



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de Génie Mécanique

# MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Construction Mécanique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**Mohamed el Mokhtar MANSOURI**

Le vendredi 25 septembre 2020

## **Etude de corrosion en utilisant les inhibiteurs**

---

**Jury:**

Pr.	Bensaada said	<b>Université de Biskra</b>	Président
Dr.	Boulegroune Abdel Malek	<b>Université de Biskra</b>	Rapporteur
Dr.	Nine brahim	<b>Université de Biskra</b>	Examineur

Année universitaire: 2019 - 2020

# REMERCIEMENTS

*Je remercie tout d'abord DR. A. BOULEGROUNE pour m'avoir proposée ce thème, pour m'avoir orientée dans mes recherches scientifiques appliquées, pour ses critiques, ses conseils très précis sur mes travaux et pour avoir relu, corrigé et commenté ce manuscrit.*

*J'adresse également mes remerciements à tous mes enseignants sans exception pour m'avoir guidée tous ces années, et*

*Enfin, j'exprime mes plus profonds remerciements à mes parents, à mes frères, mes sœurs et ma famille respectives et à tous mes collègues sans exception, pour leurs soutiens et leurs encouragements.*

*Mansouri*

## Dédicace

*Je dédie à mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci beaucoup mes parents.*

*A toutes personnes qui ma aider à poursuivre mes études. A mes frères, et mes sœurs. A toute La famille, Mansouri et la famille Bouabid. A tous mes amis, Ali, Yazid, sakraoui, Hossein. Mes collègues de master en génie mécanique option construction.*

*Mansouri*

# Table des matières

Liste des tableaux .....	i
Liste des figures .....	ii
Liste des symboles & abréviations .....	iv
Introduction générale.....	1
<b>CHAPITRE I :</b> .....	
<b>GENERALITES SUR LA CORROSION</b> .....	
I.1. Introduction :.....	3
I.2. Définition : .....	3
I.3.L'origine de la corrosion :.....	3
I.4. Processus de la corrosion : .....	4
I.5. Différentes formes de la corrosion :.....	4
I.5.1. Corrosion chimique (sèche) : .....	4
I.5.2. Corrosion biochimique (bactérienne) :.....	5
I.5.3. Corrosion électrochimique (humide) : .....	5
I.6. Mécanisme de corrosion : .....	5
I.7. Types de corrosion :.....	6
I.7.1. Corrosion uniforme ou généralisée : .....	6
I.7.2. Corrosion localisée :.....	7
I.7.3. Corrosion galvanique :.....	8
I.7.4. Corrosion érosion :.....	8
I.7.5. Corrosion par crevasses (caverneuse) : .....	9
I.7.5. Corrosion Par Piqures : .....	9
I.7.6. Corrosion inter granulaire : (inter cristalline) : .....	10
I.7.7. Corrosion sélective :.....	11
I.7.8. Corrosion frottement : .....	11
I.7.9. Corrosion sous contrainte :.....	11
I.8. Facteurs de la corrosion : .....	12
I.9. Paramètres influençant sur la vitesse de corrosion : .....	13
I.8.1. Effet de la température :.....	14
I.8.2. Effet de l'acidité : .....	14
I.8.3. Régime hydrodynamique : .....	14
I.8.4. Salinité : .....	14
I.9. Moyens de protection contre la corrosion :.....	14

## TABLE DE MATIERE

---

I.9.1. Prévention par une forme adaptée des pièces : .....	15
I.9.2. Prévention par un choix judicieux des matériaux : .....	16
I.9.3. Protection par revêtements : .....	16
I.9.4. Protection par inhibiteurs : .....	18
I.9.5. Protection anodique : .....	18
I.9.6. Protection cathodique (électrochimique) : .....	19
I.10. Type de protection cathodique : .....	23
I.10.1. Protection par anodes sacrificielles : .....	23
I.10.2. Choix des anodes sacrificielles : .....	24
I.10.3. Protection par courant imposé : .....	24
I.11. Avantages et inconvénients des systèmes de la protection cathodique : .....	24
I.12. Facteurs affectant la protection cathodique : .....	25
I.13. Effets de la protection cathodique : .....	26
I.15. Économique de la corrosion : .....	29
I.15. Conclusion : .....	30
<b>References bibliographiques</b> .....	<b>31</b>
<b>CHAPITRE II :</b> .....	
<b>LES INHIBITEURS DE CORROSION</b> .....	
II.1. Inhibiteurs de corrosion : .....	34
II.1.1. Historique : .....	34
II.1.2. Définition : .....	34
II.2. Conditions d'utilisation : .....	35
II.3. Propriétés des inhibiteurs : .....	35
II.4. Domaines d'utilisation : .....	36
II.5. Efficacité des inhibiteurs de corrosion : .....	36
II.6. Classes d'inhibiteurs : .....	36
II.6.1. Classification selon la réaction partielle : .....	37
II.6.2. Classification selon le domaine d'application : .....	39
II.6.3. Classification par mécanisme réactionnel : .....	42
II.7. Nature de l'inhibiteur : .....	42
II.7.1. Inhibiteurs organiques : .....	42
II.7.2. Inhibiteurs minéraux : .....	43
II.8. Étude de certains inhibiteurs de corrosion : .....	44
II.8.1. Chlorure de zinc : .....	44
II.8.2. Chromates : .....	44
II.8.3. Molybdates : .....	45

## TABLE DE MATIERE

---

II.8.4. Nitrites : .....	45
II.9. Structure moléculaire des inhibiteurs : .....	45
II.10. Types d'adsorption : .....	47
II.10.1. Adsorption physique : .....	48
II.10.2. Chimisorption : .....	48
II.10. Influence de la concentration sur l'effet inhibiteur : .....	49
II.10.1. Langmuir : .....	49
II.10.2. Temkin : .....	50
II.11. Conclusion : .....	50
<b>References bibliographiques</b> .....	<b>51</b>
<b>CHAPITER III: PROCEDURE EXPERIMENTALE</b> .....	<b>51</b>
III.1. Introduction : .....	54
III.2. Matériaux utilisés : .....	54
III.3. Milieux choisis : .....	55
III.4. Polissage mécanique : .....	56
III.5. Techniques de caractérisation : .....	57
III.5.1. Technique de la masse perdue : .....	57
III.5.2. Observation microscopique : .....	58
III.6. Deuxième technique de la masse perdue : .....	58
III.6.1. Manipulation de la technique de la masse perdue : .....	58
III.7. Conclusion : .....	60
<b>CHAPITER IV : RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>60</b>
IV.1. Introduction : .....	61
IV.2. Méthode de la masse perdue : .....	61
IV.2.1. Influence du temps d'immersion : .....	61
IV.2.2. Influence de la concentration en NaCl et H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : .....	65
IV.3. Observations au microscope optique : .....	69
IV.3.1. Milieu NaCl : .....	69
IV.3.2. Milieu H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : .....	70
IV.4. Méthode deuxième de la masse perdue : .....	72
IV.4.1. Milieu (EAU-HCL-INHIBITEUR-AIR-HCL+EAU) : .....	72
IV.5. Conclusion : .....	73
<b>References bibliographiques</b> .....	<b>74</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>75</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>v</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Classification de la tenue en corrosion en fonction du taux de corrosion.....	7
<b>Tableau I.2</b> : Influence de différents facteurs sur la corrosion des métaux.....	13
<b>Tableau I.3</b> : Types de revêtement organique.....	17
<b>Tableau III.1</b> : Composition chimique du métal de base X42 (acier faiblement allié et à faible pourcentage en carbone) .....	55
<b>Tableau III.2</b> : Composition en % massique de l'acier inoxydable 304L.....	55
<b>Tableau III.3</b> : Présentation de concentration des solutions choisies.....	55
<b>Tableau IV.1</b> : Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction du temps pour une concentration de 35g/l en NaCl.....	61
<b>Tableau IV.2</b> : Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction du temps pour une concentration de 35g/l en NaCl.....	62
<b>Tableau IV.3</b> : Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction du temps pour Une concentration de 0.25mol/l en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	63
<b>Tableau IV.4</b> : Taux de corrosion de l'acier ordinaire X42 en fonction du temps pour une concentration de 0.25mol/l en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	64
<b>Tableau IV.5</b> : Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction de différentes concentrations en NaCl pour une durée de 10 jours.....	65
<b>Tableau IV.6</b> : Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction de différentes concentrations en NaCl pour une durée de 10 jours.....	66
<b>Tableau IV.7</b> : Taux corrosion de l'acier d'inoxidable 304L en fonction de différentes concentrations en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pour une durée de 3 jours.....	67
<b>Tableau IV.8</b> : Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction de différentes concentrations en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pour une durée de 3 jours.....	68
<b>Tableau IV.9</b> : Changement de masse de l'acier X42 en fonction du temps plusieurs solution différentes.....	72
<b>Tableau IV.10</b> : Calcule la masse perdue entre la masse initiale et la masse finale $\Delta m$ (g)...	72

# Liste des figures

Figure :	page :
<b>Fig.I.1</b> : La nature des paramètres la corrosion.....	4
<b>Fig.I.2</b> : Variation du taux de corrosion en fonction du pH.....	6
<b>Fig. I.3</b> : Corrosion Généralisée.....	6
<b>Fig.I.4</b> : Corrosion localisée.....	7
<b>Fig.I.5</b> : Corrosion galvanique.....	8
<b>Fig.I.6</b> : Corrosion-érosion.....	8
<b>Fig. I.7</b> : Corrosion Caverneuse.....	9
<b>Fig. I.8</b> : Corrosion par piqûres.....	9
<b>Fig.I.9</b> : Représentation schématique de la piqûre de l'acier.....	10
<b>Fig.I.10</b> : Corrosion inter granulaire.....	10
<b>Fig.I.11</b> : Fissures de CSC.....	12
<b>Fig.I.12</b> : diminution du risque de corrosion-érosion.....	15
<b>Fig.I.13</b> : Les moyens de protection contre la corrosion.....	16
<b>Fig. I.14</b> : Principe de la protection anodique d'un métal passivable déplacement du potentiel dans le domaine passif correspondant à : $E_{pass} < E < E_{pit}$ .....	19
<b>Fig. I.15</b> : Protection cathodique d'un réseau métallique par anodes sacrificielles.....	19
<b>Fig. I.16</b> : Schéma descriptif de la protection cathodique d'un métal par soutirage de courant.....	20
<b>Fig. I.17</b> : Principe de la protection cathodique.....	20
<b>Fig. I.18</b> : Principes de la protection par anodes sacrificielles.....	24
<b>Fig. I.19</b> : Effet d'un courant cathodique sur le décollement du revêtement.....	28
<b>Fig. I.20</b> : Schéma de la zone MPEI (Métal/Polymère/Electrolyte/Interface) .....	29
<b>Fig. II.1</b> : Métal au contact d'un milieu agressif.....	35
<b>Fig. II.2.</b> Classement des inhibiteurs de corrosion.....	37
<b>Fig. II.3.</b> a) Contrôle cathodique de la corrosion, action d'un inhibiteur cathodique et b) Contrôle anodique de la corrosion, action d'un inhibiteur anodique.....	38
<b>Fig. II.4.</b> Présence d'inhibiteur mixte.....	39
<b>Fig. II.5</b> : Formation des couches barrières cathodiques (A) et anodiques (B), en milieu acide.....	40



<b>Fig. II.6 :</b> Un inhibiteur organique de corrosion.....	43
<b>Fig. II.7 :</b> Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.....	47
<b>Fig. II.8 :</b> Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.....	48
<b>Fig. III.1 :</b> Forme des échantillons : (a) acier X42 et (b) acier inoxydable.....	54
<b>Fig. III.2 :</b> Balance électronique de type Sartorius.....	56
<b>Fig. III.3 :</b> Schéma de polisseuse utilise dans le polissage mécanique.....	56
<b>Fig. III.4 :</b> Technique de la masse perdue.....	57
<b>Fig. III.5 :</b> Microscope optique (OLYMPUS).....	58
<b>Fig. III.6 :</b> Dispositif expérimental de la masse perdu.....	59
<b>Fig. III.7 :</b> Technique de la masse perdue.....	59
<b>Fig. IV.1 :</b> Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction du temps dans une solution de 35g/l de NaCl.....	61
<b>Fig. IV.2 :</b> Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction du temps dans une solution de 35g/l en NaCl.....	62
<b>Fig. IV.3 :</b> Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction du temps dans une solution de 0.25mol/l en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	63
<b>Fig. IV.4 :</b> Taux de corrosion de l'acier ordinaire X42 en fonction du temps dans une solution de 0.25mol/l en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	64
<b>Fig. IV.5 :</b> Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction de différentes concentrations en NaCl pour une durée de 10 jours.....	65
<b>Fig. IV.6 :</b> Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction de la concentration en NaCl pour une durée de 10 jours.....	66
<b>Fig. IV.7 :</b> Taux corrosion de l'acier d'inoxidable 304L en fonction de la concentration en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pour une durée de 3 jours.....	67
<b>Fig. IV.8 :</b> Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction de la concentration en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pour une durée de 3 jours.....	68
<b>Fig. IV.9 :</b> aspect de l'état de surface de (a, c et e) 304L et (b, d et f) XC18S, 35 (d/l) NaCl.....	70
<b>Fig. IV.10:</b> aspect de l'état de surface de (a, c et e) 304L et (b, d et f) X42, 0.25(mol/l) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	71
<b>Fig. IV.11:</b> changement de masse de l'acier X42 en fonction du temps plusieurs solution différente.....	72

## Liste des symboles & abréviations

Symbole	Signification	Unité
$E_{pass}$	Potentiel de passivation	m.V
$E_{pit}$	Potentiel de dépassivation	m.V
$\mu_0$	La mesure de la corrosion (perte de masse...)	g/cm <sup>3</sup>
$\mu$	La mesure de la corrosion en présence d'inhibiteurs	g/cm <sup>3</sup>
T	Le taux d'inhibition	%
$\Theta$	Le taux de recouvrement	%
$C_{inh}$	Concentration de l'inhibiteur	Mol/l
B	Coefficient d'adsorption.	m.V
A	Une constante d'interaction entre particules adsorbées	-
C	Concentration	Mol/l
$V_{corr}$	Vitesse de corrosion	mg/cm <sup>2</sup> .min
T	Température	K
T	Temps	S
S	Surface	Cm <sup>2</sup>
$E_{corr}$	Potentiel de corrosion	m.V

# Introduction générale

La corrosion résulte d'une action chimique ou électrochimique d'un environnement sur les métaux et les alliages. Les conséquences sont importantes dans divers domaines et en particulier dans l'industrie : arrêt de production, remplacement des pièces corrodées, accidents et risques de pollutions sont des événements fréquents avec parfois de lourdes incidences économiques.

La corrosion est le phénomène suivant lequel les métaux ont tendance, sous l'action d'agents atmosphériques ou de réactifs chimiques, à retourner à leur état original d'oxyde, carbonate, plus stable par rapport au milieu considéré, et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés.

Le problème de la corrosion a acquis une grande importance de nos jours, étant donné l'utilisation croissante des métaux et des alliages dans la vie moderne. L'étude de la corrosion se situe à un carrefour dans différents domaines : électrochimie, physique du solide, métallurgie, chimie, physique, thermodynamique ... en plus de son intérêt scientifique pluridisciplinaire, elle répond à un enjeu industriel important.

L'aspect économique de l'érosion dans nos vies, locale ou industrielle, est bien établi. Les dommages causés par ce phénomène entraînent des pertes financières très importantes chaque année et sans les moyens de protection et de protection ces chiffres peuvent être plus élevés. Par conséquent, le développement de technologies de protection plus sûres, plus économiques et plus respectueuses de l'environnement est un nouveau défi pour un ingénieur qui devra avoir des connaissances scientifiques approfondies dans les domaines de la chimie et de la corrosion minérale, devrait se familiariser avec les méthodes expérimentales modernes et les matériaux moderne et pour se protéger de la corrosion, nous utilisons des inhibiteurs.

Les inhibiteurs de corrosion peuvent interférer avec la réaction anodique ou cathodique et forment une barrière protectrice sur la surface du métal contre les agents corrosifs. Dans l'industrie pétrolière, les inhibiteurs organiques à base d'amine sont les plus employés en raison de leur efficacité et leur disponibilité.

Dans la protection, l'utilisation des inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion des métaux et alliages. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion des matériaux. Il peut être destiné soit à une protection permanente de la pièce, soit à une protection provisoire, notamment lorsque la pièce est particulièrement sensible à la corrosion ou lorsqu'elle est exposée à un milieu très agressif.

Une grande partie du montant investi dans la lutte contre la corrosion est utilisée pour développer de nouveaux alliages résistants à la corrosion, et plus particulièrement à la corrosion et à la corrosion sous contrainte, et ces deux formes de corrosion sont en fait davantage des voitrues. Contrôle sournois dangereux et mauvais. Il est surtout compris en raison de sa complexité. On en sait beaucoup, grâce aux techniques de masse perdue et aux explorateurs microscopiques, mais les phénomènes qui régissent l'initiation locale de l'érosion seront mal compris. Ce type de corrosion repose sur un procédé semi-expérimental, long et coûteux, et le sujet de la recherche menée consiste en une étude comparative de la corrosion de deux types d'acier : l'acier X42 et l'acier inoxydable 304L ce sujet reste bon à étudier.

Ce sont toutes ces considérations qui nous ont poussés à faire ce travail divisé en quatre chapitres importants, dans le premier chapitre, nous présentons une étude générale sur la corrosion. Dans le deuxième chapitre, nous proposons des inhibiteurs de la corrosion, et au troisième chapitre est réservé aux caractéristiques de nos matériaux et aux techniques expérimentales utilisées : la technique de la masse perdue, l'analyse de surface. Et nous exposerons dans le quatrième chapitre les différents résultats obtenus et leur interprétation à la fin du manuscrit, nous présentons une conclusion et des références bibliographiques utilisés.

# **CHAPITRE I GENERALITES SUR LA CORROSION**

## I.1. Introduction

Comme tous les matériaux de construction, l'acier a tendance à se dégrader superficiellement une fois soumis à des milieux corrosifs comme le sol, l'air et donc le milieu marin. La corrosion est celle de la détérioration des matériaux par interaction chimique avec leur prise, entraînant des modifications au sein des propriétés du métal généralement au milieu d'une dégradation pratique de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, etc.). Les mécanismes concernés sont nombreux et aboutissent à des types de corrosion totalement différents [1, 2].

## I.2. Définition

La corrosion désigne l'ensemble des phénomènes par lesquels un métal ou un alliage métallique tend à s'oxyder sous l'influence de réactifs gazeux ou en solution.

La corrosion coûte cher et pose de redoutables problèmes : elle induit de graves dommages, cause de nombreux accidents et n'est pas sans conséquences écologiques notables [3].

## I.3. Origine de la corrosion

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et elles résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement.

Les différents paramètres qui favorisent la corrosion d'un matériau sont :

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

Donc on peut dire que les phénomènes de corrosion dépendent du matériau et du milieu environnant [4] (Fig. I.1).

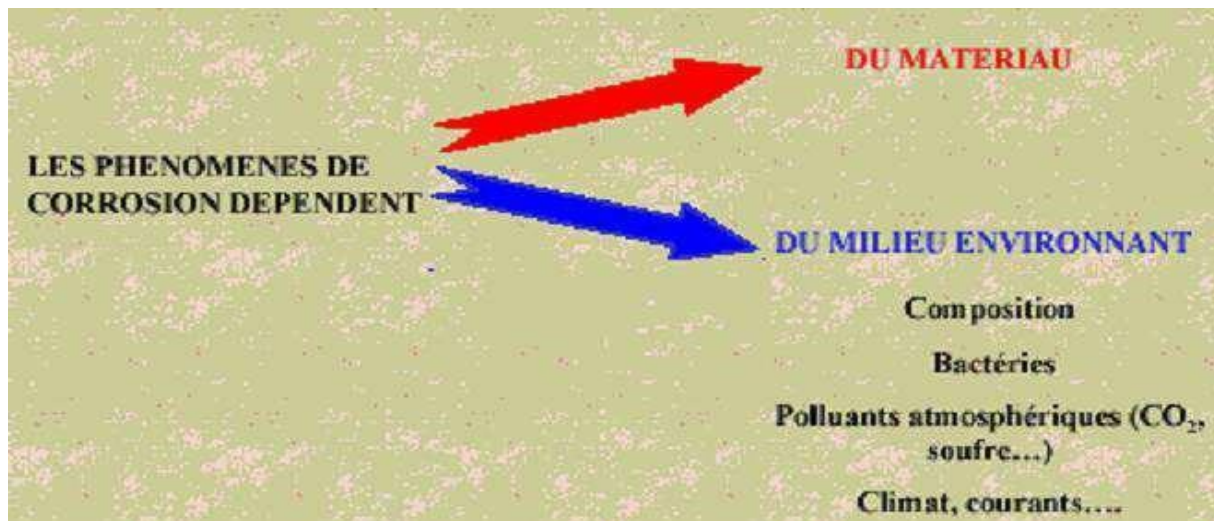


Fig.I.1. La nature des paramètres la corrosion.

#### I.4. Processus de la corrosion

Suivant la nature du milieu environnant et de la température, la corrosion est dite humide électrolytique ; la température est modérée. Dans le second cas, il est constitué par des vapeurs et des gaz au-dessus de leur point de rosée ; la température est souvent élevée (> 200 ° C).

Signalons ont finalement l'existence d'une corrosion particulière appelée corrosion bactérienne au cours de laquelle intervient des organismes vivants de différentes espèces.

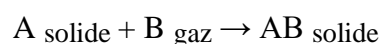
Ce processus concerne essentiellement l'attaque bactérienne des canalisations ou réservoirs enterrés ainsi que les structures métalliques immergées dans l'eau de mer [5,6].

#### I.5. Différentes formes de la corrosion

##### I.5.1. Corrosion chimique (sèche)

La corrosion chimique est l'attaque directe du métal par son environnement. Ce type de Corrosion se développe dans une solution non électrolyte ou sur action des gazeux (d'O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> Et CO<sub>2</sub>). Lorsque le réactif est gazeux ou cette corrosion se produit à haute température, elle Est alors appelée : Corrosion sèche ou corrosion à haute température [7,8].

La réaction qui se produit est de la forme :



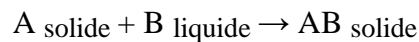
### I.5.2. Corrosion biochimique (bactérienne)

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobies qui se développent dans les eaux contenant des sulfates.

