Le groupe fonctionnel participe dans l'adsorption à la surface métallique, alors que la partie non polaire bloque partiellement la surface active, et cette participation du groupe fonctionnel dans l'adsorption peut être une simple attraction des sites polaires ou un partage des électrons par conjugaison [34]. Les autres inhibiteurs forment des complexes relativement insolubles avec les cations métalliques suite à la dissolution partielle du métal. Les complexes formés se précipitent ensuite sur la surface du métal, formant ainsi des couches protectrices superficielles.

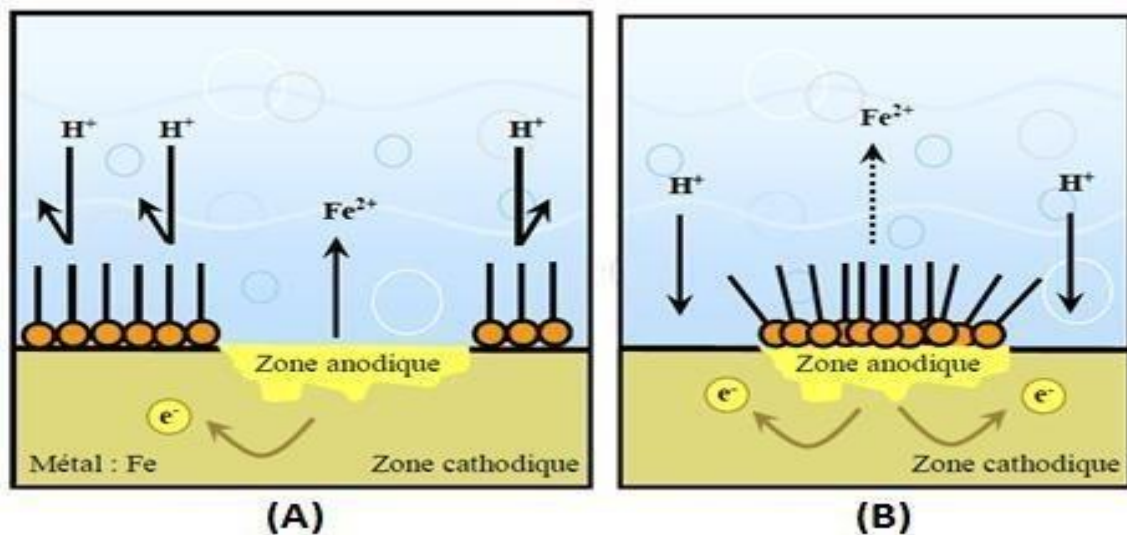


Figure II.10 : Formation des couches barrières cathodiques(A) et anodiques(B), en milieu acide.

➤ **Inhibition en milieu neutre**

Les inhibiteurs de corrosion en milieu neutre ou alcalin sont souvent utilisés pour protéger les conduites des circuits de refroidissement. Puisque l'oxydation en milieu neutre provient essentiellement d'une attaque par l'oxygène dissous, le métal peut être protégé en réduisant la cinétique de transfert de l'oxygène vers la surface, et ceci diminuera ensuite la cinétique de la réduction cathodique. Il existe d'autres manières pour diminuer le taux de corrosion en jouant sur la passivation du métal ou bien par des molécules aptes à l'adsorption. L'inhibition par précipitation en milieux neutres, se fait par la création des films superficiels qui présentent une barrière de diffusion aux espèces électro-actives migrant vers les sites cathodiques. Exemples de ces inhibiteurs sont les poly-phosphates et les organon-phosphates. En ce qui concerne l'inhibition par passivation, son intérêt pratique réside dans la protection de l'acier ou d'autres métaux employées dans un système de refroidissement. Les inhibiteurs oxydants et les agents tampons (assurant le maintien d'un pH élevé) favorisent la formation des oxydes / hydroxydes peu soluble sont des exemples pour ce cas [35].

II.2.4.4. Classements par mécanisme réactionnel

➤ **Inhibition par passivation**

Les inhibiteurs agissant par passivation sont en général les inhibiteurs minéraux. Ils provoquent la passivation spontanée du métal en renforçant la couche d'oxyde formée naturellement sur la surface du métal. Ils se réduisent sur les pores de la couche d'oxyde/hydroxyde plus ou moins protectrice qui se forme naturellement sur la surface du métal. L'ion chromate est l'un des inhibiteurs passivant par excellence mais son caractère cancérigène et sa forte toxicité réduisent notablement son utilisation. Des agents tampons, qui augmentent le pH près de la surface métallique, peuvent aussi favoriser la passivation dans certains cas [36, 37].

➤ **Inhibition de corrosion 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, ils bloquent partiellement la dissolution anodique [38]. Il

s'agit généralement de sels d'acide faible et de base forte comme les borates, les silicates, les phosphates, les poly-phosphates et les sels de zinc.

➤ **Élimination de l'agent corrosif**

L'inhibition par l'élimination de l'agent corrosif n'est applicable que dans des systèmes fermés. Elle se pratique notamment dans les circuits d'eau chaude fermés des centrales thermiques. Une faible quantité de sulfite de sodium (Na_2SO_3) ou d'hydrazine (N_2H_4) ajoutée à l'eau préalablement dégazée et dés ionisée, supprime les dernières traces d'oxygène et élimine ainsi la corrosion [39].

➤ **Inhibition par adsorption**

L'adsorption est un phénomène de surface universel car toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques actives. Ce manque est donc comblé en essayant de capter les molécules se trouvant à proximité de la surface.. L'ensemble des modes d'adsorption possibles est représenté sur la figure II.11.

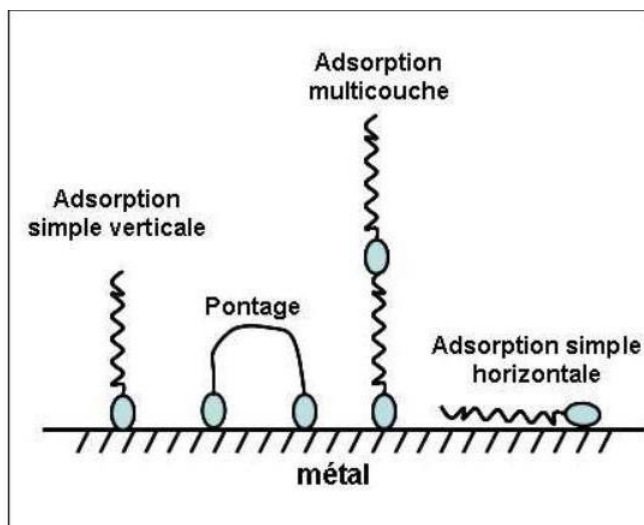


Figure II.11 : Modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.

II.3. Travaux antérieurs sur les inhibiteurs contre la corrosion de l'acier en milieu acide chlorhydrique

Plusieurs composés ont été utilisés comme inhibiteurs de corrosion des différents métaux en milieu acide chlorhydrique, notamment pour l'inhibition de la corrosion des aciers qui sont largement utilisés dans le domaine industriel.

Les effets de divers extraits végétaux sur la dissolution de l'acier dans un milieu acide ont été étudiés par F. Zucchi et I.H. Omar [40]. Les additifs étudiés étaient Papaia, Graines de Poinciana pulcherrima, Cassia occidentalis et Datura stramonium et Papaia, Calotropis procera B, Azydracta indica et Auforpio turkiale sève. Les mesures de la perte de masse et les mesures électrochimiques ont été effectués dans une solution de 1M de HCl. Il a été constaté que tous les extraits, sauf ceux d'Auforpio turkiale et Azydracta indica, ont réduit la corrosion de l'acier avec une efficacité de 88%-96%.

Elayyachy et All [41] ont étudié l'efficacité inhibitrice des composés bipyrazolique vis-à-vis de la corrosion de l'acier en milieu HCl 1 M par la polarisation potentiodynamique et la spectroscopie d'impédance électrochimique. Les courbes de polarisation indiquent que l'efficacité inhibitrice des composés étudiés atteint une valeur maximale de 90% pour une concentration de 10^{-3} M.

C.B. Pradeep Kumar et K.N. Mohana [42] ont synthétisé et étudié l'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu HCl 0,5 M par une série de bases de Schiff dans une gamme de température de 303-333 K. Les méthodes utilisées sont les mesures de la perte de masse, les courbes de polarisation et la spectroscopie d'impédance électrochimique. Les résultats obtenus montrent que ces nouveaux produits réduisent de manière efficace la vitesse de corrosion de l'acier. L'examen des courbes de polarisation révèle que ces inhibiteurs ont une action mixte anodique et cathodique et leur adsorption suit l'isotherme de Langmuir. Les valeurs de l'efficacité inhibitrice estimées par les trois méthodes sont en bon accord.

