

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE 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

**Evaluation de l'efficacité d'un nouveau inhibi-  
teur pour la protection de l'acier au carbone  
contre la corrosion**

Soutenu le :25/06/2023

**Réalisé par :**

MAROUA Bendir  
AMINA Chekrida  
RABIHA Hadri

**Encadré par :**

FERKOUS. Hana  
REMACHE. Malika

**Année Universitaire : 2022- 2023**

## **REMERCIEMENTS :**

*Au nom d'Allah, le plus miséricordieux, le plus miséricordieux.*

*Merci à Allah, Seigneur de tous les mondes. Que la bénédiction et la paix d'Allah soient sur notre Prophète. Muhammad, sa famille, tous ses compagnons et tous ceux qui ont marché sur son chemin.*

*Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre gratitude aux personnes suivantes qui nous ont aidés à atteindre notre objectif.*

*Nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude à notre superviseuse, Mme M. Remache et H. Ferkous pour leur patience, leurs conseils et leur soutien. Nous avons grandement bénéficié de leurs connaissances et de leurs conseils continus. Elles sont la véritable définition d'un leader et le modèle ultime.*

*Nous tenons à remercier chacun des membres du jury pour nous avoir fait l'honneur d'examiner et d'évaluer notre travail E, BOUSSAÏA et A. DILMI et C. BOULECHFAR.*

*Nous en profitons pour remercier tous les professeurs du Département de Génie DES Procédés qui nous ont enseigné et aidé durant ces deux années d'études.*

*Que la paix, les bénédictions et la miséricorde de Dieu soient sur vous.*

*Hadri Rabiha & Bendir Maroua & Chekrida Amina*

## *Dédicace*

*Louange à dieu, et que les prières soient sur le bien-aimé de dieu, Muhammad sa famille et ceux qui ont accompli sa foi.*

*Dieu soit loué qui nous a fait apprécier ce pas en nous un voyage. C'est le fruit de l'effort et du succès grâce à lui tout-puissant.*

*Présentation à mes chers parents, que Dieu le protège et fait de lui une lumière sur mon chemin.*

*Toute la généreuse famille qui m'a soutenu et continue de me soutenir, de frères et sœurs des compagnons de voyage qui l'ont partagé moments avec moi, que Dieu les bénisse et leur accorde le succès : Zahra, Meriem, Khalil, Amdjad, Amine, Fadoua, Aya, Amina, Maroua.*

*A tous ceux qui ont eu un impact sur ma vie, et à tous ceux qui ont j'aime le cœur et qui a oublié mon stylo*

*Je dédie Ce modeste travail A : Tous les Profs de département de génie des Procédés*

*Hadri Rabiha*

## *Dédicace*

*Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité  
d'écrire et de réfléchir la force du croire, la patience d'aller  
jusqu' au bout du rêve et le Bonheur.*

*Je dédie Ce modeste travail A:*

*Tous les Profs de département de génie des  
Procèdes Et tous nos familles.*

*Chères âmes et parents, ma mère Et mon père  
(que dieu lui fasse miséricorde).*

*Pour leur patience leur amour, leur soutien et leur  
encouragements.*

*A tous ceux qui me soit chérés.*

*A tous ceux qui m'aiment.*

*A tous ceux que j'aime.*

*Chers frères.*

*Chers sœurs.*

*Mes Amis et camarades.*

*Bendir Maroua*

## *Dédicace*

*Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir la force, la patience jusqu'à au but du rêve et le bonheur.*

*Je dédie ce modeste travail A :*

*A mes très chers parents, source de vie d'amour et d'affection pour ses*

*Encouragements, ses sacrifices.*

*A mes belles chers sœurs Zahra et Mariya, A mon frère, mon soutien Oussama.*

*A tout la famille Chekrída et Dadi sista, et mes belles Rayane, Hanane, Rabiha,*

*Maroua, Lina...*

*A tout ceux qui ont eu un impact sur ma vie, et un grand merci à mes amies sur*

*Ma Page (Manina salées prestige) pour votre amour et encouragements.*

*Chekrída Amína*



## Liste des abréviations

**C** : Concentration.

**Ca** : Calcium.

**Cd** : La capacité

**C<sub>dc</sub>** : Capacité de double couche.

**CE** : Contre électrode.

**C<sub>inh</sub>** : La concentration de l'inhibiteur.

**Cl** : Chlore.

**E** : Efficacité d'inhibitrice.

**E<sub>corr</sub>** : Le potentiel de corrosion.

**ER** : Electrode de référence.

**ET** : Electrode de travail.

**I<sub>corr</sub>** : La vitesse instantanée de corrosion.

**ISO** : Organisation internationale de normalisation.

**K** : Désigne le coefficient d'adsorption.

**K<sub>ads</sub>** : Constante d'adsorption.

**K<sub>eds</sub>** : Constante de désorption.

**N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>** : Hydrazine.

**Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>** : sulfite de Sodium.

**NACE** : National Association of corrosion Engineers.

**NO** : Nobélium.

**OH** : Hydroxyde.

**PH** : Le potentiel hydrogène.

**R<sub>e</sub>** : Résistance d'électrolyte.

**R<sub>p</sub>** : La résistance de polarisations.

**R<sub>t</sub>** : Résistance de transfert.

**S** : Surface.

**S.I.E** : La spectroscopie d'impédance électrochimique.

**Θ** : Taux de recouvrement.

**V<sub>Corr</sub>** : vitesse de corrosion.

**V<sub>inh</sub>** : La vitesse inhibitrice en présence de l'inhibiteur.

**Zn**: Zinc

## Liste des figures :

<b>Figure 1:</b> Schéma récapitulatif de la corrosion.....	5
<b>Figure 2:</b> Colonie de <i>Desulfovibrio vulgaris</i> sur acier inoxydable. ....	6
<b>Figure 3:</b> Corrosion généralisée affectant la surface d'une pièce métallique. ....	7
<b>Figure 4:</b> Corrosion galvanique.....	8
<b>Figure 5:</b> Corrosion par piqûres. ....	8
<b>Figure 6:</b> Corrosion par caverneuse. ....	9
<b>Figure 7:</b> Corrosion inter granulaire d'un inox par HCl. ....	9
<b>Figure 8:</b> Corrosion filiforme. ....	10
<b>Figure 9:</b> Corrosion sous contrainte. ....	11
<b>Figure 10:</b> Les principaux facteurs de la corrosion.....	11
<b>Figure 11:</b> Diagramme potentiel-pH simplifié du fer à 25°C. ....	13
<b>Figure 12:</b> Classement des inhibiteurs. ....	20
<b>Figure 13:</b> représentation en milieu « acide » du rôle d'un inhibiteur anodique :(a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur. ....	22
<b>Figure 14:</b> Représentation du rôle d'un inhibiteur cathodique, (a)sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur ....	23
<b>Figure 15:</b> Inhibiteur formant une couche tridimensionnelle.....	24
<b>Figure 16:</b> Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion [9]. ....	24
<b>Figure 17:</b> Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique [12]. ....	26
<b>Figure 18:</b> Préparation de la solution inhibitrice.....	34
<b>Figure 19:</b> Préparation des échantillons (polissage).....	35
<b>Figure 20:</b> Différentes allures de potentiel en fonction du temps d'immersions. ....	36
<b>Figure 21:</b> Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de tafel. ....	38
<b>Figure 22 :</b> Principe de spectroscopie d'impédance électrochimique (S.I.E). ....	39
<b>Figure 23:</b> Schéma de fonctionnement de la SIE représentant la perturbation sinusoïdale en potentiel et sa réponse en courant. ....	40
<b>Figure 24:</b> Diagramme d'impédance dans le plan de Nyquist. ....	41
<b>Figure 25:</b> Impédance électrochimique dans le plan complexe de Nyquist dans le cas d'une cinétique d'activation. ....	42

<b>Figure 26:</b> Diagramme d'impédance électrochimique dans le cas d'une cinétique de diffusion à couche infinie. ....	43
<b>Figure 27:</b> Diagramme d'impédance électrochimique dans le cas d'une cinétique de diffusion dans une couche à épaisseur finie [10]. ....	43
<b>Figure 28:</b> dispositif de mesure d'une courbe de polarisation potentiostatique et d'impédance . ET : électrode de travail, ER : électrode de référence, CE : contre électrode. ....	44
<b>Figure 29:</b> schéma représentatif d'une électrode de travail utilisée dans les essais électrochimique. ....	44
<b>Figure 30:</b> Variation de l'efficacité de NO <sub>2</sub> pht sur l'acier et la vitesse de corrosion dans une solution HCl (1M). ....	49
<b>Figure 31:</b> Evolution du potentiel d'acier A283C dans HCl (1M) sans et avec addition d'inhibiteur NO <sub>2</sub> Pht. ....	51
<b>Figure 32:</b> courbe de polarisation relevée au potentiel de corrosion après 30min d'immersion dans la solution avec et sans inhibiteur. ....	52
<b>Figure 33:</b> Diagrammes d'impédance de Nyquist obtenus pour l'acier A283C à différentes concentrations des NO <sub>2</sub> pht. ....	55



**Liste des tableaux :**

<b>Tableau 1:</b> Composition chimique de l'acier A 283 C .....	33
<b>Tableau 2:</b> Paramètres de corrosion de l'acier A 283 C dans le milieu HCl 1 M en absence et en présence de différentes concentrations de NO <sub>2</sub> pht pendant 24 heures. ....	48
<b>Tableau 3:</b> Paramètres électrochimiques déterminées à partir des courbes de polarisation de l'acier en milieu HCl 1M sans et avec aditions de l'inhibiteur à différentes concentrations...	53



## Table des matières :

<b>I.1. Définition de la corrosion :</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2. L'origine de la corrosion :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.3. Les types de corrosion :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.3.1. Corrosion chimique :</b> .....	<b>5</b>
<b>I.3.2. Corrosion électrochimique :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.3.3. Corrosion biologique.....</b>	<b>6</b>
<b>I.4. Les formes de corrosion :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.4.1. Corrosion généralisée :</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4.2. Corrosion localisée :</b> .....	<b>7</b>
<b>I.5. Les principaux facteurs de la corrosion :</b> .....	<b>11</b>
<b>I.6. Processus de corrosion de l'acier en milieu aqueux :</b> .....	<b>12</b>
<b>I.7. Diagramme de POURBAIX :</b> .....	<b>12</b>
<b>I.8. Lutte contre la corrosion :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.8.1. Prévention par un choix judicieux des matériaux :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.8.2. Prévention par une forme adaptée des pièces :</b> .....	<b>14</b>
<b>I.8.3. Protection par électrochimique :</b> .....	<b>14</b>
<b>I.8.4. Protection par revêtements :</b> .....	<b>14</b>
<b>I.8.5. Protection par les inhibiteurs :</b> .....	<b>15</b>
<b>II.1. Historique.....</b>	<b>18</b>
<b>II.2. Définition :</b> .....	<b>19</b>
<b>II.3. Fonctions essentielles.....</b>	<b>19</b>
<b>II.4. Propriétés des inhibiteurs .....</b>	<b>19</b>
<b>II.5. Classifications des inhibiteurs :</b> .....	<b>20</b>
<b>II.5.1. Par formulation des produits (la nature) :</b> .....	<b>20</b>
<b>II.5.1.1. Les inhibiteurs organiques :</b> .....	<b>20</b>
<b>II.5.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux) :</b> .....	<b>21</b>
<b>II.5.2. Par réaction partielle :</b> .....	<b>21</b>
<b>II.5.2.1. Les inhibiteurs anodiques :</b> .....	<b>21</b>
<b>II.5.2.2. Inhibiteurs cathodiques :</b> .....	<b>22</b>
<b>II.5.2.3. Inhibiteurs mixtes :</b> .....	<b>23</b>
<b>II.5.3. Domaine d'application .....</b>	<b>24</b>
<b>II.5.4. Selon le mécanisme réactionnel.....</b>	<b>25</b>
<b>II.5.4.1. Inhibition par passivation.....</b>	<b>25</b>
<b>II.5.4.2. Inhibition par précipitation .....</b>	<b>25</b>

II.5.4.3. Inhibition par élimination de l'agent corrosif.....	25
II.5.4.4. Inhibition par adsorption.....	25
II.6. Les conditions de fonctionnement des inhibiteurs : .....	26
II.7. Travaux antérieurs sur les inhibiteurs contre la corrosion de l'acier en milieu acide chlorhydrique .....	27
III.1. Matériaux.....	33
III.1.1. Acier utilisé .....	33
III.1.2. Inhibiteur utilisé .....	33
III.1.3. Milieu d'étude.....	33
III.2. Méthodes d'étude .....	34
III.2.1. Méthode de la perte de masse : .....	34
III.2.1.1. Principe .....	34
III.2.1.2. Préparation des échantillons (polissage) .....	35
III.2.2. Méthodes électrochimiques :.....	36
III.2.2.1. Méthode électrochimique stationnaires :.....	36
III.2.2.1.1. Suivi du potentiel en circuit ouvert : courbes E-T .....	36
III.2.2.1.2. Courbes de polarisation.....	37
III.2.2.2. Méthode non stationnaires (transitoire) : .....	39
III.2.2.2.1. La spectroscopie d'impédance électrochimique (S.I.E).....	39
III.2.2.3. Dispositif expérimental pour les essais électrochimiques.....	43
IV.1. Introduction .....	48
IV.2. Etude gravimétrique .....	48
IV.3. Les mesures électrochimiques :.....	50
IV.3.1. Suivi du potentiel de corrosion en fonction du temps d'immersion :.....	50
IV.3.2. Courbes de polarisations $i=f(E)$ :.....	51
IV.3.3. Les impédances électrochimiques (SIE).....	54

# *Introduction générale*



# Introduction générale

---

La corrosion apparait depuis toujours comme un mal mystérieux dans le monde et malgré les progrès et le développement technologiques moderne toujours le sujet major dans de nombreux travaux parce qu'elle reste un problème constant.

Elle peut aussi provoquer des conséquences graves ne se limitent pas à des coûts économiques mais elle est concernent également la santé (corrosion des alliages dentaires et des implants métalliques dans le corps), la sécurité (pannes de véhicules, rupture de structures, contamination des canettes de produits alimentaires), l'environnement (pollution des ports par les biocides, utilisation de peintures qui seront interdites par les nouvelles normes), ...etc.

La corrosion est une forme complexe de la détérioration des matériaux elle peut être considérée comme étant une réaction d'oxydoréduction dans le qu'elle le matériau est oxydé sous l'effet d'un réducteur appelé agent corrosif.

Plusieurs facteurs facilitent et favorisent la corrosion de l'acier à l'instar de l'acide chlorhydrique qui est l'un des agents les plus largement utilisée dans le secteur industriel, par exemple dans le nettoyage industriel, détartrage acide, décapage à l'acide, ...etc. Cet acide joue un rôle important dans la corrosion de l'acier car il cause la dégradation du métal, soit par des réactions chimique ou électrochimique [1].

La protection contre la corrosion consiste en plusieurs actions à savoir le choix judicieux des matériaux la forme adaptée des pièces, .. L'inhibiteur est un substance chimique ajoutée au système de corrosion à une diminution de la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physicochimiques de ce dernière. de nos jours un grand nombre de composes organiques ont été étudiées pour investiguer leur potentialité d'inhibition de la corrosion tous ces études révèlent que les composes organiques en particulier ceux qui contiennent N,S et O, ont montré une efficacité d'inhibition significative. L'inhibition contre la corrosion au moyen des ces composés organiques résulte de leur adsorption à la surface du métal qui peut être décrits par deux principaux types d'interaction à savoir l'adsorption physique et l'adsorption chimique qui sont influencées par la nature, la charge du métal, la structure chimiques du produit organiques et le type d'électrolyte [2].

L'objectif principal de notre travail sera consacré à l'étude de l'effet d'un inhibiteur organique NO<sub>2</sub>pht en solution HCl 1M sur l'acier A283C. Le pouvoir inhibiteur a été évalué en utilisant la perte de masse et les méthodes électrochimiques (suivi du potentiel d'abandon, courbes de

# Introduction générale

---

polarisation et La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE).

Notre mémoire est divisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre constitue une approche bibliographique sur la corrosion, ces différents types et ses différentes formes.
- Le deuxième chapitre donne un aperçu général sur les inhibiteurs de corrosion et ses classifications.
- Le troisième chapitre décrit le dispositif expérimental permettant l'étude de l'inhibiteur testé au cours de ce travail et les conditions appropriées pour celui-ci.
- Le quatrième chapitre a été consacré aux résultats des testes de la méthode de perte de masse et les méthodes électrochimiques. Les discussions et les interprétations sont aussi rapportées dans ce chapitre.

