



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 20 août 1955 -SKIKDA



Faculté de  
Technologie  
Département de  
Pétrochimie

# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme en

# Master

Filière : Industries Pétrochimiques

Spécialité : Raffinage et Pétrochimie

**Thème :**

Etude de l'efficacité de l'inhibiteur  $ZnCl_2$  sur la  
corrosion des pipelines

**Réalisé par :**

- Guenouche Islam
- Hamamdia Hamza

**Devent les jury :**

Présidente	N. RAMDANE	MCB	Univ.20 Aout 1955
Examinatrice	A. CHELGHAM	Magister	Univ.20 Aout 1955
Encadreur	Z. HOUIENE	MCA	Univ.20 Aout 1955
Co-encadreur	Z. MARSА	MCA	Univ.20 Aout 1955

Année Universitaire : 2023/2024

# REMERCEMENT

*Arriver au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier Allah de nous avoir donné le courage et la volonté de l'accomplir.*

*Nous souhaiterions adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apportés leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire :*

*Nos profonds remerciements s'adressent à nos encadrants madame HOUIENE Zahia, et madame MARSZA Zoubida, pour leur encadrement et les précieux conseils qui nous ont aidés à la réalisation de ce rapport.*

*Nous devons un remerciement aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.*

*A madame Noura, l'ingénieur de laboratoire ce qui nous a aidé dans laboratoire en fournissant toutes moyens pour complète ce travail.*

*Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement, tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.*

# *Dédicaces*

*À mon père et ma mère*

*À mes sœurs et frères*

*À celle qui m'a toujours soutenu, la personne la plus chère de moi*

*À mes amis les plus proches*

*À tous ceux qui m'ont soutenu lors de mon parcours*

*Je dédie ce modeste travail...*

*Islam*

**Table des Matières**

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction Générale .....	<b>1</b>

**A-Partie Théorique**

**Chapitre I : Etude bibliographique sur les pipelines**

I.1.introduction.....	<b>3</b>
I.2. Pipelines.....	<b>4</b>
I.2.1. Historique des pipelines.....	4
I.2.2. Définition et mode de fabrication des pipelines .....	5
I.2.3. Dimensionnement d'une pipe .....	6
I.2.4 Les caractéristiques de la canalisation (pipeline).....	6
I.2.5 types des canalisations .....	6
I.2.6. Précautions.....	8
I.2.7. Corrosion des pipelines.....	8

**Chapitre II : Généralité sur la corrosion**

II. 1. Introduction .....	<b>10</b>
II.2. Mécanisme de la corrosion.....	<b>10</b>
II.3. Facteurs de la corrosion.....	<b>10</b>
II.4. Types de la corrosion .....	<b>12</b>
II.4.1. Corrosion électrochimique (humide).....	12
II.4.2. Corrosion chimique (sèche).....	14
II.4.3. Corrosion biochimique (bactérienne) .....	14
II.5. Formes de corrosion .....	<b>15</b>
II.5.1. Corrosion généralisée .....	15
II.5.2. Corrosion localisée (zonale) .....	15
II.6. Effets économiques de corrosion .....	<b>17</b>
II.7. Conclusion.....	<b>18</b>

**Chapitre III : Les Inhibiteurs de corrosion**

III.1. Introduction.....	<b>19</b>
III.2. Méthodes de prévention contre la corrosion .....	<b>19</b>

## Table des Matières

---

III. 2.1. Protection par revêtements .....	19
III. 2.2. Protection électrochimique.....	21
III.2. 3. Protection par inhibiteurs .....	23
III.2.3.1. Définition d'inhibiteur .....	23
III.2.3.2. Propriétés.....	23
III.2.3.3. Nature des molécules de l'inhibiteur.....	24
a. Les inhibiteurs organiques.....	24
b. Les inhibiteurs minéraux.....	25
III.2.3.4. Mode d'action des inhibiteurs de corrosion.....	25
III.2.3.5. Classification des inhibiteurs de corrosion.....	27
A. Selon le mécanisme réactionnel (adsorption ou formation de film).....	28
B. Selon la réaction partielle.....	28
C. Selon le domaine d'application.....	29
III.2.3.6. Méthodes d'étude des inhibiteurs.....	29

## B-Partie Expérimentale

### Chapitre IV: Méthodes d'Etudes et résultat

IV.1. Introduction.....	<b>30</b>
IV.2. Matériau d'étude (acier C-1020 d'une pipe) .....	<b>30</b>
1. Préparation du matériau .....	31
2. solution de chlorure de sodium .....	Erreur ! Signet non défini.
3. solution de chlorure de zinc.....	32
IV.3. Partie expérimentale .....	<b>33</b>
IV.3.1. Méthode gravimétrique (perte de masse).....	33
IV.3.2. Manipulation .....	33
IV.3.3. Résultats .....	34
A. Sans inhibiteur (en fonction du temps).....	34
.B. Avec l'inhibiteur.....	41
IV.4. Conclusion .....	<b>46</b>
Conclusion générale.....	47
Bibliographie	