M.T. Alhaffar et collaborateurs [43] ont étudié l'effet anticorrosif de deux dérivés de isoxazolidine sur l'acier au carbone en milieu HCl 1M à des températures variant entre 30 et 60 °C par les mesures de perte de masse et les méthodes électrochimiques (courbes de

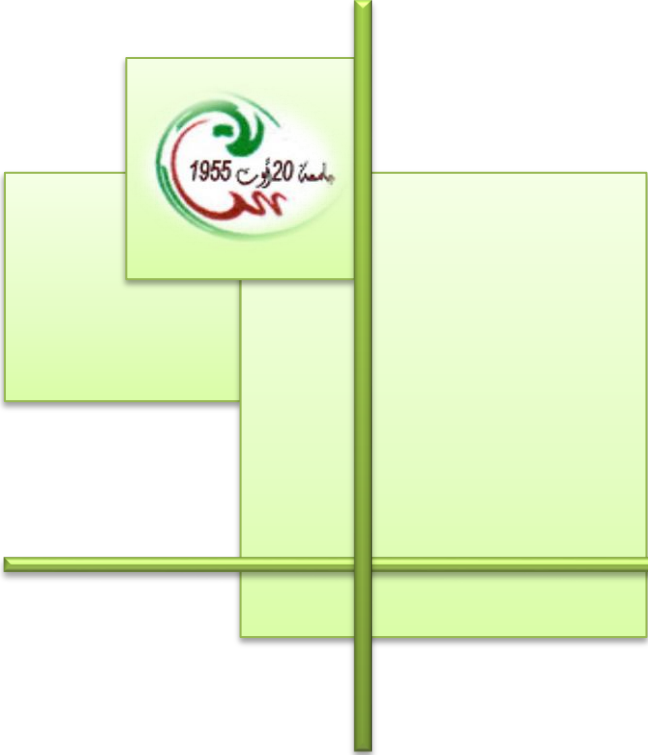
polarisation potentiodynamique et l'impédance électrochimique). Les résultats expérimentaux montrent que les deux composés ont inhibé la corrosion de l'acier au carbone dans un environnement acide. Les résultats obtenus indiquent que ces composés sont des inhibiteurs mixtes et son adsorption sur la surface métallique suit l'isotherme de Langmuir.

Dans le même contexte T.D. Manh et All [44] ont examiné l'effet inhibiteur de l'extrait de feuille de *Sonneratia caseolaris* sur la corrosion de l'acier doux dans l'acide chlorhydrique par les méthodes électrochimiques. Les résultats obtenus montrent une efficacité d'environ 98% pour l'acier dans une solution de HCl (1M) contenant 2500 ppm de l'extrait de feuille de *Sonneratia caseolaris*.

La résistance à la corrosion de l'acier doux dans une solution de HCl 1M ont été examinées par la perte de masse, polarisation potentiodynamique, spectroscopie d'impédance électrochimique, et le potentiel à circuit ouvert, en l'absence et présence de nonanedihydrazide [45]. Les mesures de polarisation ont indiqué que le nonanedihydrazide agit comme un inhibiteur mixte en raison de son adsorption sur la surface métallique, présentant une efficacité d'inhibition de 97 % pour une concentration de 0.5 mM.

Le pouvoir d'inhibition de la corrosion des dérivés thiadiazole (1-(2-ethylamino-1,3,4-thiadiazol-5-yl)-3-phenyl-3-oxopropan) pour les l'acier dans l'acide chlorhydrique 1 M a été étudié par I.A. Annon et All [46], en utilisant les mesures de perte de masse. Les résultats ont montré que l'efficacité inhibitrice la plus élevée était 98,4 %, pour la concentration optimale (500 ppm) et à température ambiante.

L'effet d'un médicament expiré nommé Ampicillin sur la corrosion de l'acier en milieu HCl 5% a été étudié dans la gamme de température allant de 25 à 55 °C par les mesures gravimétriques, la spectroscopie d'impédance électrochimique et la polarisation potentiodynamique [47]. Les résultats obtenus révèlent que ce composé réduit le taux de corrosion de façon assez significative. L'efficacité inhibitrice atteint une valeur de 96.9 pour une température de 55°C avec une concentration de l'inhibiteur 10 mM. Les courbes de polarisation montrent que ces composés sont des inhibiteurs mixtes et que leur adsorption à la surface de l'acier obéit à l'isotherme de Langmuir par la formation d'un film protecteur.



CHAPITRE III



III.1. Introduction

Ce chapitre « matériaux et méthodes expérimentales utilisées » est divisé en deux parties: La première partie donne une description générale des matériaux, milieux d'études, des dispositifs et conditions expérimentales. La deuxième partie représente les méthodes d'études : la perte de masse et les méthodes électrochimiques (méthodes stationnaires et transitoires).

III.2. Matériaux

III.2.1. Acier utilisé

L'électrode de travail est un acier au carbone (A 283 grade C). Le tableau suivant représente la composition chimique de cet acier :

Tableau III.1 : Composition chimique de l'acier A 283 C

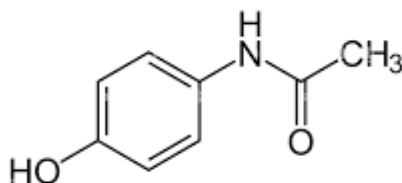
Eléments (autre que le fer)	C	S	P	Si	Cu
Teneur %	0,80	0,05	0,06	0.04	0,20

III.2.2. Inhibiteur utilisé

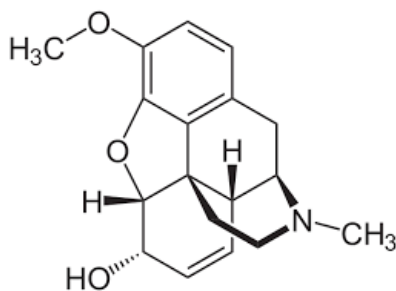
L'inhibiteur utilisé dans cette étude est un médicament nommé (*CO-DOLYC*).

Les composés actifs de ce médicament sont :

- 500 mg paracétamol ($C_8H_9NO_2$) :



- 30 mg codéine. La formule de codéine est la suivante :



III.2.3. Milieu d'étude

La concentration en acide chlorhydrique est maintenue à 1 M préparée à partir de la solution commerciale d'acide chlorhydrique concentrée; 37 % en poids (A. NORMAPUR) en utilisant de l'eau distillée. La gamme des concentrations utilisées pour les inhibiteurs est comprise entre 100 et 500 ppm.

III.3. Méthodes expérimentales utilisées

III.3.1. Méthode gravimétrique (la perte de masse) :

La méthode gravimétrique consiste à exposer des échantillons de métal de surface S à un milieu corrosif maintenu à température constante pendant un temps déterminé t , et à mesurer la différence de masse des échantillons avant et après chaque essai. C'est une méthode relativement simple et préférée par rapport à d'autres types d'essais qui nécessitent l'utilisation d'instruments sophistiqués [48] mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion.

III.3.1. 1. Vitesse de corrosion

La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante:

$$V_{\text{corr}} = \frac{\Delta m}{St} \quad \text{III.1}$$

Avec : $\Delta m = m_i - m_f$

m_i (mg): la masse de l'échantillon avant l'essai.

m_f (mg) : la masse de l'échantillon après l'essai.

Δm (mg) : la perte de masse (le taux de corrosion) de l'échantillon.

S : la surface exposée en cm^2 .

t : le temps d'exposition dans la solution en heure.

III.3.1. 2. Efficacité inhibitrice

L'efficacité inhibitrice (EI%) du composé utilisé est calculée en utilisant la relation suivante:

$$EI\% = (V_{\text{HCl}} - V_{\text{inh}} / V_{\text{HCl}}) \times 100 \quad \text{III.2}$$

V_{HCl} et V_{inh} représentent respectivement les valeurs de la vitesse de corrosion en absence et en présence de l'inhibiteur.

III.3.1. 3. Préparation des échantillons et polissage

L'acier utilisé est découpé en forme carré. L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif de différentes granulométries (220. 400. 800. 1000. 1200), pour faire la surface plane lisse et brillante à l'état de miroir.

La surface des aciers a été calculée à partir des mesures de dimensionnement par l'utilisation d'un pied à coulisse.

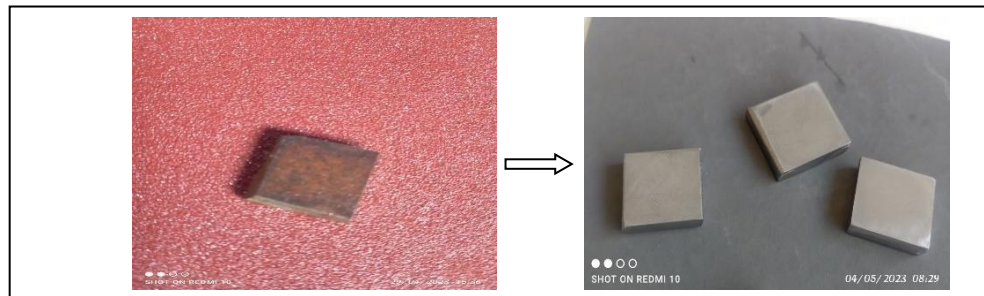
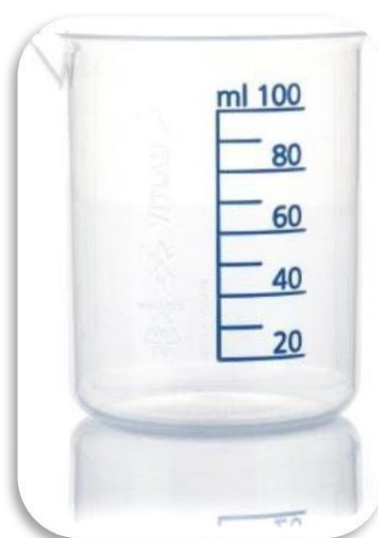


Figure III.1 : Préparation des échantillons (polissage).