Enfin, une conclusion générale vient clôturer ce mémoire.

## Références bibliographiques :

- [1].H. Yousfi, S. Bourhaba, « etude des inhibiteurs de corrosion pour protéger l'acier ordinaire en milieu agressif », Mémoire de master, Université Mouhamed el Bachir el Ibrahimi, Borj bou Arréridj,(2020), p : 01.
- [2].Y. Mokhneche, N. Labbaci, « evaluationde l'efficacité d'un inhibiteur de corrosion MEDACHAUD vis-à-vis de la corrosion de l'Aluminium », Mémoire de master, Univiresité Badjib Mokhtar, Annaba,(2020), p : 10.

*Chapitre I :*  
*Généralité sur la*  
*corrosion*

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

La corrosion est un grand problème mondial touche tous les secteurs particulièrement dans l'industrie. On appelle corrosion métallique tout processus de dégradation des métaux et alliages sous l'effet de leur environnement.

Dans ce chapitre on présente quelques notions principales sur la corrosion, ces types, les facteurs, et les moyens de lutte contre ce problème.

## I.1. Définition de la corrosion :

Le terme corrosion provient du latin corroder, qui signifie ronger, attaquer. La corrosion, au sens large, peut s'exprimer comme la détérioration d'un matériau par le milieu dans lequel il se trouve. Elle résulte d'interactions physico-chimiques entre le matériau métallique et son environnement, entraînant des modifications des propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques). Ce phénomène n'est étudié scientifiquement que depuis 1830 [1].

La définition de la corrosion établie par la norme internationale ISO 8044 montre qu'elle est une 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 [2].

Il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction au cours de laquelle un métal cède des électrons sous les formes suivantes :



La corrosion est une réaction irréversible d'un matériau avec un agent corrosif de son environnement qui implique une consommation d'un métal et une production d'une forme réduite de l'agent corrosif [3 ,2]

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

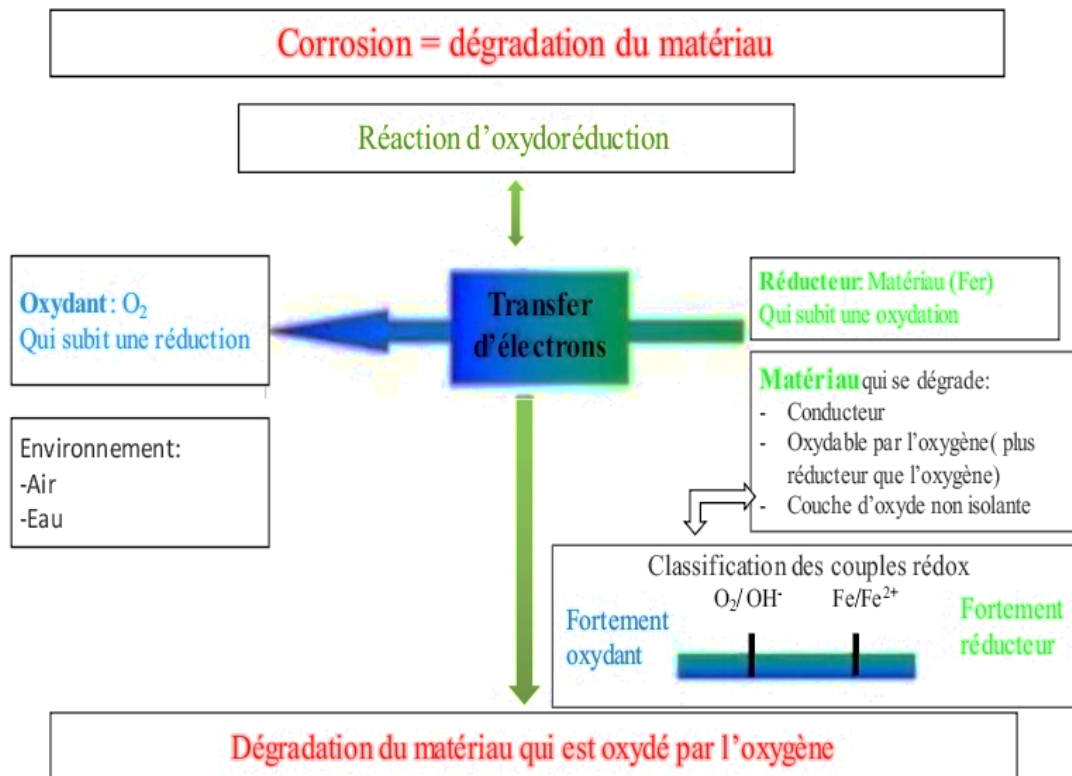


Figure 1: Schéma récapitulatif de la corrosion.

## I.2. L'origine de la corrosion :

Les différents paramètres qui due la corrosion d'un matériau sont [4] :

- La Composition chimique et microstructure du métal ;
- La Composition chimique de l'environnement ;
- Les Paramètres physiques (température, convection, irradiation, etc.) ;
- Les Sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottement, etc.).

## I.3. Les types de corrosion :

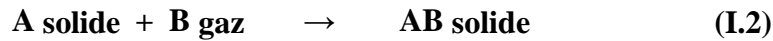
La corrosion d'un métal ou d'un alliage peut se développer suivant différents modes qui caractérisent chacun un type de corrosion. On distingue la corrosion chimique, la corrosion électrochimique et la corrosion biochimique [5].

### I.3.1. 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.

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

Au cours de la corrosion chimique, l'oxydation du métal et la réduction de l'oxydant se fait en une seule action, c'est-dire les atomes du métal forment directement des liaisons chimiques avec l'oxydant qui arrache les électrons de valence des atomes métalliques [6].



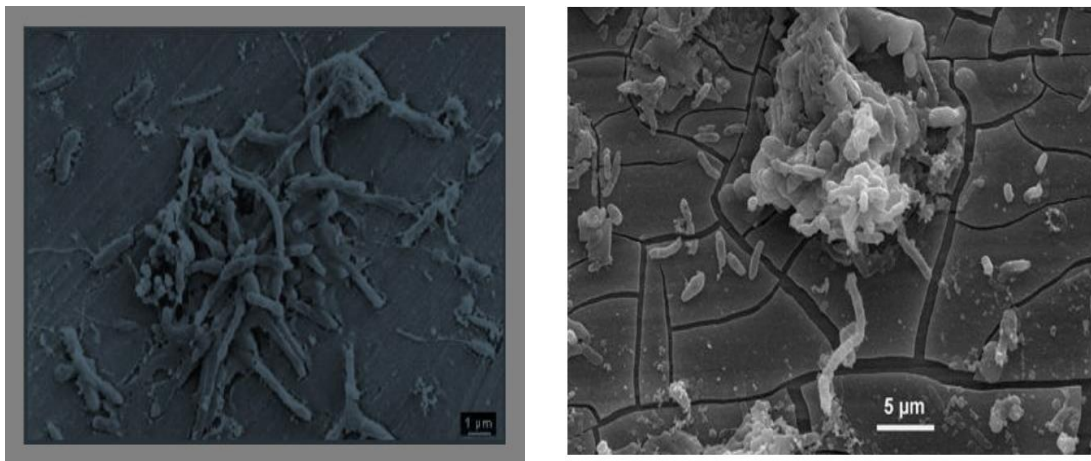
## I.3.2. Corrosion électrochimique :

C'est une réaction électrochimique entre la surface d'un matériau et un liquide électrolyte. Cette réaction est accompagnée à la formation des piles qui sont le siège de circulation de courant électrique [7].

## I.3.3. Corrosion biologique

C'est l'attaque bactérienne des matériaux métalliques, en particulier dans les canalisations enterrées et les réservoirs. En effet, le métabolisme du développement de certaines bactéries provoque la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal [9], cette corrosion se manifeste souvent sous forme d'une attaque localisée et peut entraîner des ruptures précoces d'éléments (Figure.2), les microorganismes fréquemment impliqués sont [8] :

- bactéries acidogènes ;
- bactéries formant des biofilms ;
- les algues.



**Figure 2:** Colonie de *Desulfovibrio vulgaris* sur acier inoxydable.

## I.4. Les formes de corrosion :

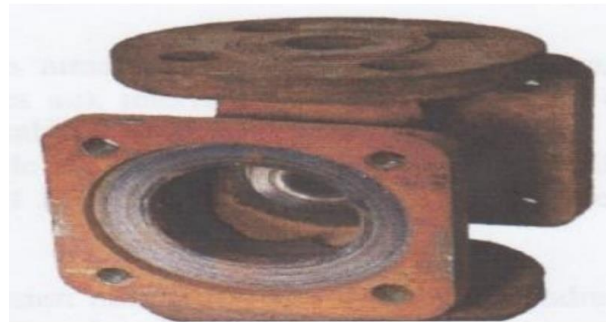
Le processus de corrosion des métaux prend quelques nombreuses formes, qui sont classées principalement selon la forme qui se manifeste à la surface corrodée.

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

## I.4.1. Corrosion généralisée :

C'est le phénomène le plus rencontré. La corrosion uniforme se traduit par une attaque générale de la surface métallique par le milieu environnant, c'est le cas des aciers au carbone dans l'atmosphère, on assiste ainsi, à la formation d'une couche homogène d'oxydes de fer qui couvre toute la surface. Cette homogénéité du comportement peut-être due à l'homogénéité intrinsèque du matériau. La vitesse de corrosion dans ce cas est exprimée par la perte de masse [9].



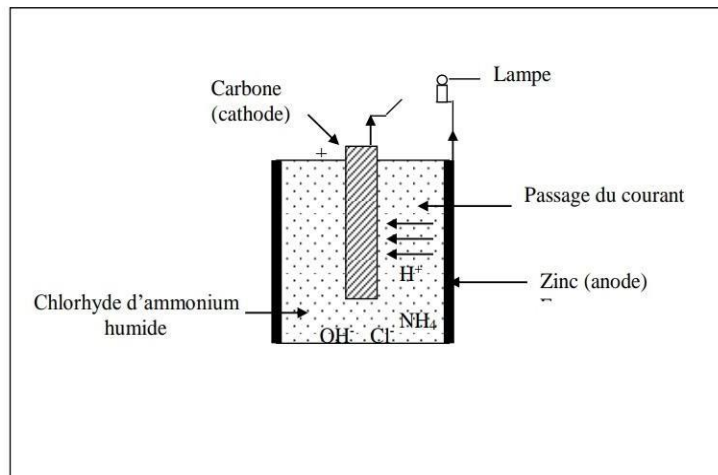
**Figure 3:** Corrosion généralisée affectant la surface d'une pièce métallique.

## I.4.2. 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 [10]. dans ce type de corrosion on peut trouver :

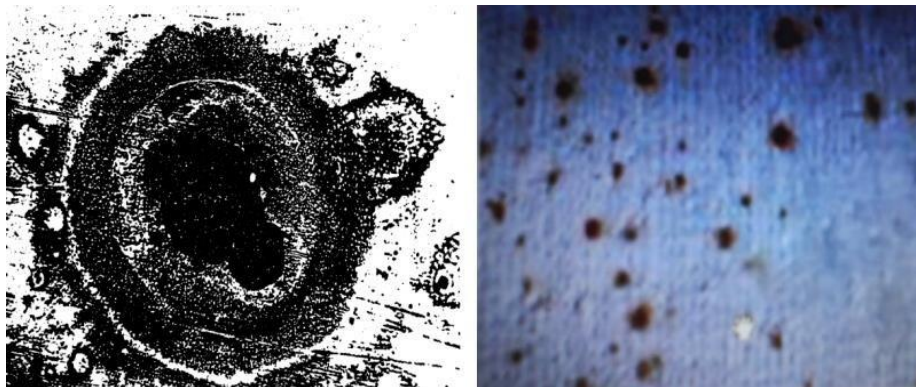
- ❖ **Corrosion galvanique** : Cette forme se manifeste particulièrement aux milieux aqueux, c'est la conséquence de la formation d'une pile entre différentes zones de matériaux. Des zones qui sont siège à des réactions anodiques (corrosion du matériau) et des zones siège à des réactions cathodiques (réduction de l'oxydant) [9].

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion



**Figure 4:** Corrosion galvanique.

- ❖ **La corrosion par piqûres :** La corrosion par piqûres est l'une des corrosions localisée, caractérisée par une attaque en certains points de la surface et elle provoque des piqûres. Elle est produite par certains anions généralement les halogénures (chlorures,...) sur les métaux protégés par un film mince d'oxyde. Elle induit typiquement des cavités, le plus souvent assez profondes [11].



**Figure 5:** Corrosion par piqûres.

- ❖ **Corrosion caverneuse :** La corrosion localisée peut se produire à l'intérieur de zones confinées créées par la conception de la pièce ou par les conditions d'utilisation, le mécanisme de la corrosion caverneuse est relativement complexe. L'étape d'initiation est la formation d'une pile d'aération différentielle entre la zone confinée et la zone externe polarisée cathodiquement, figure (6).

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

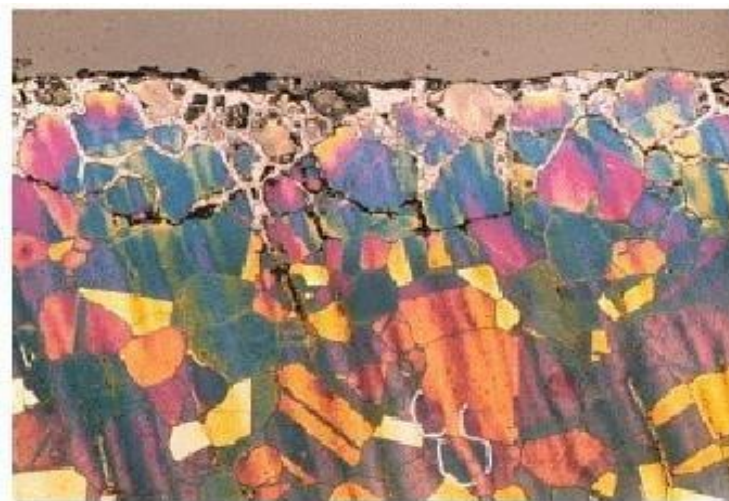


**Figure 6:** Corrosion par caverneuse.

L'émission de cations métalliques résultant de la corrosion déclenche un processus conduisant à une stabilisation de la pile dans la zone confinée :

- Consommation d'oxygène ;
- Précipitation d'hydroxydes ;
- Migration d'anions et particulièrement d'anions mobiles du type chlorure ;
- Acidification [10].

❖ **La corrosion inter granulaire :** 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 [12].



**Figure 7:** Corrosion inter granulaire d'un inox par HCl.

## Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

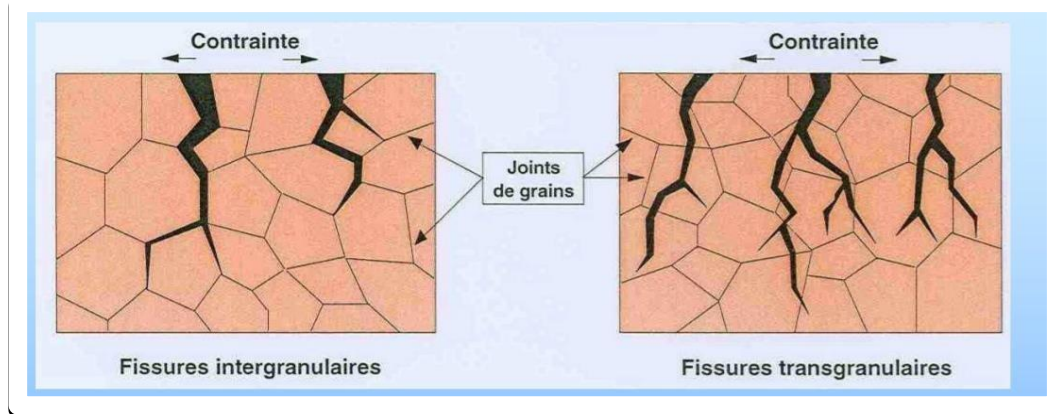
- ❖ **La Corrosion filiforme** : Elle est souvent associée à la présence d'un revêtement protecteur (peinture, vernis,...) semi perméable à l'oxygène et à l'eau. L'attaque se manifeste par des filaments émis dans toutes les directions, à partir des défauts du revêtement, qui peut affecter divers matériaux 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  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  favorise 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 8:** Corrosion filiforme.

- ❖ **Corrosion sélective** : Un des éléments constitutifs de l'alliage est préférentiellement attaqué, ce qui conduit à une perte totale de résistance mécanique, sans perte apparente de matière, mais avec parfois un léger changement de couleur [16].
- ❖ **La corrosion sous contrainte** : C'est une fissuration du métal, qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique [17, 18].