---

---

## Liste des figures

### Liste des figures

<b>Figure. I.1:</b>	Les différents modes de transport des hydrocarbures.....	3
<b>Figure.I.2 :</b>	La première utilisation connue de pipelines pour le transport.....	4
<b>Figure.I.3 :</b>	Canalisation enterré.....	5
<b>Figure.I.4 :</b>	Canalisation aérienne.....	5
<b>Figure. II .1 :</b>	Processus de la corrosion de l'acier.....	14
<b>Figure II .2 :</b>	Exemple de corrosion généralisée.....	15
<b>Figure II.3 :</b>	Représentation schématique de quelques types d'attaque localisée.....	17
<b>Figure III.1 :</b>	Corrosion en présence de revêtements métalliques plus nobles (a), et moins nobles (b) que le substrat.....	20
<b>Figure III.2 :</b>	Schéma de protection cathodique d'une canalisation enterrée par anodes sacrificielles.....	22
<b>Figure III.3:</b>	Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.....	24
<b>Figure III. 4 :</b>	Les différentes étapes lors de la dissolution d'un métal en milieu liquide.....	25
<b>Figure III.5:</b>	Formation des couches barrières cathodiques (A) et anodiques (B), en milieu acide....	27
<b>Figure III.6:</b>	Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.....	27
<b>Figure IV.1:</b>	Les échantillons.....	31
<b>Figure IV. 2 :</b>	Une polisseuse mécanique.....	31
<b>Figure IV. 3 :</b>	Les échantillons préparés après le polissage.....	32
<b>Figure IV.4:</b>	Chlorure de zinc.....	32

## Liste des figures

---

<b>Figure IV.5</b> : Structure de chlorure de zinc.....	33
<b>Figure IV.6</b> : Surfaces du métal avant.....	34
<b>Figure IV.7</b> : Surfaces du métal après.....	34
<b>Figure IV.8</b> : Représentation graphique de $\Delta m$ en fonction du temps à pH 3.....	35
<b>Figure IV.9</b> : Représentation graphique de taux (la vitesse) de corrosion en fonction du temps à pH 3.....	35
<b>Figure IV.10</b> : Surfaces du métal avant.....	36
<b>Figure IV.11</b> : Surfaces du métal après.....	36
<b>Figure IV.12</b> : Représentation graphique de $\Delta m$ en fonction du temps à pH 7.....	37
<b>Figure IV.13</b> : Représentation graphique de taux de corrosion en fonction du temps à pH 7.....	37
<b>Figure IV.14</b> : Surfaces du métal avant.....	38
<b>Figure IV. 15</b> : Surfaces du métal après.....	38
<b>Figure IV.16</b> : Représentation graphique de $\Delta m$ en fonction du temps à pH 10.....	39
<b>Figure IV.17</b> : Représentation graphique de taux de corrosion en fonction du temps à pH 10.....	39
<b>Figure IV.18</b> : Représentation graphique de taux de corrosion en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH 3.....	41
<b>Figure IV.19</b> : Représentation graphique de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion $ZnCl_2$ en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH 3.....	42
<b>Figure IV.20</b> : Représentation graphique de taux de corrosion en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH 7.....	43
<b>Figure IV.21</b> : Représentation graphique de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion $ZnCl_2$ en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH 7.....	43
<b>Figure IV.22</b> : Représentation graphique de la vitesse de corrosion en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH 10.....	44

## Liste des figures

---

---

<b>Figure IV.23</b> : Représentation graphique de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion $ZnCl_2$ en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH 10.....	45
--	----

**Liste des tableaux**

<b>Tableau II.1 :</b> Les principaux facteurs de la corrosion.....	11
<b>Tableau III.1:</b> Types de revêtements.....	19
<b>Tableau IV.1 :</b> Teneur en masse des éléments présents dans C-1020.....	30
<b>Tableau IV.2 :</b> Variation de la masse et le taux de corrosion de l'acier en fonction du temps, dans une solution 0.1 M NaCl et pH 3 .....	34
<b>Tableau IV.3 :</b> Variation de la masse et le taux de corrosion de l'acier en fonction du temps dans une solution 0.1 M NaCl et pH 7.....	36
<b>Tableau IV. 4 :</b> Variation de la masse et le taux de corrosion de l'acier en fonction du temps, dans une solution 0.1 M NaCl et pH 10. ....	38
<b>Tableau IV.5 :</b> Le taux (la vitesse) de corrosion de l'acier en fonction de la masse de l'inhibiteur ajouté dans une solution 10 <sup>-2</sup> M NaCl, pH 3, pendant 10 jours.....	41
<b>Tableau IV.6 :</b> Le taux de corrosion de l'acier en fonction de la masse de l'inhibiteur ajouté dans une solution 10 <sup>-2</sup> M NaCl, pH 7, pendant 10 jours.....	42
<b>Tableau IV.7 :</b> Le taux de corrosion de l'acier en fonction de la masse de l'inhibiteur ajouté dans une solution 10 <sup>-2</sup> M NaCl, pH 7, pendant 10 jours.....	44