III.3.1. 4. Matériels utilisés:

- Balance électronique de précision de sensibilité (0,001g).
- Bécher de 100 ml.
- Papiers abrasifs avec les numéros suivants: 220,400, 600, 800, 1000, 1200.
- Les échantillons en acier.

**Figure III.2 :** Balance analytique**Figure III.3 :** Bécher**III.3.2. Méthodes électrochimiques**

Les méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion sont celles de la corrosion d'une manière générale, qu'elles soient électrochimiques ou non [49,50]. Les essais électrochimiques apportent 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.

III.3.2.1. Tracé des courbes stationnaires intensité-potentiel

Les courbes intensités-potentiel (I-E) représentent l'évolution de l'intensité de courant de l'électrode de travail soumise à une différence de potentiel, représentée par une courbe $I=f(E)$, qui est la somme des courants des réactions électrochimiques se produisant à la surface de l'électrode (figure III.4).

L'équation de Butler-Volmer permet de relier le courant inter-facial au potentiel électrochimique. Elle s'écrit comme suit [51]:

$$I = I_a + I_c = I_{corr} \left(\exp\left(\frac{2,303}{b_a} \eta\right) - \exp\left(\frac{-2,303}{b_c} \eta\right) \right) \quad \text{III.3}$$

I: courant globale de réaction.

I_{corr} : le nombre d'électron d'échange.

I_a : courant anodique de la réaction.

I_c : courant cathodique de la réaction.

η : surtension.

b_a et b_c : les pentes de Tafel anodique et cathodique.

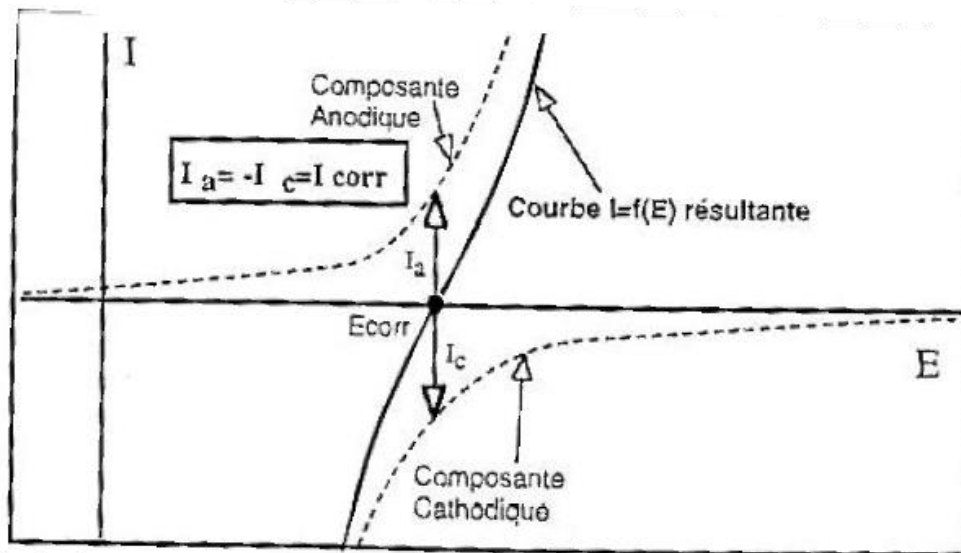


Figure III.4 : Courbe de polarisation $I=f(E)$.

Les courbes $\log_{10}(I)$ en fonction de E est couramment utilisée pour la détermination des paramètres de corrosion. L'intersection des droites de Tafel (figure III.5) permet une détermination graphique de la valeur de la densité de courant d'échange à l'équilibre.

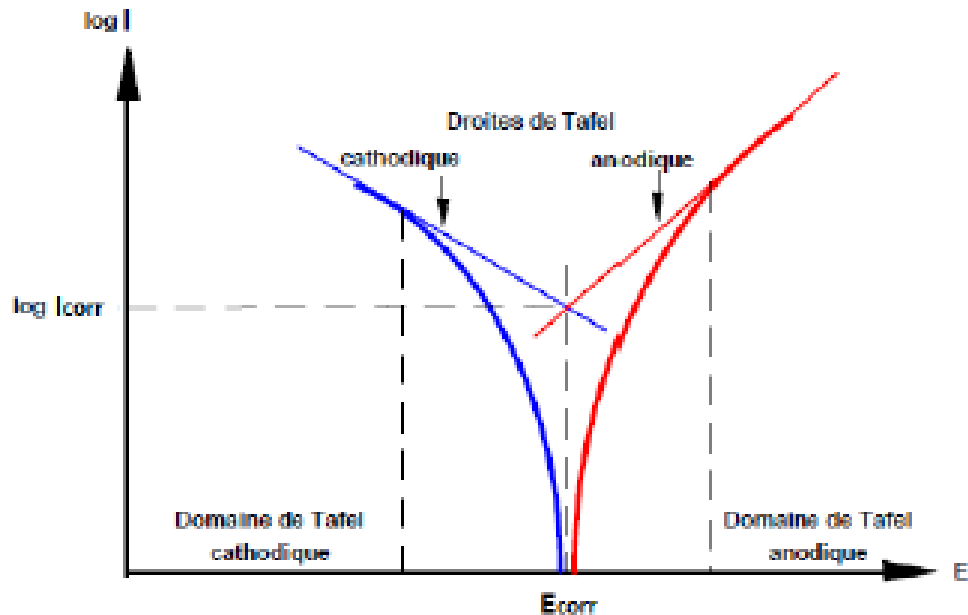


Figure III.5 : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel. [52].

III.3.2.2. Spectroscopie d'impédance électrochimique SIE

La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) est largement employée pour étudier le film d'inhibiteur et son comportement en présence d'autres produits chimiques de traitements. Son principe consiste à superposer au potentiel de l'électrode une modulation du potentiel sinusoïdal de faible amplitude et à suivre la réponse en courant pour différentes fréquences du signal superposé.

La représentation graphique d'une impédance Z dans le plan complexe pour différentes fréquences est appelée diagramme Nyquist. Dans ce cas la fréquence n'apparaît qu'indirectement sur le diagramme.

Ce diagramme représente la partie imaginaire de l'impédance en fonction de la partie réelle. En effet, la spectroscopie d'impédance peut mettre en évidence la réaction qui se

déroule à l'interface conduisant à la conduction ionique dans une solution à la conduction électronique dans une électrode.

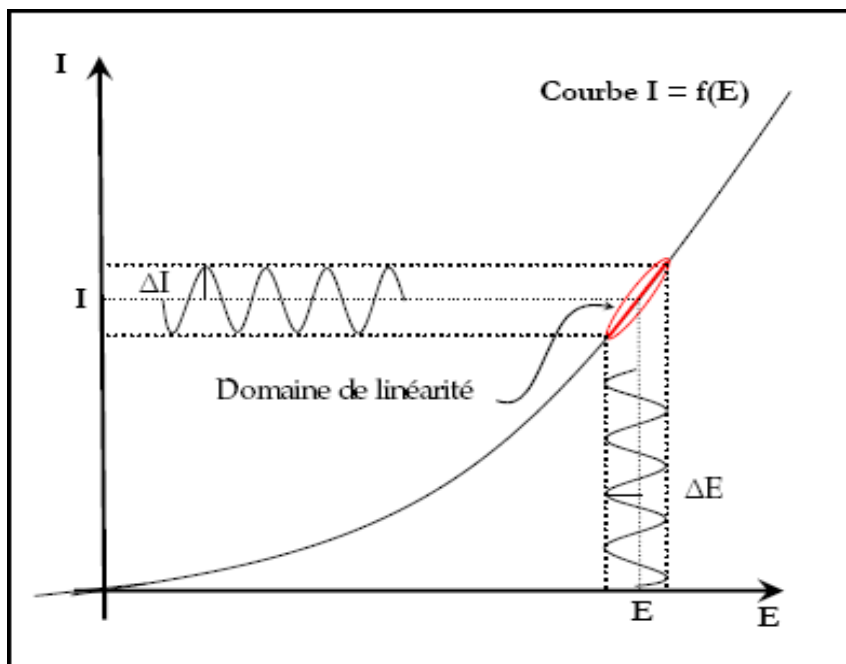


Figure III.6 : principe de la spectroscopie d'impédance électrochimique [53].

III.3.2.3. Dispositif expérimental pour les essais électrochimiques

Le dispositif utilisé pour le tracé des courbes électrochimiques est constitué d'un montage classique à trois électrodes. Le système de trois électrodes est relié avec un potentiostat/galvanostat model voltalab-PGZ301 piloté par un logiciel Voltmaster 4. La figure III.8 présente le système utilisé pour les mesures électrochimiques.

Les expériences électrochimiques ont été effectuées à température ambiante, sans agitation dans une cellule cylindrique à double paroi de capacité 300 mL équipée d'un système à trois électrodes. La contre-électrode (CE): est une grande plaque de platine et l'électrode au calomel $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{KCl}$ saturé (ECS) a été également utilisée comme électrode de référence (ER). Celle-ci présente un potentiel de +0,241 V par rapport à l'électrode standard d'hydrogène.