La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [9].

### I.5.3. Corrosion électrochimique (humide)

Si le réactif est liquide, il est en général, accompagné d'une corrosion électrochimique produite essentiellement par l'oxydation d'un métal sous forme d'ions ou d'oxydes et réduite l'agent corrosif existant dans la solution électrolyte. Par ailleurs, elle se produit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique) [10]. Pour une corrosion électrochimique on a :



## I.6. Mécanisme de corrosion

La corrosion des métaux est due à une réaction d'oxydoréduction irréversible entre le métal et un agent oxydant contenu dans l'environnement. L'oxydation du métal implique la réduction de l'agent oxydant selon la réaction :



Toute réaction d'oxydoréduction se compose de deux réactions partielles : la réaction partielle d'oxydation ou réaction partielle anodique, et la réaction partielle de réduction ou réaction partielle cathodique :





## I.7. Types de corrosion

La corrosion peut affecter le métal par une multitude de moyens qui dépendent de sa nature et des conditions environnementales. En tenant compte de la forme et des sites de l'attaque les principaux types de corrosion sont regroupés en deux grandes familles : la corrosion généralisée et la corrosion localisée, dont la plupart des sous-types provient des inhomogénéités dans la morphologie du métal [12].

### I.7.1. Corrosion uniforme ou généralisée

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

La vitesse d'écoulement, le pH et la température du milieu ont une influence importante sur le taux de corrosion uniforme (Fig.I.12) [13].

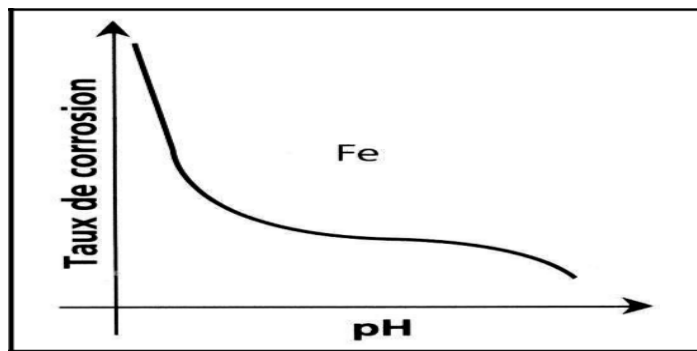


Fig.I.2. Variation du taux de corrosion en fonction du pH.

Cette corrosion se caractérise par une attaque toute la surface de l'échantillon exposée au milieu [2].



Fig. I.3. Corrosion Généralisée.

**Tableau I.1.** Classification de la tenue en corrosion en fonction du taux de corrosion [14].

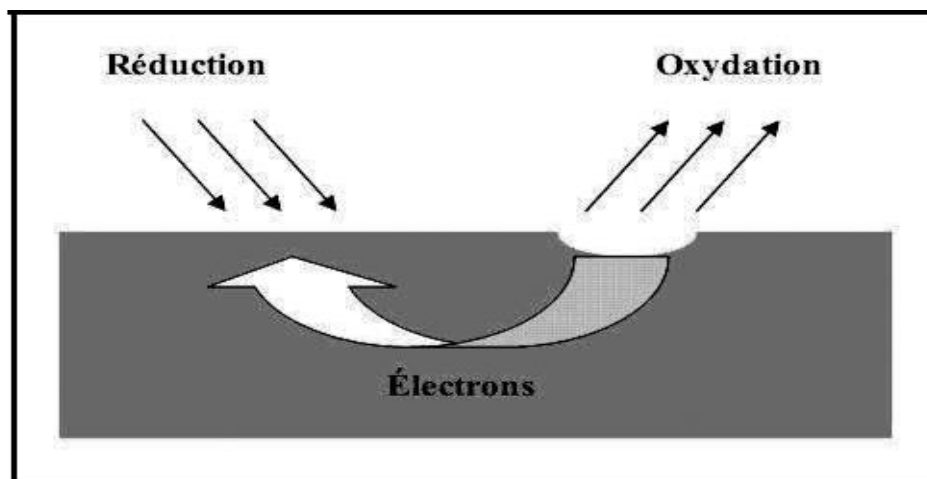
Taux de corrosion	Tenue
<0.05 mm/an	Excellente
0.05 à 0.130 mm/an	Bonne
0.130 à 1.25 mm/an	Satisfaisante
>1.25mm/an	Non satisfaisante

### I.7.2. Corrosion localisée

La corrosion localisée est la forme la plus insidieuse. Elle survient sur une partie du métal qui représente un lieu spécifiquement anodique, clairement distingué, dont la surface est très faible devant le reste de la structure métallique qui constitue la zone cathodique (Fig.I.4). En effet, pour une perte de poids minime, ce type de corrosion peut être catastrophique.

La corrosion uniforme peut être réduite ou évitée arpon choix convenable du matériau, la modification du milieu ou la protection cathodique [15].

La corrosion localisée est définie comme étant une attaque qui se déroule en un milieu spécifiquement anodique d'une surface d'un matériau. Dans ce cas de réaction, on distingue clairement les zones anodiques et cathodiques [16]. On distingue plusieurs types de corrosion localisée :



**Fig.I.4.** Corrosion localisée.

### I.7.3. Corrosion galvanique

Corrosion galvanique entre deux métaux différents plongés dans un électrolyte, où il existe une différence de potentiel. Si ces métaux sont en contact (c'est-à-dire connectés électriquement), un courant électrique s'établit. Le métal le moins noble joue le rôle d'anode et se corrode [17].

L'attaque peut être considérée comme localisée à un endroit précis, mais la forme de l'usure est généralisée (Fig.I.5) [18].

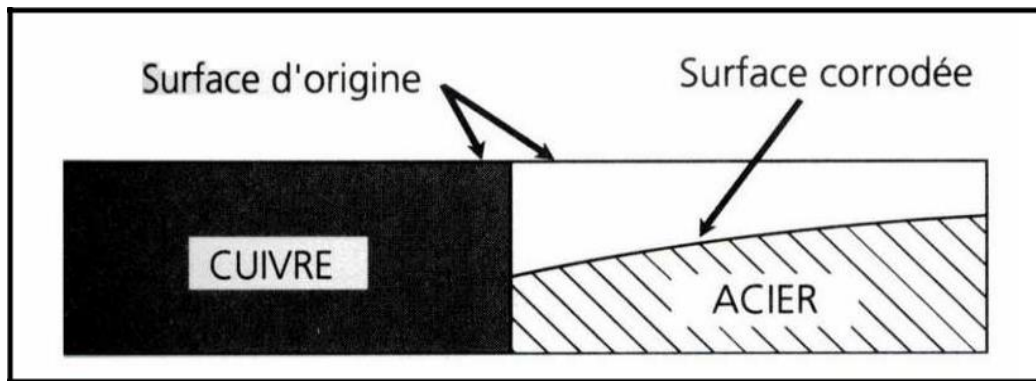


Fig.I.5. Corrosion galvanique.

### I.7.4. Corrosion érosion

Est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a souvent lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide de fluide (Fig.I.6) [19].

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

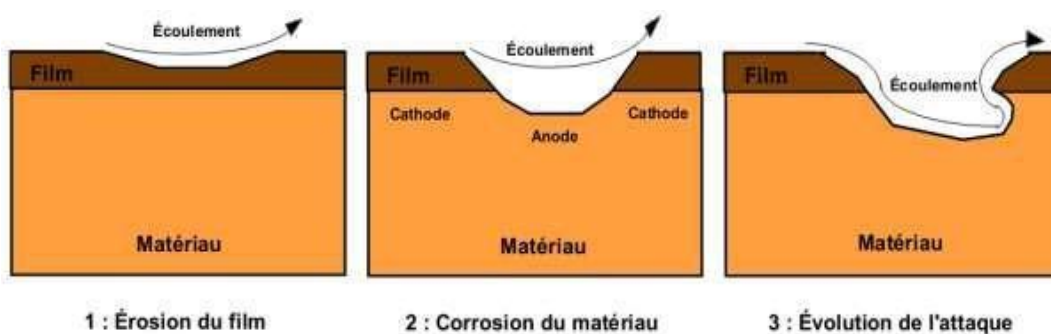


Fig.I.6. Corrosion-érosion.

### I.7.5. Corrosion par crevasses (caverneuse)

Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique. Cette attaque sélective du métal est observée dans les fissures et autres endroits peu accessibles à l'oxygène (Fig. I.7). [20]

Le processus de développement de la corrosion par crevasse (caverneuse) n'est pas fondamentalement différent de celui de la corrosion par piqûres. Cependant, la cinétique et la morphologie de l'attaque sont toutes autres. Celle-ci s'étend sur la largeur à la surface de l'interstice ou sous le dépôt, et non pas en profondeur comme pour les piqûres. La corrosion par crevasses peut prendre un caractère dangereux, notamment dans l'eau de mer [21].



**Fig. I.7.** Corrosion Caverneuse.

### I.7.5. Corrosion Par Piqûres

C'est une forme de corrosion localisée produite par certains anions, notamment les halogènes et plus particulièrement les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre [11]



**Fig. I.8.** Corrosion par piqûres.

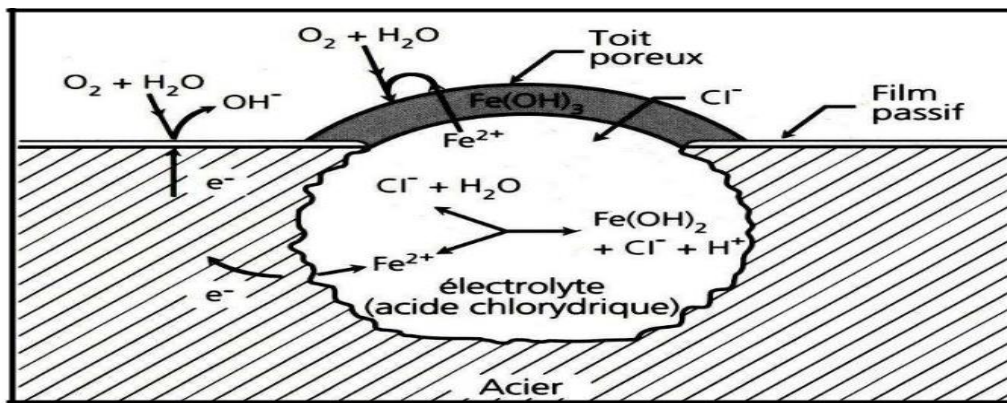


Fig.I.9. Représentation schématique de la piqûre de l'acier.

### I.7.6. Corrosion inter granulaire (inter cristalline)

C'est une forme de corrosion localisée s'attaquant aux joints de grains, rendant la Structure mécaniquement fragile.

C'est une attaque sélective aux joints de grains, souvent, il s'agit de phases qui ont précipitées lors d'un traitement thermique.

C'est un type de corrosion particulièrement dangereux car, bien que la quantité de métal attaque soit faible, les caractéristiques mécaniques du métal sont altérées car les fissures ainsi produites affaiblissent le métal. Par exemple ; l'acier inoxydable austénitique sensibilisées à chaud par précipitation du carbure de chrome aux joints des grains [23].

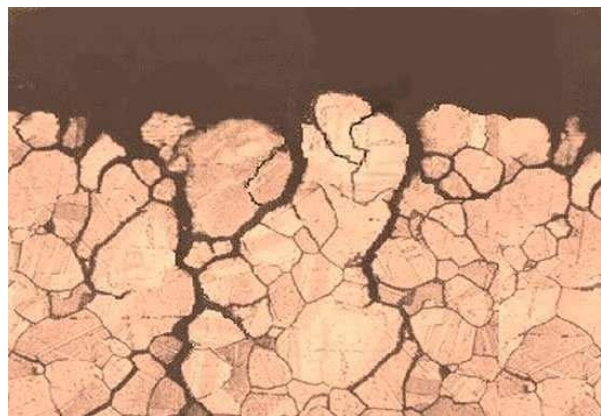
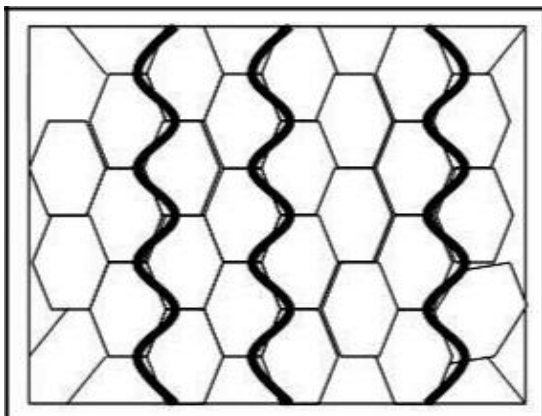


Fig.I.10. Corrosion inter granulaire.

### **I.7.7. Corrosion sélective**

Est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse [24].

### **I.7.8. Corrosion frottement**

Lorsque deux surfaces métalliques sont en contact et qu'elles se déplacent l'une par rapport à l'autre, leurs surfaces peuvent se détériorer rapidement et devenir impropres aux mouvements ultérieurs.

Pour que la corrosion par frottement puisse apparaître, il faut simultanément :

- L'existence d'une pression de contact entre les deux métaux ;
- La présence de vibrations ;
- L'existence d'un glissement entre les deux surfaces ;
- La présence d'oxygène.

Il semble que le phénomène soit dû à l'arrachement et à l'oxydation des particules métalliques sous l'effet du frottement et de l'élévation de température qui en résulte. Les conséquences sont : l'augmentation des jeux, le grippage, l'apparition de défauts pouvant provoquer des ruptures de fatigue [25].

### **I.7.9. Corrosion sous contrainte**

C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action conjointe d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique.

Comme son nom l'indique, la corrosion sous contrainte (CSC) résulte de l'action conjuguée d'une contrainte mécanique (résiduelle ou appliquée), et d'un milieu agressif vis-à-vis du matériau, chacun de ces facteurs pris séparément n'étant pas susceptible à lui seul d'endommager la structure. Ce type de corrosion, particulièrement sournois et dangereux pour les installations, se caractérise par les fissures inter ou Trans granulaires dont la direction générale de propagation est perpendiculaire à la plus grande contrainte [26].



**Fig.I.11.** Fissures de CSC.

### **I.8. Facteurs de la corrosion**

La plupart des métaux purs n'est pas stable d'un point de vue thermodynamique. Au contact de l'atmosphère, ils forment une couche superficielle d'oxyde plus ou moins protectrice. Ainsi, la fragilisation de cette couche superficielle conduit à la corrosion sans frein du métal selon plusieurs critères comme la nature et constitution du milieu agressif, la température, le pH, et les inhomogénéités de la structure réticulaire du métal, entre autres paramètres [27].

Les phénomènes de la corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs et ils peuvent être classés en quatre groupes principaux :

**Tableau I.2.** Influence de différents facteurs sur la corrosion des métaux [28].

Facteurs relatifs au milieu et définissant le mode d'attaque (milieu corrosif).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentration du réactif.</li> <li>- Teneur en Oxygène, en impuretés, en gaz</li> <li>- Dissous (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>S...).</li> <li>- Acidité du milieu, salinité, résistivité.</li> <li>- Température, pression.</li> <li>- Présence de bactéries</li> </ul>
Facteurs métallurgiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composition d'alliage, hétérogénéités cristallines.</li> <li>- Procédés d'élaboration.</li> <li>- Impuretés dans l'alliage, inclusions.</li> <li>- Traitements thermiques, mécaniques.</li> <li>Additions protectrices.</li> </ul>
Facteurs définissant les conditions d'emploi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etat de surface, défauts de fabrication.</li> <li>- Formes de pièces.</li> <li>- Sollicitations mécaniques.</li> <li>- Emploi d'inhibiteurs.</li> <li>- Procédés d'assemblage (couples galvaniques, soudures, etc.).</li> <li>- Croûte d'oxydes superficiels.</li> <li>- Force électromotrice extérieure (électrolyse).</li> </ul>
Facteurs dépendants du temps	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vieillessement.</li> <li>- Tensions mécaniques internes ou externes.</li> <li>- Température- modalité d'accès de l'oxygène ou autre gaz dissous.</li> <li>- Modification des revêtements protecteurs.</li> <li>- Apparition d'un dépôt (calcique ou autre).</li> </ul>

### I.9. Paramètres influençant sur la vitesse de corrosion

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques de deux paramètres la température et le pH, ces deux paramètres ont une influence directe sur la vitesse de corrosion, et une influence indirecte à travers la phase aqueuse (eau de condensation, eau de production). Les conditions de flux, le film formé à la surface du métal et la pression ont une influence directe à travers la pression partielle [29,30].



### **I.8.1. Effet de la température**

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère la cinétique de réaction et de transport de charge. L'importance de son influence varie en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau [31].

### **I.8.2. Effet de l'acidité**

La susceptibilité du matériau à la corrosion est en fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifié les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu [32].

### **I.8.3. Régime hydrodynamique**

Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers l'électrolyte est de nature à modifier la cinétique des réactions électrochimiques en changeant la concentration des espèces et donc le potentiel d'équilibre. Les conditions hydrodynamiques fixent les vitesses de réactions en contrôlant le transport de matière par l'établissement d'une couche limite de diffusion des espèces, appelée couche de Nernst, ce qui explique l'importance de l'agitation de l'électrolyte lors des essais de corrosion en laboratoire [33].

### **I.8.4. Salinité**

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosions localisées, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité a une influence sur la conductivité du milieu aqueux [34].

## **I.9. Moyens de protection contre la corrosion**

La prévention de la corrosion doit commencer déjà dans la phase de planification. En d'autres mots, sur doit prendre en considération la corrosion depuis le début d'un projet et jusqu'à sa réalisation. Il s'agit de garantir une certaine durée de vie à un objet. En plus, la solution adoptée doit être compatible avec les prescriptions concernant la protection de l'environnement naturel et doit permettre le recyclage ou les différents composants à la fin de leur utilisation. La lutte contre la corrosion englobe les méthodes suivantes :

- ❖ Prévention par une forme adaptée des pièces,
- ❖ Prévention par un choix judicieux des matériaux,
- ❖ Protection par revêtements,
- ❖ Protection par inhibiteurs,
- ❖ Protection électrochimique [35].

### I.9.1. 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, il y'a quelques solutions types couramment employées pour limiter les risques en fonction du type de corrosion à redouter par exemple [36] :

#### ➤ Corrosion en zone humide

La géométrie des composantes employées devra viser dans ce cas à éviter les zones de réaction d'eau en assurant, par leur géométrie, la vidange complète des récipients.

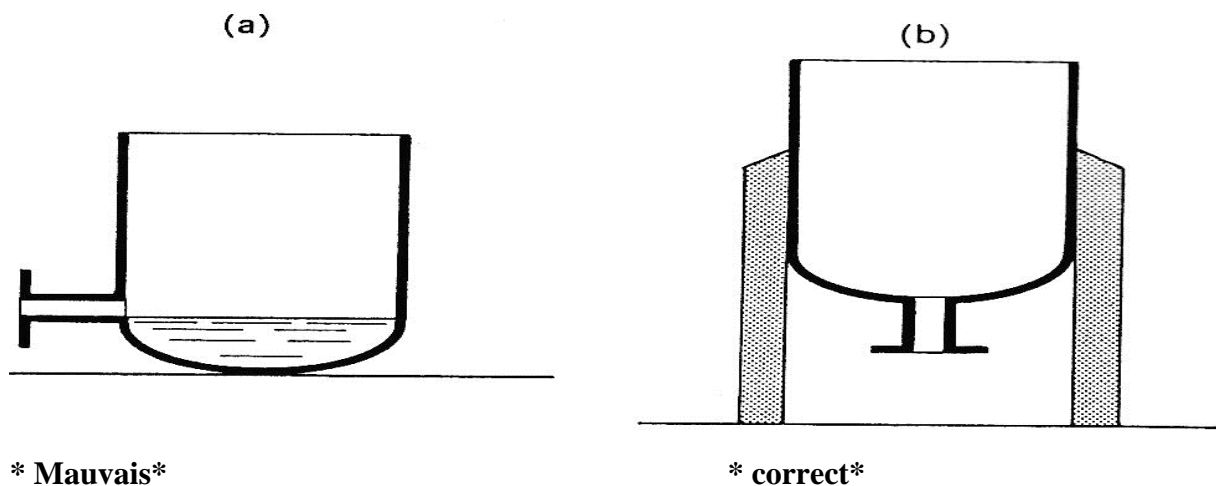


Fig.I.12. Diminution du risque de corrosion-érosion.

## I.9.2. 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 [37] :

- Domaine d'utilisation,
- Nature et niveau des sollicitations mécaniques et thermiques,
- Traitements sélectionnés,
- Prix et disponibilité des matériaux.

## I.9.3. Protection par revêtements

Les revêtements constituant une barrière physique entre le milieu agressif et le métal à protéger. Leur efficacité dépend de leur propre comportement vis-à-vis du milieu agressif ainsi que de l'intégrité du revêtement [38]. Sur distinguer :

### I.9.3.1. Protection par revêtements métallique

Les revêtements métalliques sont employés pour protéger l'acier contre la corrosion atmosphérique. Selon leur comportement à la corrosion par rapport au substrat sur distinguer deux types de revêtements métalliques : [38]

- Ceux plus nobles que le substrat cathodique,
- Ceux moins nobles que le substrat anodique.

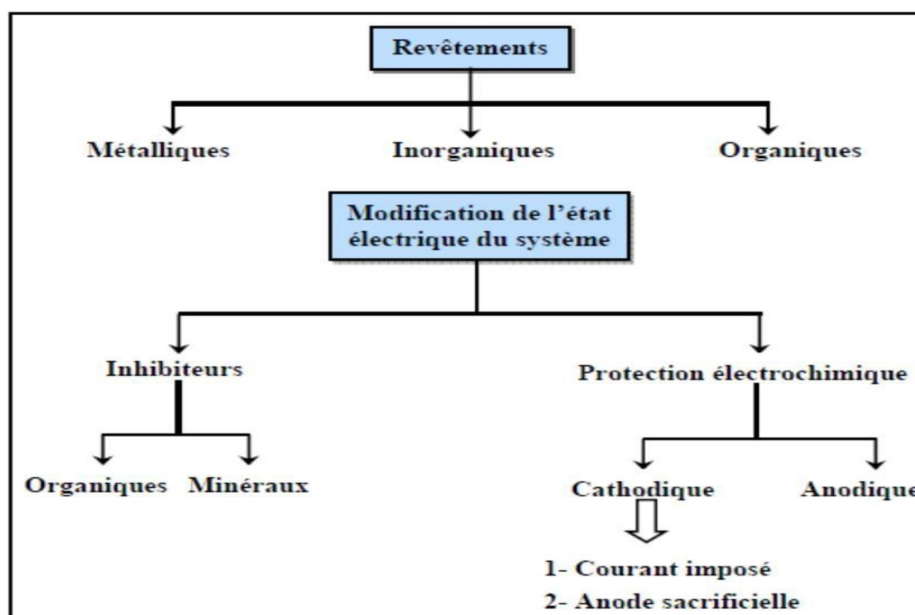


Fig.I.13. Les moyens de protection contre la corrosion.