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**M:** Métal

**Mn<sup>+</sup>:** Ion métallique

**OX:** Oxydant

**R:** Réducteur

**n é:** Nombres d'électrons échangés dans la réaction

**XO<sub>4</sub><sup>n-</sup>:** Oxo-anion

**τ:** Taux de corrosion

**Δm:** La différence de masse ( $m_i - m_f$ )

**S:** Surface exposée en cm<sup>2</sup>

**m<sub>i</sub>:** La masse initiale des pièces métalliques avant démeritons dans NaCl

**m<sub>f</sub>:** La masse finale des pièces métalliques après démeritons dans NaCl

**t:** Le temps

**E%:** Efficacité de l'inhibiteur de corrosion en (%).

**Ppm :** Particule (partie) par million.

**RA1K :** Raffinerie de Skikda numéro 01.

**SONATRACH :** Société nationale pour la recherche, la production, et la commercialisation des hydrocarbures.

**pH:** Potentiel Hydrogène.

## Résumé

Compte tenu de la présence quasi universelle de l'eau sur la terre, les dégâts occasionnés par la corrosion aqueuse affectent pratiquement tous les domaines de l'activité humaine, depuis le bâtiment jusqu'aux installations et appareils les plus sophistiqués tels les centrales nucléaires et les circuits électroniques, en passant par les usines chimiques, les installations pétrolières et les matériaux en contact avec l'eau de mer. L'objectif de ce travail est l'étude d'un moyen de lutte contre la corrosion de l'acier doux par l'utilisation d'inhibiteur de corrosion, chlorure de zinc, dans 10-2M NaCl à pH 3,5 ; 7 et 10. Cette étude a été réalisée par la méthode expérimentale de la masse perdue

**Mots clés :** Corrosion, inhibiteur de corrosion, ZnCl<sub>2</sub>, masse perdue, acier.

## Abstract

Taking into account the quasi universal presence of water on the ground, the damage caused by aqueous corrosion affects practically all the human activity, from the building to the most sophisticated installations and apparatuses such nuclear thermal power stations and the electronic circuits, while passing by the chemical factories, the oil installations and the materials in contact with sea water The objective of this work is the study of a means of fight against the corrosion of the mild steel by the use of corrosion inhibitor, chloride zinc, in 10 -2 M NaCl with pH 3,5; 7 and 10. This study was carried out by the experimental method of the lost mass method.

**Key words:** Corrosion, corrosion inhibitor, ZnCl<sub>2</sub>, lost mass, steel.

## المخلص

نظرا لتواجد الماء على سطح الأرض , فإن أضرار التآكل مست كل نشاطات الإنسان, إبتداء من النشاط العمراني إلى غاية المنشآت والالات المتطورة مثل المحطات النووية والدارات الالكترونية, مرورا بالمصانع الكيميائية والمنشآت البترولية والمعادن الملامسة لماء البحر.

الهدف من هذا العمل هو دراسة وسيلة للوقاية من تآكل الفولاذ اللين بإستعمال مثبت للتآكل (كلوريد الزنك) ,

في 10<sup>-2</sup> مول /لتر من كلوريد الصوديوم عند درجات حموضة : 3, 7 و 10.

حققتنا هذه الدراسة بإستعمال طريقة تجريبية المتمثلة في طريقة الكتلة الضائعة.

**الكلمات المفتاحية:** التآكل, مثبت التآكل, ZnCl<sub>2</sub>, الكتلة الضائعة, الفولاذ.

# **Introduction générale**

### Introduction Générale

L'histoire complète de la corrosion n'a pas encore été écrite. Cependant, cela implique toujours la découverte de substances. Si l'on se réfère aux premiers temps de l'humanité sur terre, on s'aperçoit que les premiers matériaux utilisés sont ceux que l'on trouve à l'état naturel, ou ceux qui ne nécessitent que de simples transformations. L'or, l'argent, le bronze sont utilisés depuis les temps les plus reculés, tandis que le fer de météore était utilisé au début de l'âge du bronze. Cependant, comme le bronze a été utilisé presque exclusivement par la suite, il a dû se corroder très rapidement. La corrosion était donc connue de longue date, mais son investigation scientifique dut attendre les essais d'Auguste De La Rive à l'Université de Grenoble en 1830 et les essais de Faraday sur l'électricité et les cellules de puissance.