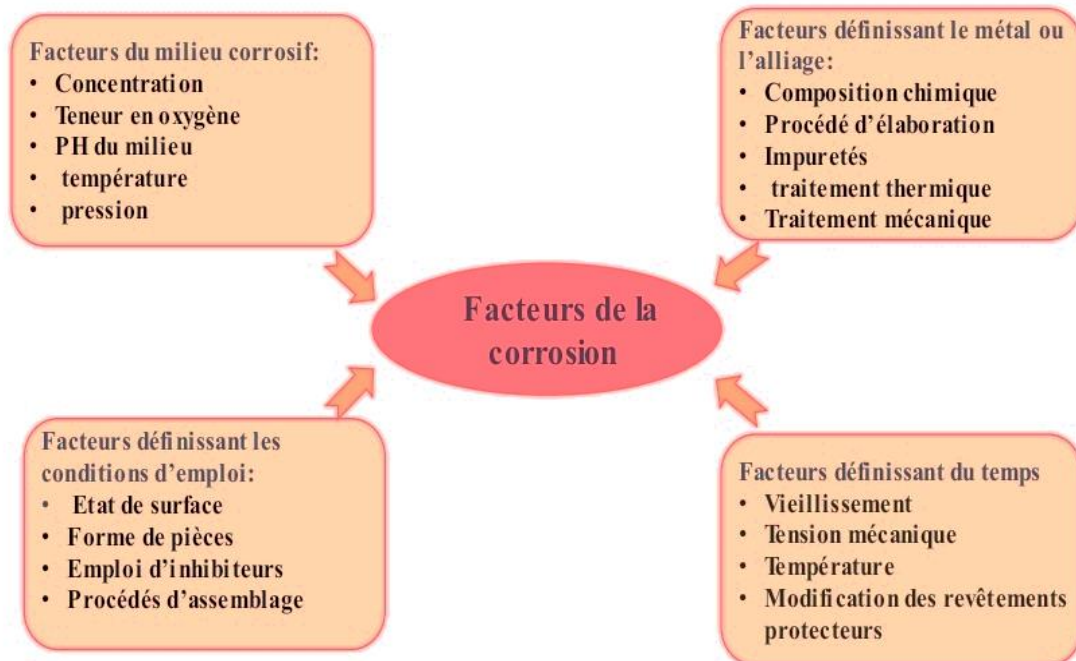
# Chapitre I : Généralité sur la corrosion



**Figure 9:** Corrosion sous contrainte.

## I.5. Les principaux facteurs de la corrosion :

Le phénomène de corrosion dépend d'un nombre de facteurs généralement en relation les uns avec les autres à la suite de réactions chimiques se produisant à la surface de métaux, d'alliages, sous l'action de l'environnement. Ces facteurs peuvent être d'origine interne ou externe [19], comme le montre la figure 10.



**Figure 10:** Les principaux facteurs de la corrosion.

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

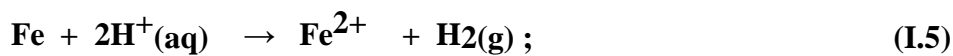
## I.6. Processus de corrosion de l'acier en milieu aqueux :

### ❖ En milieu acide :

C'est le cas de la corrosion du fer dans l'acide chlorhydrique qui se résume en deux demi-réactions :

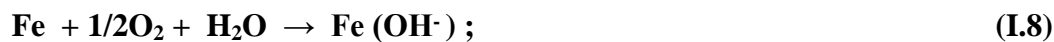


Ainsi on obtient une réaction globale du processus :



### ❖ En milieu basique :

C'est le cas de la corrosion du fer dans solution aqueuse aérée (présence d'oxygène)



## I.7. Diagramme de POURBAIX :

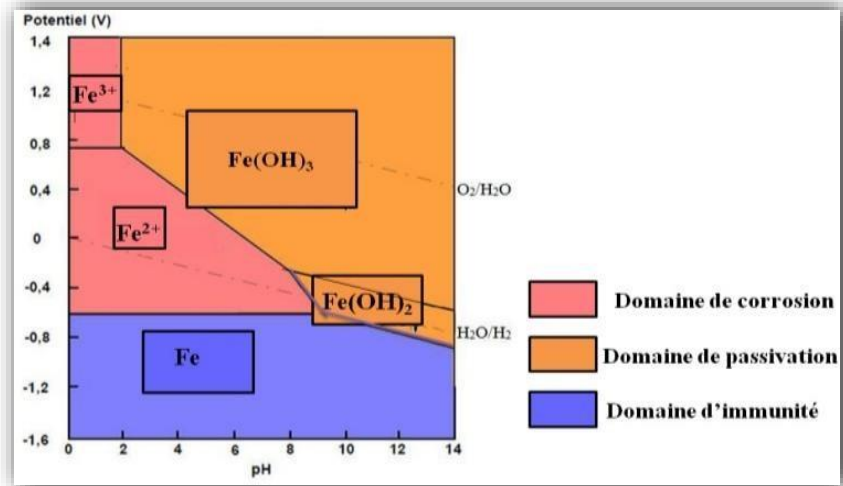
Le diagramme de pourbaix ou le diagramme potentiel-pH du fer définit les régions où le fer est soluble sous forme d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  et les régions où le métal est stable sous forme de phase solide telle que le métal pur protégé par ses oxydes.

- **En milieu acide (pH < 4)** ; la présence de  $\text{Fe}^{2+}$  est élevée ; l'hydroxyde ferreux dissous. Le taux de corrosion est important et ne dépend pratiquement que de la vitesse de diffusion de l'hydrogène et de l'oxygène.
- **En milieu neutre (4 < pH < 10)** ; le taux de corrosion est pratiquement indépendant de pH car il se forme en surface de l'hydrogène de ferreux, soluble mais continuellement renouvelable par la corrosion sous-jacente. La surface du fer est donc toujours en contact avec un film de solution alcaline saturée d'hydroxyde ferreux hydraté dont le pH est environ 9,5 quel que soit le pH du milieu.
- **En milieu basique (pH > 10)** ; le fer se passive surtout en présence d'oxygène et la

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

vitessedecorrosion diminue [20].

La figure suivante présente un diagramme indiquant les limites thermodynamiques de stabilité du système Fe- H<sub>2</sub>O:



**Figure 11:** Diagramme potentiel-pH simplifié du fer à 25°C.

Ce diagramme comporte trois zones distinctes [21] :

- Une zone, où la dissolution anodique du métal peut se dérouler : corrosion ;
- Une zone d'immunité, dans laquelle la corrosion est thermodynamiquement impossible ;
- Une zone de passivité : où la corrosion du métal donne naissance à un produit de corrosion susceptible de jouer un rôle protecteur. Dans le cas où cette protection est totalement (ou presque) efficace, ce domaine sera considéré comme zone de passivité, en d'autres termes, si la couche superficielle d'oxyde est parfaitement adhérente, continue et non poreuse.

## I.8. Lutte contre la corrosion :

La lutte contre la corrosion représente toutes les mesures et les matériaux qui en peuvent être utilisées pour protéger les matériaux métalliques contre la corrosion.

### I.8.1. Prévention par un choix judicieux des matériaux :

Il sera possible de lutter contre les risques de corrosion en agissant sur le choix judicieux du matériau. Le choix des matériaux prend en compte les facteurs suivants:

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

- domaine d'utilisation;
- nature et niveau des sollicitations mécaniques et thermiques;
- traitements sélectionnés;
- prix et disponibilité des matériaux [22].

## I.8.2. Prévention par une forme adaptée des pièces :

Il est possible de diminuer les risques de corrosion en donnant aux objets une forme adaptée aux conditions d'utilisation, et ainsi d'influencer notablement leur durée de vie [23].

## I.8.3. Protection par électrochimique :

On distingue deux méthodes de protection :

- Protection anodique ;
- Protection cathodique.

## I.8.4. Protection par revêtements :

### • Protection par revêtements métalliques

Les revêtements métalliques sont couramment employés pour protéger l'acier, notamment contre la corrosion atmosphérique. On les applique aussi sur d'autres substrats comme le cuivre et le laiton, les revêtements métalliques outre leurs effets anticorrosion remplissent souvent une fonction décorative [24].

On distingue deux types de revêtements métalliques :

- Revêtements anodiques ;
- Revêtements cathodiques ou nobles.

### • Protection par revêtements inorganiques

Parmi les revêtements non métalliques, on distingue deux types :

- **Les couches de conversion** : sont obtenues par une réaction du métal avec un milieu choisi, elles sont des oxydes, des phosphates et des chromates.
- **Les couches étrangères au substrat** : ce type de couches inclut les revêtements suivants : les émaux, les revêtements en ciment et les revêtements en céramique, réfractaire.

### • Protection par revêtements organiques

Les revêtements organiques forment une barrière plus ou moins imperméable entre le substrat métallique et le milieu, et on les classe en trois familles [25] :

## Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

- Les revêtements en bitume ;
- Les revêtements polymériques ;
- Les peintures et vernis.

### **I.8.5. Protection par les inhibiteurs :**

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte contre la corrosion des métaux. Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui, ajouté à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus. Il peut être organique ou minérale.

La protection par inhibiteur est la méthode la plus pratique pour la protection contre la corrosion dans différents milieux [26].

# Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

## Références bibliographiques :

- [1]. M. Boulkroune, « Inhibition de la corrosion du zinc en milieu acide », Thèse de doctorat, Université de Constantine, Algérie, (2014).
- [2]. AFNOR « Corrosion des métaux et alliages : terme principaux et définition » NF EN ISO 8044, Paris, AFNOR (2000), p :78.
- [3]. N. Le Bozec, « Réaction de Réduction de l'Oxygène sur les Aciers Inoxydables en Eau de Mer Naturelle », Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale (2000).
- [4]. D. Landolt, « Corrosion et chimie de surfaces des métaux (Traité des matériaux) », Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (1993), p : 165-205.
- [5]. F. Dabosi, G. Beranger, B. Baroux, « Corrosion localisées » les éditions de physique Avenue du Hoggar, Zone industrielle de Courtaboeuf (1987), p :305.
- [6]. « Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel. Comité des techniciens, Circuits eau de mer traitements et matériaux », Editions TECHNIP, Paris, (1993). P :199.
- [7]. H. El Bakouri, « étude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide orthophosphorique par un antibiotique organique », Diplôme d'études supérieures approfondies, Université Mohammed Premier, (2008). P : 3.
- [8]. G. Reihard, U. Rammelt, « Proc7th Eur. Symp. Corr. Inh », Ferrara, (1990), p873-883
- [9]. <http://www.accoast.fr/technique-et-formation/dossiers-techniques/123-la-corrosion-des-materiaux-metalliques-en-eau-de-mer> « techniques/123-la-corrosion-des-materiaux-metalliques-en-eau-de-mer ».
- [10]. Hakim Ben Sabra, « cour de corrosion et protection des métaux », Université jijel (2016). P :04.
- [11]. N. Dekhili, « Comportement à la corrosion par les micro-organismes dans les pipelines », Mémoire de Magister, Université Mohamed Kheider. Biskra, (2010), P : 22- 23.
- [12]. A. Habchi, « Etude de l'effet de la température sur la corrosion de l'acier xc52 en présence du sulfarlem et leur sel ».
- [13]. Société Francophone de Biomatériaux Dentaires.

## Chapitre I : Généralité sur la corrosion

---

- [14]. D. Brasher et al, "British corrosion journal"; 3, No .5, (1968).
- [15]. D. Landolt « Corrosion et chimie de surfaces des métaux ». Presses polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne,(1997), p: 12.
- [16]. 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).
- [17]. D. Landolt, «Corrosion et chimie de surfaces des métaux (Traité des matériaux),» Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, (1993) p : 165-205.
- [18]. NACE, « Materials Protection,» Glossary of corrosion Terms, (1965) p :79-80.
- [19]. R. Davis Joseph , «Corrosion: Understanding the Basics, ASM International », (2000).
- [20]. « Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel. Commission exploitation, la protection cathodique guide pratique » , éditions technip , Paris, (1986).
- [21]. M. Reboul. « Corrosion des alliages d'aluminium ». Rapport technique, techniques de l'ingénieur, cor 325,(2005).
- [22]. S. Haimer, « La synthèse d'un inhibiteur de corrosion et l'étude de son effet sur l'acier X42 dans un milieu aqueux. », Thèse de Master , Université Biskra (2019).
- [23]. S. Saadoune, « synthèse et caractérisation d'inhibiteurs bi-fonctionnels : application à la corrosion des aciers de construction », Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas, Sétif, (2010).
- [24]. J. Bailon, J. Dorlot, « Des matériaux, Presses inter Polytechnique », (2000) .
- [25]. L. Ghilani, Mémoire de Magister, Université de Batna, (2008).
- [26]. R. Ben Simon, « les matériaux métalliques, tome III, la corrosion des matériaux métalliques », p :49-50.

*Chapitre II :*  
*Notions théoriques sur*  
*les inhibiteurs*

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

En matière de protection contre la corrosion, il est possible d'agir sur le matériau lui-même (choix judicieux, formes adaptées, contraintes en fonction des applications, ...) sur la surface du matériau (revêtement, peinture, tout type de traitement de surface, ...) ou sur l'environnement avec lequel le matériau est en contact (inhibiteurs de corrosion).

Les inhibiteurs de corrosion agissent en créant une barrière entre le métal et le réactif. Ils sont utilisés dans les ateliers de décapage, dans l'industrie mécanique et électronique (inhibiteurs volatils), l'industrie de pétrole (dans les huiles et carburants), les canalisations, l'industrie alimentaire...etc. C'est un procédé facile à réaliser et souvent acceptable sur le plan du prix de revient. Cependant des conditions d'application abusives peuvent entraîner des conséquences dangereuses.

Dans ce chapitre, nous donnerons une définition des inhibiteurs, puis nous identifierons leurs types et leur comportement.

### II.1. Historique

Tout comme pour bien d'autres domaines, il est difficile de déterminer l'origine exacte de l'inhibition considérée comme une technologie à part. Néanmoins, il y a quelques décennies, il a été observé que le dépôt calcaire formé à l'intérieur des conduites transportant certaines eaux naturelles protégeait cette conduite ; plutôt que d'améliorer sans cesse la résistance à la corrosion des conduites en agissant directement sur ces dernières, il s'avère plus pratique d'ajuster les concentrations minérales des solutions transportées, qui sont à l'origine des dépôts calcaires protecteurs.

De nombreux articles concernant l'inhibition de la corrosion ont été rédigés durant la période couvrant 1945 à 1954 : ceux-ci traitaient entre autres de l'inhibition dans les domaines de l'aviation, des chaudières, des circuits de refroidissement, des moteurs diesel, des sels de déneigement, des raffineries de pétrole, des pétroliers... Les articles publiés durant cette période témoignent d'un grand développement technologique en matière d'inhibition. Durant les cinquante dernières années, un nombre croissant de résumés, d'articles et autres ouvrages évoquant ce sujet a été recensé [1].

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

### II.2. Définition :

L'association nationale des ingénieurs en corrosion [National Association of corrosion Engineers (NACE)], a défini un inhibiteur comme étant une substance qui diminue la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration [2].

Un inhibiteur de corrosion est donc un produit chimique (molécule organique ou inorganique) qui ajouté en faible quantité au milieu corrosif (en général milieu liquide, plus rarement milieu gazeux) et qui vient protéger le métal contre la corrosion en recouvrant celui-ci d'une barrière isolante (locale ou complète) vis-à-vis du milieu agressif [3].

### II.3. Fonctions essentielles

Un inhibiteur de corrosion doit réduire la vitesse de corrosion du métal tout en conservant ses caractéristiques physico-chimiques. Il doit être non seulement stable en présence des autres constituants du milieu, mais également ne pas influencer sur la stabilité des espèces contenues dans ce milieu. Un inhibiteur est définitivement reconnu comme tel s'il est stable à la température d'utilisation et efficace à faible concentration [4].

Un inhibiteur doit être stable vis-à-vis des oxydants et compatible avec les normes de non toxicité. Avec les exigences environnementales, il est recommandé des produits verts qui ne sont pas nocifs pour l'environnement, ces produits sont biodégradables. Enfin, un inhibiteur doit être peu onéreux [5].