L'électrode de travail (ET) est un acier A 283 C, recouvert par une résine inerte chimiquement, (1 cm^2) de la surface de la section qui est juste en contact avec le milieu agressif. L'acier est soudé à un fil au cuivre conducteur puis enrobé dans une résine thermodurcissable. L'enrobage est effectué à l'aide d'un moule en plastique et exposé à l'air ambiante pendant 24h, pour laisser la résine se solidifier (figure III.7).

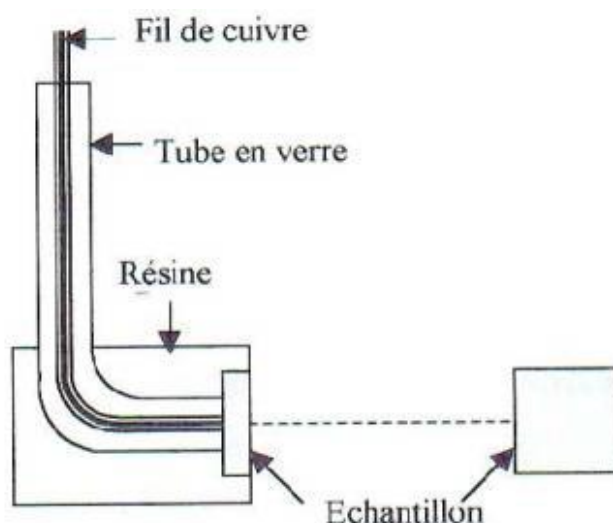


Figure III.7: schéma représentatif d'une électrode de travail utilisée dans les essais électrochimique.

Avant chaque manipulation, il faut décaper très bien la section de l'électrode de travail à l'aide de papier abrasif de différentes granulométries décroissantes (400, 800 et 1200), puis on la rince plusieurs fois par l'eau bi-distillée et l'acétone, et enfin on la sèche avec l'air chaude.

Un état d'équilibre stable est atteint avant de commencer chaque manipulation en immergeant l'électrode de travail dans les solutions électrolytiques étudiées pendant 60 min à une température ambiante, sous le potentiel en circuit ouvert.

Les courbes de polarisation potentiodynamiques ont été enregistrées par le balayage automatique du potentiel de -1000 à -750 (mV/ ECS) à une vitesse de balayage de $1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$.

Les mesures d'impédances électrochimiques ont été réalisées autour du potentiel en circuit ouvert dans la gamme de fréquences allant de 100 kHz à 10 mHz, avec un signal de 10 mV d'amplitude sinusoïdale.

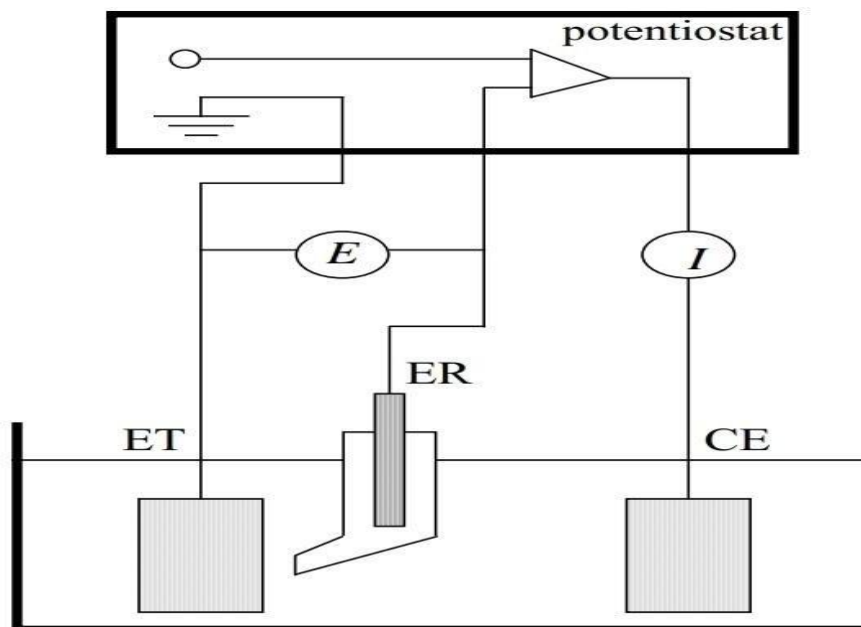
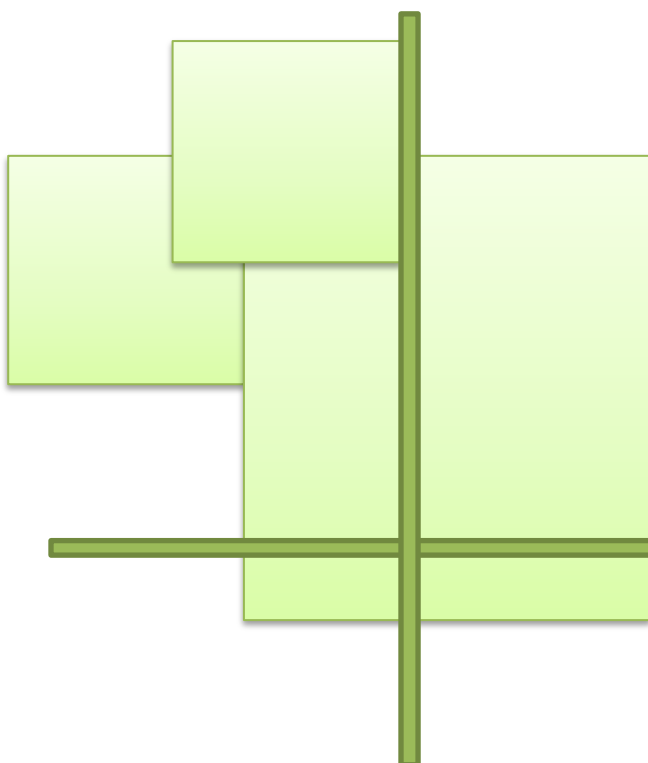


Figure III.8 : dispositif expérimental pour les essais électrochimiques.



CHAPITRE IV



IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous avons évalué l'activité inhibitrice de l'inhibiteur (*CO-DOLYC*) contre la corrosion de l'acier au carbone (A 283 grade C) en milieu acide (HCl 1M) en utilisant les techniques suivantes :

- La perte de masse ;
- Les courbes de polarisation potentiodynamiques.
- La spectroscopie d'impédance électrochimique.

IV.2. Méthode de la masse perdue

Les échantillons préparés à partir d'acier A 283 grade C sont immergés dans une solution acide en absence et en présence de l'inhibiteur Co-Dolyc à des concentrations de 100 à 500 ppm. Nous avons étudié l'influence du temps d'immersion : 2 h, 4 h, 6 h, 24 h et 48 h, à température ambiante.

IV.2.1. Cinétique de corrosion sans inhibiteur :

Les séries d'expérience ci-dessous sont réalisés par la méthode gravimétrique sans inhibiteur de corrosion, dans un but de déterminer la vitesse de corrosion et la masse perdue immergé dans les solutions en fonction du temps.

Tableau IV.1 : Vitesse de corrosion de l'acier au carbone A 283 C en milieu HCl 1M.

Temps (heure)	2h	4h	6h	24h	48h
V_{corr} (mg.cm ⁻² .h ⁻¹)	12,005	17,550	41,857	66,117	45,980

D'après la figure IV.1, nous remarquons que la vitesse de corrosion de l'acier augmente avec l'augmentation de temps d'immersion où nous enregistrons une vitesse de corrosion maximale après 24 heure d'immersion ($V_{\text{max}} = 66,117 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$) suivi d'une diminution après 48 heure d'immersion ($V = 45,980 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$).

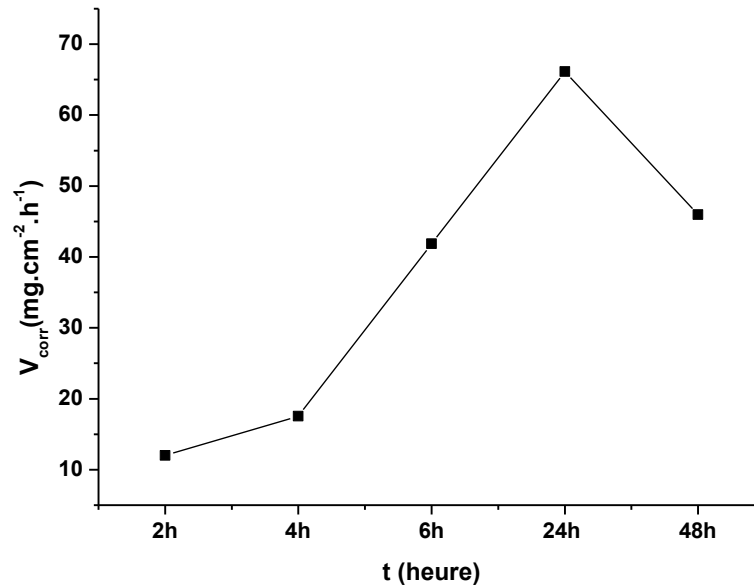


Figure IV.1 : Évolution de la vitesse de corrosion de l'acier au carbone en fonction de temps en milieu HCl (1M) en absence d'inhibiteur.