### I.9.3.2. Protection par revêtement organiques

Forment une barrière plus ou moins imperméable entre le substrat métallique et le milieu, et sur les classes en trois familles :

- Revêtements en bitumes,
- Revêtements polymériques,
- Peintures et vernis [39].

**Tableau I.3.** Types de revêtement organique.

<b>Revêtement en bitume</b>	Il est utilisé pour la protection des conduites en acier et en fonte. En général le revêtement en bitume a une épaisseur de 5mm.
<b>Les peintures</b>	Effet barrière et esthétique.
<b>Les bandes</b>	Ces produits sont essentiellement utilisés pour la réparation des revêtements aux endroits des soudures de raccordement ou des zones importantes de dégradation
<b>Polyéthylène</b>	Excellents isolants électriques et sont très imperméables à l'eau comme aux gaz mais adhérence moyenne.
<b>Époxyde</b>	Très bonne adhérence et résistance moyenne

### I.9.3.3. Revêtements thermoplastiques

- -Revêtement en polyéthylène extrudé, avec primaire d'accrochage à base de caoutchouc butyle d'épaisseur 3 mm environ.
- -Bandes adhésives minces, à support PVC, ou polyéthylène, appliquées sur primaire, et recouvertes d'une bande de protection mécanique supplémentaire [40].

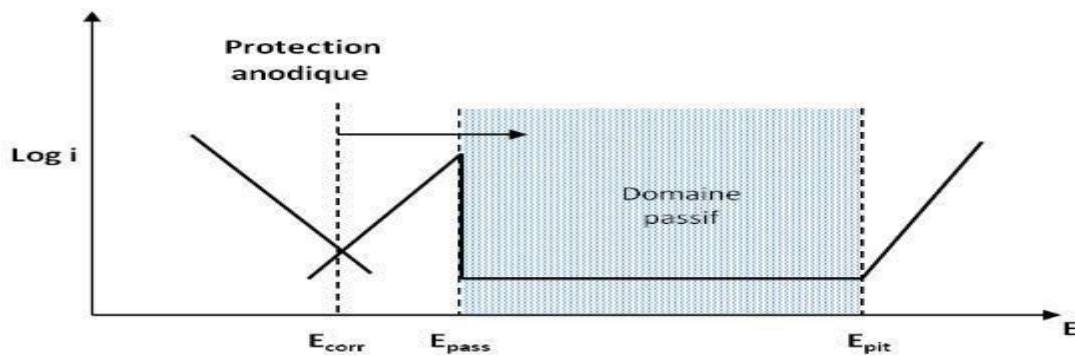
#### I.9.4. Protection par inhibiteurs

Il s'agit de substances qui, rendues en très petite quantité dans le milieu corrosif diminuent son agressivité vis-à-vis du métal. Il est possible de distinguer :

- **Inhibiteurs d'adsorption** : Il s'agit d'inhibiteurs filmant qui s'adsorbent à la surface pour donner un film protecteur. Ces substances sont des substances organiques du type monoamines ou polyamines,
- **Poisons contrôlants** : le dégagement cathodique certaines substances telles que les ions arsenic, bismuth et antimoine retardent le dégagement d'hydrogène et peuvent dans certains cas être utiles pour inhiber la corrosion,
- **Suppresseurs d'oxygène** : Ils enlèvent l'oxygène dissous contenu dans les solutions (sulfite de sodium, hydrazine),
- **Inhibiteurs oxydants** : Il s'agit des chromates, des nitrites, des sels ferriques, etc. Ces substances élèvent le potentiel de corrosion dans la zone de passivation. Les phosphates ont besoin de l'oxygène dissous pour avoir une action efficace. [41].

#### I.9.5. Protection anodique

Elle est réservée aux métaux passivables dont le potentiel de corrosion se situe dans le domaine actif ( $E_{\text{corr}} < E_p$ ). Une polarisation anodique permet de déplacer le potentiel dans le domaine passif. La densité du courant nécessaire pour maintenir le métal à l'état passif est très faible (équivalente à  $i_{\text{passif}}$ ). Le maintien d'une protection anodique ne nécessite que peu de courant. Par contre, la densité de courant appliquée est nettement plus élevée car elle doit être supérieure à la densité de courant de passivation [42].



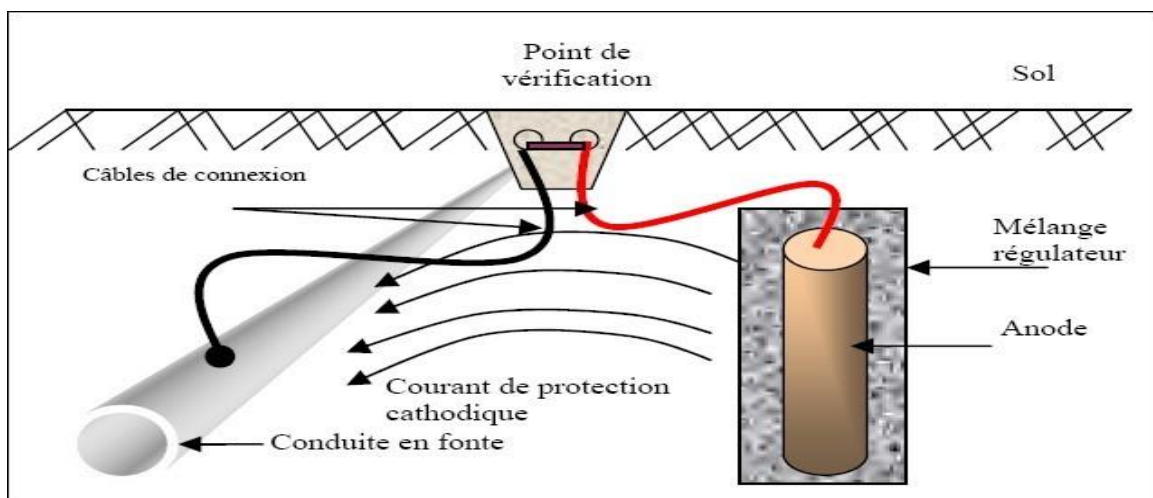
$E_{pass}$  : potentiel de passivation ;  $E_{pit}$  : potentiel de dépassivation ou dépiqûration

**Fig. I.14.** Principe de la protection anodique d'un métal passivable déplacement du potentiel dans le domaine passif correspondant à :  $E_{pass} < E < E_{pit}$ .

### I.9.6. Protection cathodique (électrochimique)

La mise en place d'un système de protection cathodique est actuellement considérée comme indispensable pour les structures métalliques en contact avec un milieu conducteur (électrolyte) en complément d'une protection organique (revêtement). Cette technique, base sur des principes électrochimiques est développée sous deux modes différents [43] :

- Création d'une pile artificielle bloquant la réaction naturelle de corrosion du métal (Phénomène électrochimique), en fournissant au métal à protéger un excès d'électrons afin d'empêcher le transfert des cations dans la solution : Protection cathodique par anodes sacrificielles.



**Fig. I.15.** Protection cathodique d'un réseau métallique par anodes sacrificielles.

- Circulation d'un courant électrique continu dans l'électrolyte entre une masse anodique et le métal à protéger : protection cathodique par courant imposé dit soutirage de courant.

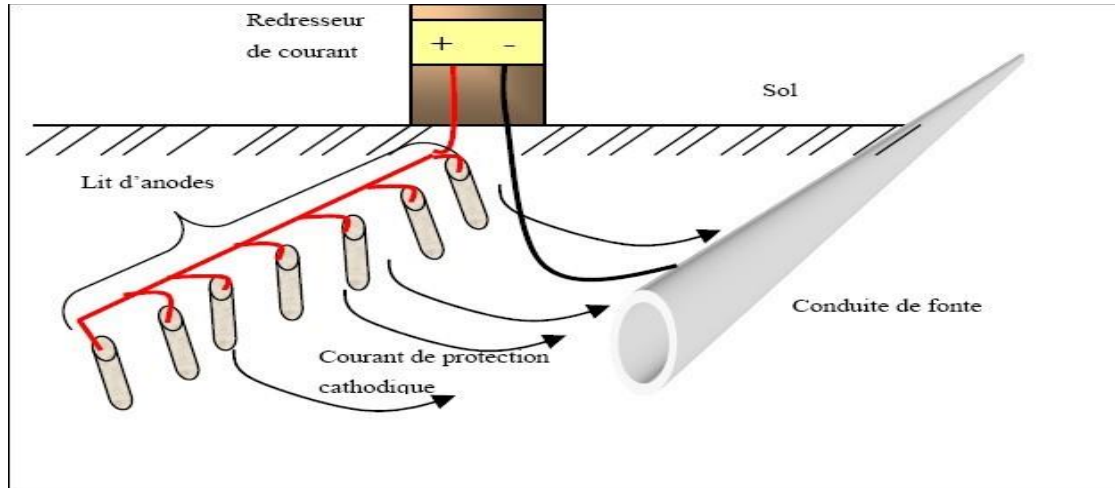


Fig. I.16. Schéma descriptif de la protection cathodique d'un métal par soutirage de courant.

### I.9.6.1. Principe de la protection cathodique

La Protection Cathodique d'un ouvrage métallique en contact avec un électrolyte consiste à placer cet ouvrage à un potentiel électrique négatif tel que la corrosion devienne thermodynamiquement impossible. Comme valeur de potentiel, au-dessous duquel l'acier ne peut se corroder dans un milieu ayant un pH compris entre 4 et 9, on admet le critère de -850mV, mesuré par rapport à l'électrode impolarisable au sulfate de cuivre en solution saturée [44]. Le principe de la Protection Cathodique trouve son application dans la pile élémentaire ou l'une des électrodes (anode) est toujours corrodée alors que l'autre ne l'est pas.



Fig. I.17. Principe de la protection cathodique.

### **I.9.6.2. Critères de la protection cathodique**

Les critères de la protection cathodique pour une structure d'acier enterrée dans le sol ou submergée sont déterminés par le standard de la « NACE » [45] : Cette norme énonce ce qui suit :

- \* Le seuil de potentiel de protection cathodique relevé sur la structure d'acier par l'intermédiaire d'une électrode de référence en cuivre-sulfate de cuivre doit atteindre la valeur de -850 mV. Cette valeur est le critère le plus souvent utilisé pour accepter le niveau de protection cathodique.
- \* La valeur du seuil de potentiel de -850 mV représente le potentiel de polarisation de la structure qui peut être réduit par la chute Ohmique créée entre l'électrode de mesure et la structure mesurée. Pour cela, l'électrode doit être toute proche de la structure pour réduire la chute Ohmique durant le relevé de potentiel.
- \* Une différence de polarisation (niveau de polarisation) de 100 mV peut être également utilisée comme un critère de protection pour une structure métallique soumise à une protection cathodique. Ce critère s'applique souvent sur une structure nue ou avec un revêtement endommagé où il est impossible d'atteindre le seuil de -850 mV.

### **I.9.6.3. Facteurs affectant la validité des critères**

Les critères de la protection cathodique peuvent être affectés par de nombreux paramètres environnementaux et structuraux tels que la température, la bactérie, l'influence du courant alternatif et la qualité du métal de la structure [46].

#### **➤ Température**

Pour un acier enterré dans un sol sous une température ambiante allant de 20 à 25 °C, les critères de protection de -850 mV (Cu/CuSO<sub>4</sub>) et une polarisation de 100 mV restent valables. Cependant, à une température de 60°C, ces critères ne sont plus jugés satisfaisants et auquel cas le seuil de protection doit être ajusté à -950 mV (Cu/CuSO<sub>4</sub>) et le niveau de polarisation de 150 à 250 mV au lieu de 100 mV.

#### **➤ Bactérie Sulfato-réductrice**

En présence de la bactérie Sulfato-réductrice à la température ambiante, le critère du potentiel de protection recommandé pour une structure d'acier enterrée passe à -950 mV



(Cu/CuSO<sub>4</sub>) au lieu de -850 mV et le shift de polarisation doit atteindre le seuil de 200 mV. Cependant, lorsque la température atteint les 60 °C en présence de bactéries, le shift de polarisation doit être ajusté encore une fois de 200 à 300 mV [46].

➤ **Courant alternatif**

Les investigations réalisées pour l'évaluation du niveau d'interférence des sources de courant alternatif indésirables ont révélé que l'effet d'interférence est proportionnel à la densité du courant présent à l'interface du métal/ électrolyte. Éventuellement, une densité de courant ( $i$ ) de 20 A/m<sup>2</sup> n'affecte pas les critères de protection alors que pour une densité supérieure de 100A/m<sup>2</sup>, le dommage de corrosion est considérable.

➤ **Type de métal**

Chaque métal est défini par son propre potentiel de corrosion. Ainsi, les seuils de protection sont ajustés convenablement à chaque type de métal [46].

➤ **Métaux dissimilaires**

Lorsque deux structures métalliques dissemblables sont connectées entre elles par un moyen approprié, l'effet de la corrosion galvanique développe un potentiel mixte différent du potentiel individuel de chacun d'elles. Pour cette raison, les critères de protection appliqués précédemment pour l'acier ou la fonte doivent aussi être ajustés.

➤ **Décollement de revêtement**

Lorsque le potentiel de la protection cathodique atteint le niveau de -1,12 V (Cu/CuSO<sub>4</sub>) à l'instant « OFF », l'évolution de l'hydrogène gazeux commence à se produire. Le gaz généré est généralement pris en otage à l'interface métal/revêtement ce qui provoque le décollement du revêtement (décollement cathodique). Il en résulte que ce phénomène va empêcher le courant de protection d'atteindre la zone de la structure affectée. De même, l'électrolyte entourant la structure métallique peut venir combler le vide créé à l'interface métal/revêtement/métal et ce qui permet d'activer les cellules de corrosion. En conséquence, les critères de protection à ces endroits du décollement deviennent difficiles à obtenir.

## I.10. Type de protection cathodique

La transformation d'une surface métallique corrodée à une surface protégée cathodiquement nécessite de ramener le potentiel naturel de celle-ci vers celui de la zone d'immunité. Pour y parvenir, on doit procéder à une installation d'un système de protection par courant continue dans le même électrolyte. La mise en œuvre d'un tel système requiert l'application de l'un des deux types d'anodes suivants :

1. Anodes galvaniques (sacrificielles) ayant un potentiel plus électronégatif que le métal à protéger.
2. Anodes branchées à un générateur électrique assurant la protection par courant impose.[46]

### I.10.1. Protection par anodes sacrificielles

Basé sur la connexion d'une anode ou une série d'anodes sacrificielles avec la structure à protéger en présence d'un milieu électrolytique conducteur (sol ou eau) comme la montre là (Fig. I.16). La structure se polarise négativement jusqu'à ce qu'elle atteigne un niveau de potentiel suffisant et uniforme qui assure l'immunité de la surface contre l'activité de corrosion. Le courant généré par les anodes sacrificielles du système de protection est la source du processus de polarisation de la structure métallique.

Au fil des années, l'anode se consomme graduellement selon un principe électrochimique défini par la loi de Faraday qui stipule que la masse consommée d'une matière impliquée dans la réaction d'oxydo-réduction est directement proportionnelle à la quantité du courant délivré. Ainsi, le taux de consommation de l'anode (g/A. Ans) dépend de la quantité du courant émis par l'anode, de la taille de l'anode et sa composition chimique ainsi que de la structure à protéger et de l'environnement [47].

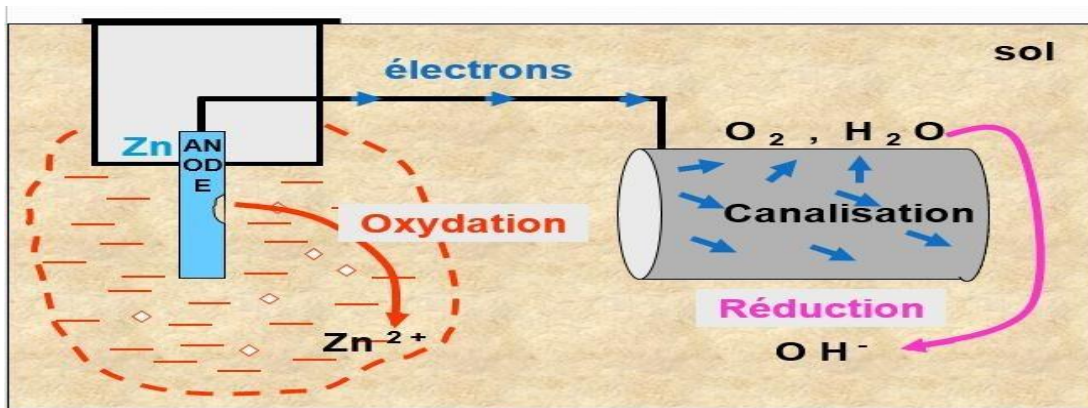


Fig. I.18. Principes de la protection par anodes sacrificielles.

### I.10.2. Choix des anodes sacrificielles

Il existe plusieurs types d'anodes dont les caractéristiques et les applications sont différentes. Dans le cas de la protection de l'acier, les anodes utilisées sont à base de zinc, d'aluminium ou de magnésium. Des études et l'expérience ont permis de déterminer, pour chacun des métaux les seuils d'impureté admissibles ainsi que les éléments d'alliage complémentaires nécessaires pour obtenir les meilleures performances. De nombreux alliages spécifiques pour la protection cathodique existent aujourd'hui sur le marché.

### I.10.3. Protection par courant imposé

Dans certaines situations de protection, les anodes sacrificielles ne peuvent pas délivrer suffisamment de courant pour une protection idéale. Cette situation est souvent rencontrée dans les cas de longues conduites ayant un grand diamètre et de conduites présentant un problème d'isolation. De même, certaines conditions environnementales peuvent parfois être à l'origine de ce genre de problèmes. Devant des circonstances pareilles, les ingénieurs de design favorisent l'application de la protection par courant imposé [48].

### I.11. Avantages et inconvénients des systèmes de la protection cathodique

L'utilisation d'un système de protection cathodique soit toujours bénéfique, la sélection du système à adopter demeure généralement assujettie à des conditions environnementales, énergétiques et économiques. Pour cela, une étude comparative doit être établie par l'ingénieur de design afin de mettre en relief les avantages et les inconvénients de chacun des systèmes de

protection. À titre d'exemple, le tableau 3.5 donne un aperçu sur les éléments comparatifs en question.

## **I.12. Facteurs affectant la protection cathodique**

L'efficacité d'un système de protection cathodique appliquée sur une conduite donnée peut être atténuée par certains facteurs mécaniques, physiques et environnementaux qui se manifestent sous différentes formes [49] :

- Insuffisance de continuité électrique ;
- Perte d'adhérence des revêtements sur la conduite à protéger ;
- Influence des structures adjacentes ;
- Influence des courants vagabonds (courant continu et courant alternatif).

### **❖ Insuffisance de continuité électrique**

L'insuffisance de la continuité électrique dans le système de protection cathodique se manifeste suite à une faible conductibilité électrique de l'électrolyte, soit par la présence d'un revêtement qui inhibe le passage du courant de protection. Ce manque de flux de courant se traduit par une insuffisance au niveau de la polarisation de la structure. Il s'ensuit alors que les critères de protection cathodique ne peuvent pas plus être conclus. Pour éviter que cela ne se produise, il est donc nécessaire d'assurer la continuité électrique en tous points de la structure. Il est à noter que, pour le cas des réseaux d'aqueduc, la présence des joints de raccordement non continus électriquement entre les différents éléments de l'ouvrage forme un blocage de circulation de courant. Ce fait oblige le courant de s'échapper de la conduite pour aller suivre d'autres chemins moins résistants ce qui crée des zones chaudes au niveau la structure (points de corrosion).

### **❖ Perte d'adhérence des revêtements**

L'apparition du phénomène de décollement des revêtements provoqué par un excès de protection cathodique exige aux utilisateurs de ce système de respecter le seuil de potentiel d'évolution du gaz d'hydrogène une fois que le système est opérationnel. L'application d'une telle spécification permet d'éviter le décollement du revêtement et la dépolarisation rapide de la structure.

❖ **Influence des structures adjacentes**

La présence voisine des structures métalliques dans un électrolyte conducteur peut induire des interférences électriques défavorables sur la structure. Le courant électrique délivré par les anodes de protection a tendance à s'échapper de la source pour embarquer sur une structure adjacente non protégée et ce avant de rejoindre la structure à protéger. De ce fait, les critères de protection cathodique peuvent être affectés et les points de sortie du courant de protection créés sur la structure voisine sont exposés à la corrosion.

❖ **Influence des courants vagabonds**

Les courants vagabonds se définissent comme étant des courants qui abandonnent leurs sources d'origine pour aller circuler dans le sol et chercher par la suite le parcours qui leur offre le minimum de résistance. Ces courants électriques qui empruntent le chemin métallique le plus proche à rencontrer. Le comportement de ce type de courant est généralement variable en termes d'intensité, de direction et de trajet. Ils affectent souvent le système de protection cathodique de la structure et conduisent à la formation des cellules de corrosion aux points de sorties.

Les courants vagabonds proviennent souvent des installations nourries aussi bien en courant continu qu'en courant alternatif. En courant continu, ces courants s'émanent d'installations mal isolées par rapport au sol comme les voies ferrées électrifiées. En courant alternatif, les structures métalliques sont susceptibles de recevoir des interférences au voisinage des lignes de haute tension où l'excès de courant injecté dans les structures produit sous l'effet inductif et capacitif perturbe les critères de la protection cathodique. Ainsi, l'emplacement des lignes de transmission de courant alternatif devrait être souligné lors de la conception des systèmes de protection cathodique.