### II.4. Propriétés des inhibiteurs

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. D'une manière générale un inhibiteur doit :

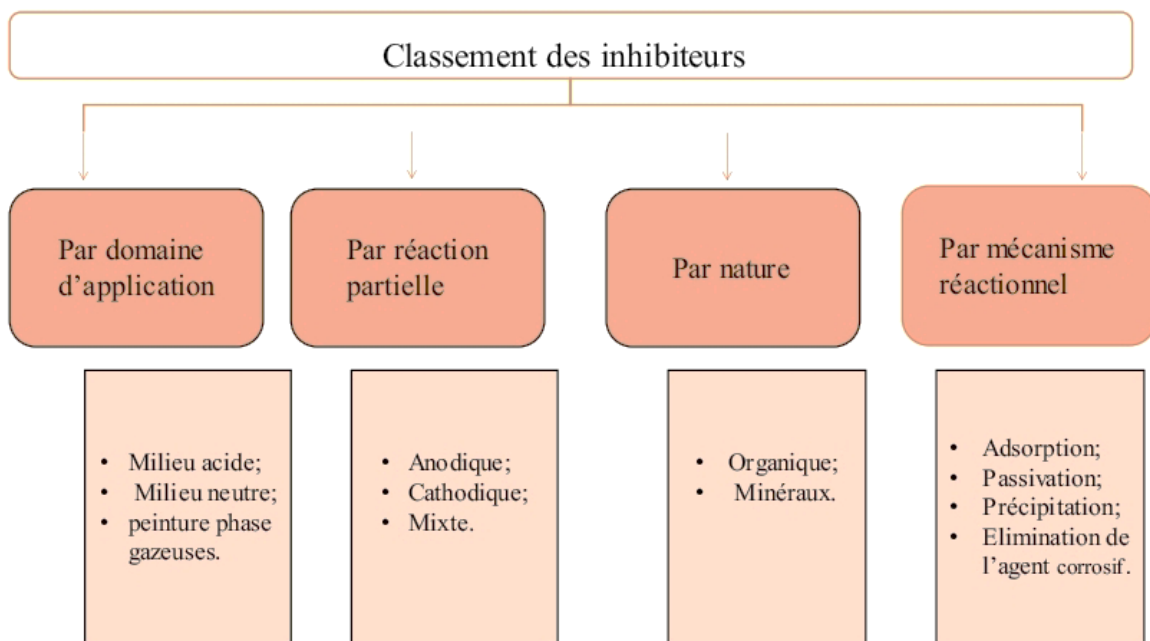
- abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans en affecter les caractéristiques physico-chimiques, en particulier la résistance mécanique ;
- être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants ;
- être stable aux températures d'utilisations ;

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

- être efficace à faible concentration ;
- être compatible avec les normes de non-toxicité ;
- être peu onéreux.

### II.5. Classifications des inhibiteurs :

Les inhibiteurs peuvent être classés de différentes façons :



**Figure 12:** Classement des inhibiteurs.

#### II.5.1. Par formulation des produits (la nature) :

##### II.5.1.1. Les inhibiteurs organiques :

Représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion, ils sont généralement utilisés en milieu acide ; cependant, en raison de leur écotoxicité, ils sont de plus en plus utilisés en milieu neutre/alcalin. Leur efficacité est liée à :

- Sa structure ; ils comportent une partie non polaire, hydrophobe, constituée d'une ou plusieurs chaînes hydrocarbonées et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels : amine (-NH<sub>2</sub>), hydroxyle (-OH), mercapto (-SH),

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

phosphonate (-PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>), sulfonate (-SO<sub>3</sub>H), carboxyle (-COOH) et leurs dérivés (les groupes fonctionnels usuels, permettant de se fixer sur la surface du métal,

- Sa concentration dans le milieu ;
- Et aux propriétés chimiques de la couche formée, leur action réside dans le résultat de leur adsorption à la surface du matériau. Après cette adsorption, ils ont une double action ralentissant simultanément les processus anodique et cathodique ;
- Son poids moléculaire et leur utilisation est préférés pour des raisons d'écotoxicité [5].

### II.5.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux) :

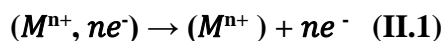
Ils sont utilisés en milieux neutre/alcalin mais rarement en milieu acide. Les molécules minérales se dissocient en solution et les anions et cations assurent en fait une inhibition efficace.

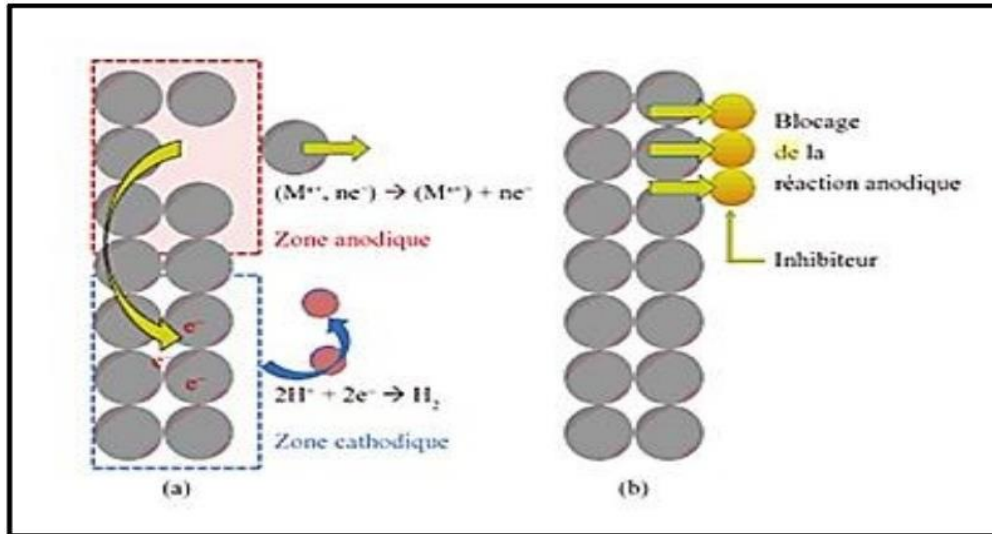
- Parmi les anions inhibiteurs, on trouve les chromates, les phosphates, les molybdates, les nitrates, les nitrites, les silicates, etc.,
- Et parmi, les cations inhibiteurs on trouve essentiellement les ions **Ca<sup>2+</sup>** et **Zn<sup>2+</sup>**. Les inhibiteurs minéraux sont de moins en moins utilisés en raison de leur toxicité. Leur emploi est limité à certains systèmes en circuit fermé.

### II.5.2. Par réaction partielle :

#### II.5.2.1. Les inhibiteurs anodiques :

Ils sont également appelés inhibiteurs de passivation si l'inhibiteur s'adsorbe préférentiellement sur les sites anodiques de dissolution du métal où la réaction suivante se déroule, il s'agit d'un inhibiteur anodique (figure 13)





**Figure 13:** représentation en milieu « acide » du rôle d'un inhibiteur anodique : (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur.

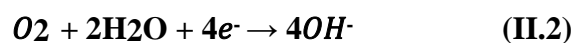
La réaction anodique est affectée par les inhibiteurs anodiques de corrosion et de potentiel de corrosion du métal est décalé à des valeurs plus positives (figure 13). De plus, la valeur du courant diminue avec la présence de l'inhibiteur de corrosion [6].

Les inhibiteurs anodiques réagissent avec les ions métalliques  $Me^{n+}$  produites sur l'anode, formant généralement, des oxydes insolubles qui se déposent sur la surface métallique en tant que film insoluble et imperméable à l'ion métallique.

### II.5.2.2. 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 14).

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 :



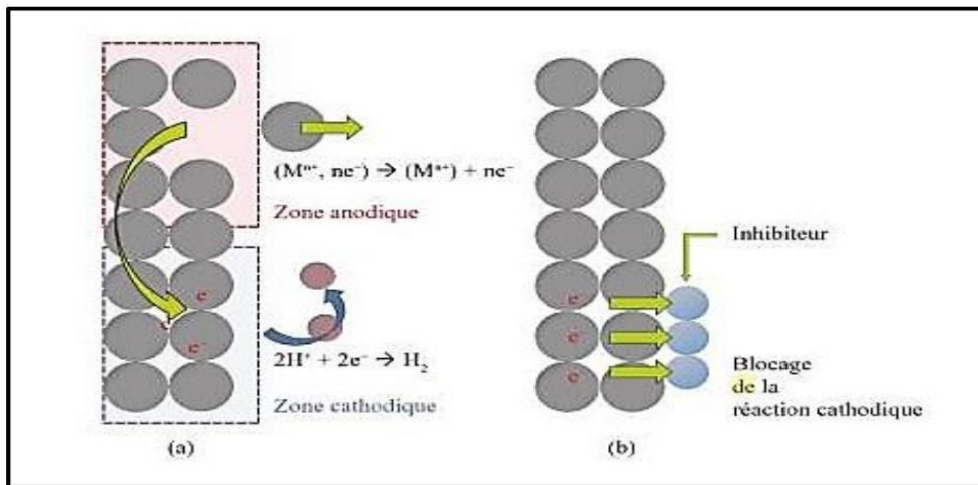


Figure 14: Représentation du rôle d'un inhibiteur cathodique, (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur.

Les inhibiteurs cathodiques forment une barrière de précipités insolubles sur le métal, le couvrant. Ainsi, limite le contact métallique avec l'environnement, même s'il est totalement immergé, ce qui empêche l'apparition de la réaction de corrosion. Pour cette raison, l'inhibiteur cathodique est indépendant de la concentration, ainsi ; il est considérablement plus sûr que l'inhibiteur anodique [7].

### II.5.2.3. 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 peu le potentiel de corrosion [8].

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 15).

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

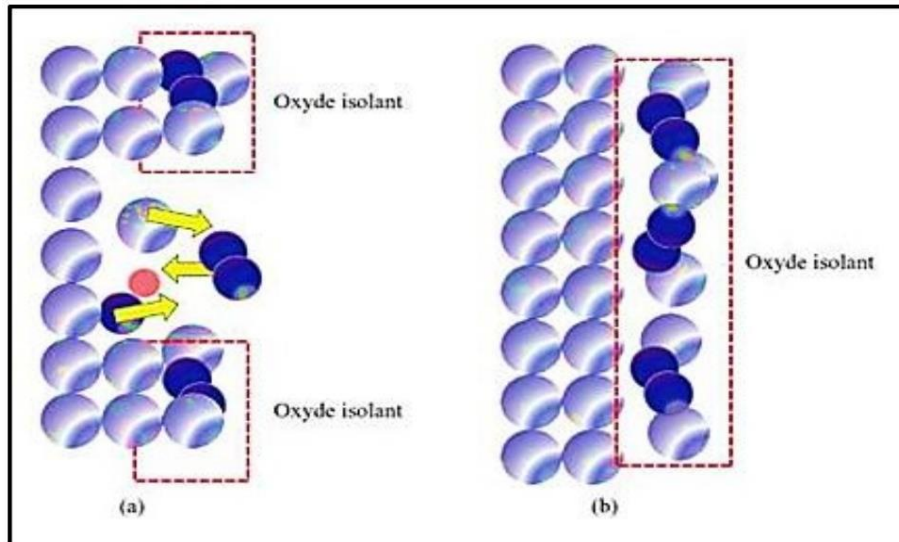


Figure 15: Inhibiteur formant une couche tridimensionnelle.

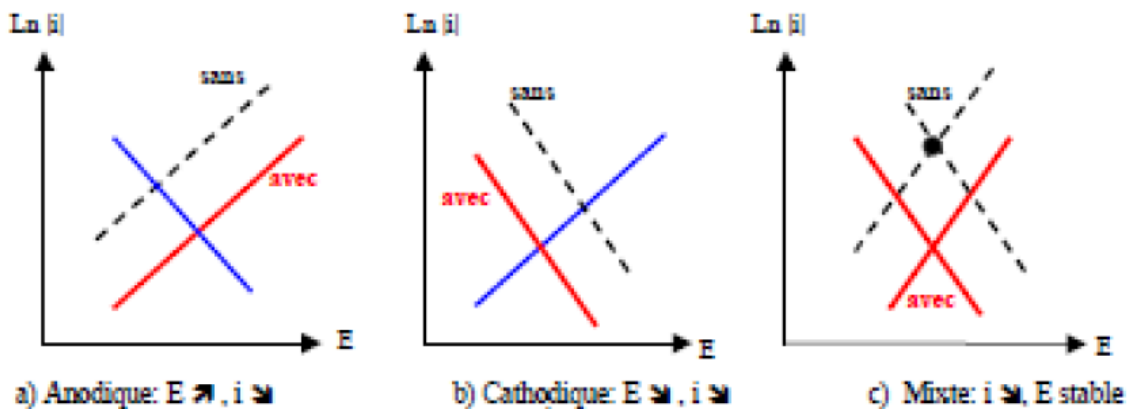


Figure 16: Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion [9].

### II.5.3. Domaine d'application

Souvent les inhibiteurs sont classés selon leur domaine d'application :

- **En milieu aqueux**, les inhibiteurs pour milieu acide sont employés, entre autres, pour éviter une attaque électrochimique de l'acier lors du décapage. Dans l'industrie pétrolière, on les ajoute aux fluides de forage. Les inhibiteurs pour milieux neutres servent surtout à protéger des circuits de refroidissement.
- **En milieu organique**, de grandes quantités d'inhibiteurs de corrosion sont utilisées dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence. Ces liquides contiennent souvent des traces d'eau

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

et des espèces ioniques qui peuvent provoquer la corrosion.

- **Enfin**, les inhibiteurs pour les phases gazeuses sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport et le stockage [10].

### II.5.4. Selon le mécanisme réactionnel

#### II.5.4.1. Inhibition par passivation

Certains inhibiteurs oxydants provoquent une passivation spontanée du métal, diminuant ainsi la vitesse de corrosion. Dans certains cas, la passivation peut être favorisée par des agents tampons qui augmentent le pH près de la surface métallique [11].

#### II.5.4.2. 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, ils bloquent partiellement la dissolution anodique.

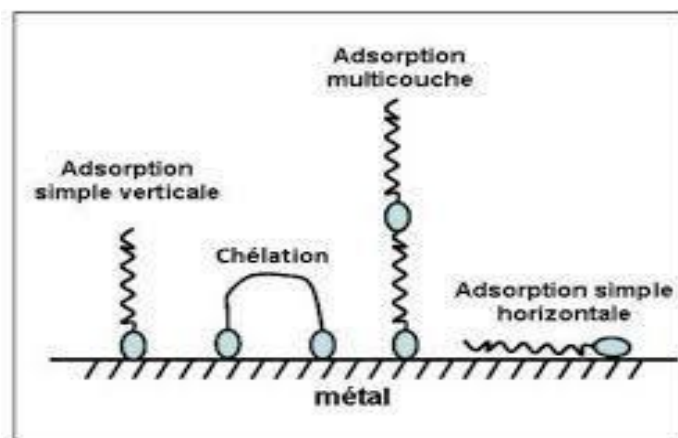
#### II.5.4.3. Inhibition par élimination de l'agent corrosif

Ce type d'inhibition n'est applicable que dans les systèmes fermés. Il se pratique notamment dans les circuits d'eau chaude des centrales thermiques, une faible quantité de sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ou d'hydrazine ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) ajoutée à l'eau, préalablement dégazée et d'ionisée, supprime les dernières traces d'oxygène et élimine ainsi la corrosion [12].

#### II.5.4.4. Inhibition par adsorption

Selon les forces attractives entre la surface métallique et les molécules de l'inhibiteur, ou bien les valeurs des énergies de liaisons inhibiteur/surface métallique on distingue deux types d'adsorption : physisorption (formation de liaisons faibles) et chimisorption, l'ensemble des modes d'adsorption possibles est représenté sur la figure 17.

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs



**Figure 17:** Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique [12].

### ➤ Physisorption

La physisorption se traduit par des interactions entre la surface et le liquide de type Van der Waals aux forces électrostatique existant entre la charge ionique ou les dipôles de l'espèce inhibitrice et la surface du métal électriquement chargée [13].

L'adsorption multicouche est possible et elle est facilement perturbée en augmentant les températures.

### ➤ Chimisorption

L'adsorption chimique est les types d'interaction la plus importante qui peut se développer entre un inhibiteur et le métal. Dans ce cas les espèces adsorbées entrent en contact direct avec la surface du métal, ce sont des réactions qui font intervenir un transfert de charges ou un partage d'électrons entre les molécules de l'inhibiteur et les orbitales d'insaturées de la surface du métal, ceci permet de former des liaisons de coordination ou des liaisons covalentes [14].