IV.2.2. Cinétique de corrosion en présence de l'inhibiteur :

Pour étudier l'effet de la concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice, nous avons effectué des mesures gravimétriques sur le l'acier A 283 C en milieu HCl 1 M en fonction du temps d'immersion à différentes concentrations de l'inhibiteur.

L'efficacité inhibitrice est calculée par la relation suivant:

$$E\% = \frac{V_{corr} - V_{inh}}{V_{corr}} \times 100 \quad \text{III.3}$$

➤ Temps d'immersion de l'inhibiteur $t = 2h$

Les résultats de la vitesse de corrosion V_{corr} et l'efficacité inhibitrice (EI %), obtenus après 2 heure d'immersion de l'acier en milieu acide HCl (1M) à différentes concentrations de l'inhibiteur, sont regroupés dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2 : Vitesses de corrosion et efficacités inhibitrices pour différentes concentrations en inhibiteur, pour la corrosion de l'acier dans HCl 1M pendant 2 heures.

Concentration (ppm)	Vitesse ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	EI (%)
100	11,560	3,700
200	11,060	7,870
300	11,003	8,341
400	7,532	37,500
500	5,069	57,772
BLANC	12,005	/

En traçant la variation de la vitesse de corrosion de l'acier après 2 heures d'immersion en milieu acide HCl (1M) en fonction de la concentration de CO-DOLYC, et la variation de l'efficacité inhibitrice dans les mêmes conditions (figure IV.2).

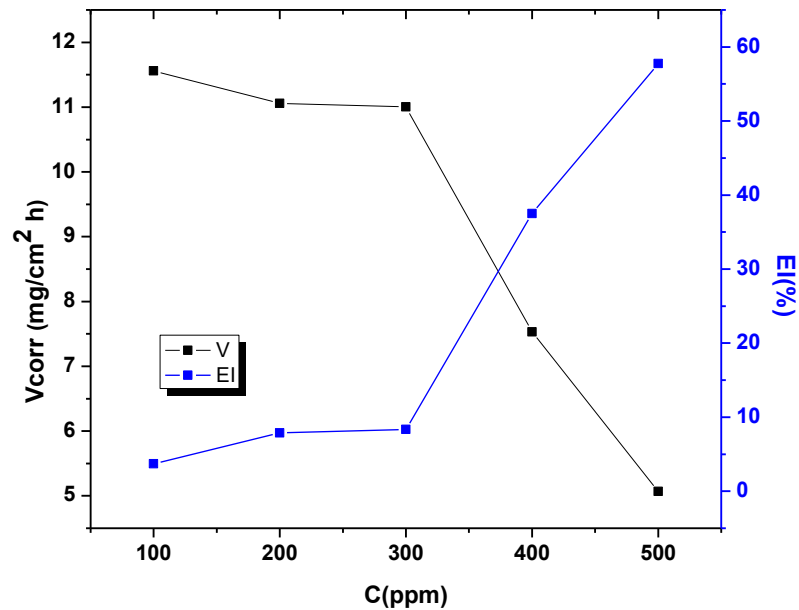


Figure IV.2 : Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier étudié et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de l'inhibiteur CO-Dolyc pendant 2 heures d'immersion.

➤ Temps d'immersion de l'inhibiteur $t = 4h$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau IV.3 et illustrés par la figure IV.3.

Tableau IV.3 : La vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de CO-Dolyc, pour la corrosion de l'acier dans HCL (1M) pendant 4 heures.

Concentration (ppm)	Vitesse ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	EI (%)
100	9,541	45,640
200	8,990	48,771
300	7,942	54,571
400	7,800	55,553
500	6,151	64,950
BLANC	17,550	/

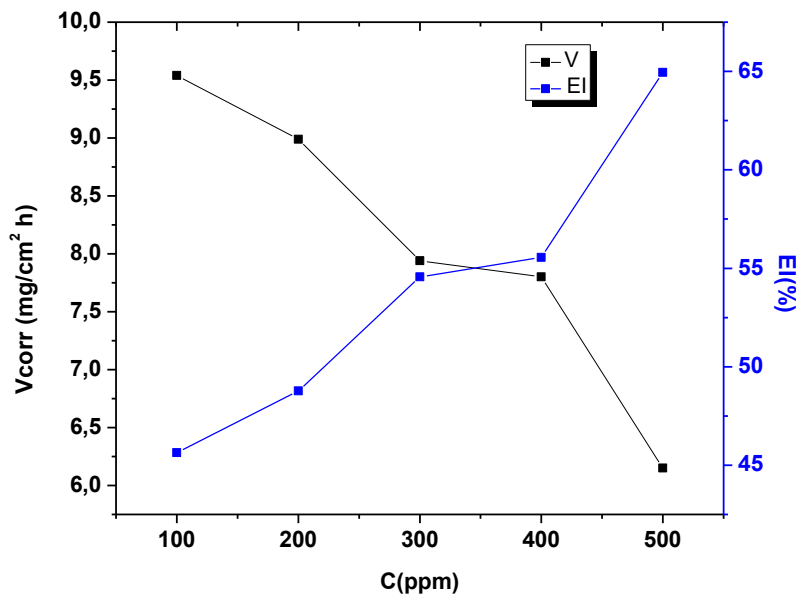


Figure IV.3 : Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de CO-Dolyc, dans HCl (1M) pendant 4 heures d'immersion.

➤ Temps d'immersion de l'inhibiteur $t = 6h$

Les paramètres de la corrosion calculés par gravimétrie après 6h d'immersion en fonction des différentes concentrations de l'inhibiteur étudié sont illustrés dans le tableau (IV.4) et représentés par la figure IV.4.

Tableau (IV.4) : La vitesse de corrosion de l'acier et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de CO-DOLYC, dans HCl (1M) pendant 6 heures d'immersion.

Concentration (ppm)	Vitesse ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	EI (%)
100	25,732	38,520
200	14,556	65,221
300	11,819	71,763
400	10,522	74,861
500	09,960	76,200
BLANC	41,857	/

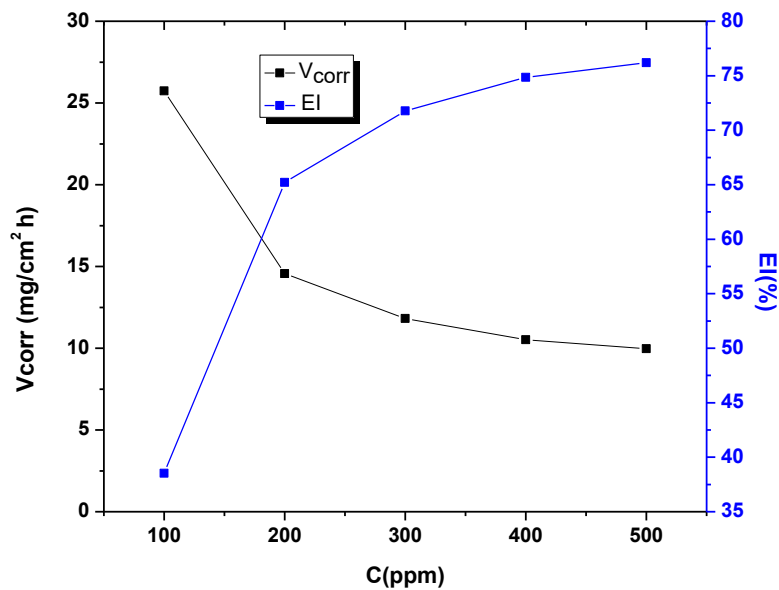


Figure IV.4 : Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de CO-Dolyc, dans HCl (1M) pendant 6 heures d'immersion.

➤ Temps d'immersion de l'inhibiteur $t = 24h$

Les paramètres de la corrosion calculés par gravimétrie après 24 h d'immersion en fonction des différentes concentrations de l'inhibiteur CO-Dolyc, sont illustrés dans le Tableau (IV.5).

Tableau IV.5 : La vitesse de corrosion de l'acier et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de CO-DOLYC, dans HCl (1M) pendant 24 heures d'immersion.

Concentration (ppm)	Vitesse ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	EI (%)
100	23,437	64,551
200	22,301	66,272
300	21,833	66,971
400	20,569	68,884
500	10,675	83,850
BLANC	66,117	/

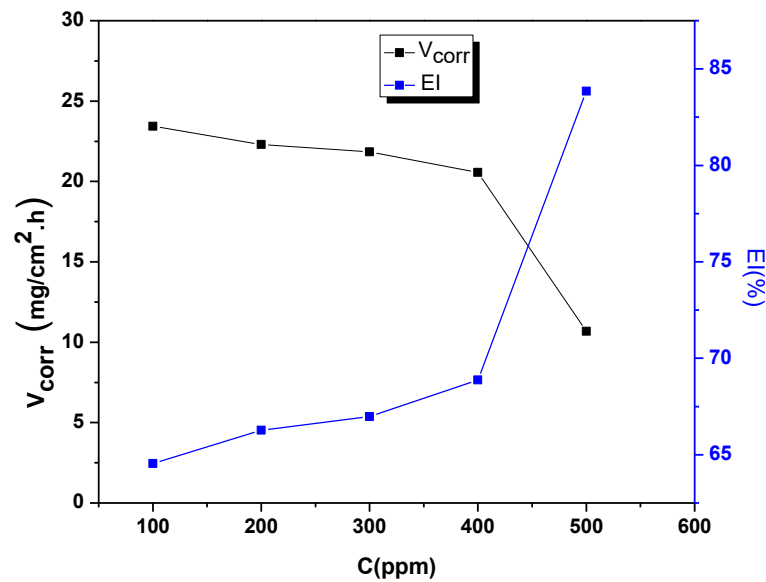


Figure IV.5 : Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de CO-Dolyc, dans HCl (1M) pendant 24 heures d'immersion.