### **I.13. Effets de la protection cathodique**

De nombreux auteurs démontrent que la réaction cathodique conduit à l'alcalinisation locale du milieu électrolytique au contact du métal en cas de défaut de revêtement [Stratmann et coll. (1996), Beavers et Thompson (1997), Korzhenko et coll. (1999), Amouroux et coll. (2000) et (2001)].

Cette alcalinisation peut avoir deux types de conséquences relativement antagonistes. Tout d'abord, elle peut contribuer à faciliter la dégradation de la liaison adhésive revêtement/métal

## *CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA CORROSION*

---

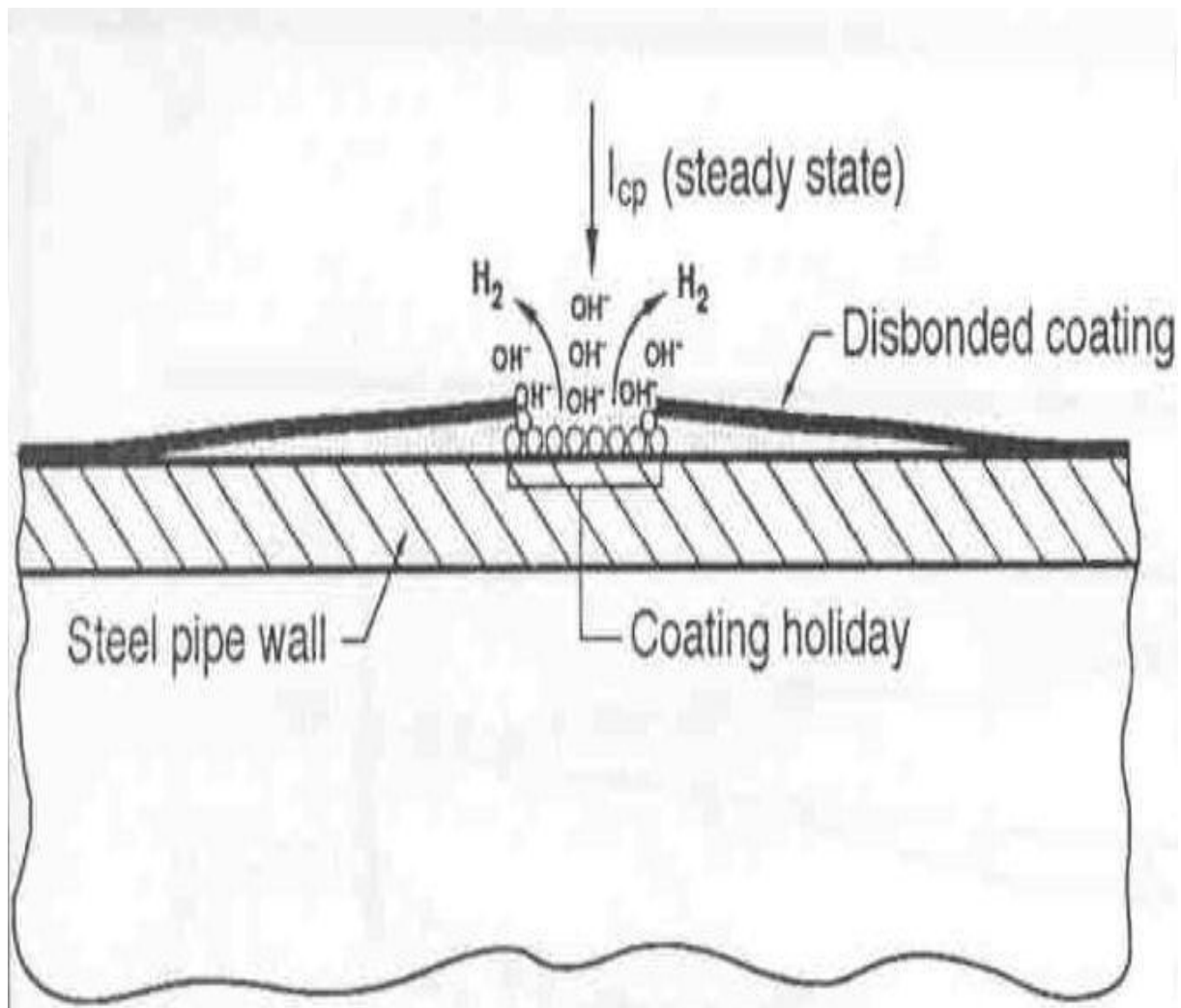
par attaque chimique de type hydrolyse alcaline des liens chimiques engagés dans l'adhésion (c'est le cas des revêtements avec sous couche époxy).

D'autre part, elle peut modifier le milieu aqueux local et contribuer à faciliter la passivation du métal en favorisant localement une croissance d'un film passivant protecteur du métal mis à nu. De prime abord, il convient de distinguer les revêtements minces tels que les peintures, des revêtements épais de type polyoléfines.

Pour ce qui concerne les revêtements minces, Walter explique que la perte d'adhésion se déroule suivant plusieurs processus. Le transport d'eau, d'oxygène et d'ions au travers des revêtements jusqu'à l'interface polymère/métal est la première étape de dégradation. L'utilisation de revêtements protecteurs épais et très imperméables comme le polyéthylène ou les polyoléfines ralentit considérablement ce processus. En pratique, de tels décollements sur des revêtements sans défauts de surface ne peuvent se produire qu'au bout d'un temps relativement long. De plus, la relative imperméabilité aux espèces corrosives de ces revêtements implique qu'en l'absence de défauts et même après décollement total de la liaison adhésive, l'endommagement par corrosion reste négligeable. De ce fait, pour ce type de revêtement, ce n'est qu'en présence de défauts macroscopiques que la dégradation de la liaison adhésive par l'eau, éventuellement amplifiée par la polarisation cathodique, est susceptible de conduire à des risques de corrosion locale du métal.

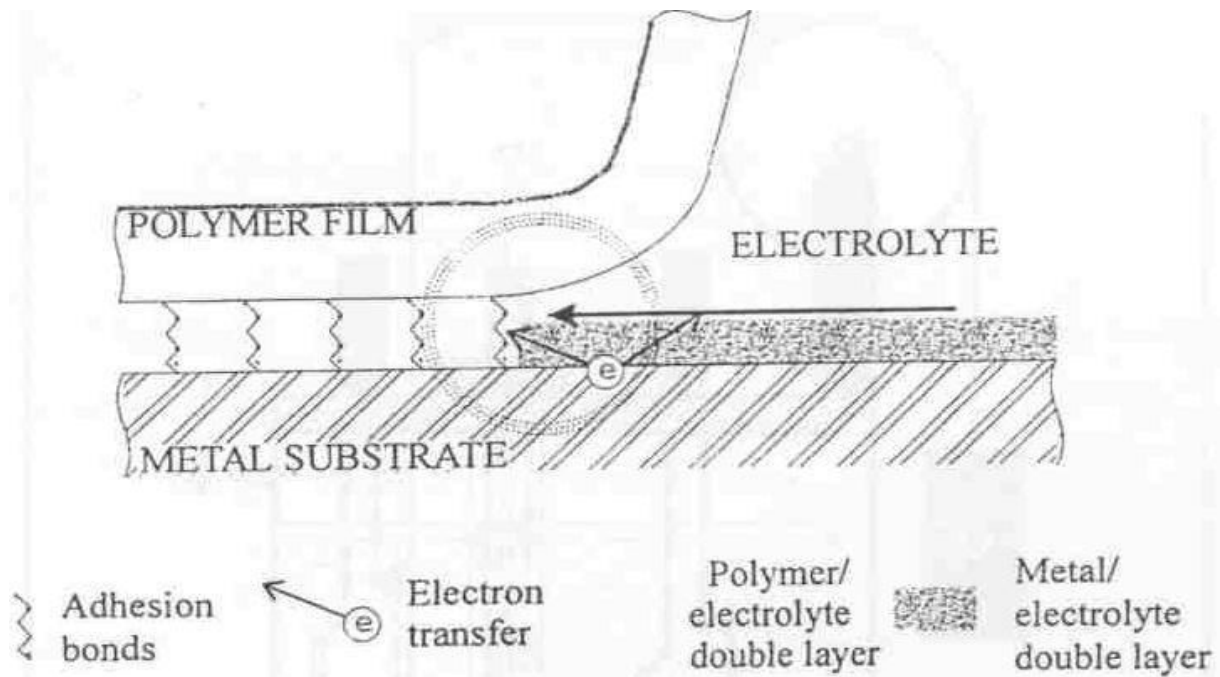
Dans de nombreux cas, l'association de plusieurs revêtements est utilisée pour protéger au mieux le métal [Brousseau et Qian (1994), Cherry et coll. (2000)].

Ce n'est donc que lorsqu'il existe un défaut macroscopique du revêtement que le processus de décollement est susceptible d'être endommageant pour le métal (Figure I.19). La réaction cathodique produit des ions OH<sup>-</sup> et du dihydrogène H<sub>2</sub> qui contribue le plus souvent à accélérer le décollement progressif du revêtement au voisinage du défaut. [50]



**Fig.I.19.** Effet d'un courant cathodique sur le décollement du revêtement.

Pour certains auteurs, le phénomène de décollement est le résultat d'un processus électrochimique qui intervient à l'interface polymère/métal [Koehler (1984)]. Le substrat métallique est polarisé le long du défaut dans une zone spécifique nommée MPEI (métal/polymère/électrolyte interface) (Figure I.20).



**Fig.I.20.** Schéma de la zone MPEI (Métal/Polymère/Electrolyte/Interface).

### I.15. Économique de la corrosion

Les effets directs ou indirects de la corrosion sont résumés ci-après :

- coût des pièces à remplacer, des réparations à effectuer.
- coût de l'entretien et du contrôle (mise en peinture, protection cathodique).
- coût dû à l'utilisation de matériaux plus nobles.
- augmentation des coefficients de sécurité.
- contamination du produit par les produits de corrosion.
- arrêt de production. [51]



## **I.15. Conclusion**

Les causes de la zone de corrosion sont multiples et compliquées et qu'elles résultent d'interactions chimiques et / ou physiques entre le tissu et son atmosphère. La question de la corrosion de nombreux ouvrages sont consacrés à ce fléau. Au cours de ce chapitre, nous avons tendance à nous intéresser à une étude extrêmement bibliographique sur ce développement, sur les stratégies de protection standard et l'intérêt appliqué. Il y a un certain nombre de voies et moyens pour combattre la corrosion, et l'une de ces stratégies est inhibiteur, que nous étudierons dans le deuxième chapitre.

## References bibliographiques

- [1]. A Short introduction to corrosion and its control, corrosion in the metals and its prevention, National Corrosion Service, NPL, 2003.
- [2]. H. El Bakouri. Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide orthophosphorique par un antibiotique organique. Mémoire pour du DESA. Université Mohammed 1 – Oujda.
- [3]. Phénomènes de corrosion ; protection des métaux.
- [4]. R. Mehibil. Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium. Université de Skikda, 2008.
- [5]. Coombs J., Fundamentals of corrosion mechanics, Chevron Corporation, New York 1999.
- [6] Corrosion et prévention, Institut algérien du pétrole-corporatif université, Algérie, 2006.
- [7]. R. Mehibil. Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium. Université de Skikda, 2008.
- [8]. D. Nadir ; R. Rabah. Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion, 2004.
- [9]. Lefevre, B. (2014). Corrosion des aciers revêtues de Zinc dans les zones confinées des carrosseries automobiles, Thèse de doctorat, Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- [10]. Phénomènes de corrosion ; protection des métaux.
- [11] R. Mehibil. Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium. Université de Skikda,
- [12]. D. Landolt, Corrosion et Chimie de Surface des Métaux. Traité des matériaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (1993).2008.

[13]. H. El Bakouri. Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide orthophosphorique par un antibiotique organique. Mémoire pour du DESA.

Université Mohammed 1 – Oujda.

[14]. H. Mamache. “ Etude du problème de corrosion au niveau des installations du surface ». Mémoire de fin de période de mise en situation professionnel Ingénieur Exploitation. IAP. 2017.

[15]. O. Belahssen., mémoire de magister, Université de Annaba, (2008).

[16]. Commission exploitation., Corrosion et inhibition des puits et collectes, chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, Edition Technip, Paris, 1981.

[17]. Ketcham, S.J., Shaffer, I.S. (1972). Exfoliation Corrosion of Aluminum Alloys, ASTM, STP 516, pp.3-16.

[18]. J.J. Lamoureux, "Précis de corrosion", Edition « ns MASSON, (1994).

[19]. J. Leconte, " Tuyauterie : protection contre la corrosion", Technique de l'ingénieur, Traité Génie mécanique, A830, (1981).

[20]. E. Nouicer, « Comportement électrochimique et propriétés mécaniques de l'alliage de Titane Ti6Al14V. Effet des traitements de surface », Thèse de Doctorat, Université Constantine, 2009.

[21]. Ketcham, S.J., Shaffer, I.S. (1972). Exfoliation Corrosion of Aluminum Alloys, ASTM, STP 516, pp.3-16.

[22]. O. Belahssen., mémoire de magister, Université de Annaba, (2008).

[23]. Corrosion des métaux, ENSPM formation industrie - Formation IFP, France, 2005.

[24]. J.J. Lamoureux, "Précis de corrosion", Edition « ns MASSON, (1994).

[25]. R.D. Kane, S. Srinivasan, “experience survey on corrosion monitoring and mitigation techniques for sweet well production.” CLI International, INC, HOUSTON, TX.

[26]. AGGOUNE Fateh., évaluation de l'endommagement Des tubes dans leurs conditions

D'exploitation, Magister.

[27]. Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel. Commission Exploitation, La Protection cathodique. Guide pratique, Editions Technique, Paris, 1986.

[28]. Lefevre, B. (2014). Corrosion des aciers revêtues de Zinc dans les zones confinées des carrosseries automobiles, Thèse de doctorat, Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI.

[29]. H. Uhlig, « corrosion et protection ». Ed. DUNOD, Paris 1970.

[30]. P. Olav Gartland, "Choosing the right positions for corrosion monitoring on oil and gas pipelines", Corr Ocean USA, Paper, Nace, Houston, 1998.

[31]. P. Boumersbach, C. Dumont, J. P. Millet, "electrochemical characterization of a corrosion inhibitor: influence of temperature on the inhibition mechanism." 207th meeting of the electrochemical society, Quebec City (Canada), 2005.

[32]. R.D. Kane, S. Srinivasan, "experience survey on corrosion monitoring and mitigation techniques for sweet well production." CLI International, INC, HOUSTON, TX.

[33]. P. Olav Gartland, "Choosing the right positions for corrosion monitoring on oil and gas pipelines", Corr Ocean USA, Paper, Nace, Houston, 1998.

[34]. P. Boumersbach, C. Dumont, J. P. Millet, "electrochemical characterization of a corrosion inhibitor: influence of temperature on the inhibition mechanism." 207th meeting of the electrochemical society, Quebec City (Canada), 2005.

[35]. Dieter L., Corrosion et chimie de surface des métaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1993.

[36]. R. BENSIMON, les matériaux métalliques, tome III, la corrosion des matériaux métalliques, pages 49, 50.

[37]. M. Annou, Mémoire magister « Etude de la résistance à la corrosion des dépôts composites (Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) », Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 2013.

[38]. J.J. Lamoureux, "Précis de corrosion", Edition » ns MASSON, (1994).

[39]. Dieter L., Corrosion et chimie de surface des métaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1993.

*CHAPITRE 1 :*  
*GENERALITES SUR LA CORROSION*

---

- [40]. Mr. Marec. « Corrosion et protection cathodique ». Ecole d'application des techniques gazières. Protection contre la corrosion. 1996.
- [41]. J.J. Lamoureux, "Précis de corrosion", Edition « ns MASSON, (1994).
- [42]. Dieter L., Corrosion et chimie de surface des métaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1993.
- [43]. Paumelle, P., « Simulation des systèmes de protection cathodique », Corrosion et Anticorrosion, CETIM, (25 au 26 novembre 1997), 71-84.
- [44]. M. Ghellai Etude sur le système de protection Cathodique PC et Maintenance de la Canalisation Multi produit ASR/ NAFTAL mémoire master, université de Tlemcen 2013.
- [45]. NACE SP0169. Standard practice. Control of external corrosion on underground of submerged metallic piping, Houston. Nace international. pp29.
- [46]. D. Bouzidi « corrosion et protection cathodique des conduites souterrains ». Ecole de technologie supérieure université du Québec. 2001.
- [47]. A. Marif. « Etude sur la méthode de maintenance par protection cathodique - Cas de la ligne de pipeline GZ1 40'' ». Mémoire Pour l'obtention du diplôme du master génie mécanique. Université Abou Bekr Belkaid–Tlemcen. 2014.
- [48]. Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel. Commission Exploitation, La Protection cathodique. Guide pratique, Editions Technique, Paris, 1986.
- [49]. D. Bouzidi « corrosion et protection cathodique des conduites souterrains ». Ecole de technologie supérieure université du Québec. 2001.
- [50]. F. Coeuille Revêtements polymères de canalisation de fluide : Caractérisation et évolution de l'adhésion En milieu agressif 2002.
- [51]. H. El Bakouri. Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide orthophosphorique par un antibiotique organique. Mémoire pour du DESA. Université Mohammed 1 – Oujda.

# **CHAPITRE II LES INHIBITEURS DE CORROSION**

## **II.1. Inhibiteurs de corrosion**

### **II.1.1. Historique**

Comme dans plusieurs domaines différents, il est difficile de voir l'origine précise de l'inhibition considérée comme une technologie distincte. Pourtant, il y a plusieurs décennies, il a été absolument découvert que le dépôt de chaux formé dans les tuyaux transportant les eaux naturelles liées protégeait ce tuyau ; au lieu d'augmenter perpétuellement la résistance à la corrosion des tuyaux en agissant directement sur eux, il est très judicieux de réguler les concentrations minérales des solutions transportées, cette mesure carrée à l'origine des dépôts calcaires « protecteurs ». En 1945, il n'y avait qu'une 30 d'articles traitant des inhibiteurs. Dans un article de 1948, Wald Rip a parlé d'un rapport de 1943 concernant sa discussion de la protection contre la corrosion dans les puits de pétrole [1].

Divers articles sur l'inhibition ont été écrits tout au long de la période allant de 1945 à 1954 : ceux-ci proscrivaient, entre autres, l'inhibition dans les domaines de l'aviation, de chaudières, des systèmes de refroidissement, des moteurs diesel, du déneigement des sels, des raffineries de pétrole, des pétroliers ...

Les articles révélés tout au long de cette époque témoignent d'un bon développement technologique dans l'inhibition de la corrosion. Au cours des quarante dernières années, on identifie une gamme croissante de résumés, d'articles et de différents ouvrages sur ce sujet : en 1970, 647 articles traitant de l'inhibition ont été recensés [2].

### **II.1.2. Définition**

Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui, ajouté à faible concentration au milieu corrosif ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu [3].



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

**Fig. II.1.** Métal au contact d'un milieu agressif.

## II.2. Conditions d'utilisation

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être utilisé comme unique moyen de protection :

- ❖ Soit comme protection **permanente** : l'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métalliques (ferreux non alliés, par exemple) dans des conditions satisfaisantes de résistance à la corrosion ; une surveillance de l'installation s'impose [4].
- ❖ Soit comme protection **temporaire** : pendant une période où la pièce ou l'installation est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage). Dans ce cas, le contrôle du système est à priori plus simple, la prévision du comportement de l'inhibiteur dans le temps étant plus facile à faire.

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être combiné à un autre moyen de protection : protection supplémentaire d'un alliage à haute résistance à la corrosion, addition à un revêtement de surface tel que peinture, graisse, huile [4].

## II.3. Propriétés des inhibiteurs

- Doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier,
- Être compatible avec les normes en vigueur de non-toxicité et de protection de l'environnement,



- Être efficace à faible concentration,
- Être stable en présence d'autres constituants,
- Être stable dans le domaine de températures utilisé [5].

## II.4. Domaines d'utilisation

Les inhibiteurs de corrosion sont utilisés dans plusieurs domaines d'applications tels que :

- Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux des procédés industriels, eaux de chaudières, etc.),
- L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport,
- Les peintures où les inhibiteurs de corrosion sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux [6].

## II.5. Efficacité des inhibiteurs de corrosion

Il existe plusieurs façons d'exprimer l'efficacité d'un inhibiteur ou d'une formulation inhibitrice. Les expressions les plus courantes sont :

- le taux d'inhibition, le plus souvent utilisé [7]

$$\tau\% = \left[ \frac{u_0 - u}{u} \right] \cdot 100 \% \quad (\text{II.1})$$

Où :  $u_0$  est la mesure de la corrosion (perte de masse, intensité de corrosion, etc.) en l'absence d'inhibiteurs ;  $u$  est la mesure de la corrosion en présence d'inhibiteurs.

## II.6. Classes d'inhibiteurs

Il existe plusieurs possibilités de classer les inhibiteurs, celles-ci se distinguant les unes des autres de diverses manières.

- Soit à partir de la formulation des produits (inhibiteurs organiques ou minéraux),
- Soit à partir de leur mécanisme d'action électrochimique (inhibiteurs cathodiques, anodiques ou mixtes),
- Soit à partir de leurs mécanismes d'interface et principes d'action (adsorption à la surface du métal et/ou formation d'un film protecteur). [8].

Les inhibiteurs de corrosion peuvent être classifiés selon trois critères suivants :

- Selon la réaction partielle,
- Selon le mécanisme réactionnel,
- Selon le domaine d'application.