### II.6. Les conditions de fonctionnement des inhibiteurs :

- **La nature du métal** : un inhibiteur efficace sur le fer ne l'est pas nécessairement sur le cuivre, c'est-à-dire la protection de deux métaux nécessite deux inhibiteurs [15.16].
- **La concentration en inhibiteur** : il existe une concentration minimale efficace qu'il est important de connaître, mais aussi maximale qu'il ne faut dépasser [17.18].

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

- **La température** : l'inhibiteur perd en général ses propriétés protectrices à une température élevée.
- **La propreté de la surface métallique** : une surface propre nécessitera une plus faible quantité du même produit qu'une surface encrassée par des produits de corrosion préexistants [18].
- **La nature du milieu** : la présence d'ions agressifs (Cl<sup>-</sup> ; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ; ) peut modifier le comportement d'un inhibiteur [15].

L'inhibiteur de corrosion peuvent être extraits de plantes, polymères, acides aminés, médicaments, ...etc. Ces composés agissent comme des inhibiteurs des métaux, elle est modifiant l'interface matériau / milieu.

La protection par un inhibiteur de corrosion à la surface du matériau (former un film qui protège la surface et empêche la corrosion) peut être: une protection permanente ou une protection temporaire (pendant une période par exemple pendant le stockage).

### II.7. 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 IH. Omar [19]. 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 [20] 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

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

l'efficacité inhibitrice des composés étudiées atteint une valeur maximale de 90% pour une concentration de  $10^{-3}$  M.

C.B. Pradeep Kumar et K.N. Mohana [21] 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 [22] 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 [23] ont examiné l'effet inhibiteur de l'extrait de feuille de *Sonneratia caseolaris* sur la corrosion de l'acier doux dans l'acide chloridrique 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 nonanedihydrizide [24]. Les mesures de polarisation ont indiqué que le nonanedihydrizide 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-

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

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 [25], 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 (SIE) et la polarisation potentiodynamique [26]. Les résultats obtenus révèlent que ce composé réduise 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 II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

### Références bibliographiques :

- [1]. I. Uhlig, « Corrosion et Protection », DUNOD, (1970).
- [2]. F. Bentiss, « Hétérocycles Penta atomiques : Synthèses Organiques, Etudes des propriétés Inhibitrices de la Corrosion et des Propriétés Complexantes », Université des Sciences et Technologies de Lille, (2006).
- [3]. Siham. Haimer, « la synthèse d'un inhibiteur de corrosion et l'étude de son effet sur l'acier X42 dans un milieu aqueux », Thèse de master d'état, Université de Biskra, (2019).
- [4]. J.M. Godinez, Alvarez, J.L.Mora, Mendoza, E.Rodriguez, « Inhibition of Ferrous Metal Corrosion by Carboxylates, Institut Mexicain du Pétrole, NACE International, Corrosion 2004, paper n° 04412, Houston », TX , (2004).
- [5]. P. Bommersbach, « Evolution des Propriétés d'un Film Inhibiteur de Corrosion sous l'Influence de la Température et des Conditions Hydrodynamiques Caractérisation par Techniques Electrochimiques », INSA Lyon, (Décembre 2005), p : 15 – 24.
- [6]. J. Ledion, « Inhibiteurs de corrosion dans le traitement des circuits d'eau », Techniques de l'Ingénieur. cor1000.(2013).
- [7]. G. Camila Dariva et F. Alexandre F. Galio , « Corrosion Inhibitors Principles, Mechanisms and application ». (2014).
- [8]. Gadag, « Engineering Chemistry », I. K. International Pvt Ltd, (2007).
- [9]. C. Fiaud « Inhibiteurs de corrosion ». Techniques de l'ingénieur, (1990).
- [10]. M. Lebrini, thèse de doctorat. Université des sciences et technologies, Lille, (2005).
- [11]. D. Jayaperrumal. « Effet of alcohol-based inhibitors on corrosion of mild steel in hydrochloric », Materials Chemistry and physics, vol. 199, No3, (2010), p :478-484
- [12]. K. T. Athmouni, et al, « effect of solvent polarity on the content of biomolecules and anti-oxidant activity of thapsiagarganica (Apiaceae) » Algerian J. Nat. Products, (2015),

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

p : 194-208.

- [13]. C. Zenasni. « Etude de l'inhibition de corrosion de l'acier doux par des copolymères à basedu poly (4-VINYLPYRIDINE) », Mémoire de master. Université ABOU-BAKR BELKAID- Tlemcen, (2013), p : 9.
- [14]. M. Ben arioua. « Inhibition de la corrosion d'un acier ordinaire par les chromates et les molybdates », Thèse de magistère, Université HADJLAKHDARA Batna, (2013).
- [15]. J.CROLET , G. BÉRANGER. « Corrosion en milieu aqueux des métaux et alliages », Techniques de l'Ingénieur M150,(1998).
- [16]. M. Ehteshamzade, T. Shahrabi , M.G. Hosseini , « Inhibition of copper corrosion by selfassembled films of new Schiff bases and their modification with alkanethiols in aqueous medium », Applied Surface Science, (2006). P :2949–2959.
- [17] H. Ashassi-Sorkhabi , D. Seifzadeh , M.G. Hosseini , « EN, EIS and polarization studies to evaluate the inhibition effect of 3H-phenothiazin-3-one, 7-dimethylamin on mild steel corrosion in 1 M HCl solution », Corrosion Science (2008). P :3363–3370.
- [18] M. N. Dasai, M. B. Desai , C. B. Shah and S. M. Desai, « Schiff bases as corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution » , Corrosion Science, Vol. 26, No. 10, (1986). P : 827-837.
- [19]. Zucchi, F., & Omar, I. H. « Plant extracts as corrosion inhibitors of mild steel in HCl solutions» . surface Technology, 24(4), (1985). P :391-399.
- [20]. Elayyachy, M., Elkodadi, M., Aouniti, A., Ramdani, A., Hammouti, B., Malek, F., & Elidrissi, A. « New bipyrazole derivatives as corrosion inhibitors for steel in hydrochloric acid solutions» . Materials chemistry and physics, 93(2-3), (2005). P :281-285.
- [21]. Kumar, C. P., & Mohana, K. N. «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), (2014). P:1031-1042.

## Chapitre II : La protection contre la corrosion par les inhibiteurs

---

- [22]. Alhaffar, M. T., Umoren, S. A., Obot, I. B., & Ali, S. A. « Isoxazolidine derivatives as corrosion inhibitors for low carbon steel in HCl solution: experimental, theoretical and effect of KI studies». *Rsc Advances*, 8(4), (2018). P: 1764-1777.
- [23]. Manh, T. D., Huynh, T. L., Thi, B. V., Lee, S., Yi, J., & Nguyen Dang, N. « Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid environments containing sonneratia caseolaris leaf extract». *ACS omega*, 7(10), (2022). P: 8874-8886.
- [24]. Al-Amiery, A. A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., Shaker, L. M., Isahak, W. N. R. W., & Takriff, M. S. « Experimental and theoretical study on the corrosion inhibition of mild steel by nonanedioic acid derivative in hydrochloric acid solution». *Scientific reports*, 12(1), (2022). P : 1-21.
- [25]. Annon, I. A., Abbas, A. S., Al-Azzawi, W. K., Hanoon, M. M., Alamiery, A., Isahak, W. N. R., & Kadhum, A. A. H. « 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), (2022). P:244-252.
- [26]. Alamry, K. A., Khan, A., Aslam, J., Hussein, M. A., & Aslam, R. « Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by the expired Ampicillin drug ». *Scientific Reports*, 13(1), (2023). P:6724.

*Chapitre III :*  
*Techniques d'étude et*  
*conditions expérimentales*

## Chapitre III : Techniques d'étude et conditions expérimentales

Ce chapitre « techniques d'étude et condition expérimentales » 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) seront présentées pour étudier le phénomène de corrosion.

### III.1. Matériaux

#### III.1.1. 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 1:** Composition chimique de l'acier A 283 C

Eléments (autre que le fer)	C	S	P	Si	Cu
Teneur %	0,8	0,05	0,06	0.04	0,2

#### III.1.2. Inhibiteur utilisé

L'inhibiteur utilisé dans cette étude est un inhibiteur organique synthétisé nommé NO<sub>2</sub>-pht.

#### III.1.3. Milieu d'étude

##### A. Préparation de la solution corrosif

La concentration en acide chlorhydrique est maintenue à 1 M préparée à partir de la solution commerciale d'acide chlorhydrique concentré : 37 % en poids (A. NORMAPUR) en utilisant de l'eau distillée.

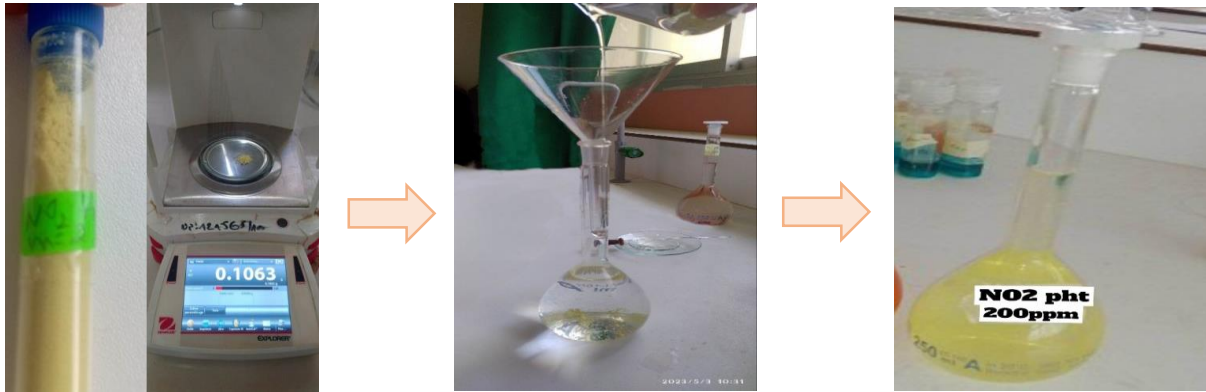
##### B. Préparation de la solution inhibitrice

Dans une fiole jaugée de 250 ml de solution HCl (1M) on a introduit 0.1g d'inhibiteur pour obtenir 200ppm de solution mère, ensuite on a préparé des solutions inhibitrices de concentrations suivantes : 40ppm, 60ppm, 80ppm, 100ppm on a utilisé des fioles de 100ml.

## Chapitre III : Techniques d'étude et conditions expérimentales

Nous avons préparé les concentrations précédentes à partir de la solution mère avec la loi de dilution :

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f \dots\dots\dots (III.1)$$



**Figure 18:** Préparation de la solution inhibitrice

### III.2. Méthodes d'étude

Les méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion sont celles de la corrosion d'une manière générale, qu'elles soient électrochimiques ou non. Parmi ces méthodes, on peut citer les méthodes suivantes :

#### III.2.1. Méthode de la perte de masse :

##### III.2.1.1. Principe

La perte de masse est la méthode la plus ancienne de mesure de la corrosion, et qui se base sur la détermination de la vitesse de corrosion. C'est une méthode simple, elle donne des informations très utiles à des prix relativement bas et sans perturbation des systèmes. Son principe est l'immersion de l'échantillon, de surface (S), à étudier dans le milieu corrosif considéré (après sa pesée) pendant une durée (t) bien définie. Ensuite, l'évaluation se fait visuellement. L'inspection visuelle de la morphologie de la corrosion, puis, après lavage, l'échantillon est de nouveau repesé pour déterminer la perte de masse ( $\Delta m$ ) [1].

$$\Delta m = m_0 - m_1 \dots\dots\dots (III.2)$$

**$m_0$**  : La masse de l'échantillon initiale (g) ;

**$m_1$**  : La masse de l'échantillon finale (g) ;

**$\Delta m$**  : Le taux de corrosion de l'échantillon (g).

La vitesse de corrosion  $V_{corr}$  est déterminée par l'équation suivante :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{S t} \quad (\text{III.3})$$

Avec :

**S** : la surface d'échantillon ( $\text{cm}^2$ )

**t** : le temps d'immersion (h)

L'efficacité inhibitrice est donnée par la relation suivante :

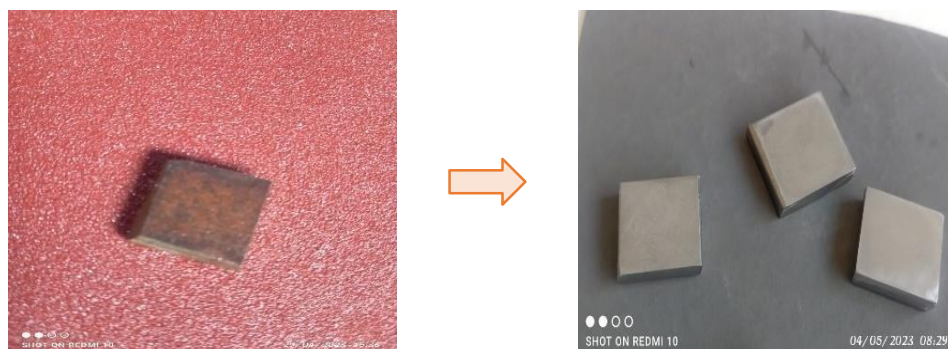
$$E\% = \frac{V_{corr} - V_{inh}}{V_{corr}} \times 100 \quad (\text{III.4})$$

**$V_{inh}$**  : La vitesse de corrosion en présence de l'inhibiteur.

### III.2.1.2. Préparation des échantillons (polissage)

L'acier utilisé est découpé en forme carré. L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif de différentes granulométries (100. 400. 800. 1000. 1200. 1500. 2000), pour faire la surface plane lisse et brillante à l'état de miroir.

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



**Figure 19:** Préparation des échantillons (polissage).

### III.2.2. Méthodes électrochimiques :

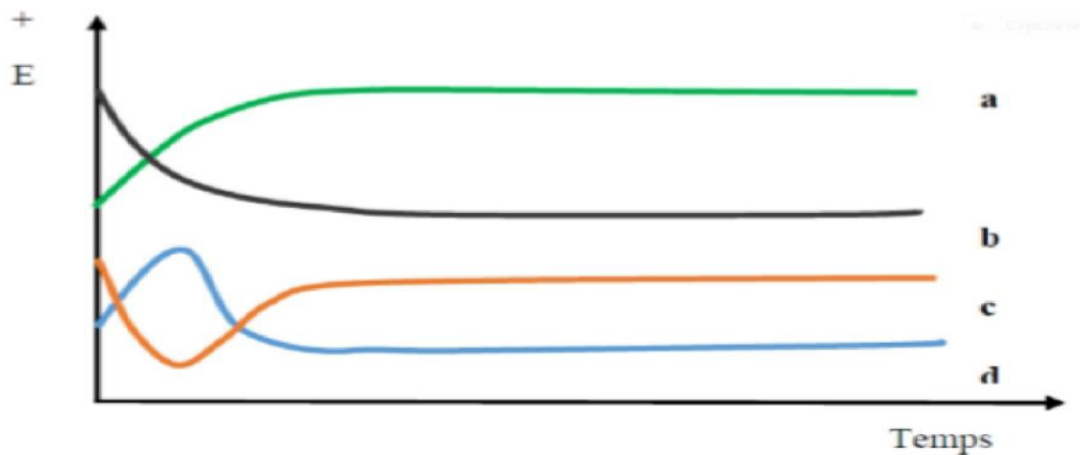
Les méthodes électrochimiques peuvent être classées selon deux groupes distincts : les méthodes stationnaires et les méthodes non-stationnaires dites transitoires.

#### III.2.2.1. Méthode électrochimique stationnaires :

La complexité des phénomènes de corrosion nécessite l'utilisation d'un grand nombre de méthodes expérimentales pour déterminer le taux de la corrosion et la nature des mécanismes qui interviennent au cours de l'attaque du métal. On obtient par cette mesure une caractérisation de la modification de l'interface métal/milieu.

##### III.2.2.1.1. Suivi du potentiel en circuit ouvert : courbes E-T

Appelé encore potentiel d'abandon ou potentiel libre, cette technique apporte des informations préliminaires sur la nature des processus en cours, à l'interface électrode de travail/électrolyte : corrosion, passivation ...et indique le type de l'inhibiteur suivant le sens de déviation du potentiel par rapport au potentiel mesuré en absence d'inhibiteur. Les différentes allures de l'évolution du potentiel de corrosion avec le temps sont représentées par la figure (20) [2].



**Figure 20:** Différentes allures de potentiel en fonction du temps d'immersions.

- Le potentiel devient plus cathodique, il y a formation d'un film protecteur, dit film de passivation, le potentiel plus en plus noble.
- Représente la dissolution du métal, le potentiel est lié à l'oxydation, potentiel devient de

moins en moins noble, ou plus négatif.