➤ Temps d'immersion de l'inhibiteur t = 48h

Le tableau IV.6 regroupe les résultats de la vitesse de corrosion de l'acier étudié V_{corr} et l'efficacité inhibitrice (EI %), obtenus après 48 heures d'immersion en milieu acide (HCl 1M) à différentes concentrations de l'inhibiteur.

Tableau IV.6 : La vitesse de corrosion de l'acier et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de CO-DOLYC, dans HCl (1M) pendant 48 heures d'immersion.

Concentration (ppm)	Vitesse ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	EI (%)
100	43,512	5,371
200	37,442	18,572
300	29,271	36,342
400	16,080	65,021
500	13,383	70,900
BLANC	45,985	/

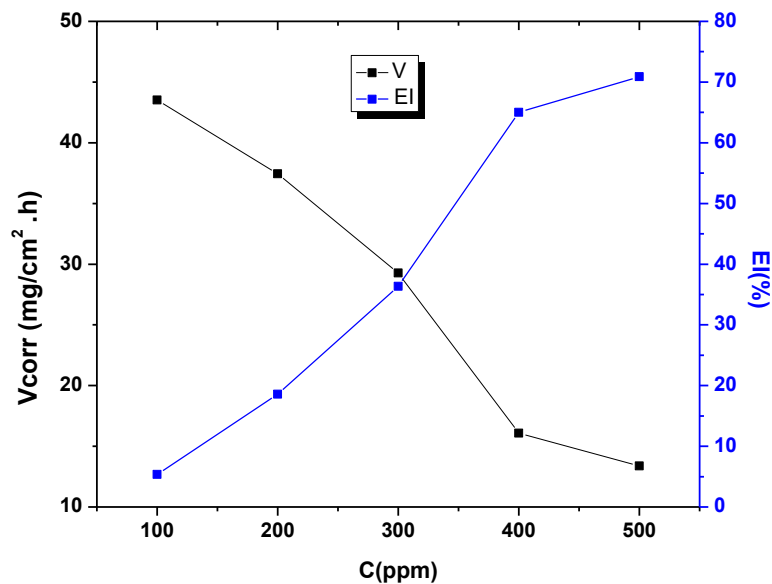


Figure IV.6 : Evolution de la vitesse de corrosion de l'acier et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de CO-Dolyc, dans HCl (1M) pendant 48 heures d'immersion.

Discussions

L'analyse des résultats obtenus de la cinétique de corrosion en présence de l'inhibiteur : révèle que la vitesse de corrosion diminue par l'addition de l'inhibiteur (CO-Dolyc) pour tous les temps d'immersion et par conséquent une augmentation de l'efficacité inhibitrice. Ce comportement peut être attribué à la bonne adsorption des molécules de CO-Dolyc à l'interface métal/solution. et le recouvrement des sites actifs sur la surface conduisant à la formation d'une couche protectrice qui réduit la corrosion du métal [50,51].

Nous notons une efficacité maximale (83,850%) après 24 heures d'immersion de l'acier A 283 C, dans HCl 1M, pour une concentration de 500 ppm de CO-Dolyc.

L'analyse de ces résultats montre clairement que ce composé possède d'excellentes propriétés inhibitrices vis-à-vis de la corrosion d'acier en milieu HCl 1M.

IV.3. Etudes électrochimiques

IV.3.1. Courbes de polarisations potentiodynamique

Les courbes de polarisation sont obtenues en mode potentiodynamique, après 30 min d'immersion de l'électrode dans l'électrolyte (le temps nécessaire à la réalisation de l'équilibre). Les courbes de polarisation en absence et en présence de l'inhibiteur (CO-Dolyc), à des différentes concentrations, dans une solution de HCl (1M), à la température ambiante, sont représentées sur la figure IV.7.

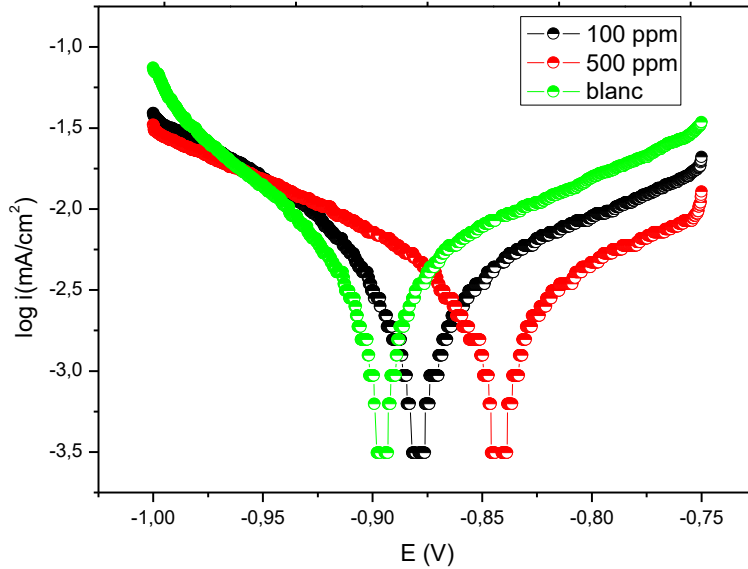


Figure IV.7 : Courbes de polarisation de l’acier A 283 C dans HCl (1M), en absence et en présence de Co-Dolyc.

Les paramètres électrochimiques déterminées, à partir des courbes de polarisation précédemment obtenues, à savoir l’intensité du courant de corrosion (i_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}), ainsi que l’efficacité inhibitrice (EI%), pour les différentes concentrations d’inhibiteur en milieu HCl 1M à température ambiante, sont regroupés dans le tableau IV.7

EI% est définie par équation suivante :

$$EI(\%) = (i_{corr}^0 - i_{corr}) / i_{corr}^0 \times 100 \dots\dots\dots III.9$$

i_{corr}^0 et i_{corr} Correspondent respectivement à l’intensité du courant de corrosion enregistrées en absence et en présence de l’inhibiteur à différentes concentrations. Ces intensités ont été déterminées par extrapolation des droites cathodiques et anodiques de Tafel au potentiel de corrosion.

Tableau IV.7: Les paramètres électrochimiques et l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations de Co-Dolyc pour la corrosion de l'acier dans HCl (1M).

	E_{corr} (mV/ECS)	i_{corr} (mA/cm ²)	V_{corr} (mm/an)	EI (%)
blanc	-898,800	3,731	43,710	/
100 ppm	-882	2,592	30,331	30,500
500 ppm	-843,9111	1,240	14,572	66,700

Interprétation

D'après la figure IV.7 et le tableau IV.7, nous constatons que :

- ❖ Les courbes $\log i = f(E)$ sont constituées de deux parties, une partie cathodique qui correspond à la réaction des protons à la surface d'acier et une partie anodique qui représente l'oxydation de ce dernier.
- ❖ L'augmentation de la concentration en inhibiteur (Co-Dolyc) tend à déplacer le potentiel de corrosion vers des valeurs plus positives, et à diminuer les densités de courant de corrosion.
- ❖ L'augmentation de la concentration de Co-Dolyc augmente l'efficacité inhibitrice jusqu'à atteindre 66,700% pour une concentration de 500 ppm de l'inhibiteur.

IV.2.2. Les impédances électrochimiques (SIE)

L'étude des diagrammes d'impédance électrochimique au potentiel de corrosion, pour différentes concentrations en inhibiteur, a été étudiée dans le but de compléter la compréhension des mécanismes de corrosion et de protection qui se produisent à la surface de l'acier.

Les diagrammes de Nyquist de l'interface acier/solution, avant et après addition de différentes concentrations en inhibiteur sont représentés sur la figure IV.8.