La corrosion peut être considérée comme un phénomène suivant lequel un matériau à tendance sous l'action d'un milieu agressif, à retourner à son état original d'oxyde de sulfure, de carbonate etc. Elle représente avec la dégradation des matériaux un problème économique très important dont les dégâts occasionnent des pertes financières considérables et sont parfois à l'origine d'accidents corporelles. Les dommages causés par ce phénomène entraînent des milliards de dollars de pertes dans le monde, et sans mesures de prévention et de protection, ces chiffres pourraient être encore plus élevés.

La majorité des métaux et des alliages placés dans les environnements variés sont affectés par différentes formes de corrosion, L'adoption de mesures préventives contre la corrosion est donc nécessaire et l'utilisation des inhibiteurs est une méthode adaptée et pratique pour protéger les métaux.

Les produits pétroliers sont acheminés par canalisation depuis les gisements jusqu'à leurs zones de raffinage, stockage et distribution. En Algérie, l'activité Transport par Canalisation exploité par la société SONATRACH assure l'acheminement des hydrocarbures (pétrole brut, condensat, gaz naturel et GPL) sur un réseau estimé à 18512 km.

Tous ce réseau ainsi que les parcs stockages sont sujet au phénomène de corrosion a traves ce mémoire nous allons s'attarder sur la corrosion des pipelines ainsi que celle des bacs de stockage.

Comprendre le phénomène de corrosion ses propriétés et c'est répercutions sur le rendement des industries pétrochimique est le moyen le plus efficace de la combattre et de trouvé les solutions les plus adéquates.

## Introduction Générale

---

L'objectif de ce travail est l'évaluation de l'efficacité inhibitrice de chlorure de zinc contre la corrosion de l'acier C-1020 (d'un pipeline) et leurs concentrations optimales dans un milieu de chlorure de sodium de  $10^{-2}M$ , à l'aide de la méthode gravimétrique qui se base sur la perte de masse.

Le travail que nous présentons dans ce manuscrit est subdivisé en quatre chapitres et se termine par une conclusion générale résumant l'essentiel des résultats.

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur les pipelines
- Le deuxième chapitre contient des généralités sur la corrosion.
- Le troisième chapitre est une mise au point sur les inhibiteurs de corrosion.
- Le quatrième chapitre est consacré au travail expérimental et les résultats trouvés et leurs interprétations

# **Chapitre I**

## **Etude bibliographique sur les pipelines**

## I.1.introduction

La direction régionale de transport par canalisation EST (RTE) est l'une des neufs (9) régions de la division exploitation de la branche transport par canalisation de l'entreprise national SONATRACH. Son siège est implanté au sein de la zone industrielle situés à l'est de la ville de SKIKDA.

La RTE a pour objectif de stockage et de transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation à partir des centres de dispatching de HAOUD EL HAMRA (CDHL) et HASSI R'MEL (CNDG) vers les centres de transformations (GNL, Raffineries et les centrales électrique) et les ports pétroliers de Skikda.

La mission de la R.T.E est

- Le transport et le stockage et la livraison des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation et par bateau aux marchés national et international.
- Exploitation des canalisations, stations de pompage et de compression, terminaux et ports pétroliers.
- Maintenance, protection et sécurité de ces infrastructures.

Le transport des hydrocarbures des champs d'exploitations vers leurs destination intermédiaires ou final ce fait par divers moyens parmi eux :

- Pipeline (oléoduc, gazoduc)
- Transports routiers (camions citernes)
- Wagons de trains
- Transport maritime
- Pipeline sous-marin



**Figure. I.2:** Les différents modes de transport des hydrocarbures.

## I.2. Pipelines

### I.2.1. Historique des pipelines

Dans l'industrie pétrolière, l'objectif principal est d'extraire, transporter, raffiner les produits pétroliers en très grandes quantités dans les conditions économiques les plus performantes et pour des conditions de sécurité et de fiabilité des équipements optimales. Le transport des hydrocarbures sous forme liquide ou gazeuse (gazoducs) se fait par pipelines qui sont des canalisations enterrées ou aériennes (généralement le moyen le plus économique de transport sur de grandes distances terrestres)

Actuellement le mode de transport par pipeline a connu une ample importance à l'échelle nationale comme à l'échelle internationale, qui s'explique par une hausse des quantités des produits transportés et des consommations en énergie. Cette situation exige des entreprises de développer davantage leur logistique, voir même de varier leur mode de transport afin de garantir un approvisionnement régulier, pour faire face à la progression de la demande sur le marché. C'est dans cette vision que les entreprises pétrolières algériennes ont abordé un programme d'investissement important, visant à sécuriser l'approvisionnement du pays en produits pétroliers, à travers un maillage intelligent de pipelines, répondant au vrai besoin des différentes zones du pays. Le mode de transport par canalisation coopère sensiblement à la réduction à la fois des coûts, des délais de livraison, du trafic routier et assure aussi des transports massifs d'hydrocarbures, en veillant au respect de l'environnement avec des conditions les plus strictes de sécurité. S'il n'existait pas ! Il serait inévitable de faire circuler sur les routes, les autoroutes et les rails des milliers de camions et wagons citernes,