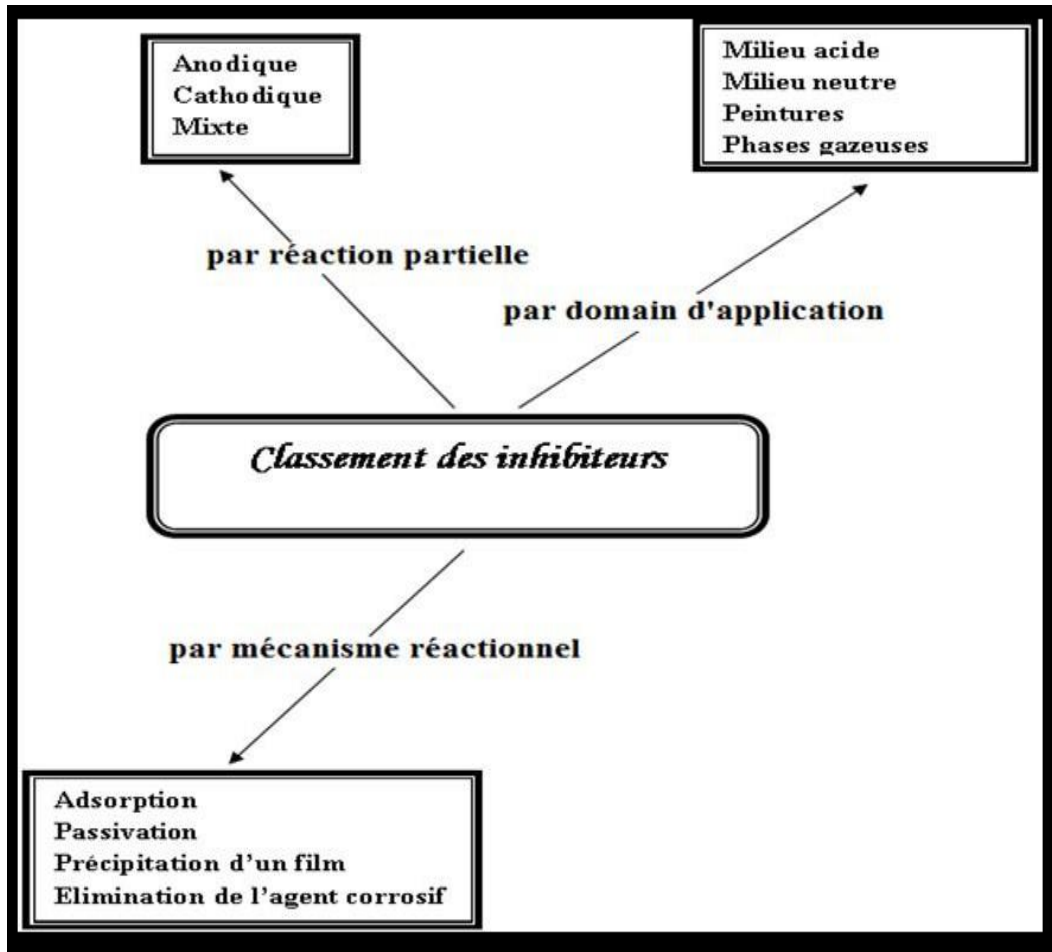


Fig. II.2. Classement des inhibiteurs de corrosion.

## II.6.1. Classification selon la réaction partielle

### II.6.1.1. Inhibiteurs anodiques ou passivant

Les inhibiteurs anodiques augmentent la polarisation anodique ce qui déplace le potentiel de corrosion du matériau dans les plus positives afin de l'amener à une valeur pour laquelle il y a formation d'un film passif protecteur du matériau.

Il existe deux catégories d'inhibiteurs passivant :

- ✓ Les ions oxydants comme  $\text{CrO}_4^{2-}$  qui peuvent passiver l'acier en l'absence d'oxygène ;
- ✓ Les ions non oxydants ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{WO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{B}_4\text{O}_7\text{Na}_2$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ ) qui nécessitent la présence d'oxygène et déplacent la réaction cathodique de réduction de ce dernier en favorisant son adsorption à la surface du métal [9,10].

### II.6.1.2. Inhibiteurs cathodiques

Cathodiques Ces inhibiteurs réduisent la réaction cathodique en empêchant l'oxygène d'atteindre la surface à protéger et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens négatif (Fig. II.3). Les sels de magnésium, de manganèse, de zinc et de nickel font partie de ces inhibiteurs. Ces sels diminuent le taux de corrosion du fer et de l'acier. Les inhibiteurs cathodiques forment un film visible sur le métal mais n'arrêtent pas complètement l'attaque [11].

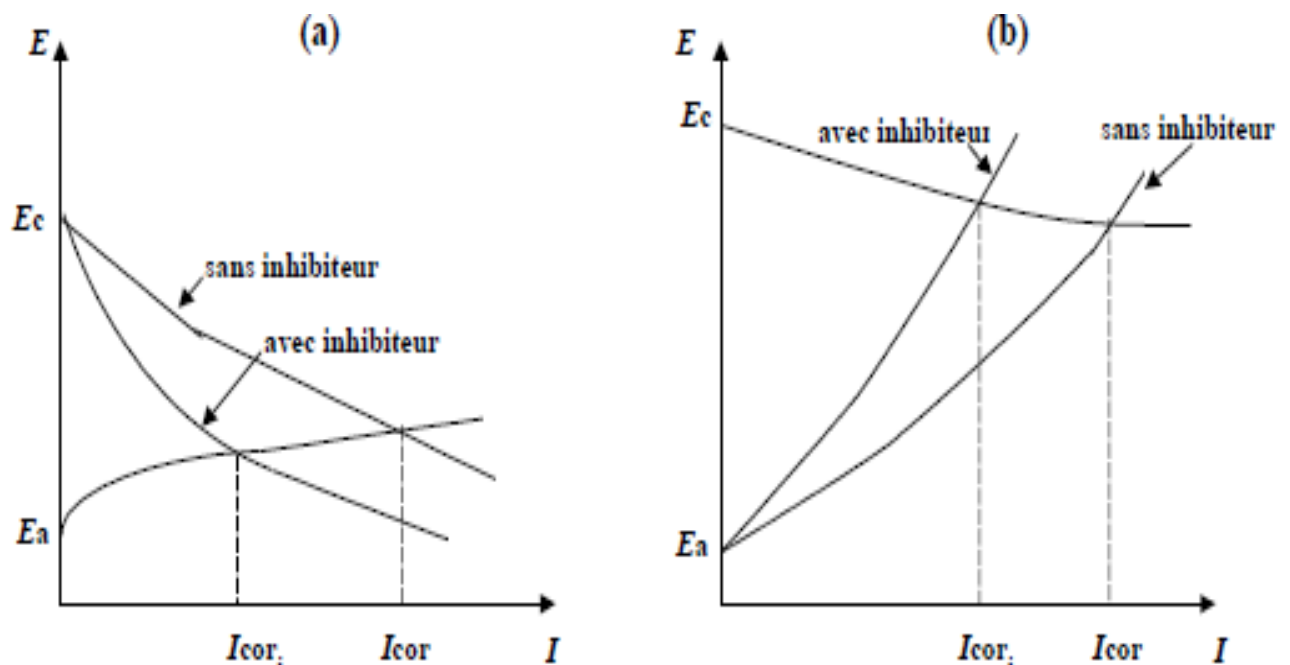


Fig. II.3. a) Contrôle cathodique de la corrosion, action d'un inhibiteur cathodique et b) Contrôle anodique de la corrosion, action d'un inhibiteur anodique.

### II.6.1.3. Inhibiteurs mixtes

Ces inhibiteurs diminuent la vitesse des réactions anodiques et cathodiques et par conséquent la vitesse de corrosion par augmentation la résistance de la solution suite à la formation d'un film à la surface du métal. Le déplacement de potentiel de corrosion lié par le sens de la formation de ce film, s'il est déposé à la surface cathodique, le potentiel de corrosion balance vers des valeurs négatives ou bien le cas contraire, le potentiel de corrosion se déplace

vers des valeurs positives. Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles mais modifient peu le potentiel de corrosion [9,10].

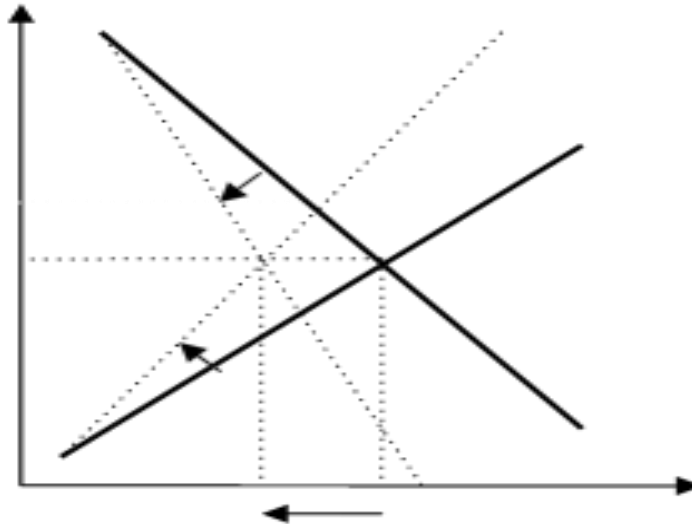


Fig. II.4. Présence d'inhibiteur mixte.

## II.6.2. Classification selon le domaine d'application

### II.6.2.1. Inhibition en milieu acide

Les inhibiteurs en milieu acide sont utilisés pour éviter l'attaque chimique de l'acier durant l'opération de décapage ou de détartrage, qui se font tous en milieu acide. Ils sont employés dans l'industrie pétrolière en les ajoutant aux fluides de forage. Pour le milieu acide, ce sont les inhibiteurs organiques qui sont souvent utilisées, et ceci à cause de leur capacité exceptionnelle à s'adsorber sur les surfaces métalliques, ce qui bloque les sites électro-actives. Elles contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, qui est essentiellement une chaîne de carbone et d'hydrogène, et une partie polaire hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels. Le groupe fonctionnel participe dans l'adsorption à la surface métallique, alors que la partie non polaire bloque partiellement la surface active, et cette participation du groupe fonctionnelle dans l'adsorption peut être une simple attraction des sites polaires ou un partage des électrons par conjugaison [14]. Les autres inhibiteurs forment des complexes relativement insolubles avec les cations métalliques

suit à la dissolution partielle du métal. Les complexes formés se précipitent ensuite sur la surface du métal, formant ainsi des couches protectrices superficielles.

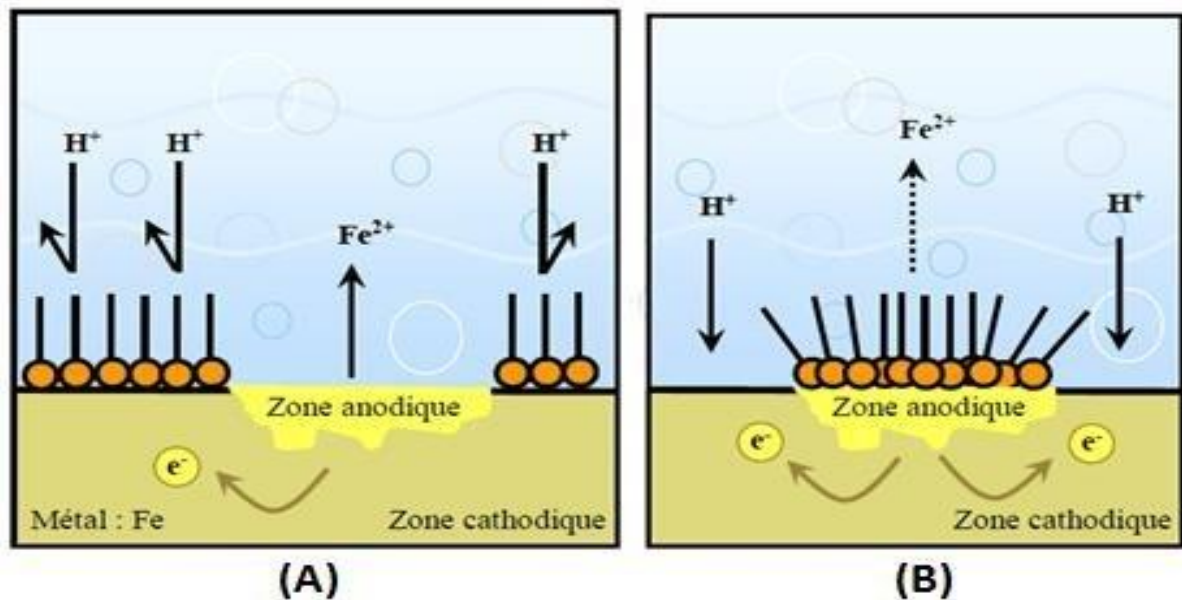


Fig. II.5. Formation des couches barrières cathodiques (A) et anodiques (B), en milieu acide.

### II.6.2.2. Inhibition en milieu neutre

Les inhibiteurs de corrosion en milieu neutre ou alcalin sont souvent utilisés pour protéger les conduites des circuits de refroidissement. Puisque l'oxydation en milieu neutre provient essentiellement d'une attaque par l'oxygène dissous, le métal peut être protégé en réduisant la cinétique de transfert de l'oxygène vers la surface, et ceci diminuera ensuite la cinétique de la réduction cathodique. Il existe d'autres manières pour diminuer le taux de corrosion en jouant sur la passivation du métal ou bien par des molécules aptes à l'adsorption. L'inhibition par précipitation en milieux neutres, se fait par la création des films superficiels qui présentent une barrière de diffusion aux espèces électro-actives migrant vers les sites cathodiques. Exemples de ces inhibiteurs sont les polyphosphates et les organon-phosphates. En ce qui concerne l'inhibition par passivation, son intérêt pratique réside dans la protection de l'acier ou d'autres métaux employés dans un système de refroidissement. Les inhibiteurs oxydants et les agents tampons (assurant le maintien d'un pH élevé) favorisent la formation des oxydes/hydroxydes peu solubles sont des exemples pour ce cas.[14]

**a. Inhibition par passivation**

Elle sert notamment à protéger l'acier dans les circuits d'eau de refroidissement. Ce type d'inhibition peut être obtenu par les inhibiteurs oxydants et les agents tampons qui maintiennent le pH élevé au voisinage de la surface du métal [15].

**b. Inhibition par précipitation**

En milieux neutres, de nombreux inhibiteurs forment des couches superficielles par précipitation, tels les polyphosphates ( $\text{NaPO}_3$ ) n et les organo-phosphates. Agissant principalement sur la réaction cathodique (barrière de diffusion), ils réduisent la vitesse de corrosion en présence d'oxygène.

**c. Inhibition pour circuits de refroidissement**

L'efficacité d'un inhibiteur dépend de nombreux facteurs, telles que les conditions hydrodynamiques, composition chimique de l'eau, température, microstructure de l'alliage, etc. Donc, pour protéger ces circuits on doit faire des essais. En pratique, on utilise le plus souvent des mélanges d'inhibiteurs afin de combiner plusieurs modes de protection [16].

### **II.6.2.3. Inhibition en phase gazeuse**

Les inhibiteurs pour phases gazeuses sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport et le stockage tels les instruments de précision, les composants électroniques, les machines, etc. Il s'agit le plus souvent de composés organiques ayant une pression de vapeur élevée, notamment certaines amines. Ces composés s'adsorbent sur la surface métallique et la protègent contre la corrosion atmosphérique. Le nitrite de dicylohexylamine est utilisé pour préserver l'acier [17].

### **II.6.2.4. Inhibiteurs pour peintures**

L'utilisation de ce type d'inhibiteurs permet la formation d'une barrière physique entre le milieu agressif et le métal à protéger. Les peintures contiennent des pigments inorganiques ou des tanins qui agissent comme inhibiteur de corrosion.[17]

Les pigments les plus connus sont :

- 1) L'oxyde de plomb  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  ;
- 2) Le chromate de zinc  $\text{ZnCrO}_4$ .

### II.6.3. Classification par mécanisme réactionnel

#### II.6.3.1. Inhibition par adsorption

La corrosion peut ralentir suite à l'adsorption d'un inhibiteur à la surface du métal.

Ce mécanisme est particulièrement important en milieu acide [18].

#### II.6.3.2. 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

#### II.6.3.3. Inhibition par précipitation

Certains inhibiteurs provoquent la formation de films superficiels par précipitation de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles. Ces films réduisent l'accessibilité de l'oxygène à la surface et, en plus, ils bloquent partiellement la dissolution anodique [18].

#### II.6.3.4. 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 ou d'hydrazine ajoutée à l'eau, préalablement dégazée et déionisée, supprime les dernières traces d'oxygène et élimine ainsi la corrosion [19]. Par exemple, l'ajout d'hydrazine :



### II.7. Nature de l'inhibiteur

#### II.7.1. Inhibiteurs organiques

Les molécules organiques sont promises à un développement plus que certain en termes d'inhibiteur de corrosion : leur utilisation est actuellement préférée à celles d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. Les inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière. Ils possèdent au moins un atome servant de centre actif pour leur fixation sur le métal tel que l'azote (amines, ammoniums quaternaires, amides, imidazoles, triazoles...), l'oxygène (alcools acétyléniques, carboxylates, oxadiazoles...), le soufre (dérivé de la thio-urée, mercaptans, sulfoxydes, thiazoles...) ou le

CHAPITRE 2 :  
LES INHIBITEURS DE CORROSION

---

phosphore (phosphonates). L'une des limitations dans l'utilisation de ces produits peut être l'élévation de la température, les molécules organiques étant souvent instables à chaud [20]. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont :

- ❖ La radicale amine (-NH<sub>2</sub>),
- ❖ Le radical hydroxyle (-OH),
- ❖ Le radical carboxyle (-COOH),
- ❖ Le radical mercapto (-SH).



Fig. II.6 : Un inhibiteur organique de corrosion.

### II.7.2. Inhibiteurs minéraux

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin et plus rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et ce sont souvent leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions et cations). Les cations inhibiteurs sont essentiellement Ca<sup>2+</sup> et Zn<sup>2+</sup> et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle OH<sup>-</sup>. Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type XOn<sup>-</sup> tels que les chromates, les molybdates, les phosphates, les silicates, .... [21,22].



## II.8. Etude de certains inhibiteurs de corrosion

### II.8.1. Chlorure de zinc

Le chlorure de zinc est un inhibiteur cathodique. Ce type d'inhibiteur réduit la réaction cathodique en empêchant l'oxygène d'atteindre la surface à protéger. Ils forment un film protecteur sur les surfaces alcalines cathodiques par la création d'un composé insoluble dans les zones de pH élevé. L'accumulation d'ions  $\text{OH}^-$  résultant de la réaction de réduction de l'oxygène ou de l'eau au voisinage des cathodes entraîne la précipitation d'hydroxydes tels que  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , etc.

Ces hydroxydes créent des couches isolantes peu conductrices s'opposant à l'accès de l'espèce cathodique à la surface et diminuant ainsi la vitesse de corrosion.

Cependant, les ions  $\text{Zn}^{2+}$  ne couvrent pas toute la surface, la protection s'établit très rapidement mais n'est pas très durable, donc ils sont généralement utilisés avec d'autres inhibiteurs [23].



### II.8.2. Chromates

Les chromates sont des inhibiteurs anodiques puissants. L'anion chromate  $\text{CrO}_4^{2-}$  présente une efficacité supérieure à l'anion bichromate  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  [18]. Les composés inorganiques les plus utilisés sont de type  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  et  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Leurs modes d'action sont de s'adsorber à la surface du métal si celui-ci est nu, ou bien de s'incorporer dans la couche d'oxyde superficielle préexistante pour la stabiliser et renforcer son pouvoir d'isolant électrique [24].

L'épaisseur du film d'oxyde ne varie pas sur la surface du métal en présence de l'inhibiteur. Une augmentation de la température entraîne une diminution de l'efficacité des chromates. Ce type d'inhibiteur est particulièrement dangereux s'il est utilisé à faibles concentrations, car il produit la corrosion par piqûres. Ce risque, en pratique, se matérialise peu. Cela peut être expliqué par un effet partiel de cet inhibiteur sur la réaction cathodique.

### II.8.3. Molybdates

De structure analogue à l'anion chromate, l'anion molybdate  $\text{MOO}_4^{2-}$  possède un pouvoir inhibiteur moins marqué et son action doit être combinée à celle d'un oxydant (le plus souvent l'oxygène) pour aboutir à un état de passivation satisfaisant du fer en solution neutre.

A plus faible concentration, il y a risque d'accélération de la corrosion et éventuellement de localisation de celle-ci. L'utilisation plus fréquente des molybdates provient essentiellement du fait que ces produits ne sont pas toxiques et pourraient donc se substituer aux chromates. En milieu acide, ils déposent des composés colorés du molybdène [25].

### II.8.4. Nitrites

Ces inhibiteurs, quoique très efficaces, sont considérés comme dangereux parce que conduisant fréquemment à des phénomènes de corrosion par piqûres [26]. Ce risque ne devrait pas exister si la concentration en nitrite est maintenue à un niveau suffisant, qui dépend largement de la nature et de la concentration des anions agressifs présents dans le milieu corrosif, ainsi que du pH de celui-ci.

En présence de nitrite de sodium, le potentiel de circuit ouvert du fer se trouve déplacé vers des potentiels plus électropositifs, jusqu'à la zone de passivité du métal. La réduction cathodique des ions nitrites se trouve accélérée à un certain degré en raison de leur adsorption avec les ions  $\text{OH}^-$  sur la surface du métal par l'intermédiaire des atomes d'oxygène. Cette adsorption facilite la formation d'un oxyde protecteur [27].

Dans la plupart des milieux acides, ils se décomposent, formant de l'oxyde d'azote volatil et du peroxyde d'azote. Comme d'autres substances passivantes, ils tendent à produire de la corrosion par piqûres pour des concentrations proches de la valeur critique en présence des ions  $\text{Cl}^-$  ou  $\text{SO}_4^{2-}$ . Dans cette éventualité, les nitrites sont moins sensibles à  $\text{Cl}^-$  qu'à  $\text{SO}_4^{2-}$ , contrairement au cas des chromates. Comme dans le cas des chromates, les nitrites sont réservés à des systèmes entièrement hermétiques [27].

## II.9. Structure moléculaire des inhibiteurs

Parmi les inhibiteurs pour solutions acides, on trouve un grand nombre de substances organiques différentes, notamment des molécules aromatiques et des macromolécules à chaînes linéaires ou branchées [28, 29]. Ils s'adsorbent sur les sites actifs de la surface métallique, sans altérer le mécanisme des réactions électrochimiques partielles. Ils bloquent les sites et réduisent

*CHAPITRE 2 :*  
*LES INHIBITEURS DE CORROSION*

---

la vitesse de la corrosion cathodique, anodique ou mixte en relation avec le pourcentage des sites actifs recouverts par l'inhibiteur. Leur efficacité dépend, entre autres, de leur structure moléculaire et de leur concentration.

Les molécules organiques utilisées comme inhibiteurs, contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène, et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels, tels que -NH<sub>2</sub> (amine), -SH (mercapto), -OH (hydroxyle), -PO<sub>3</sub>-<sub>2</sub>(phosphonates)...

La molécule se lie à la surface par son groupe fonctionnel, alors que sa partie non polaire, plus volumineuse, bloque partiellement la surface active (Fig. II.7).