- c) elle est formée de deux parties, le potentiel devient d'abord plus négatif, puis tend vers des valeurs plus positives, il y a une attaque suivie de passivation.
- d) formée de deux parties, le potentiel devient plus noble puis se déplace vers des valeurs plus négatives. C'est le cas lorsqu'au moment de son immersion, le métal est recouvert d'une couche protectrice, celle-ci se développe dans un temps plus ou moins long puis elle est détruite. Le métal est alors mis à nu.

### III.2.2.1.2. Courbes de polarisation

La courbe de polarisation de l'interface métal-solution est une caractéristique fondamentale de la cinétique électrochimique, mais ne rend compte que de l'étape la plus lente du processus global à l'interface électrochimique.

Pour déterminer une courbe de polarisation potentiostatique, on applique à l'aide d'un potentiostat, différents potentiels entre l'électrode de travail et une électrode de référence. On mesure le courant stationnaire qui s'établit après un certain temps dans le circuit électrique entre cette électrode de travail et une contre-électrode. (Figure 21)

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact de l'électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion ( $I_{\text{corr}}$ ), le potentiel de corrosion ( $E_{\text{corr}}$ ), pentes de Tafel, les résistances de polarisation ( $R_p$ ), les courants limites de diffusion.

Elle donne des mesures rapides et sa mise en œuvre est relativement simple. La détermination de la vitesse de corrosion à partir des courbes de polarisation est étroitement liée à la cinétique régissant le processus électrochimique. Pour déterminer expérimentalement les paramètres électrochimiques ( $I_{\text{corr}}$ ,  $E_{\text{corr}}$ ) une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable, car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de la densité de courant et le potentiel [3].

La méthode de Tafel partiellement décrite dans la démonstration de l'équation de Butler-Volmer permet d'obtenir expérimentalement ces paramètres électrochimiques. En effet, la relation entre le courant de corrosion et la surtension d'électrode  $\eta$  ( $\eta = E - E_{\text{corr}}$ ), est

## Chapitre III : Techniques d'étude et conditions expérimentales

donnée par la formule simplifiée de l'équation fondamentale de Butler-Vollmer :

$$I = I_a + I_c = I_{corr} \left( \exp\left(\frac{2,303}{b_a} \eta\right) - \exp\left(\frac{-2,303}{b_c} \eta\right) \right) \quad (\text{III.5})$$

Ou  $I_a$  et  $I_c$  sont les densités des courants partiels anodique et cathodique,  $I_{cor}$  le courant de corrosion,  $b_a$  et  $b_c$  les pentes de Tafel des réactions anodique et cathodique telles que :

$$b_a = \frac{2,303 \times RT}{\alpha nF} \quad (\text{III.6})$$

Et :

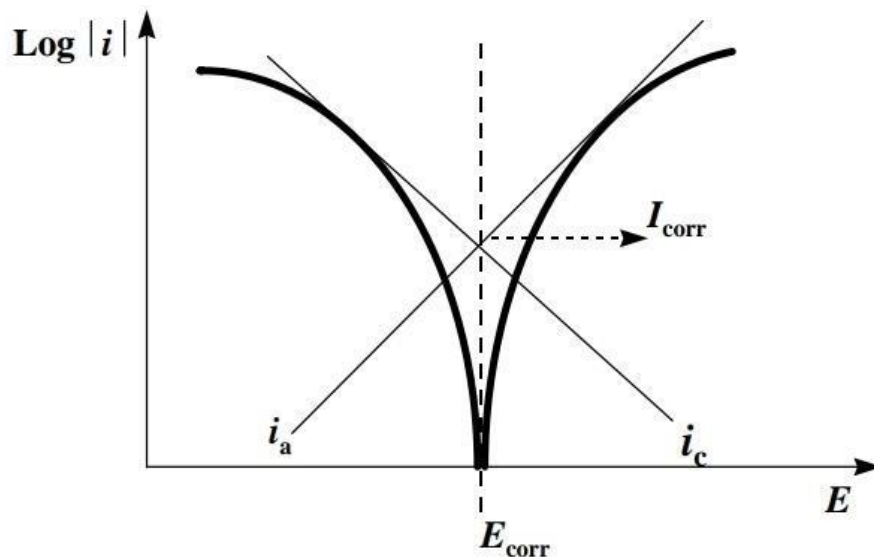
$$b_c = \frac{-2,303 \times RT}{(1-\alpha)nF} \quad (\text{III.7})$$

**F** : étant la constante de Faraday ;

**R** : la constante universelle des gaz parfaits ; **T** : la température absolue ;

**n** : le nombre d'électrons transférés ;

**A** : le coefficient de transfert de charge.

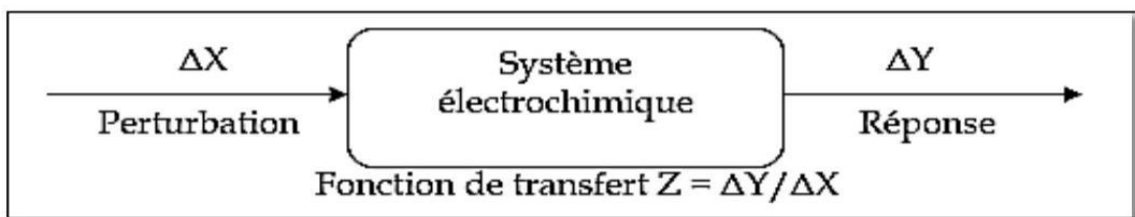


**Figure 21:** Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel.

### III.2.2.2. Méthode non stationnaires (transitoire) :

#### III.2.2.2.1. La spectroscopie d'impédance électrochimique (S.I.E)

La spectroscopie d'impédance électrochimique est une méthode transitoire qui permet d'avoir des informations sur les étapes élémentaires qui forme le processus global [4]. 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.



**Figure 22** : Principe de spectroscopie d'impédance électrochimique (S.I.E).

Les principales applications en laboratoire de cette technique d'étude restent l'estimation de la résistance de polarisation et l'étude des mécanismes élémentaires de corrosion, mais la spectroscopie d'impédance électrochimique permet également de séparer les différentes composantes, à savoir la résistance d'électrolyte  $R_e$  et la résistance de transfert  $R_t$ , qui peut être différente de la résistance de polarisation.

Pour une impédance électrochimique, le signal perturbateur appliqué  $E(t)$  s'écrit généralement sous la forme [5] :

$$E(t) = E_0 + |\Delta E| \sin(\omega t) \quad \text{(III.8)}$$

Par ailleurs, la réponse en courant du système est de la forme

$$I(t) = I_0 + |\Delta I| \sin(\omega t - \varphi) \quad \text{(III.9)}$$

Ici,  $\omega$  représente la pulsation ( $\text{rad.s}^{-1}$ ) et  $\varphi$  le déphasage entre  $I(t)$  et  $E(t)$  (Figure 4). Pour une fréquence donnée  $f$  (Hz), l'impédance électrochimique est une fonction de transfert résultant du rapport suivant [6,7] :

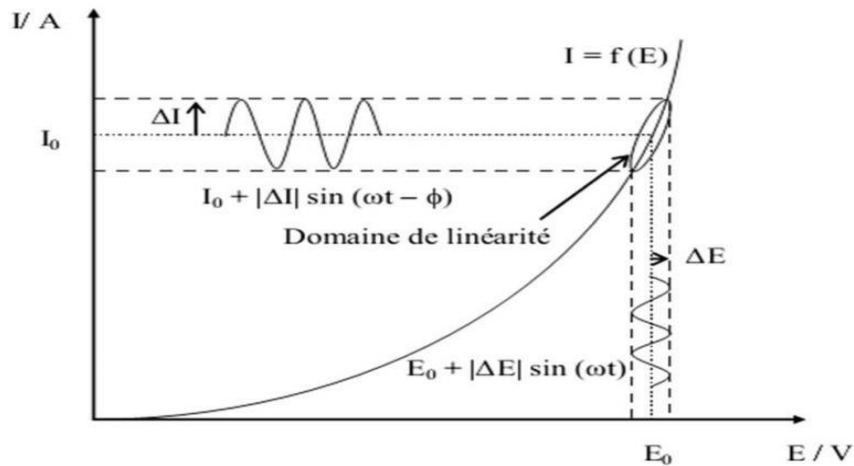
$$Z(\omega) = \frac{\Delta E(\omega)}{\Delta I(\omega)} \quad \text{(III.10)}$$

$\Delta E(\omega)$  : est la perturbation imposée a un potentiel choisi  $E_0$  ;

$\Delta I(\omega)$  : la réponse en courant du système étudié avec une composante continue  $I_0$  ;

$Z(\omega)$  : est un nombre complexe.

$\Delta E(\omega)$  et  $\Delta I(\omega)$  : correspondent aux transformées de Fourier des grandeurs temporelles correspondantes.

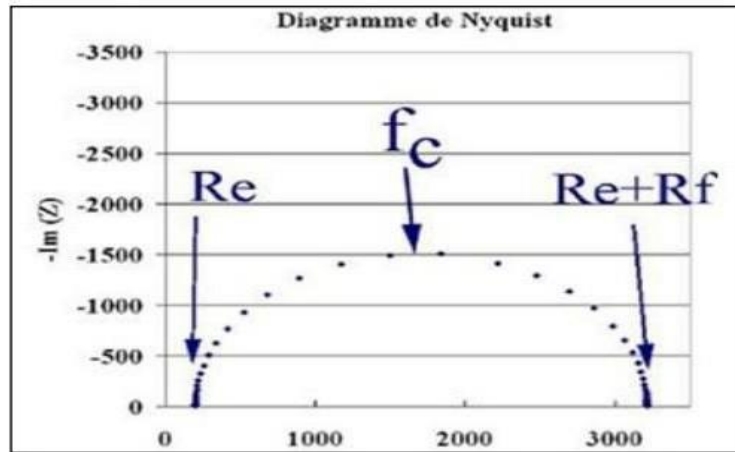


**Figure 23:** Schéma de fonctionnement de la SIE représentant la perturbation sinusoïdale en potentiel et sa réponse en courant.

### ❖ Représentation de l'impédance par les diagrammes de Nyquist

La représentation graphique d'une impédance  $Z = Z_{Re} + j Z_{Im}$  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. Il permet de déduire directement la résistance de la solution  $R_e$  (lecture de la partie réelle de  $Z$ : limite haute fréquence) d'une part et la résistance de transfert de charge  $R_t$  (limite basse fréquence de la partie réelle de l'impédance) d'autre part. La capacité  $C_{dc}$  est calculée en considérant la fréquence du sommet de la boucle [8].



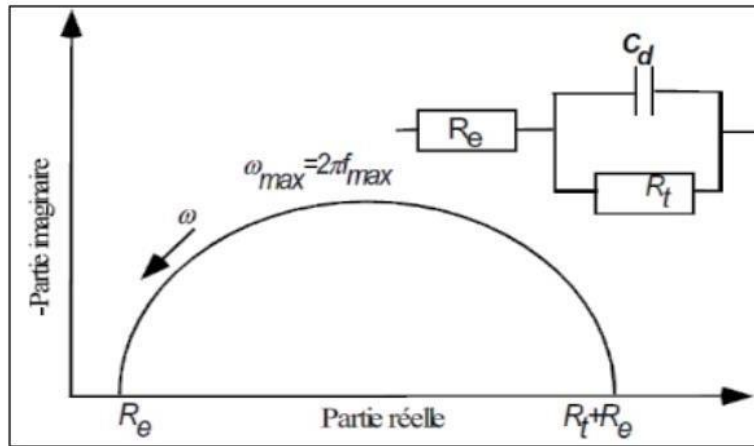
**Figure 24:** Diagramme d'impédance dans le plan de Nyquist.

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. Sa dépendance avec le potentiel est caractérisée par la résistance de transfert de charge ( $R_t$ ). La rapidité de cette réaction est cependant présentée par la présence de la capacité de double couche ( $C_d$ ). Le couple  $R_t$ - $C_d$  apparaît en général, en fréquences élevées. Les phénomènes lents tels que le processus de diffusion ou d'adsorption se manifestent dans le domaine de fréquences plus basses [9].

La partie suivante détaille les différents profils des diagrammes dans le plan de Nyquist qui peuvent être observés en corrosion, lorsque les processus opérant à l'interface métal/électrolyte ne sont pas trop complexes, un circuit équivalent, qui permet de modéliser le diagramme, est proposé [10].

### 1- Transfert de charge :

Dans le cas de transfert de charge, l'impédance représente un arc de cercle comme illustre la figure 25 :



**Figure 25:** Impédance électrochimique dans le plan complexe de Nyquist dans le cas d'une cinétique d'activation.

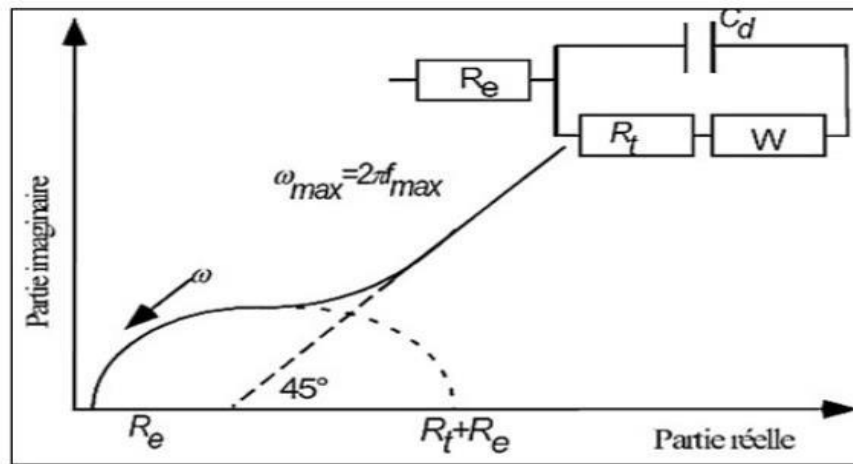
Les deux composantes apparaissent dans la figure :

- la résistance de l'électrolyte  $R_e$  qui se trouve entre l'électrode de travail et la sonde de potentiel (électrode de référence) et qui apparaît du fait de la conductivité finie de l'électrolyte.
- la capacité de double couche, la charge d'espace à l'interface électrolyte (conduction ionique) et l'électrode (conduction électronique).

### 2- Diffusion dans une couche d'épaisseur infinie

Lorsque le transport de matière à l'intérieur d'une couche d'épaisseur infinie limite l'oxydation de l'alliage, l'impédance, dans le plan de Nyquist, est représentée par une boucle capacitive, liée au transfert de charge, pour les hautes fréquences et par une droite formant un angle de  $45^\circ$  avec l'axe des abscisses pour les basses fréquences (figure 26), celle-ci correspond à la diffusion des espèces à travers la couche d'épaisseur infinie (à travers l'électrolyte immobile par exemple).

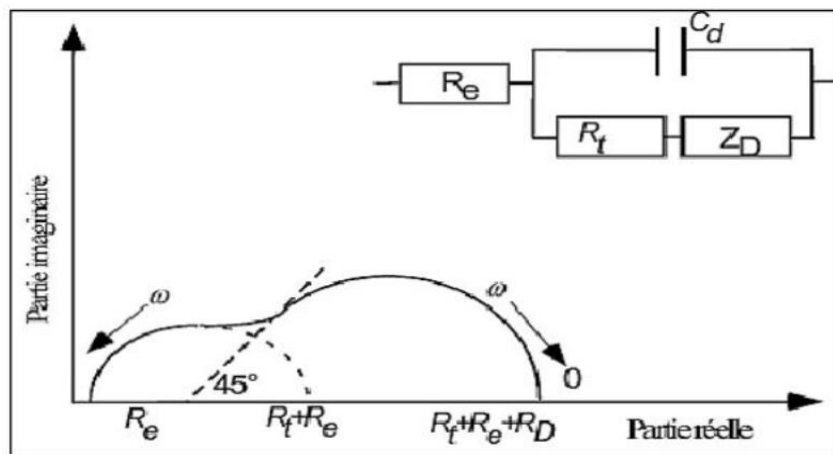
Le schéma électrique de l'impédance totale correspond à une capacité (celle de la double couche  $C_d$ ) en parallèle avec l'impédance de Warburg  $W$  montée en série avec la résistance de transfert de charge  $R_t$ .