**Figure.I.2** : La première utilisation connue de pipelines pour le transport.

pour assurer le même transport. [1]

### I.2.2. Définition et mode de fabrication des pipelines

Un pipeline est un mode de transport des matières fluides réalisé au moyen de conduites constituant généralement un réseau [2], et au sens large, le pipeline est une installation utilisée pour le transport de marchandises, du point de réception au point de livraison. Un pipeline est une canalisation enterrée ou aérienne transportant des biens, qu'ils soient sous forme liquide ou gazeuse. Les pipelines sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol. Ces pipelines s'avèrent coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés, en zone de risque sismique ou politiquement instable. Au contraire de leur investissement initial, leur utilisation est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances. [3]



**Figure.I.3:** Canalisation enterrée [4]



**Figure.I.4 :** Canalisation aérienne

Les pipelines sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol, on distingue trois différents types :

- **Les tubes soudés :** Obtenus à chaud ou à froid ils ont un coefficient d'assemblage soudé. Suivant le procédé de fabrication de l'enveloppe, la soudure peut être longitudinale (tube roulé soudé) ou hélicoïdale (tube spiralé).
- **Les tubes centrifuges :** Obtenus par coulée de métal dans un moule cylindrique tournant, ces tubes sont réservés aux aciers spéciaux.
- **Les tubes sans soudures :** Ce sont les plus utilisés dans l'industrie pétrolière et pétrochimique. Ils sont obtenus en faisant chauffer une billette d'acier à environ

1250°C, puis après un perçage réalisé par une poire métallique, on lamine et on calibre le tube obtenu. [5]

### I.2.3. Dimensionnement d'une pipe

Le dimensionnement d'une pipe et des éléments associés est défini par l'utilisation envisagée (débit, vitesse, pression, localisation). Il existe des formules de calcul, qui donneront les dimensions correctes. On essaie de ne pas surdimensionner les tubes pour des problèmes de poids, de prix et d'excès d'épaisseur .

Les dimensions des pipes sont standardisées en pouce et aussi en système métrique .  
Le plus couramment utilisé sont les mesures en pouce : [5]

(½" - ¾" - 1" - 1½" - 2" - 3" - 4" - 6" - 8" - 10" - 12" - 14" - 16" - 18" - 20" - 24"  
30" - 36" - 42" - 48" - 56" - 60")

### I.2.4 Les caractéristiques de la canalisation (pipeline)

Les principales caractéristiques d'un pipeline sont :

- Un grand diamètre qui peut atteindre 64 pouces
- La capacité maximale de transport
- La pression de service élevée (jusqu'à 100 bars)
- Une grande longueur
- L'épaisseur (variant de 6.35 mm à 23 mm)
- Le mode de pose (aérien ou souterrain).

### I.2.5 types des canalisations

Selon les caractéristiques physiques et des conditions du transport du produit transporté, les pipelines portent des noms spécifiques : gazoduc, oléoduc, etc. Ceux-ci sont assujettis à une réglementation qui leur est propre tout comme le sont les techniques de construction et d'exploitation. Les principaux systèmes de transport par canalisation concernent [6] :

- Le gaz naturel, transporté par **gazoduc** ; Il existe trois types
  - ✚ Gazoducs de collecte, ramenant le gaz sorti des gisements ou des stockages souterrains vers des sites de traitement

- ✚ Gazoduc de transport ou de transit, acheminant sous haute pression le gaz traité (déshydraté, désulfuré,) aux portes des zones urbaines ou des sites industriels de consommation.
- ✚ Gazoducs de distribution, répartissant le gaz à basse pression au plus près des consommateurs domestiques ou des petites industries.
- Les hydrocarbures liquides, dont surtout le pétrole, transportés par **oléoduc**, Il on existe sous différentes formes, épaisseurs, longueurs et diamètres.

#### ❖ La différence entre un oléoduc et un gazoduc

Les pipelines de pétrole (Oléoducs) et les pipelines de gaz naturel (Gazoducs) sont très similaires car tous deux sont faits en acier. La principale différence est que l'oléoduc (les conduites de pétrole) transporte généralement des fluides entre 600 et 1 000 psi, tandis que les conduites de gaz (Les gazoducs) transportent du gaz généralement à une pression plus élevée de 1000 psi.

Les gazoducs ont des stations de compression en surface à intervalles réguliers. Ces compresseurs comprennent généralement des turboréacteurs terrestres. Les pipelines de pétrole brut ou de liquide ont des stations de pompage de surface à intervalles réguliers, souvent équipées de pompes électriques.