Notons que les chélates peuvent être formés à la surface du métal lorsque le composé organique contient plus d'un groupement fonctionnel, pouvant chacun former des liaisons avec les atomes du métal (chélation ou pontage : cf. (Fig. II.7) [30].

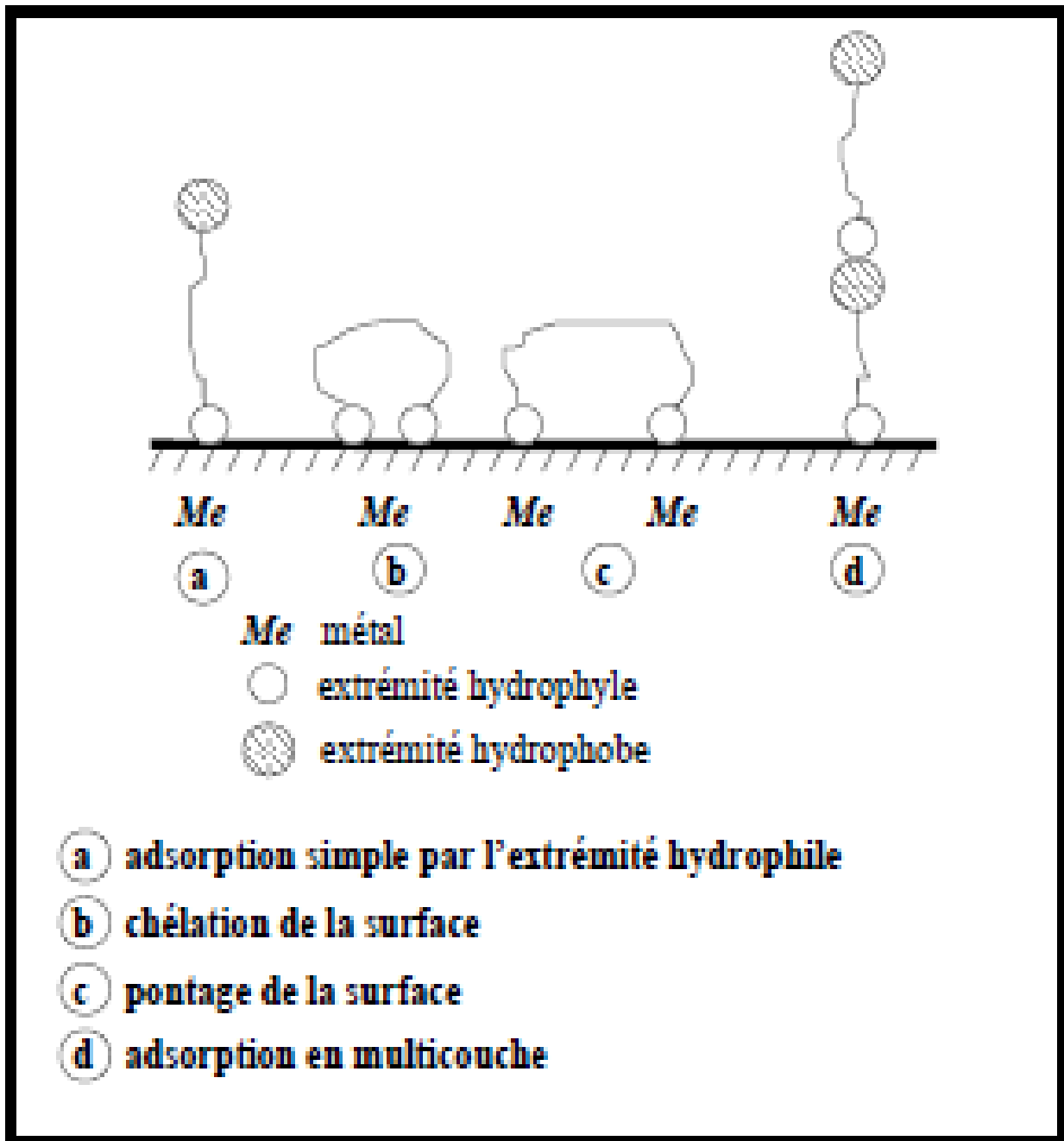


Fig. II.7. Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.

## II.10. Types d'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface. Deux types d'interaction sont principalement responsables de la liaison inhibiteur/surface métallique, il s'agit en l'occurrence de la physisorption et l'adsorption chimique. Ces types d'adsorption dépendent de la nature et la charge du métal, de la formule chimique des composés organiques et du type d'électrolyte [31].

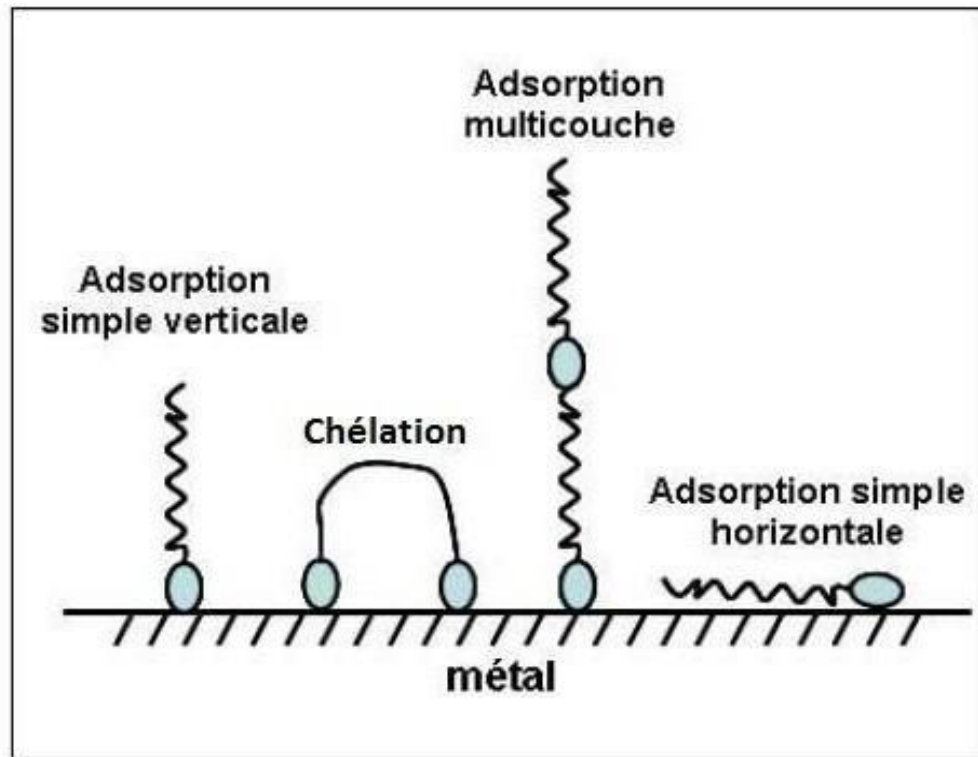


Fig. II.8. Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.

### II.10.1. Adsorption physique

Elle est due aux forces de Van Der Waals et aux forces électrostatiques existant entre la charge ionique ou les dipôles de l'espèce inhibitrice et la surface du métal électriquement chargée. La charge du métal est définie par la position du potentiel de corrosion de ce métal par rapport à son potentiel de charge nulle ( $E_0$ ) [32]. Si  $E_{corr} < E_0$  on observe l'adsorption des cations. Si au contraire  $E_{corr} > E_0$  on observe préférentiellement l'adsorption des anions.

### II.10.2. Chimisorption

La Chimisorption est plus fréquente que la physisorption. Elle engendre une efficacité plus importante de l'inhibiteur. Elle fait intervenir un transfert d'électrons entre les orbitales du métal et la molécule inhibitrice, ce qui aboutit à la formation de liaisons chimiques plus stables. On rencontre, souvent, le transfert molécule donneur/ métal accepteur. Cependant, il existe aussi le transfert où le métal est le donneur d'électrons et la molécule l'accepteur [33].

Il est intéressant de noter ici que le transfert électronique est favorisé par la présence d'électrons libres comme ceux que l'on trouve par exemple dans les systèmes d'électrons  $\pi$  [33]. La présence d'une liaison insaturée peut favoriser l'efficacité inhibitrice d'une molécule organique en milieu acide.

Pour une série de molécules organiques dont la seule différence est leur atome fonctionnel, l'adsorption augmente quand l'électronégativité de ces atomes fonctionnels diminue [34, 35].

Par exemple l'adsorption augmente dans l'ordre suivant :



Les molécules organiques utilisées comme inhibiteurs, contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène, et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupements fonctionnels, tels que  $-NH_2$  (amine),  $-SH$  (mercapto),  $-OH$  (hydroxyle),  $-PO_3^{2-}$  (phosphonates)...

La molécule se lie à la surface par son groupement fonctionnel, alors que sa partie non polaire, plus volumineuse, bloque partiellement la surface active.

## II.10. Influence de la concentration sur l'effet inhibiteur

Les lois de variation de la quantité adsorbée en fonction de la concentration en inhibiteur peuvent souvent être représentées par l'une des deux isothermes classiques suivantes : Langmuir et Temkin. Signalons ici, que d'autres types d'isotherme existent.

### II.10.1. Langmuir

Le modèle de Langmuir suppose qu'il existe à la surface un nombre fixe de sites. Chacun de ces sites ne peut adsorber qu'une seule particule. De plus, comme on néglige les interactions entre particules adsorbées, l'énergie d'adsorption est constante [8].

L'équation de l'isotherme de Langmuir est la suivante :

$$\frac{\theta}{1-\theta} = \frac{K_{inh}}{K_{des}} C_{inh} = b \cdot C_{inh} \quad (II.5)$$

*CHAPITRE 2 :*  
*LES INHIBITEURS DE CORROSION*

---

Où  $\theta$  : est le taux de recouvrement,  $C_{inh}$  : concentration de l'inhibiteur,  $b$  : coefficient d'adsorption.

Le taux de recouvrement de la surface est donné par la formule :

$$\theta = (b \cdot C_{inh}) / (1 + b \cdot C_{inh}) \quad (\text{II.6})$$

### **II.10.2. Temkin**

Dans le modèle de Temkin, l'énergie libre d'adsorption de l'adsorbat est une fonction linéaire du taux de recouvrement  $\theta$  et les constantes de vitesse chimiques sont fonction de  $\theta$ . Il y a attraction ou répulsion entre espèces adsorbées à la surface. L'équation de l'isotherme de Temkin est :

$$b \cdot C_{inh} = \frac{\exp(\alpha\theta) - 1}{1 - \exp[-\alpha(1-\theta)]} \quad (\text{II.7})$$

Où  $a$  est une constante d'interaction entre particules adsorbées,  $b$  désigne le coefficient d'adsorption et  $C_{inh}$  la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte.

### **II.11. Conclusion**

Les produits chimiques de l'unité de surface des inhibiteurs de corrosion une fois à l'eau ou avec l'autre méthode liquide, ralentissent la vitesse de corrosion. Parfois, ils sont classés en : électrode, cathodique, formation de membrane et absorption des éléments en fonction de la méthode de travail. L'efficacité de la plupart des inhibiteurs de corrosion dans une mesure démesurée est affectée par les propriétés chimiques de l'eau et des conditions physiques telles que la température et le débit. Les retardateurs d'anode forment une couche protectrice sur les surfaces d'anode en empêchant la réaction chimique qui provoque la fusion du métal.

## References bibliographiques

- [1]. H.E. Waldrip, Present Day Aspects of Condensate Well Corrosion. Corr, 1948.
- [2]. N.E. HAMNER, Scope and importance of inhibitor technology. In: Ed. By C.C. Nathan, Houston, NACE Corrosion Inhibitors. USA: National Association of Corrosion Engineers, 1973.
- [3]. M. FONTANA and N. GREEN, Corrosion engineering, Mc. Graw - hill (1978).
- [4]. E. Heitz, Proc. 4th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann, Univ. Ferrara, Italy, N.S., Sez. V, Suppl. 6, 432 (1975).
- [5]. K. Rahmouni, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie CURIE. Paris VI. Déc 2005.
- [6]. C. Fiaud, « Inhibiteur de corrosion », Université Pierre & Marie curie, ENSC, Paris. Techniques de l'ingénieur, Traité corrosion – Vieillessement, Vol. Cor 1005.
- [7]. C. FIAUD, Inhibiteurs de corrosion, Technique de l'ingénieur, Traite de métallurgie, Doc. M 160, 7, 1994.
- [8]. D. Landolt, Corrosion et Chimie de Surface des Métaux, 1st Edition, Alden Press, Oxford, 489, (1993).
- [9]. N. MADORA. Mémoire de magister "Etude de l'effet d'inhibition des composants dithiole thiones et sont sel dérive dans le milieu H2SO4" (2011). Université d'Ouargla.
- [10]. Matériaux Métalliques - Phénomènes de Corrosion, 5ième partie " protection et lutte contre la corrosion.
- [11]. S. TURGOOSE, Chemical inhibitors for corrosion control, Organizers: The royal society of chemistry- industrial division and UMIST, p. 107. 1988.
- [12]. J. Benard, A. Michel, J. Philibert, J. Talbot, Métallurgie générale, Masson Editeurs, (1969).
- [13]. G. TRABANELLI, Corrosion mechanism, F, Mansfield Editor, Marcel Dekker, N. Y, p 119, 1987.
- [14]. E. Schaschl, NACE Corrosion Inhibitors, USA, National Association of Corrosion Engineers, (1973) 28.
- [15]. C. B. NATHAN, NACE (Ed), Corrosion inhibitors Nace Pobl. 1973.
- [16]. B.A. MIKSIC, Vapour phase inhibitors 5eme Syposium européen sur les inhibiteurs de corrosion, p 217, Ferrare, 1980.
- [17]. M.C. CAFFERTY, J. Electro hen Soc, 1979, 12(3), 385.



*CHAPITRE 2 :*  
*LES INHIBITEURS DE CORROSION*

---

- [18]. C. FIAUD ET MAURIN, Atmospheric corrosion and its inhibitors, 5<sup>eme</sup> Symposium européen sur les inhibiteurs de corrosion, p. 1223m Ferrare, 1980.
- [19]. C. Fiaud, C. Lemaitre, N. Pebère, Inhibiteurs de corrosion. In : G. Beranger, H. Mazille, Corrosion et Anticorrosion (pratique industrielle), Hernès Science Publications, Paris, 245, (2002).
- [20]. I.L. Rozenfeld, Corrosion Inhibitors, McGraw-Hill, (1981)
- [21]. G.H. Nancollas, Corrosion, 39, 3, 77 (1983).
- [22]. G. BUTLER et H. ISON, Corrosion and its Prevention in water, K. Vieger, Publishing Co, N. Y, (1978).
- [23]. LARKIN (B.M) et I.L. ROZENFELD, Mecanism of action of corrosion, inhibitor with anion of the MO type. Prot of metals", 17, 4, 329, 1981.
- [24]. G. D. WILCOX et AL, Corrosion review, 6, n° 4, p. 327, (1986).
- [25]. J. SCHREIFELS, LARINE, R. GAILEY et AL, Corrosion, 45(5), 420, (1989).
- [26]. A. ABDUL- AZIMAND S. SANAD, Corrosion Science, 13, p. 869 (1973).
- [27]. B. Sathianandhan, K. Ralahrishnan, N. Subramyan, Br. Corros. J., 5, 270 (1970).
- [28]. A. Lgamri, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Rabat, N°d'ordre: 1877 (2000).
- [29]. D. C. Zocher, Mater. Perform., 15, 33 (1976).
- [30]. J.G.N. Thomas, 5th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann. Univ. Ferrara, Italy, (1980) 453.
- [31]. L.I. Antropov, 1st International Congress on Metallic Corrosion, Butterworth's, London, (1962)147.
- [32]. N. Hackerman, A.C. Makrides, J. of Ind. And. Eng. Chem. 46, (1954) 523.
- [33]. E. McCafferty, Corrosion Control by Coatings, H. Leidheiser editor, Science Press, Princeton, N.J. (1979) 279.
- [34]. G. TrabANELLI, Corrosion Mechanisms, F. Mansfeld editor, Marcel Dekker, New York, (1987) 119.

**CHAPTER III**  
**PROCEDURE**  
**EXPERIMENTALE**

### III.1. Introduction

La complexité des phénomènes de corrosion nécessite l'utilisation d'une quantité terriblement importante de stratégies expérimentales pour estimer la vitesse de corrosion et donc la nature des mécanismes qui interviennent tout au long de la destruction d'un métal. Pour cette raison, l'unité de surface de stratégies complètement différentes utilisées comme les stratégies de mensuration, cette unité de surface a soutenu la détermination de la perte de masse au fil du temps, et qui reflète plus le développement de la corrosion parce qu'elle se trouve dans l'état réel. Les résultats obtenus unité de surface donnée dans le genre de tableaux et de graphiques.

### III.2. Matériaux utilisés

Les matériaux choisis pour cette zone d'étude unitaire acier 304L, obtenu dans le style des disquettes cylindriques de 12 mm de diamètre et 6 mm d'épaisseur, et le métal de base X42 pourraient être un acier de type 5L grade X quarante-deux conforme à l'APL normal (acier bas et faible pourcentage de carbone), coupées dans le style des plaques carrées de 32 mm de large et 2 mm d'épaisseur. La forme des échantillons utilisés dans notre étude est illustrée à la figure III.1.



(a)



(b)

**Fig. III.1.** Forme des échantillons : (a) acier X42 et (b) acier inoxydable.

**Tableau III.1.** Composition chimique du métal de base X42 (acier faiblement allié et à faible pourcentage en carbone).

<b>Elément (%)</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>Cu</b>
<b>Produit</b>	0.18	0.29	0.85	0.003	0.010	0.06	0.06	0.013	0.150
<b>Elément (%)</b>	<b>V</b>	<b>Al</b>	<b>Ti</b>	<b>Sn</b>	<b>Ca</b>	<b>N</b>	<b>B</b>	<b>Nb</b>	<b>CE</b>
<b>Produit</b>	0.001	0.026	0.001	0.009	0.013	0.0056	0.0006	0.0010	0.35

**Tableau III.2.** Composition en % massique de l'acier inoxydable 304L.

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>N</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>
<b>0.018</b>	1.72	0.0005	10.4	18.68	0.35	0.072	0.15	Balance

### III.3. Milieux choisis

Les solutions et leurs concentration, utilisées dans nos essais, sa donnée dans le tableau III.3.

**Tableau III.3.** Présentation de concentration des solutions choisies.

<b>Solution</b>	<b>Concentration choisies</b>				
<b>NaCl (g/l)</b>	10	20	35	40	50
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(mol/l)</b>	0.1	0.25	0.5	0.17	/

La solution de 35g / l de NaCl, à titre d'exemple, est prête en dissolvant 35 g de NaCl pulvérisé cristallisé pendant un litre d'eau, puis agitée à l'aide d'un barreau magnétique de manière à posséder une résolution homogène. La poudre de NaCl a été pesée sur une balance AN avec une précision AN de 1 / 10 000 g, figure III.2.



**Fig. III.2.** Balance électronique de type Sartorius.

La solution de 0.25mol/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, par exemple, est préparée par l'ajout de 14.78 mol de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans 968.16 ml d'eau distillée, puis agitée dans une fiole afin d'avoir une solution homogène.

#### **III.4. Polissage mécanique**

Le polissage mécanique des échantillons est distribué avec du papier abrasif (grains de carbure de silicium Sic). Une polisseuse rotative, minuscule avec un disque abrasif de différentes granulométries cent quatre-vingts, 320, 800, 1000 et 1200, rincé au H<sub>2</sub>O à chaque modification du papier, de manière à se débarrasser des rayures et des défauts dus à l'usinage des pièces. Les échantillons sont ensuite rincés avec H<sub>2</sub>O et ainsi séchés et ainsi conservés dans un dessiccateur excessivement. A été utilisé (Figure : III.1).



**Fig. III.3.** Schéma de polisseuse utilise dans le polissage mécanique.

### III.5. Techniques de caractérisation

#### III.5.1. Technique de la masse perdue

Les études de corrosion ont pour but, de façon générale, de déterminer quantitativement la dégradation d'un matériau au cours du temps. La méthode la plus simple, et la moins coûteuse est celle de la perte de masse, figure III.4.

Le principe de cette technique ce système est que l'immersion de l'échantillon de revoir, une fois son avis, pour une quantité bien définie au sein du milieu corrosif pensé, figure III.4. Puis était loin de la réponse jeter un œil et un examen visible de sa surface a été effectué. La marchandise de corrosion a été enlevée avec une brosse en nylon, puis rincée avec H2O, séchée avec un appareil électrique et ainsi repesé.



**Fig. III.4.** Technique de la masse perdue.

L'utilité de l'activité de la masse perdue consiste dans l'analyse de la vitesse de corrosion qui est définie comme une perte de poids par unité d'espace et de temps et est exprimée en (g / cm<sup>2</sup>.an). Le taux de corrosion est calculé à partir de la formule suivante :

$$\tau = 365 \frac{\Delta m}{St} \text{ avec } \Delta m = m_i - m_f \quad \text{III.1}$$

$m_i$  : masse de l'échantillon avant l'essai en (g).

$m_f$  : masse de l'échantillon après l'essai en (g).

$S$  : surface de l'échantillon en (cm<sup>2</sup>).

$t$  : temps d'immersion en (jour).

### III.5.2. Observation microscopique

La microscopie optique a été utilisée pour l'observation de la surface de l'échantillon testé, en milieu agressif de degré associé. Le type de microscopie utilisé est celui de la loupe optique Olympus, figure III.5.



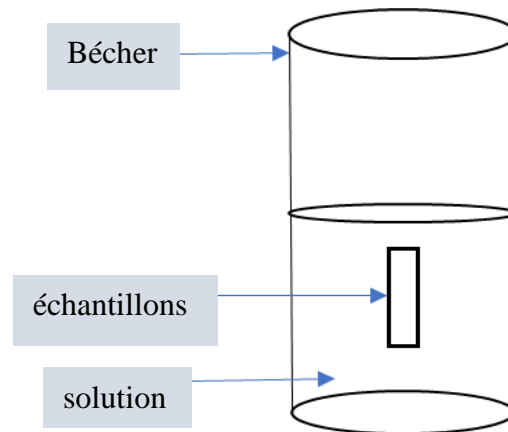
**Fig. III.5.** Microscope optique (OLYMPUS).