**Figure 26:** Diagramme d'impédance électrochimique dans le cas d'une cinétique de diffusion à couche infinie.

### 3- Diffusion dans une couche d'épaisseur mince

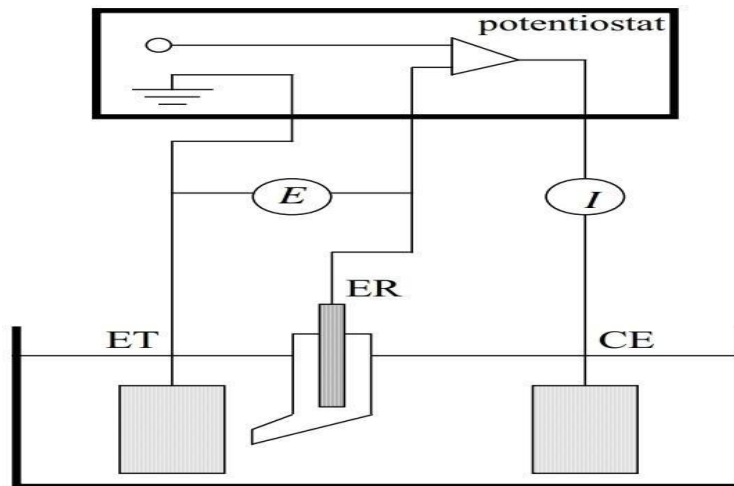
Dans le cas d'une couche d'épaisseur mince, le diagramme de Nyquist représentant l'impédance du circuit équivalent de Randles est donnée sur la Figure 27.



**Figure 27:** Diagramme d'impédance électrochimique dans le cas d'une cinétique de diffusion dans une couche à épaisseur finie [10].

### III.2.2.3. 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 28 présente le système utilisé pour les mesures électrochimiques.



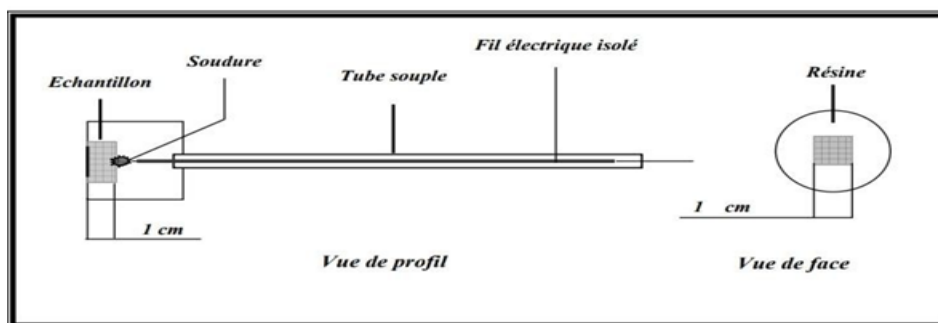
**Figure 28:** dispositif de mesure d'une courbe de polarisation potentiostatique et d'impédance.

ET : électrode de travail, ER : électrode de référence, CE : contre électrode.

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 Hg/Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/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<sup>2</sup>) 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 29).



**Figure 29:** schéma représentatif d'une électrode de travail utilisée dans les essais électrochimique.

## Chapitre III : Techniques d'étude et conditions expérimentales

---

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, 1200 et 2000), puis on la rince plusieurs fois par l'eau bi-distillé et l'acétone, et enfin on la sèche avec l'air chaude.

### Références bibliographiques :

- [1]. A. D. Mercer, « Testing Techniques en corrosion Inhibitors », 6<sup>ème</sup> symposium Européen sur les Inhibiteurs de corrosion, Ferraré (1985), p : 729.
- [2]. Liening, E.L, « Electrochemical Corrosion Testing Techniques ». National Association of Corrosion Engineers, Process Industries Corrosion-the Theory and practice,(1986), p85-122.
- [3]. C. Gabrielli et M. Keddam, « Electrochim Acta, 19 », (1974) p : 335.
- [4]. Souhila. Saadoune, «Synthèse et caractérisation d'inhibiteur bi- fonctionnels : application à la corrosion des aciers de construction »,En vue de l'obtention du diplôme de Magister. (2010).
- [5]. J. Muller « Etude électrochimique e caractérisation des produits de corrosion formés à la surface des bronzes Cu-Sn en milieu sulfate » Thèse de doctorat, Université de paris Est –Créteil, France, (2010).
- [6]. C. Gabrielli «Méthodes électrochimiques – Mesures d'impédances» Edition, Techniques de l'Ingénierie, Paris, France, (1994), P :2210.
- [7]. A. Dib « Etude des Phénomènes de Transfert par la Méthode Electrochimique »Habilitation à Dirigé des Recherches, Université de Bejaia, Algérie, (2012).
- [8]. E. K Boukas, « Systèmes asservis. Editions de l'école polytechnique », Montréal, (1995),P :251.
- [9]. C. Gabrielli, H. Takenouti, « Méthodes électrochimiques appliquées à la corrosion – Techniques stationnaire, cor811 », Edition Techniques de l'ingénieur, Paris, (2010).
- [10]. J. Ross Macdonald. « Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment, and Applications. John Wiley & Sons », (2005).

*Chapitre IV :*

*Résultats et discussions*

## Chapitre IV : Résultats et discussions

### IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus lors de ce travail ainsi que leurs interprétations. Dans un premier temps, nous avons étudié l'efficacité inhibitrice du NO<sub>2</sub>pht pour la protection de l'acier contre la corrosion de l'acier dans HCl (1M), en utilisant la méthode de la perte de poids. En deuxième lieu, nous nous sommes intéressés à l'étude expérimentale de l'inhibition de ce composé vis-à-vis de la corrosion de l'acier en milieu acide chlorhydrique 1M, en utilisant les techniques électrochimiques, à savoir, les courbes de polarisation potentiodynamique (PP), la spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE), et le suivi du potentiel d'abandon.

### IV.2. Etude gravimétrique

L'efficacité inhibitrice du composé NO<sub>2</sub>pht à différentes concentrations vis-à-vis de la corrosion de l'acier A 283 C dans HCl 1M a été examinée par les mesures de la perte de poids. Cette méthode consiste à l'immersion de l'acier verticalement dans le milieu corrosif en absence et en présence de différentes concentrations d'inhibiteur NO<sub>2</sub>pht pendant 24h. La vitesse de corrosion  $C_{\text{corr}}$  ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ), et l'efficacité inhibitrice E (%) obtenus sont illustrés dans le Tableau (2) et représentés dans la figure (30).

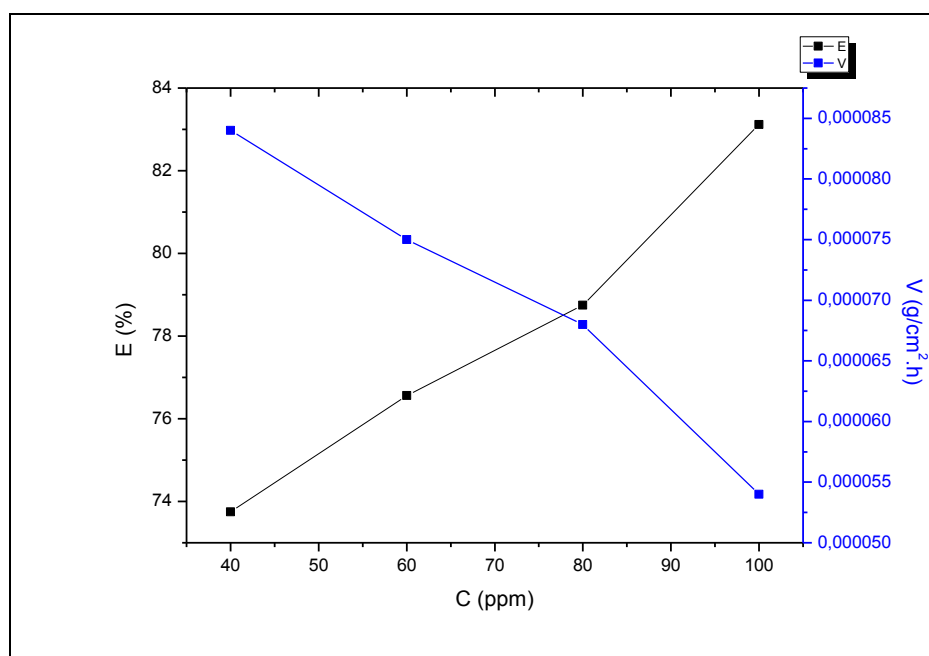
**Tableau 2:** Paramètres de corrosion de l'acier A 283 C dans le milieu HCl 1 M en absence et en présence de différentes concentrations de NO<sub>2</sub>pht pendant 24 heures.

Concentration (ppm)	$\Delta m$ (g)	Vitesse ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{H}^{-1}$ )	E (%)
Blanc (Hcl)	0.0631	0.00032	/
40	0.0187	0.000084	73.75%
60	0.0167	0.000075	76.56%
80	0.0145	0.000068	78.75%
100	0.011	0.000054	83.12%

## Chapitre IV : Résultats et discussions

D'après ce tableau, on constate que l'efficacité inhibitrice  $E(\%)$  augmentent tandis que la vitesse de corrosion ( $C_{\text{corr}}$ ) diminue avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur. L'efficacité inhibitrice  $E(\%)$  atteint une valeur maximale de 83.12 % pour à la concentration de 100 ppm. Ce comportement peut être expliqué par une grande adsorption de ce composé sur la surface de l'acier A 283 C [1].

La figure 30 : représente l'évolution de l'efficacité inhibitrice ( $E$ ) et la vitesse de corrosion ( $V_{\text{corr}}$ ) de l'acier A 283 C immergé dans HCl 1M pendant 24 heures en fonction de la concentration de l'inhibiteur  $\text{NO}_2\text{pht}$ .



**Figure 30:** Variation de l'efficacité de  $\text{NO}_2\text{pht}$  sur l'acier et la vitesse de corrosion dans une solution HCl (1M).

### Interprétation

- L'analyse des résultats présentés dans la Figure IV.1 montre que la vitesse de corrosion diminue ce qui conduit à une augmentation de l'efficacité d'inhibition avec l'augmentation de la concentration en inhibiteur, qui atteint une valeur maximale de 83.12% pour une concentration de 100 ppm.
- Cette diminution de la vitesse de corrosion peut être attribuée à la forte interaction des inhibiteurs avec la surface du métal, qui résulte de l'adsorption des molécules sur la surface du métal.

- 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. Les mesures électrochimiques :

L'évaluation de l'efficacité inhibitrice, déterminée par la perte de poids, ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Par contre, les mesures électrochimiques constituent une technique plus complète puisqu'elles étudient la base même du phénomène de corrosion et le processus électrochimique.

Les essais électrochimiques sont réalisés à l'aide d'un montage électrochimique classique à trois électrodes.

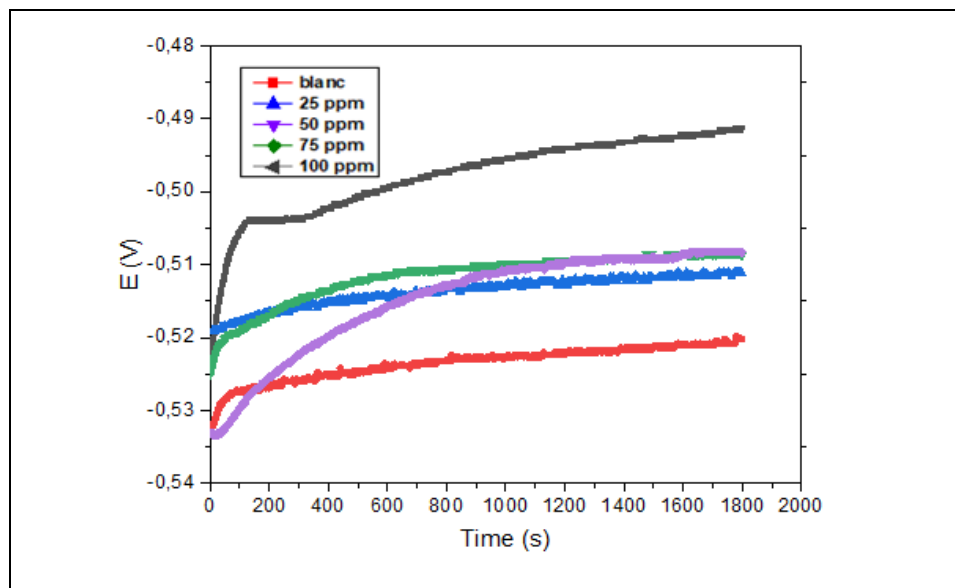
Pour une meilleure reproductibilité des résultats obtenus, les électrodes de travail et de référence sont toujours immergées à la même hauteur tout en respectant la même distance entre elles. Le potentiel de l'électrode de travail (l'acier A 283C°) est mesuré par rapport à l'électrode de référence.

#### IV.3.1. Suivi du potentiel de corrosion en fonction du temps d'immersion :

Avant d'étudier le comportement de l'acier A 283 C dans HCl à 1M en absence et en présence de NO<sub>2</sub>pht aux différentes concentrations (25, 50, 75 et 100 ppm). Il est important de suivre son évolution au cours du temps au potentiel d'abandon jusqu'à sa stabilité. Les valeurs de ce potentiel sont fixées par les réactions qui se déroulent à la surface du métal.

**La figure 31** représente l'évolution du potentiel en fonction du temps d'immersion 30 min pour différentes concentrations en inhibiteur en milieu HCl (1M).

Les courbes obtenues ont été comparé à une courbe de référence sans inhibiteur. Cela permet d'obtenir un potentiel relativement stable qui servira comme donnée essentiel pour le tracé des courbes de polarisations et les diagrammes d'impédance électrochimique.



**Figure 31:** Evolution du potentiel d'acier A283C dans HCl (1M) sans et avec addition d'inhibiteur NO<sub>2</sub>Pht.

### Interprétation

- Les courbes obtenues montrent que l'évolution du potentiel se fait toujours vers des valeurs moins négatives caractérisant un phénomène de dissolution spontanée (formation de produits de corrosion), ensuite tend à se stabiliser après un certain temps d'immersion dans une solution de HCl 1M ; indique clairement la formation d'un film protecteur à la surface de l'acier.
- En comparant ces courbes, nous remarquons qu'en absence l'inhibiteur (blanc), le potentiel se stabilise à une valeur – 535 mV après 30 minutes d'immersion. Les courbes de l'évolution du potentiel, en présence de l'inhibiteur, présentent la même allure que celle du blanc. Mais nous notons une stabilité à des valeurs plus nobles par rapport au potentiel du blanc.

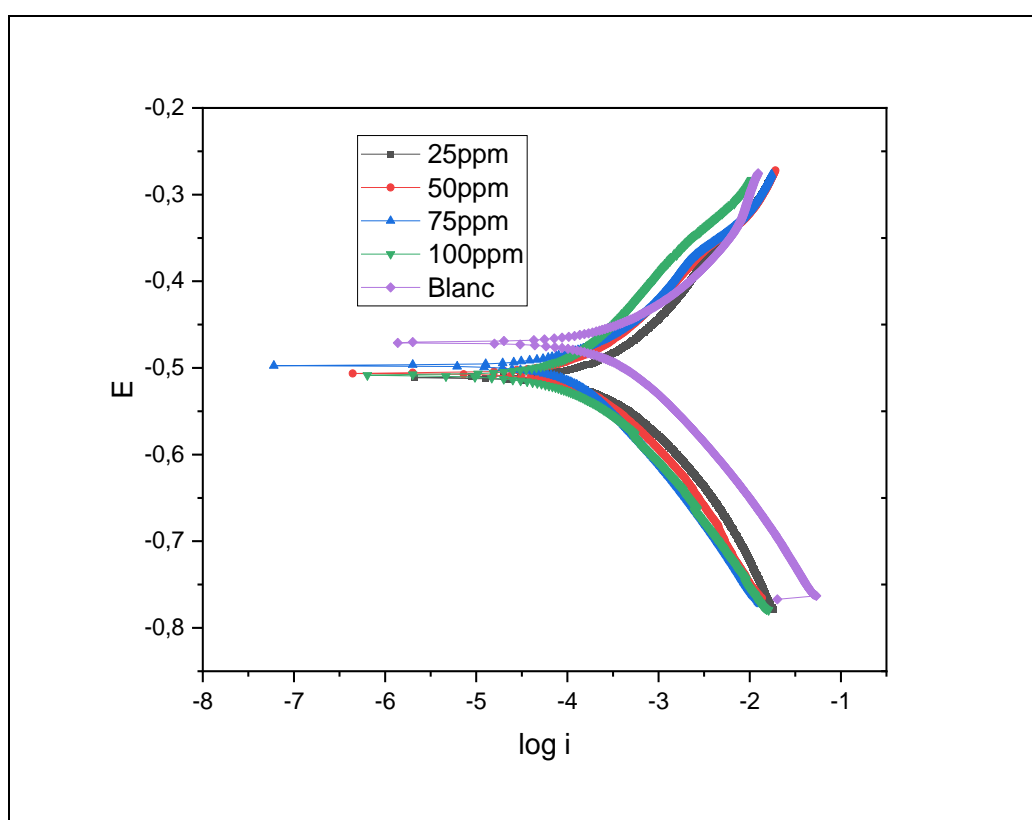
### IV.3.2. Courbes de polarisations $i=f(E)$ :

Le tracé des courbes de polarisation permet de calculer les paramètres  $I_{corr}$ ,  $E_{corr}$ , et  $V_{corr}$  par extrapolation des droites de Tafel [2]. Le potentiel appliqué à l'échantillon varie de façon continue de -750 à -250 mV (un balayage en potentiel du domaine cathodique vers le domaine anodique), avec une vitesse de balayage de 0.5mV/sec. Nous avons choisi une vitesse de balayage relativement faible afin d'être en régime quasi-stationnaire.