Il existe bien d'autres produits acheminés sur des distances parfois importantes, justifiant le terme de « transport », par différenciation avec des distributions locales :

- L'eau douce, principalement pour l'irrigation, dans des conduites ou émissaires ou **aqueducs** ;
- L'eau salée ou saumâtre, appelée « saumure », dans des **saumoducs** ;
- L'oxygène dans des **oxygénoducs ou d'oxyduc** ;
- L'hydrogène dans des **hydrogénoducs** ;
- etc.

### I.2.6. Précautions

#### a) Les précautions avant la mise en service

Avant de signer la liste d'enlèvements des obturateurs l'opérateur doit :

- ✓ S'assurer que l'ensemble du travail est terminé .
- ✓ Contrôler l'intérieur de la capacité si tout est propre et libre de tout déchet
- ✓ Contrôler que tous les obturateurs ont été enlevés .
- ✓ Contrôler que des nouveaux joints ont été installés

Il est aussi nécessaire de nettoyer l'intérieur du pipe, afin d'éliminer les débris ou autres déchets qui pourraient se trouver à l'intérieur, soit par soufflage, soit par rinçage .

Les leak tests (fuites), permettent de contrôler l'étanchéité du pipe, en pressurant le pipe généralement à 1.5 fois la pression de design. (à condition que le pipe ait été calculé pour une telle pression) [5]

#### b) Les précautions avant un arrêt ou une intervention

##### + Dépressurisation

Avant toute intervention, il est impératif de dépressuriser les pipes, en aucun cas on ne peut pratiquer une intervention sur un pipe en pression .

##### + Vidange

Bien vérifier la vidange par les points bas .

##### + Inertage

Nécessaire pour toute intervention sur la ligne (ouverture d'une bride ,remplacement d'un joint)

**Notes :** Problème de fragilisation d'une ligne précautions particulières .

En cas de soudure, vérifier l'épaisseur résiduelle du pipe,

### I.2.7. Corrosion des pipelines

La corrosion des pipelines est la dégradation de leurs propriétés mécaniques sous l'effet de l'environnement immédiat qui peut être le sol, l'atmosphère, l'eau ou d'autres Fluides. La corrosion qu'elle soit interne provoqué par la matière transporté ou bien externe par le milieu environnant est parmi les causes majeurs de dégradation et défaillance des pipelines. Compte tenu du nombre important de paramètres intervenant dans le processus électrochimique.

**a) Corrosion externe**

Elles sont multiples et peuvent aller jusqu'au percement en très peu de temps (quelques mois) et avoir des conséquences dramatiques pour l'environnement. Mis à part les causes exogènes (acidité des terrains, courants vagabonds, etc.), elles sont imputables à des défauts de revêtements (protection passive) et/ou à une protection cathodique (protection active) défectueuse ainsi qu'à des états de stress mécanique de la conduite (corrosion sous contraintes).

Contrairement aux dommages mécaniques, les informations topologiques sont plus difficiles à identifier et à interpréter. Cela vient du fait, entre autres, de la multiplicité des facteurs intervenant dans les processus de dégradation et de leur évolution dans le temps.

**b) Corrosion interne**

La corrosion interne est essentiellement due aux actions des effluents transportés par la canalisation (milieu anaérobie) ou plus rarement à l'abandon momentané de l'exploitation de cette dernière (milieu aérobie). La corrosion interne peut être définie comme le résultat d'actions physiques, chimiques ou bio-physicochimiques internes dues essentiellement à la présence et au transport des effluents (pétrole, gaz, eau, matières solides) entraînant des pertes de matière aussi bien locales que générales. [7]

Plus difficile à détecter par l'extérieur que les autres types de défauts, et à résoudre, la corrosion interne peut avoir des conséquences graves. Elle peut être extrêmement rapide comme par exemple dans le cas d'attaque par des bactéries sulfurogènes. [5]

Les causes en sont surtout la présence de CO<sub>2</sub>, d'acides organiques, parfois d'H<sub>2</sub>S et des BSA. L'utilisation d'alliages résistants à ce type de corrosion est généralement réservée au tubing de puits. Comme pour la corrosion externe, les topologies correspondantes peuvent revêtir des aspects très différents.

# **Chapitre II**

## **Généralité sur la corrosion**

## II. 1. Introduction

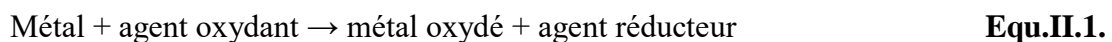
La corrosion est une interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et pouvant conduire à une dégradation significative de la fonction du métal, du milieu environnant ou du système technique dont ils font partie.[8] Cette interaction est souvent de nature électrochimique.

Le nom « corrosion » vient du latin « corroder » qui signifie ronger ou attaquer. En effet, la corrosion est une dégradation du matériau ou de ses propriétés (physicochimiques, mécaniques, etc...) par interaction chimique avec le milieu environnant.

Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible car il détruit le matériau et réduit ses propriétés, le rendant inutilisable pour une application prévue. D'un autre point de vue la corrosion est un phénomène bien venu, voir souhaité, car elle détruit et élimine un nombre d'objets abandonnés dans la nature. Certains procédés industriels font également appel à la corrosion (anodisation de l'aluminium, polissage électrochimique, etc...). [9]

## II.2. Mécanisme de la 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 :



[10]

## II.3. Facteurs de la corrosion

Les phénomènes de corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs généralement en relation les uns avec les autres de manière complexe pouvant réagir avec un effet de

synergie. Ces facteurs sont de deux types : externe et interne et sont résumés dans le tableau (II.1) : [8]

**Tableau II.1** : Les principaux facteurs de la corrosion.

<b>Facteurs du milieu corrosif</b>	<b>Facteurs métallurgiques</b>	<b>Facteurs définissant les conditions d'emploi</b>	<b>Facteurs dépendants du temps</b>
-Concentration de réactif -Teneur en oxygène - <i>pH</i> du milieu -Température -Pression -Présence de bactéries	-Composition de l'alliage -Procédé d'élaboration -Impuretés -Traitement thermique -Traitement mécanique	-Etat de surface -Forme des pièces -Emploi d'inhibiteur -Procédés d'assemblage	-Vieillessement -Tension mécaniques -Modification des revêtements protecteurs

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques de ces deux paramètres. La température et le pH ont une influence directe sur la vitesse de corrosion, et une influence indirecte à travers la phase aqueuse (eau de condensation, eau de production). Les conditions de flux, le film formé à la surface du métal et la pression ont une influence directe à travers la pression partielle du CO<sub>2</sub>. [11]

**a) Effet de la température :**

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau. [12]

**b) Effet de l'acidité :**

La susceptibilité du matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu. [10]

**c) La 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. [13]

**d) La teneur en oxygène :**

La teneur en oxygène est un paramètre primordial dans les processus de corrosion des aciers. Or compte tenu de la complexité du phénomène de corrosion, les processus sont fortement conditionnés par l'environnement dans lequel ils séjournent. La corrosion électrochimique des aciers en présence de l'oxygène s'effectue selon les réactions suivantes



**Equ.II.5**



**Equ.II.6**

L'oxygène est introduit dans les canalisations lors des opérations d'arrêt, de vidanges des équipements ou par les pompes. [14]

## II.4. Types 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.

Classiquement, on distingue trois types de corrosion :

Électrochimique, Chimique et bactérienne, dont l'importance est très inégale suivant la nature des matériaux

### II.4.1. 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). [15]

Dans le cas d'un métal en contact avec le milieu aqueux, il se produit une émission d'ions métalliques dans la solution et une modification de l'interface métal /solution, avec formation de produits de corrosion et un dégagement gazeux. Le phénomène de corrosion électrochimique est accéléré par l'hétérogénéité du matériau, le pH, la composition de la solution et par la température.

**La corrosion en milieu aqueux :** Le mécanisme de la corrosion par l'eau se résume à une action d'oxydoréduction représentée par les équations suivantes :

**Aires anodiques :**



C'est une réaction rapide mais généralement la vitesse de corrosion est contrôlée par la réaction cathodique qui est plus lente.

**Aires cathodiques :**



Cette réaction qui est lente en milieu aqueux neutre ou basique devient rapide en milieu acide, et peut être accéléré par l'oxygène dissous suivant une réaction de dépoliarisation qui est la suivante :



Dans cette réaction l'oxygène dissout réagit avec l'hydrogène absorbé à la surface du Fer, si on tient compte de la réaction de dissociation de l'eau, on obtient la réaction globale en milieu aqueux :

- Réaction de dissociation de l'eau :



- Réaction globale :

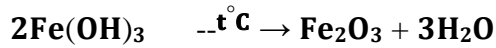


↓ Hydroxyde ferreux

L'hydroxyde ferreux forme une barrière de diffusion à l'interface métal - solution. Le  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  est de couleur blanche. Le film d'oxyde ou d'hydroxyde va s'oxyder à son tour en contact de l'oxygène dissous pour donner l'oxyde ferrique hydraté ou l'hydroxyde ferrique.