### III.6. Deuxième technique de la masse perdue

#### III.6.1. Manipulation de la technique de la masse perdue

Le dispositif expérimental est représenté par la figure (III.6) qui nécessite le matériel de laboratoire suivant :

- Échantillons en acier X42 ;
- Balance de précision de sensibilité (0.0001g) ;
- Solution ;
- Béchers ;
- Brosse à dent souple.



**Fig. III.6.** Dispositif expérimental de la masse perdu.

Dans cette étude, nous avons tendance à enquêter sur l'événement totalement différent | de divers échantillons d'acier X42 dans quatre solutions différentes avec une capacité de 100 ml : eau, acide à 36.5 – 38 % concentration, eau + acide et matière fluide de radiateur à usage général.

Chaque échantillon fini a été pesé. Sa masse, sa surface totale d'ailleurs car les paramètres de la réponse et donc la période de la prise en compte sont mentionnés dans des tableaux. L'échantillon a été placé dans un bécher très contenant 100 centimètres cubes de réponse. La période pour tous les tests. A la fin de chaque expérience, l'échantillon a été prélevé et ainsi lavé avec de l'eau. Les produits de corrosion étaient loin de la surface métallique en utilisant une brosse à dents souple. Ensuite, une fois rincé à l'eau et séché et mesuré, l'échantillon a été repesé, sa nouvelle masse était conjointement reportable dans les mêmes tableaux.



**Fig. III.7 :** Technique de la masse perdue.



### **III.7. Conclusion**

Cette méthodologie (méthode du masse perdue), largement utilisée pour confirmer les taux de corrosion, permet de mesurer la vitesse de corrosion en plusieurs étapes :

- Préparez des modèles avec des formes géométriques spécifiques ;
- Pesez les modèles avec une balance sensible ;
- Calculez la surface exposée à la réponse ;
- Les prototypes répondent pour un montant fixe ;
- Augmentez les types de réponse ;
- Les modèles sont pesés une fois de plus et donc la quantité de modification est calculée.

# **CHAPITER IV**

## **RESULTATS ET**

## **DISCUSSION**

## IV.1. Introduction

La détection de la corrosion par piqûre des aciers (304L et XC18S), immergés dans plusieurs concentrations de NaCl et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, est réglée par les 2 techniques illustrées dans le chapitre précédent qui mesurent au carré la technique de la masse perdue, l'analyse de surface. Les résultats obtenus mesurent carrés donnés dans le genre de tableaux et de graphiques.

## IV.2. Méthode de la masse perdue

### IV.2.1. Influence du temps d'immersion

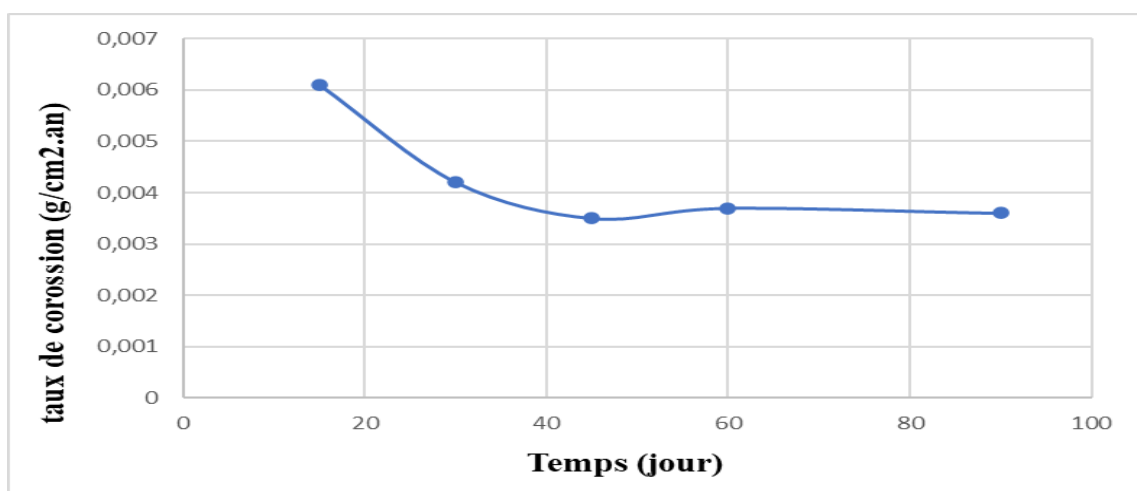
#### a) Milieu NaCl

- Acier inoxydable 304L.

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans le tableau IV.1 et la figure IV.1.

**Tableau IV.1.** Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction du temps pour une concentration de 35g/l en NaCl.

Echantillon	Temps (J)	Masse avant test (g)	Masse après test (g)	$\Delta m(g)$	Surface exposée (cm <sup>2</sup> )	Taux de corrosion (g/cm <sup>2</sup> .an)
1	15	10.6792	10.6785	0.0007	3.3007	0.0061
2	30	9.7403	9.7393	0.0010	3.3007	0.0042
3	45	10.1871	10.1855	0.0016	3.3007	0.0035
4	60	11.6449	11.6420	0.00024	3.3696	0.0037
5	90	11.1299	11.1265	0.0034	3.3468	0.0036



**Fig. IV.1.** Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction du temps dans une solution de 35g/l de NaCl.

CHAPITER 4 :  
RESULTATS ET DISCUSSION

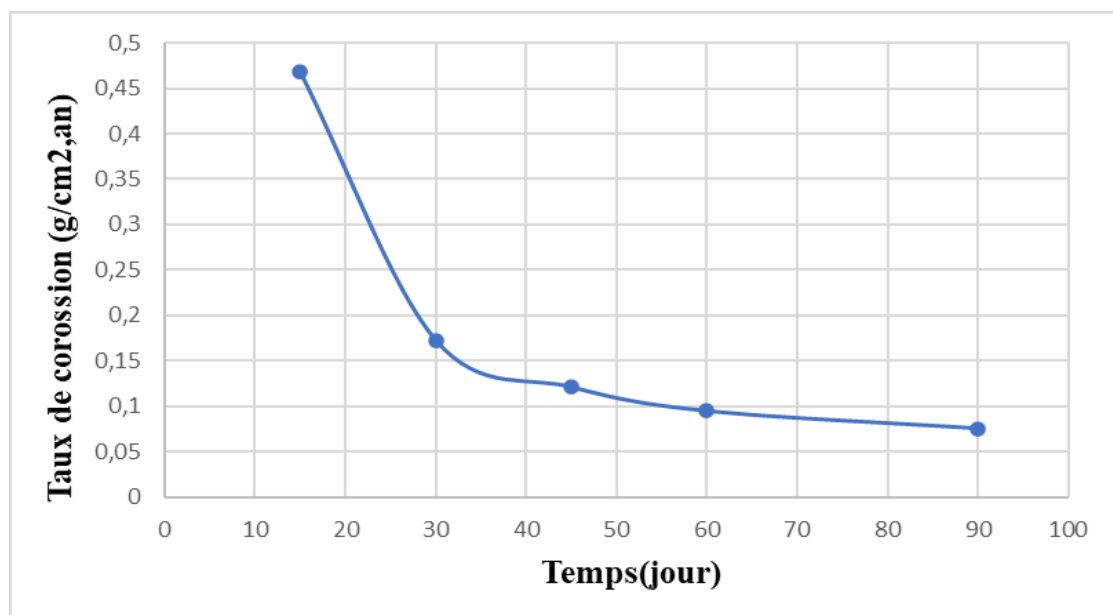
Pour une quantité de 35g / l en NaCl, on a tendance à remarquer sur la figure IV.1 que la vitesse de corrosion de l'acier inoxydable diminue jusqu'à la période de 45 jours, subit donc une petite augmentation progressive jusqu'à 90 jours d'immersion. De l'autre côté de 45 jours d'immersion, l'élévation de la vitesse de corrosion est peut-être due à la rupture du film passif qui a été façonné à la surface des échantillons associés au sein desquels on pense souvent à la couche externe du film comme un composé de fer, tandis que la moitié intérieure est un composé associé de fer-chrome [1,2].

- Acier X42

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans le tableau IV.2 et la figure IV.2.

**Tableau IV.2.** Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction du temps pour une concentration de 35g/l en NaCl.

Echantillon	Temps (J)	Masse avant test (g)	Masse après test (g)	$\Delta m(g)$	Surface exposée (cm <sup>2</sup> )	Taux de corrosion (g/cm <sup>2</sup> .an)
1	15	15.5692	15.3901	0.1791	9.2	0.4681
2	30	15.4497	15.3661	0.1336	9.46	0.1724
3	45	15.63.53	15.4965	0.1388	9.2	0.1212
4	60	15.4038	15.2577	0.1461	9.468	0.0949
5	90	15.5437	15.3684	0.1753	9.467	0.0756



**Fig. IV.2.** Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction du temps dans une solution de 35g/l en NaCl.

Sur la figure IV.2, on a tendance à remarquer une visite pointue du taux de corrosion de l'acier x42 et ceci jusqu'à trente jours d'immersion. De l'autre côté de trente jours, la vitesse de corrosion subit une réduction graduelle jusqu'à 90 jours d'immersion. Il apparaît que la diminution de la vitesse de corrosion est due à la formation à la surface du tissu d'une couche d'hydroxyde de fer qui semble assez protectrice.

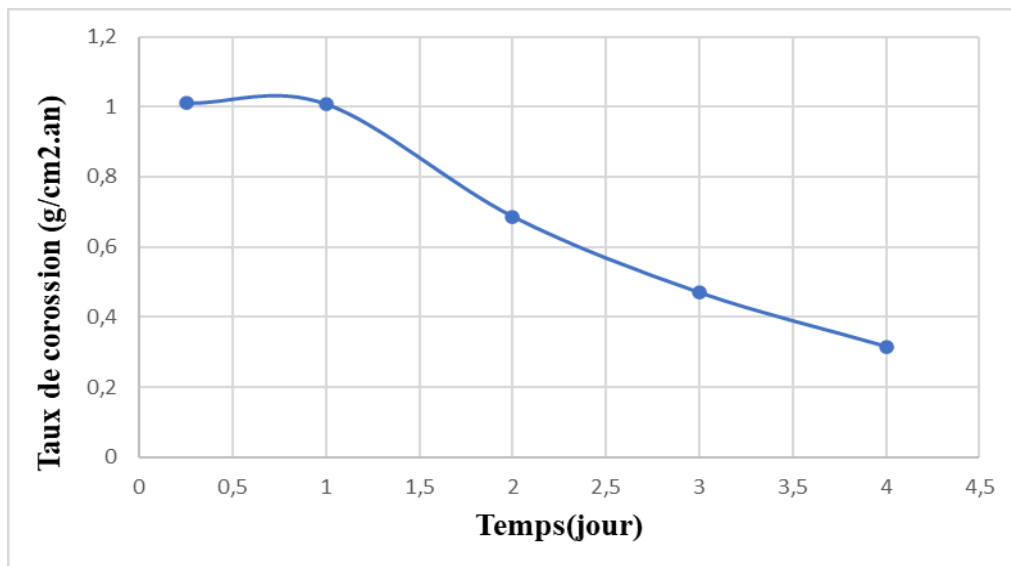
#### b) Milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

- Acier inoxydable 304L

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans le tableau IV.3 et la figure IV.3.

**Tableau IV.3.** Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction du temps pour Une concentration de 0.25mol/l en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Echantillon	Temps (J)	Masse avant test (g)	Masse après test (g)	$\Delta m(g)$	Surface exposée (cm <sup>2</sup> )	Taux de corrosion (g/cm <sup>2</sup> .an)
1	0.25	10.7241	10.7215	0.0026	3.3245	1.0101
2	1	11.2299	11.2203	0.0096	3.3689	1.0083
3	2	9.1819	9.1697	0.0122	3.3237	0.6867
4	3	11.6386	11.6276	0.010	3.3649	0.4692
5	4	11.4061	11.3922	0.0139	3.3246	0.3145



**Fig. IV.3.** Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction du temps dans une solution de 0.25mol/l en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

CHAPITER 4 :  
RESULTATS ET DISCUSSION

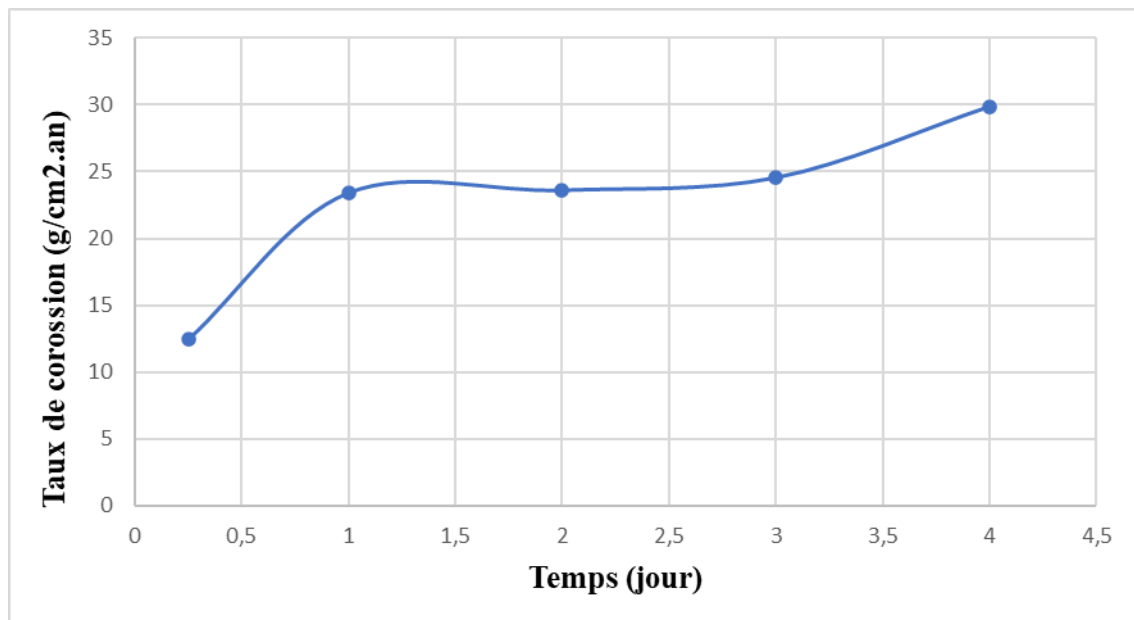
On voit sur cette figure que le taux de corrosion de l'acier chromé reste constant pendant un jour, puis il diminue remarquablement au cours des 5 jours d'essais. Il semble qu'un film protecteur s'est formé à la surface des échantillons et les protège de l'agressivité de l'acide sulfurique.

- Acier X42.

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans le tableau IV.4 et la figure IV.4.

**Tableau IV.4.** Taux de corrosion de l'acier ordinaire X42 en fonction du temps pour une concentration de 0.25mol/l en H2SO4.

Echantillon	Temps (J)	Masse avant test (g)	Masse après test (g)	$\Delta m(g)$	Surface exposée (cm <sup>2</sup> )	Taux de corrosion (g/cm <sup>2</sup> .an)
1	0.25	15.9777	15.8991	0.0786	9.3	12.4184
2	1	16.1289	14.8639	1.2647	9.9075	23.4144
3	2	16.1198	14.1939	1.9259	9.9229	23.6146
4	3	15.6774	15.0097	0.6677	9.9229	24.5579
5	4	15.8869	12.0299	3.8570	9.4193	29.8926



**Fig. IV.4.** Taux de corrosion de l'acier ordinaire X42 en fonction du temps dans une solution de 0.25mol/l en H2SO4.

À partir de la figure IV.4, nous avons tendance à observer que la vitesse de corrosion de l'acier X42 augmentera peu à peu avec le temps pour une quantité de zéro, 25 mol / l dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et qu'aucun film ne s'est formé à la surface de la matière.

## IV.2.2. Influence de la concentration en NaCl et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

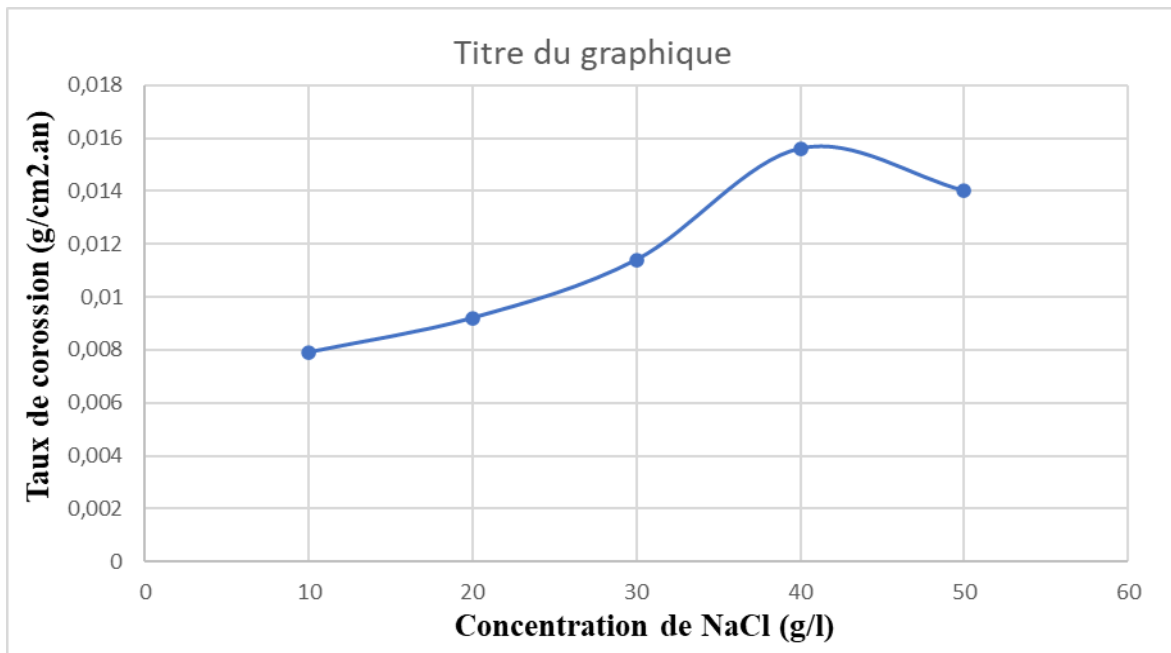
### a) Milieu NaCl

- Acier inoxydable 304L.

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans le tableau IV.5 et la figure IV.5.

**Tableau IV.5.** Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction de différentes concentrations en NaCl pour une durée de 10 jours.

Echantillon	Concentration (g/l)	Masse avant test (g)	Masse après test (g)	$\Delta m(g)$	Surface exposée (cm <sup>2</sup> )	Taux de corrosion (g/cm <sup>2</sup> .an)
1	10	11.3977	11.3969	0.0008	3.3007	0.0079
2	20	10.7191	10.7182	0.0009	3.3007	0.0092
3	30	10.8581	10.8571	0.0010	3.3007	0.0114
4	40	11.1739	11.1724	0.0015	3.3007	0.0156
5	50	11.4993	11.4980	0.0013	3.3007	0.014



**Fig. IV.5.** Taux de corrosion de l'acier inoxydable 304L en fonction de différentes concentrations en NaCl pour une durée de 10 jours.

CHAPITER 4 :  
RESULTATS ET DISCUSSION

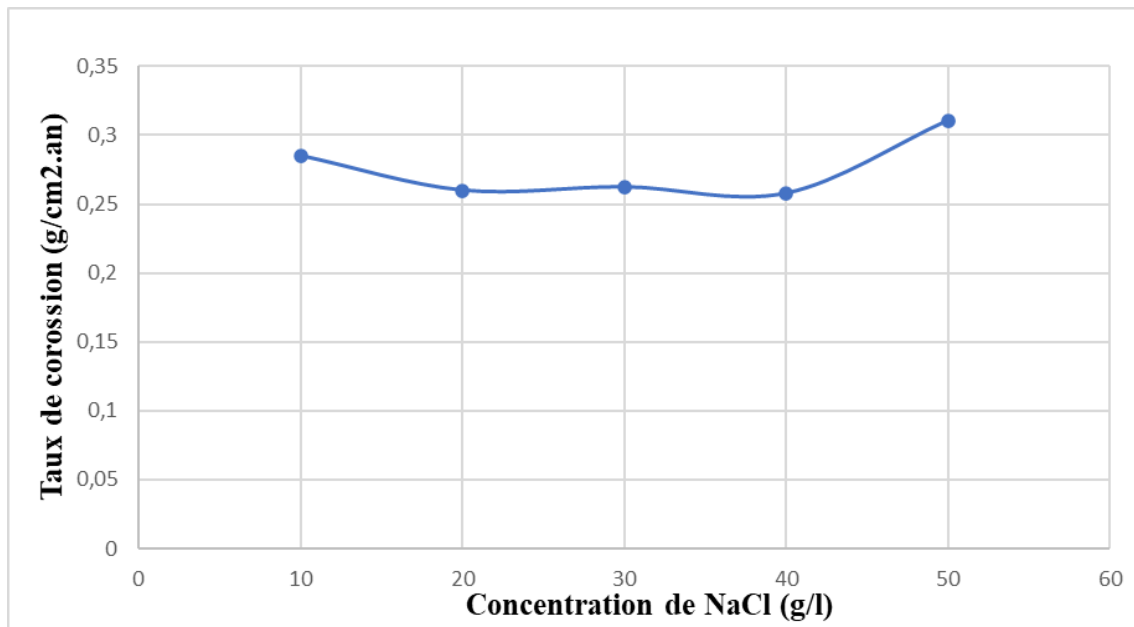
On voit souvent sur cette figure que le taux de corrosion de l'acier inoxydable augmentera avec l'augmentation de la concentration de NaCl. Au-dessus de 40g / l de NaCl, on constate une décote dans le taux de corrosion. Cela peut être dû à la formation d'un film protecteur à la surface de l'acier.

- Acier X42.

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans le tableau IV.6 et la figure IV.6.

**Tableau IV.6.** Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction de différentes concentrations en NaCl pour une durée de 10 jours.