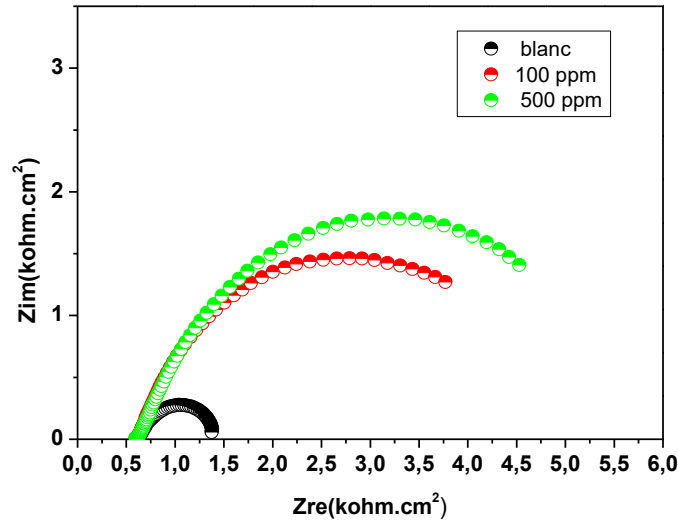


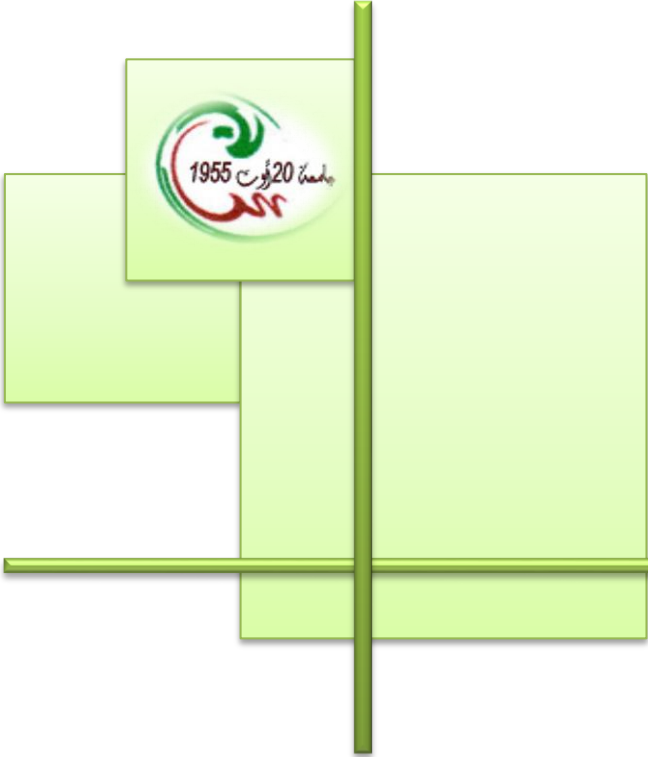
Figure IV.8 : Spectres d'impédance de l'acier A 283 C dans HCl 1M sans et avec addition du Co-Dolyc

Interprétation :

D'après la figure IV.8, nous remarquons que :

- La forme générale des diagrammes est très semblable pour tous les essais. Ceci indique que presque aucun changement du mécanisme de corrosion ne s'est produit en raison de l'addition d'inhibiteur.
- Les diagrammes de Nyquist obtenus sont constitués d'une seule boucle capacitive qui n'est pas un demi-cercle parfait, ceci est dû à l'hétérogénéité des systèmes électrochimiques résultant de la qualité de la couche formée sur l'acier, cette hétérogénéité peut-être résulté aussi de la rugosité, les impuretés, l'adsorption de l'inhibiteur et de la formation des couches poreuses [54,55].
- Les diamètres des demi-boucles capacitatives augmentent avec l'augmentation des concentrations de l'inhibiteur. Ce résultat suggère la formation de film protecteur qui issue par l'addition de l'inhibiteur. Le film ainsi formé sert de barrière bloquante, qui

empêcherait les ions corrodants de l'électrolyte d'atteindre la surface de l'électrode, ce qui la protège efficacement contre la corrosion.



CONCLUSION



CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce travail est d'étudier le comportement à la corrosion de l'acier au carbone (A 283 C) en milieu acide (HCl 1M) avec et sans ajout d'inhibiteur de corrosion (Co-Dolyc). L'étude a été réalisée en utilisant la méthode gravimétrique et les mesures électrochimiques.

Tout d'abord nous avons étudié la vitesse de la corrosion de l'acier au carbone dans HCl 1M en fonction du temps d'immersion. Les résultats de la perte de masse obtenus montrent une augmentation de la vitesse de corrosion jusqu'à 24 heures d'immersion, suivi d'une diminution après 48 heures d'immersion.

Les résultats de l'étude de l'efficacité inhibitrice contre la corrosion de l'acier A 283 C, par le médicament Co-Dolyc, ont montré que :

- La vitesse de corrosion diminue lors de l'addition de l'inhibiteur.
- L'efficacité inhibitrice, augmente avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur jusqu'à atteindre une valeur maximale de 83,850% après 24 h d'immersion pour une concentration de 500 ppm.

L'étude électrochimique de l'acier en absence et en présence de Co-Dolyc a montré que :

- La vitesse de corrosion diminue lors de l'addition de l'inhibiteur durant le temps d'immersion, en ce qui concerne l'efficacité inhibitrice, on a constaté une augmentation croissante en fonction de la concentration d'inhibiteur, ce comportement peut être attribué à la bonne adsorption des molécules d'extraits à l'interface métal/solution.
- Le tracé des courbes de polarisation a montré que l'ajout de 500 ppm de Co-Dolyc dans la solution de HCl conduit à une diminution marquée de la valeur du courant (i_{corr}), et une efficacité inhibitrice maximale qui atteint la valeur de 66,700%.
- Les courbes de spectroscopie d'impédance électrochimique indiquent que l'efficacité de l'inhibiteur s'améliore en fonction de l'ajout de Co-Dolyc.



BIBLIOGRAPHIE



Références bibliographiques :

- [1]. D. LANDOLT, «Corrosion et chimie de surfaces des métaux (Traité des matériaux),» Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1993.
- [2]. F. Ropital, «Corrosion et dégradation des matériaux métalliques,» édition Technip, Paris, 2005.
- [3]. M. B. Naïma, «Evaluation Des Performances Des Peintures,» Boumerdès, 2008.
- [4]. D. BENSABRA, H. Cours de Corrosion et Protection des Métaux ; Université de JIJEL 2016
- [5]. G. TRABANELLI, Corrosion mechanism, F, Mansfield Editor, Marcel Dekker, N. Y, p 119, 1987.
- [6]. E. Schaschl, NACE Corrosion Inhibitors, USA, National Association of Corrosion Engineers, (1973).
- [7]. A. Habchi, étude de l'effet de la température sur la corrosion de l'acier XC52 en présence du sulfarler et leur sel correspondant dans un milieu H₂SO₄ 20 % , mémoire de master, université de KasdiMerbah Ouargla, Algérie , 2013
- [8]. S. Athmani, «Etude des couches minces à base de terre rare destinées à la protection des matériaux contre la corrosion,» Université Mohamed- Chérif Messaidia, Souk Ahras, Mémoire de Magister, 2013
- [9]. CEFACOR, «Matériaux métalliques, phénomènes de corrosion, quatrième partie, les différentes formes de corrosion aqueuse,» CEFACOR, pp. 75-86, 2003.
- [10]. F. Aggoun (2010). "Évaluation de l'endommagement des tubes dans leurs conditions d'exploitation". Thèse de Magister en Génie Mécanique option : Mécanique Appliquée en Engineering, Université MENTOURI Constantine.
- [11]. Corrosion des métaux, ENSPM formation industrie - Formation IFP, France, 2005.

- [12]. F. Dabosi et al, Corrosion localisée, Ed. Physiques, 1994.
- [13]. S. AUDISIO, H.MAZILLE et C. SINICKI, «Corrosion des métaux et alliages, corrosion et génie industriel,» Centre d'actualisation scientifique et technique INSA-Lyon, document de stage, formation continue, 1984.
- [14]. D. LANDOLT, «Corrosion et chimie de surfaces des métaux (Traité des matériaux),» Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, pp. 165-205, 1993.
- [15]. NACE, « Materials Protection,» Glossary of corrosion Terms, pp. pp 79-80., 1965.
- [16]. J. Leconte, " Tuyauterie : protection contre la corrosion", Technique de l'ingénieur, Traité Génie mécanique, A830, (1981).
- [17]. G. Daufin, J. Talbotn , « Etude de quelques problèmes de corrosion dans l'industrie laitière ». Première partie. Généralités sur la corrosion des métaux et alliages. INRA Editions, 1971 ,51 (507).
- [18]. S. YOTNSI & M. A. GANA. Etude de corrosion bactérienne (rapport).Evaluation de la contamination bactérienne du champ pétrolier d'Edjeleh, par les bactériesulfatoréductrices, Mars-1999. (Entreprise nationale sonatrach, centre de recherche et développement)., laboratoire Traitement Des Hydrocarbures Département corrosion.
- [19]. V. FORTUNÉ Isabelle.(25 septembre 2009). Sensibilité de la technique, d'émission acoustique à la corrosion des armatures dans le béton. THÈSE de DOCTORAT, Université De Toulouse III– Paul Sabatier
- [20]. F.KHOUKHI. (2008). Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (Eau, huile et gaz). Mémoire de Magister. Université M'Hamed BOUGARA de Boumerdès.
- [21]. E. Norman,«Scope and importance of inhibitortechnology». In: EtByC.C.Nathan, Houston, NACE” Corrosion Inhibitors (1973)28-41. [2]. N.E. HAMNER, Scope and importance of inhibitortechnology. In: Ed. By C.C. Nathan, Houston, NACE Corrosion Inhibitors. USA: National Association of Corrosion Engineers, 1973.
- [22]. L. SheirJarman, R.A. Burstein, G.T., Corrosion. Butterworth- Heinemann, Great Landon.