## Chapitre IV : Résultats et discussions

Les courbes de polarisation ont également obtenues pour différentes concentrations à la température ambiante. L'intensité du courant est mesurée entre l'électrode de travail et la contre-électrode de platine. Avant le tracé de ces courbes, l'électrode de travail est maintenue à son potentiel d'abandon pendant 30 minutes.

Figure 32 : Représente les courbes de polarisation cathodique et anodique d'acier dans une solution de HCl 1 M, en absence et en présence des inhibiteurs à différentes concentration, les mesures sont réalisées après la stabilité du potentiel d'abandon.



**Figure 32:** courbe de polarisation relevée au potentiel de corrosion après 30min d'immersion dans la solution avec et sans inhibiteur.

D'après la **figure 32**, nous remarquons que l'augmentation des concentrations en inhibiteur NO<sub>2</sub>Pht s'accompagne d'une diminution du courant anodique et cathodique. Ce résultat montre que l'ajout de l'inhibiteur réduit la dissolution anodique et retarde également la réaction du dégagement d'hydrogène [3].

D'une manière générale les courbes de polarisation potentiodynamiques à différentes concentrations de l'inhibiteur ont presque la même allure avec un petit décalage qui est provoqué par l'ajout de concentrations de NO<sub>2</sub>pht. Les représentations  $\log i = f(E)$  constituées deux parties

## Chapitre IV : Résultats et discussions

pour chaque courbe, 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.

Le tableau 3 regroupe les paramètres électrochimiques déterminées à partir des courbes de polarisation précédemment obtenus, à savoir l'intensité du courant de corrosion ( $i_{corr}$ ), le potentiel de corrosion ( $E_{corr}$ ), les pentes de Tafel cathodique ( $\beta_c$ ) et anodique ( $\beta_a$ ) ainsi que l'efficacité inhibitrice de corrosion (IE%) pour différentes concentrations d'inhibiteur en milieu HCl 1M à température ambiante.

IE% est définie par équation IV.1 :

$$E(\%) = (i^0_{corr} - i_{corr} / i^0_{corr}) \times 100 \quad \text{IV.1}$$

- $i_{corr}^0$  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 3:** Paramètres électrochimiques déterminées à partir des courbes de polarisation de l'acier en milieu HCl 1M sans et avec aditions de l'inhibiteur à différentes concentrations

Concentration	$E_{corr}$ (mV/ECS)	$i_{corr}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$B_a$ (mV/dec)	$-\beta_c$ (mV/dec)	%IE
<b>Blank</b>	-0,465	214.644	63.328	76.257	-
<b>25 ppm</b>	-0,514	109.826	51.684	60.071	48.83
<b>50 ppm</b>	-0,506	67.028	49.413	54.52	68.77
<b>75 ppm</b>	-0,495	55.206	38.336	51.456	74.28
<b>100 ppm</b>	-0,508	39.161	34.712	47.67	81.75

D'après **la figure 33** et le tableau 3, Nous remarquons qu'en présence de l'inhibiteur les densités de courant de corrosion  $I_{corr}$  diminuent au fur et à mesure que la concentration en inhibiteur croît. Il est en est de même pour les vitesses de corrosion,

L'addition de  $\text{NO}_2\text{pht}$  modifie légèrement les valeurs de  $E_{corr}$ . Un déplacement de potentiel de corrosion vers des valeurs plus négatives a été enregistré Dans la littérature, [4-6], il a été

## Chapitre IV : Résultats et discussions

---

rapporté que si le déplacement dans  $\Delta E_{\text{corr}}$  est  $< 85 \text{ mV}$ , l'inhibiteur peut être vu comme type mixte. Cette observation montre clairement que le  $\text{NO}_2\text{pht}$  peut être classé comme inhibiteur mixte.

L'efficacité inhibitrice croît avec l'augmentation de la concentration de  $\text{NO}_2\text{pht}$  et atteint une valeur maximale de l'ordre de 81.75% à 100ppm, cette augmentation s'accompagne avec une diminution de la densité du courant jusqu'à atteindre la valeur minimale 39.161( $\mu\text{A}$ ) qui est due à l'effet de blocage des sites actifs sur la surface métallique par les molécules adsorbées de l'inhibiteur, en formant une couche protectrice.

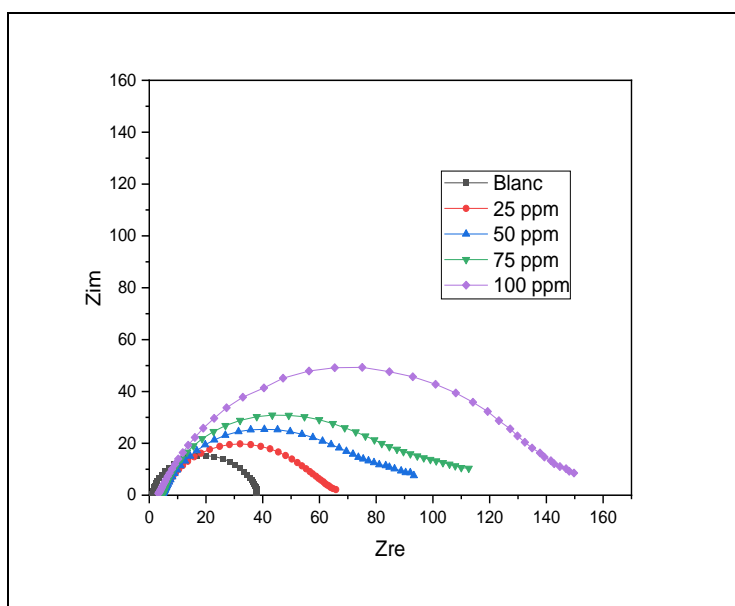
Les résultats obtenus par le tracé des courbes de polarisation, valident les résultats des mesures gravimétriques et ils sont en bonne concordance.

### IV.3.3. Les impédances électrochimiques (SIE)

Afin de confirmer les résultats tirés à partir des courbes de polarisation et d'acquérir plus d'informations sur le mécanisme de corrosion, les diagrammes de la spectroscopie d'impédance électrochimique ont été effectués avec une amplitude de 10 mV dans la gamme de fréquence de 10 mHz à 10 KHz.

Les mesures d'impédance électrochimique sont susceptibles de révéler les étapes élémentaires impliquées dans les processus globaux de corrosion et / ou de protection [7].

Les courbes d'impédance, en représentation de Nyquist, obtenus au potentiel de circuit ouvert et enregistrés après une heure d'immersion en milieu aéré de HCl 1M à 25 °C en absence et en présence de différentes concentrations de  $\text{NO}_2\text{pht}$  sont présentés sur la figure IV.4.



**Figure 33:** Diagrammes d'impédance de Nyquist obtenus pour l'acier A283C à différentes concentrations des NO<sub>2</sub>pht.

Les diagrammes d'impédance électrochimiques présentés dans la figure(33), permet de déterminer une seule boucle capacitive indique généralement que la réaction de corrosion est contrôlée par un processus de transfert de charges [8].

Ces courbes de Nyquist ne sont pas des demi-cercles parfaits à cause de l'hétérogénéité de la surface de l'électrode. Cette hétérogénéité peut résulter de la rugosité de la surface, des impuretés, des phénomènes d'adsorption et de désorption de l'inhibiteur, de la formation de couches poreuses et de la composition chimique hétérogène de l'acier [9,10].

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 [11].

L'addition de NO<sub>2</sub>pht à la solution conduit à l'augmentation de la taille du spectre d'impédance ayant la forme d'un demi-cercle plus au moins aplatie, caractérisant la formation d'une double couche, qui diminue en fonction de l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur. Ce résultat suggère la formation de film protecteur qui issue par l'addition de l'inhibiteur.

## Chapitre IV : Résultats et discussions

---

### Références bibliographiques :

- [1] Obot, I. B., & Obi-Egbedi, N. O. «Anti-corrosive properties of xanthone on mild steel corrosion in sulphuric acid: Experimental and theoretical investigations. Current applied physics», 11(3), (2011). p:382-392.
- [2] El-Rehim, S. A., Ibrahim, M. A., & Khaled, K. F. «4-Aminoantipyrine as an inhibitor of mild steel corrosion in HCl solution. Journal of Applied Electrochemistry», 29, (1999). P: 593-599.
- [3] O. H. Boumediene, « Synthèse de quelques composés organiques azotés et leur utilisation en tant qu'inhibiteurs vis-à-vis de la corrosion d'un acier doux en milieu HCl », Doctoral dissertation . (2013).
- [4]. F. Dammarie, F. Goubard et P. Griesmas, « La chimie aux capes préparation méthodique aux épreuves écrites » ,Edit. Paris (2001) p: 263.
- [5]. D. Mukherjee, J. Berchman, A. Rajsekhar, N. Sundarsanan, et al., « Plant based alkaloids inhibits Corrosion of marine alloy, Anti Corros. Method Material », 44 (1997) p:186-194.
- [6]. J. N. Y. Philip, J. Buchweishaija, et L. L. Mkyula, « Cashew Nut Shell Liquid as an alternative Corrosion inhibitor for carbon steels», Tanz. J. Sci., 27 (2001) p:9-19.
- [7]. Armstrong, R. D., Firman, R. E., & Thirsk, H. R. (1973). «The AC impedance of complex electrochemical reactions. Faraday Discussions of the Chemical Society », 56,p: 244-263.
- [8]. Q. B. Zhang,, & Y. X. Hua, « Corrosion inhibition of mild steel by alkylimidazolium ionic liquids in hydrochloric acid. Electrochimica Acta», 54(6), (2009).p: 1881-1887.
- [9]. M .Lebrini,, M. Lagrenée, M. Traisnel, L. GengembreVezin, H. Bentiss, F. Enhanced « corrosion resistance of mild steel in normal sulfuric acid medium by 2, 5-bis (n-thienyl)-1, 3, 4-thiadiazoles: electrochemical, X-ray photoelectron spectroscopy and theoretical studies». Applied Surface Science», 253(23), (2007). P:9267-9276.
- [10]. O., Benali, L. arabi, M. Traisnel, L. Gengembre,, Y. Harek, « Electrochemical, theoretical and XPS studies of 2-mercapto-1-methylimidazole adsorption on carbon steel in 1 M HClO<sub>4</sub>». Applied surface science, 253(14), (2007). P: 6130-6139.
- [11]. N. Labjar, M. Lebrini, F. BentissChihib, N. E., El Hajjaji, S., & C. Jama, « Corrosion inhibition of carbon steel and antibacterial properties of aminotris-(methylenephosphonic) acid». Materials Chemistry and Physics, 119(1-2), (2010). p:330-336.

*Conclusion Générale  
et perspective*

## Conclusion générale et perspective

---

L'objectif de ce travail était d'étudier l'efficacité d'un inhibiteur organique ( $\text{NO}_2\text{pht}$ ) sur la tenue à la corrosion de l'acier A283C, en milieu HCl (1M).

L'étude a été menée à l'aide de la technique classique (la perte de masse), et des techniques électrochimiques stationnaire et transitoire (potentiel de corrosion, polarisation, spectroscopie d'impédance).

Les résultats expérimentaux obtenus par la méthode de la masse perdue montrent que l'efficacité inhibitrice du  $\text{NO}_2\text{pht}$  augmente avec l'élévation de la concentration en inhibiteur pour atteindre une valeur maximale de 83.12% à la concentration 100ppm.

Grâce à la polarisation potentiodynamique et plus précisément la méthode d'extrapolation des droites de Tafel, les paramètres cinétiques ont été évaluée. D'après Les quelles l'efficacité de l'inhibiteur a été déterminé pour différentes concentrations et les résultats tirées à partir des paramètres de polarisation étaient en corrélation étroite avec celles de la spectroscopie d'impédance électrochimique.

Les résultats expérimentaux obtenus ont montré que le pouvoir inhibiteur de corrosion sur l'acier augmente avec l'élévation de la concentration en inhibiteur. Une efficacité optimale de 81,75%% a été atteinte à la concentration de 100 ppm.

- Les mesures de polarisation potentiodynamique ont révélé que cet inhibiteur est de type mixte.
- Les diagrammes d'impédance électrochimique ont montré que l'ajout de  $\text{NO}_2\text{pht}$  permet d'accroître la taille de la boucle capacitive avec la concentration de l'inhibiteur jusqu' à une concentration de 100 ppm, caractérisant le blocage de la réaction de transfert de charge par la formation d'un film protecteur à la surface du métal. Ce film est de plus en plus résistant à la dissolution active du métal.
- Les résultats obtenus à partir de la méthode de perte de masse sont en bon accord avec ceux obtenus à partir des mesures de polarisation et de la spectroscopie d'impédance électrochimique.

En finalité, sur la base des différentes investigations réalisées, nous pouvons conclure que, le  $\text{NO}_2\text{pht}$  est un excellent inhibiteur pour l'acier, même à très faibles concentrations.

## Résumé

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

Notre travail a été consacré à l'étude de l'activité anti-corrosion de l'inhibiteur organique NO<sub>2</sub>pht dans la protection de l'acier A283C en milieu acide HCl 1M. L'étude a été effectuée par la méthode gravimétrique (perte de masse) et les méthodes électrochimiques. Les résultats expérimentaux obtenus montrent que l'efficacité inhibitrice de cet inhibiteur augmente avec la concentration de l'inhibiteur, pour atteindre une valeur maximale, à 100 ppm, de 83,12 % par la perte de masse et 81,75% par les tests de polarisation. Les mesures de polarisation potentio-dynamique ont montré que cet inhibiteur est de type anodique. Les résultats obtenus à partir des différentes technique étaient en bon accord.

**Mots clés :** Acier, Corrosion, HCl, , inhibiteur, NO<sub>2</sub>pht, méthodes électrochimiques.

### ملخص

تتوفر عدة طرق لمنع أو تأخير تآكل المواد المعدنية. استخدام المثبطات هو من أفضل التقنيات التي يضمن حمايتها عند ملامستها للبيئات المسببة للتآكل. كرس عملنا لدراسة النشاط المضاد للتآكل للمثبط العضوي NO<sub>2</sub>pht في حماية فولاذ A283C بيئة حمضية حمض الهيدروكلوريك. كانت الدراسة التي تم إجراؤها بواسطة طريقة الجاذبية (فقدان الكتلة) و الطرق النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها تظهر أن الفعالية التثبيطية لهذا المانع تزداد بتركيز المثبط, الكهروكيميائية. للوصول إلى قيمة قصوى عند 100 جزء في المليون تبلغ 83.12 و بفقدان الكتلة 81.75 باختبار التحيز. قياسات الاستقطاب

أظهرت الديناميكيات المحتملة ان هذا المانع من نوع مختلط. النتائج التي تم الحصول عليها من التقنيات المختلفة كانت في اتفاق جيد.

الكلمات المفتاحية الصلب, التآكل, الهيدروكلوريك, المانع, NO<sub>2</sub>pht الطرق الكهروكيميائية.

### ABSTRACT

Several methods are available to prevent or retard the corrosion of metallic materials. the use of inhibitors is one of the best techniques That ensures their protection when in contact with corrosive environments. our work was devoted to the study of the anti-corrosion activity of the inhibitor organic NO<sub>2</sub>pht in the protection of steel in an acid environment HCl 1M. the study was carried out by the gravimetric method (loss of mass) and electrochemical methods. the experimental results obtained show that the inhibitory efficacy of this inhibitor increases with the concentration of the inhibitor, to reach a maximum value, at 100 ppm, of 83.12 by mass loss and 81.75 by bias testing. polarization measurements potentio-dynamics have shown that this inhibitor is of mixed type. results obtained at form the different techniques were in good agreement.