Echantillon	Concentration (g/l)	Masse avant test (g)	Masse après test (g)	$\Delta m(g)$	Surface exposée (cm <sup>2</sup> )	Taux de corrosion (g/cm <sup>2</sup> .an)
1	10	11.3969	11.3264	0.0705	9.5334	0.2851
2	20	15.4987	15.4312	0.0675	9.497	0.2599
3	30	10.8771	10.8061	0.0710	9.421	0.2623
4	40	15.4353	15.3681	0.0672	9.486	0.2577
5	50	15.4992	15.4158	0.0834	9.4702	0.3106



**Fig. IV.6.** Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction de la concentration en NaCl pour une durée de 10 jours.



Après dix jours d'immersion, l'acier X42 subit une légère décroissance avec l'élévation de la concentration en NaCl. Au-dessus de 40g / l, le taux de corrosion subit une augmentation. Il apparaît que beaucoup ou moins de couche protectrice d'hydroxyde de fer a été formée au début, à la surface de l'acier X42, qu'elle casse avec l'augmentation de la concentration en NaCl.

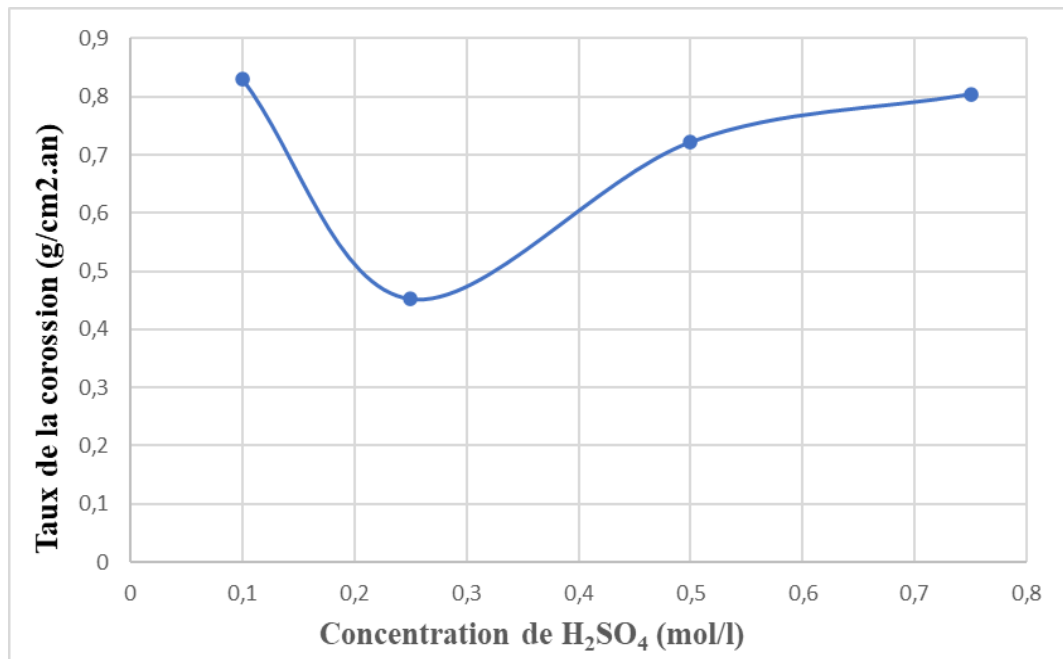
#### b) Milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

- Acier inoxydable 304L.

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans le tableau IV.7 et la figure IV.7.

**Tableau IV.7.** Taux corrosion de l'acier d'inoxidable 304L en fonction de différentes concentrations en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pour une durée de 3 jours.

Echantillon	Concentration (g/l)	Masse avant test (g)	Masse après test (g)	$\Delta m(g)$	Surface exposée (cm <sup>2</sup> )	Taux de corrosion (g/cm <sup>2</sup> .an)
1	0.1	10.9635	10.9398	0.0237	3.3694	0.8309
2	0.25	10.1816	10.1691	0.0125	3.3694	0.4516
3	0.5	11.6099	11.5903	0.0196	3.3236	0.7213
4	0.75	10.9571	10.9361	0.0210	3.3466	0.8039



**Fig. IV.7.** Taux corrosion de l'acier d'inoxidable 304L en fonction de la concentration en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pour une durée de 3 jours.

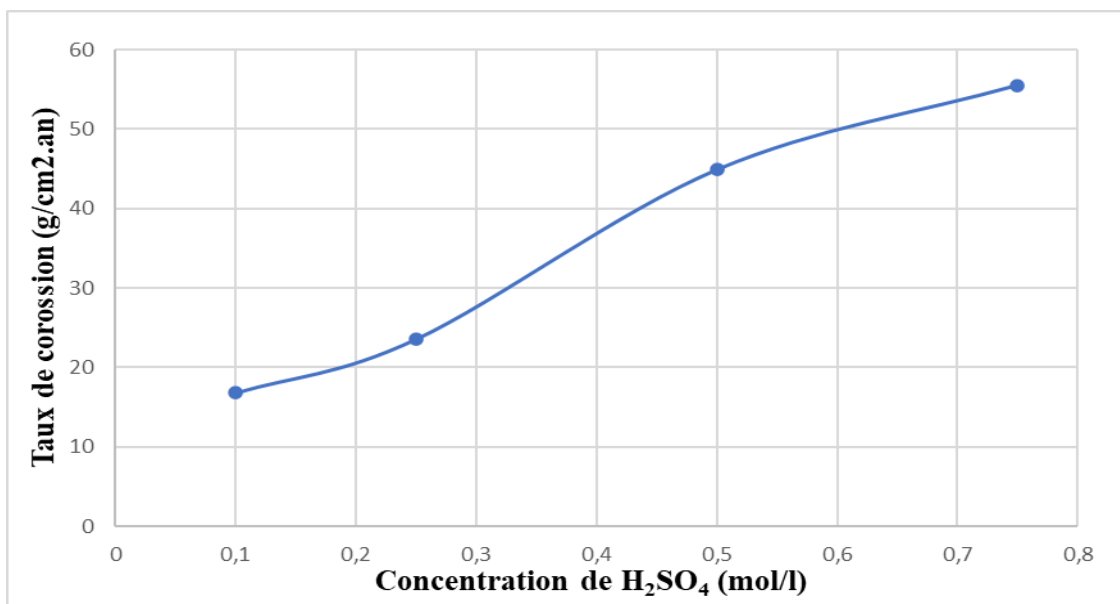
Selon la figure IV.7 sur la remarque une diminution fulminante du taux de corrosion de l'acier jusqu'à un niveau de 0.25mo / l dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. De l'autre côté de cette valeur, le taux de corrosion augmentera avec l'augmentation de la concentration de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Il apparaît qu'un film protecteur se façonne à la surface de l'acier, puis il éclate en raison de la présence d'agents agressifs dans le milieu comme les ions SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

- Acier X42

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans le tableau IV.8 et la figure IV.8

**Tableau IV.8.** Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction de différentes concentrations en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pour une durée de 3 jours

Echantillon	Concentration (g/l)	Masse avant test (g)	Masse après test (g)	$\Delta m(g)$	Surface exposée (cm <sup>2</sup> )	Taux de corrosion (g/cm <sup>2</sup> .an)
1	0.1	15.5810	14.2130	1.3680	9.9078	16.8382
2	0.25	16.9293	14.0134	2.9159	9.9227	23.6153
3	0.5	15.9318	12.3502	3.5816	9.701	44.9029
4	0.75	15.5506	11.1531	4.3975	9.644	55.4943



**Fig. IV.8.** Taux de corrosion de l'acier X42 en fonction de la concentration en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pour une durée de 3 jours.

À partir de la figure IV.8, on découvre que le taux de corrosion de l'acier X42 augmentera avec l'augmentation de la concentration de  $H_2SO_4$ . L'accélération de la dissolution des échantillons est due à l'absence de film passif sur la surface de l'acier.

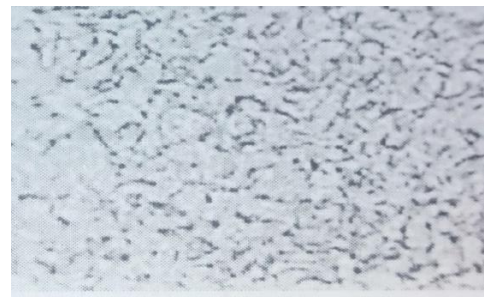
### IV.3. Observations au microscope optique

#### IV.3.1. Milieu NaCl

Nous avons étudié l'évolution de la surface de l'acier inoxydable 304L et de l'acier X42, immergés dans les deux milieux corrosifs ( $NaCl$  et  $H_2SO_4$ ) par microscopie optique.



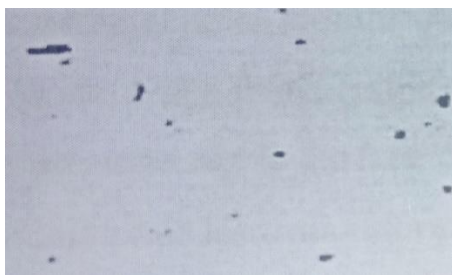
(a)



(b)

**Durée d'immersion : 15 jours.**

Des observations microscopiques ont montré que les étapes primaires au sein de la croissance des puits, sur la surface de l'acier, des trous unitaires de surface d'une profondeur d'un ordre de grandeur équivalent en raison de l'épaisseur du film passif. Durée d'immersion : 1 mois.



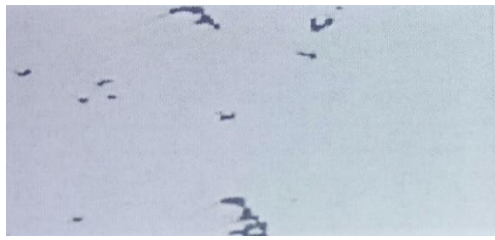
(c)



(d)

**Durée d'immersion : 1 mois.**

Après 1 mois, les trous commencent par se développer latéralement, la croissance de la taille des piqûres évolue de manière linéaire dans le temps.



(e)



(f)

**Durée d'immersion : 2 mois.**

**Fig. IV.9.** Aspect de l'état de surface de (a, c et e) 304L et (b, d et f) XC18S, 35 (d/l) NaCl.

La ponction se développe en changeant constamment sa forme en méthode irrégulière de degré associé dans l'ensemble des directions, ce qui entraîne une perforation de la surface ci-dessous, ces résultats sont un clone d'unité de surface de ceux obtenus dans [3], qui indique que lorsque 2 mois d'exposition d'échantillons d'inox -acier (304L) dans l'eau simulée et l'eau naturelle, aciers non ternis au cours de ce cas unité de surface sujet à une corrosion localisée comme la corrosion par érosion, la densité d'érosion s'est élevée et leur taille a augmenté; cette augmentation est en outre marquée dans l'eau naturelle.

Cependant l'auteur [4], la victimisation de l'image de recherche sur la force atomique (AFM) en mode syntonisé de la surface 304L immergée pendant une résolution de 30g / l de NaCl, une fois un quart d'heure, a montré l'existence d'une `` chaîne d'îles plus tard rénové en une chaîne de trous. L'observation à très petite échelle montre que ces îlots avaient une hauteur d'environ 5nm qu'ils laissaient un espace pour des trous d'un minimum de 20nm exhaustifs, par contre aucune corrosion n'est cadeau sur la surface de l'acier x42, sa microstructure est cohérée et c'est pratiquement similaire pour les 3 intervalles de temps.

#### IV.3.2. Milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



(a)



(b)

**Durée d'immersion : 6 heures**

La figure (a) montre que l'attaque de l'acide sulfurique sur la surface de l'acier xydable, provoque une dissolution du film existant et le métal est mis à nu.



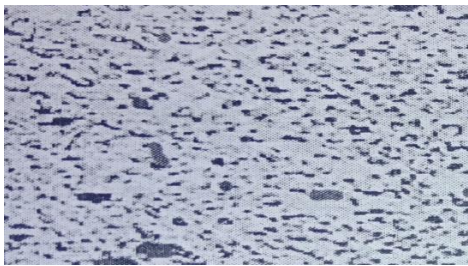
(b)



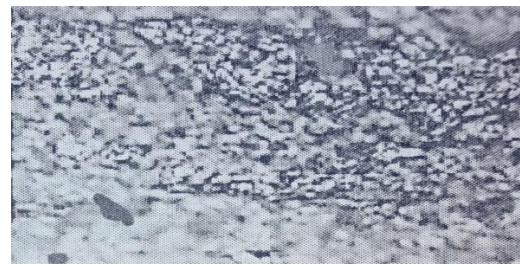
(d)

**Durée d'immersion : 1 jour**

Tant que la surface de l'acier inoxydable reste toujours exposée dans ce milieu, enrichi en espèces agressives  $SO_4$ , ceci conduira à l'initiation des piqûres à l'interface du métal.



(e)



(f)

**Durée d'immersion : 3jour.**

**Fig. IV.10.** Aspect de l'état de surface de (a, c et e) 304L et (b, d et f) X42, 0.25(mol/l)  $H_2SO_4$ .

Après trois jours d'immersion, les piqûres sont généralement instables dans l'espace où le métal est passif, donc se dissolvent simplement en infligeant quelques changements au niveau national dans leurs tailles et formes, en plus comme sur le reste de la surface métallique. Ainsi, l'évolution de l'état de surface du 304L immergé dans l'huile de vitriol montre que l'acier est attaqué par corrosion généralisée puis par rupture localisée (piqûres). L'auteur [5] montre que l'acier inoxydable (présentation des carbures) immergé dans de l'huile de vitriol à haute concentration (2mol / 1) provoque une attaque intergranulaire de degré associé sur la surface de l'échantillon. En revanche, il est clair que la figure IV.22 (b, d et f) montre que l'acier X42 est attaqué par corrosion généralisée, sur toute la surface des échantillons, par les ions agressifs de la résolution acide.

#### IV.4. Méthode deuxième de la masse perdue

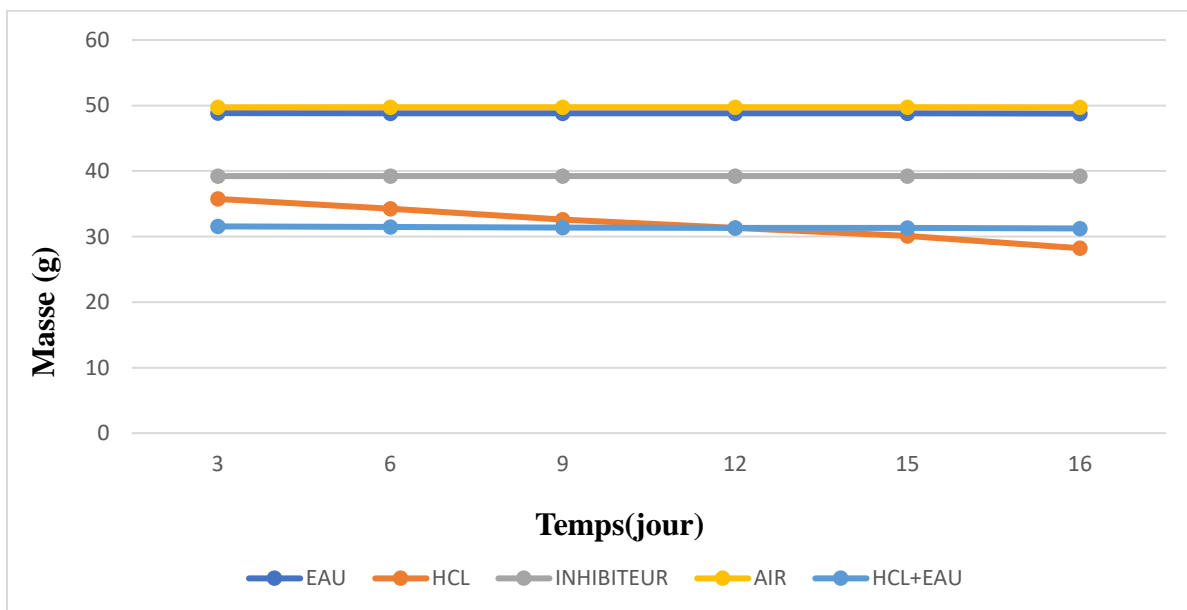
##### IV.4.1. Milieu (EAU-HCL-INHIBITEUR-AIR-HCL+EAU)

**Tableau IV.9.** Changement de masse de l'acier X42 en fonction du temps plusieurs solution différentes.

Jour \ Masse (g)	3	6	9	12	15	16
<b>EAU</b>	48.8433	48.7957	48.7954	48.7926	48.7925	48.7753
<b>HCL</b>	35.7486	34.2415	32.5987	31.3223	30.0818	28.2273
<b>INHIBITEUR</b>	39.2296	39.2289	39.2288	39.2287	39.2287	39.2285
<b>AIR</b>	49.7271	49.7268	49.7267	49.7262	49.7261	49.7259
<b>HCL+EAU</b>	31.5572	31.4794	31.3756	31.3441	31.3068	31.2434

**Tableau IV.10.** Calcule la masse perdue enter la mase initiale et la masse finale  $\Delta m(g)$ .

Echantillon/solution	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	$\Delta m(g)$
<b>EAU</b>	48.8433	48.7753	0.0680
<b>HCL</b>	35.7486	28.2273	7.5213
<b>INHIBITEUR</b>	39.2296	39.2285	0.0011
<b>AIR</b>	49.7271	49.7259	0.0012
<b>HCL+EAU</b>	31.5572	31.2434	0.3138



**Fig. IV.11.** Changement de masse de l'acier X42 en fonction du temps plusieurs solution différentes.

On remarque que la modification de masse de l'acide est plus importante pour différents milieux à la suite d'une attaque surdimensionnée, alors que dans différentes solutions H<sub>2</sub>O, et inhibiteur observe une très faible variation de masse.

#### **IV.5. Conclusion**

Dans cette étude, nous avons tendance à utiliser 2 techniques d'échantillonnage (technique de masse perdue et technique d'analyse de surface), partout où nous avons tendance à déterminer plusieurs résultats.

## References bibliographies

- [1]. M.G.S. Ferreira et al., Semi conducting properties of oxide and passive films formed on AISI 304 stainless steel and alloy, J. Braz, Chem. Society, 13/ 4(2002) 433-440.
- [2]. L.J. Oblonsky et al., In situ determination of the composition of surface films formed on Fe-Cr, Chem. Society, 145/ 6 (1998)1922-1932.
- [3]. S. Mahmoudi, Mémoire de magistère, Université de Constantine, Etude comparative entre deux métaux passifs en milieux neutre, alcalin et acide : un acier inoxydable 304L et un alliage de titane T16A14V, 2008.
- [4]. M. Frantz, Thèse de doctorat, université de Paris, Etude in situ par microscopie à force atomique de la corrosion localisée d'un acier inoxydable 304L, 2005.
- [5]. L. Hamadou, Thèse de doctorat, Université d'Alger, Etude de la tenue à la corrosion d'un acier inoxydable Fe-Cr-Ni dans différents acides en fonction de la structure métallographique, 2002.



# Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est l'étude de généralité de corrosion et l'utilise des inhibiteurs et considère une étude comparative de la corrosion de l'acier X42 associé et d'un acier à l'inoxidable dans 2 milieux NaCl et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à des concentrations complètement différentes. L'étude diffusée dans le cadre de ce travail d'analyse, a permis aux États-Unis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- ❖ Le taux de corrosion de l'acier au chrome à un taux de 35 g / L en élément métallique chlore diminue jusqu'à 45 jours, puis subit une petite augmentation progressive et jusqu'à 90 jours.
- ❖ Une diminution ponctuelle de la vitesse de corrosion jusqu'à trente jours d'immersion. Quand 30 jours, étape par étape, réduit à quatre-vingt-dix jours d'immersion.
- ❖ La vitesse de corrosion de l'acier au chrome est souvent équivalente à l'avenir, puis diminue considérablement en 5 jours d'essais pour un niveau de 0, 25 mol / l dans H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>,
- ❖ La vitesse de corrosion de l'acier X42 étape par étape augmentera jusqu'à quatre jours à un niveau de zéro, 25 grammes / L dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- ❖ Le taux de corrosion de l'acier au chrome augmentera avec l'augmentation de la concentration de NaCl. Supérieur à 40g / l en NaCl, on constate une décote dans le taux de corrosion.
- ❖ A 10 jours d'immersion, l'acier X42 subit une petite diminution avec l'élévation de la concentration en NaCl. Supérieur à 40g / l, la vitesse de corrosion subit une augmentation.
- ❖ Une diminution inattendue de la vitesse de corrosion de l'acier à un niveau de 0, 25 mol / un dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. De l'autre côté de ce prix, le taux de corrosion augmentera avec l'augmentation de la concentration de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- ❖ Le taux de corrosion de l'acier X42 augmentera avec l'augmentation de la concentration de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,
- ❖ Notez que la modification au sein de la masse d'acide est plus importante pour différents milieux.

# Résumé

Ce travail considère une étude comparative de la corrosion de l'acier X42 associé et d'un acier à l'inoxydable dans 2 milieux NaCl et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à des concentrations complètement différentes.

Comme nous avons tendance à étudier l'événement de complètement différent de divers échantillons d'acier X42 dans quatre solutions différentes d'une capacité de cent ml : eau, acide à 36.5,38 % concentration, eau + acide chlorhydrique et inhibiteur fluide d'utilisation générale du radiateur. 2 techniques de caractérisation ont été utilisées : la technique de masse perdue et aussi l'analyse de surface.

Le milieu NaCl entraîne une corrosion généralisée de l'acier X42, tandis que l'acier à l'inoxydable est soumis à une attaque de type par piqûres localisée. En atmosphère H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, les 2 aciers sont soumis à une corrosion généralisée.

## ملخص

يعتبر هذا العمل دراسة مقارنة لتآكل فولاذ X42 المصاحب والفولاذ المقاوم للصدأ في وسطين NaCl و H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> بتركيزات مختلفة تمامًا.

حيث أننا نميل إلى دراسة حدث مختلف تمامًا عن عينات مختلفة من فولاذ X42 في أربعة محاليل مختلفة بسعة مائة مل: ماء، حمض بتركيز 36.5.38٪، ماء + حمض الهيدروكلوريك ومثبط سائل التبريد للاستعمال العام. تم استخدام طريقتين للتوصيف: تقنية الكتلة المفقودة وأيضًا تحليل السطح.

يتسبب وسط كلوريد الصوديوم في حدوث تآكل واسع النطاق لفولاذ X42، بينما يتعرض الفولاذ المقاوم للصدأ لهجوم موضعي من نوع التنقيير. في المحلول الثاني H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>، يتعرض الفولاذان للتآكل تام على مستوى كل منهما.