1994

- [23]. N.E. HAMNER, Scope and importance of inhibitor technology. In: Ed. By C.C
- [24]. M. FONTANA and N. GREEN, Corrosion engineering, Mc. Graw - hill (1978)
- [25]. E. Heitz, Proc. 4th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann, Univ. Ferrara, [Italy, N.S., Sez. V. Suppl. 6, 432 (1975).
- [26]. H. Norman. E, Scope and importance of inhibitor technology. In: Ed. By C.C. Nathan, Houston, NACE Corrosion Inhibitors. USA: National Association of Corrosion Engineers, 28 (1973).
- [27]. N. Deghfel, R. Rehamnia, introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de la corrosion, P 5-10, (2002)
- [33]. Gadag, Engineering Chemistry, I. K. International Pvt Ltd, 2007.
- [28]. H. Messaoud, « nouvelle voie d'inhibition de la corrosion du cuivre par la caféine: corrélation entre la simulation par la DFT et l'étude expérimentale », Mémoire de magister, Université 20 Aout 1955 – Skikda, Algérie, (2014).
- [29] Ryu, Hwa-Sung, et al. "An electrochemical study to evaluate the effect of calcium nitrite inhibitor to mitigate the corrosion of reinforcement in sodium chloride contaminated Ca (OH) 2 solution." Advances in Materials Science and Engineering 2017.
- [30]. C. Florina. Etude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement. Diss 2011.
- [31]. E. Schaschl, NACE Corrosion Inhibitors, USA, National Association of Corrosion Engineers, (1973).
- [32]. G. TRABANELLI (1987.). Marcel Dekker. Y., Mansfield, F., Corrosion Mechanism, p 119..
- [33]. J. Scully (1975). The Fundamentals of Corrosion, International Series of Monographs on Materials Science and Technology, 2nd Ed. Pergamon International, Oxford, Vol. 17
- [34]. G. Trabanelli, Corrosion Mechanisms, F. Mansfeld editor, Marcel Dekker, New York,

(1987) 119.

[35] Gentil, V. (2003). Corrosão, 4^a ed., Rio de Janeiro: LTC.

[36] : J.G.N. Thomas, 5th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann. Univ. Ferrara, Italy, (1980) 453.

[37]. F. Zucchi. & H. Omar. (1985). Plant extracts as corrosion inhibitors of mild steel in HCl solutions. Surface Technology, 24(4), 391-399.

[38]. M. Elayyachy Aouniti, A., Ramdani, A. Hammouti, B., Malek, F., & Elidrissi, A. (2005) . New bipyrazole derivatives as corrosion inhibitors for steel in hydrochloric acid solutions. Materials chemistry and physics, 93(2-3), 281-285

[39]. C. Kumar, C. P., & Mohana, K. N. (2014). Corrosion inhibition efficiency and adsorption characteristics of some Schiff bases at mild steel/hydrochloric acid interface. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 45(3), 1031-1042.

[40]. M. Alhaffar, M. T., Umoren, S. A., Obot, I. B., & Ali, S. A. (2018). Isoxazolidine derivatives as corrosion inhibitors for low carbon steel in HCl solution: experimental, theoretical and effect of KI studies. Rsc Advances, 8(4), 1764-1777.

[41]. T. Manh, D., Huynh, T. L., Thi, B. V., Lee, S., Yi, J., & Nguyen Dang, N. (2022). Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid environments containing sonneratia caseolaris leaf extract. ACS omega, 7(10), 8874-8886.

[42]. A. Al-Amiery, A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., Shaker, L. M., Isahak, W. N. R. W., & Takriff, M. S. (2022). Experimental and theoretical study on the corrosion inhibition of mild steel by nonanedioic acid derivative in hydrochloric acid solution. Scientific reports, 12(1), 1-21.

[43]. I. Annon, I. A., Abbas, A. S., Al-Azzawi, W. K., Hanoon, M. M., Alamiery, A., Isahak, W. N. R., & Kadhum, A. A. H. (2022). Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid environment using thiadiazole derivative: Weight loss, thermodynamics, adsorption and computational investigations. South African Journal of Chemical Engineering, 41(1), 244-252.

[44]. K. Alamry, A., Khan, A., Aslam, J., Hussein, M. A., & Aslam, R. (2023). Corrosion

inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by the expired Ampicillin drug. Scientific Reports, 13(1), 6724.

[45]. S.Marmi, Effets des inclusions sur la corrosion des aciers au carbone, Mémoire de magistère, Université Mohamed Khider Biskra, 2003.

[46]. L. Lavigne : «Évaluation d'essais de corrosion réalisés en laboratoire et dans un épurateur humide». Thèse de Doctorat, Université du Québec à Chicoutimi, 1991,

[47]. A. YOUNSSI : «Etude électrochimique du comportement de l'alliage cuivre-zinc (Cu-38Zn) en milieu acide sulfurique». Mémoire magistère, université 20 août 1955 Skikda, 2014,

[48]. M. BOUNOUGHAZ : «Étude de la protection des fond de bacs pétroliers contre la corrosion par des anodes en zinc». Thèse de doctorat Université Laval (Québec – Canada), 2006.

[49]. M. FAUSTIN : «Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M». Thèse de doctorat, université des Antilles et de la Guyane, 18 Janvier 2013.

[50]. E. GUETTAF TEMAM : « Élaboration et caractérisation des revêtements de nickel et des ses composite Ni/Mo élaboré par voie electrolytiques en présence d'un inhibiteur de corrosion». Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, 2015.55

[51]. M. Balasubramaniam, C.A. Melendres, A. N. Mansour, Thin Solid Films 347 (1999) 178-183.

[52] L. Dong, Y. Lin, D. Yigang, et D. Zeng, « Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid solution by rice bran extracts », Anti-Corros. Methods Mater., vol. 58, p. 205-210, juin 2011.

[53] N. Soltani, M. Khayatkashani, Gundelia tournefortii as a green corrosion inhibitor for mild steel in HCl and H₂SO₄ solutions, International Journal of Electrochemical Science 10 (1), 46-62, 2015.

[54] X. Li, S. Deng, H. Fu, et G. Mu, « Inhibition effect of 6-benzylaminopurine on the corrosion of cold rolled steel in H₂SO₄ solution », Corros. Sci., vol. 3, no 51, p. 620-634, 2009, doi: 10.1016/j.corsci.2008.12.021.

[55] A. Belakhdar, H. Ferkous, S. Djellali, R. Sahraoui, H. Lahbib, et Y. B. Amor, « Corrosion Inhibition Performance of Rosmarinus officinalis Methanolic Extract on Carbon Steel XC48 in Acidic Medium (2M HCl) », Mater. Biomater. Sci., vol. 3, no 2, Art. no 2, févr. 2020.

RESUME

La possibilité d'utiliser des inhibiteurs de corrosion est une nouvelle alternative en ce moment par rapport à d'autres méthodes de protection. Ce travail consiste à l'étude de l'efficacité inhibitrice d'un médicament nommé (Co-Dolyc) sur de l'acier A 283 C, dans une solution de HCl (1M). Cette étude a été réalisée en utilisant la méthode de la perte de masse et les méthodes électrochimiques (les courbes de polarisation et la spectroscopie d'impédance électrochimique). Les résultats obtenus ont montré que la vitesse de dissolution de l'acier diminue avec la concentration de l'inhibiteur (Co-Dolyc). L'efficacité inhibitrice atteint une valeur maximale d'environ 83,850 % pour une concentration 500ppm. Les mesures électrochimiques ont montré que cet inhibiteur présente une efficacité remarquable pour l'acier au carbone dans HCl (1M). Les résultats obtenus à partir des différentes techniques étaient en bon accord.

Mots clés: Corrosion, Inhibiteur, Acier, Méthode gravimétrique, HCl, Méthodes électrochimiques.

ABSTRACT

The possibility of using corrosion inhibitors is a new alternative to other protection methods at this time. This work consists in the study of the inhibitory efficacy of a named drug (Co-Dolyc) on steel A 283 C, in a solution of HCl (1M). This study was conducted using the mass loss method and electrochemical methods (polarization curves and electrochemical impedance spectroscopy). The results obtained showed that the speed of dissolution of the steel decreases with the concentration of the inhibitor (Co-Dolyc). The inhibitory efficiency reaches a maximum value of about 83,850% for a 500ppm concentration. Electrochemical measurements have shown that this inhibitor is remarkably effective for carbon steel in HCl (1M). The results obtained from the various techniques were in good agreement

.Keywords: Corrosion, Inhibitor, Steel, Gravimetric method, HCl, Electrochemical methods

ملخص

تعد إمكانية استخدام مثبطات التآكل بديلاً جديداً لطرق الحماية الأخرى في هذا الوقت. يتكون هذا العمل من دراسة الفعالية المثبطة لعقار مسمى (Co-Dolyc) على الفولاذ A 283 C، في محلول (HCl 1M). أجريت هذه الدراسة باستخدام طريقة فقدان الكتلة والطرق الكهروكيميائية (منحنيات الاستقطاب والتحليل الطيفي للمعاوقة الكهروكيميائية). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن سرعة انحلال الفولاذ تنخفض مع تركيز المثبط (Co-Dolyc). تصل الكفاءة المثبطة إلى قيمة قصوى تبلغ حوالي 83.85% لتركيز 500 جزء في المليون. أظهرت القياسات الكهروكيميائية أن هذا المثبط فعال بشكل ملحوظ لفولاذ الكربون في (HCl 1M). كانت النتائج التي تم الحصول عليها من مختلف التقنيات متفقة بشكل جيد.

الكلمات المفتاحية: لتآكل ، المانع ، الصلب ، طريقة قياس الوزن ، حمض الهيدروكلوريك ، الطرق الكهروكيميائية.