↓ Hydroxyde ferrique



Equ.II.13

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  est de couleur orange brun (rouille), dont la forme minérale est l'hématite. C'est un oxyde paramagnétique stable du fer, dont une forme hydratée constitue la rouille. Ainsi les films de rouille sont constitués de trois (03) couches d'oxyde de Fer par nombre d'oxydation croissant. [16]

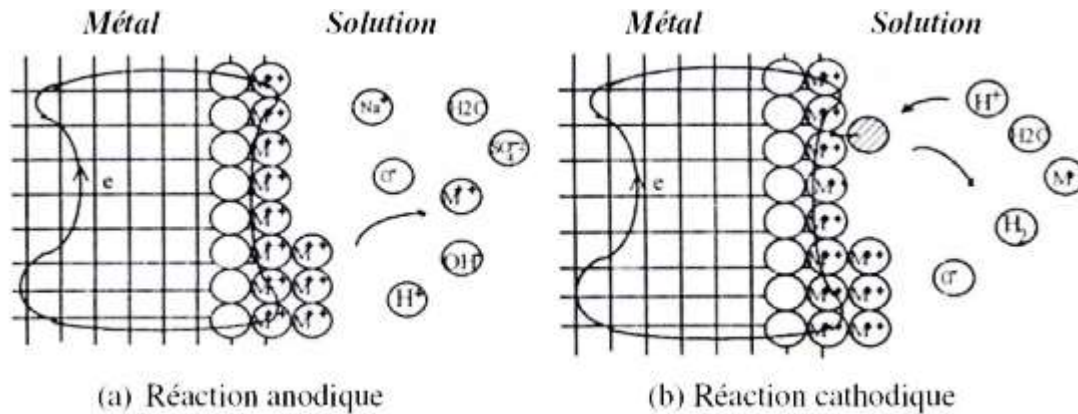


Figure. II .1 : Processus de la corrosion de l'acier. [17]

#### II.4.2. 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' $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  Et  $\text{CO}_2$ ). Lorsque le réactif est gazeux ou cette corrosion se produit à haute température, elle Est alors appelée : Corrosion sèche ou corrosion à haute température. [18]

La réaction qui se produit est de la forme :



Equ.II.14

#### II.4.3. 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. [19]

## II.5. Formes de corrosion

La corrosion peut être classifiée suivant les formes et types. Une simple observation visuelle ou au microscope est apte à identifier la forme et le type de corrosion.

Selon les formes, on distingue :

- Corrosion uniforme.
- Corrosion localisée.

### II.5.1. Corrosion généralisée

La corrosion généralisée ou uniforme est une corrosion progressant approximativement à la même vitesse sur la totalité de la surface d'un métal donné en contact avec un milieu environnant corrosif. C'est la forme de corrosion la plus simple (figure I.6).

[20]



Figure II .2 : Exemple de corrosion généralisée.

### II.5.2. Corrosion localisée (zonale)

Ce mode de corrosion est le mode le plus fréquent et le plus ennuyeux car il vise uniquement certaines zones bien distinguées du matériau. On distingue plusieurs types de corrosion localisée, à savoir :



#### Corrosion intergranulaire

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

 **Corrosion par piquûre**

Elle se produit quand les métaux protégés par un film d'oxyde mince comme l'aluminium et ses alliages et les aciers inoxydables, lorsqu'ils sont mis en contact avec un milieu aqueux (pour un pH voisin de la neutralité) contenant les halogénures, notamment le chlorure  $\text{Cl}^-$ . [8]

 **Corrosion Caverneuse**

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

 **Corrosion galvanique**

C'est une des formes les plus courantes de corrosion en milieu aqueux, est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux matériaux dans laquelle une des électrodes (l'anode) se consomme au bénéfice de l'autre (la cathode) qui reste intacte. [8]

 **Corrosion-érosion**

La corrosion par érosion affecte de nombreux matériaux (aluminium, acier...), elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de la matière, elle est souvent favorisée par l'écoulement rapide d'un fluide. [8]

 **Corrosion sélective**

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

 **Corrosion sous contrainte**

Ce type de corrosion se définit comme un processus de développement de fissures, pouvant aller jusqu'à la rupture complète de la pièce sous l'action combinée d'une tension mécanique et d'un milieu corrosif. [16]

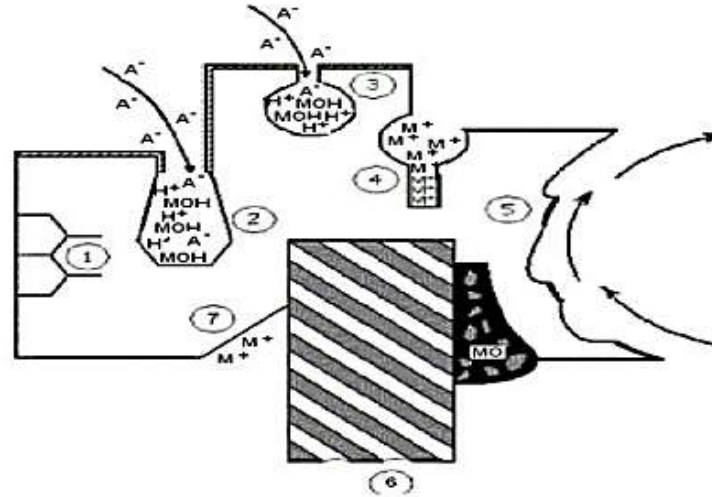
 **Corrosion fatigue**

La corrosion-fatigue se distingue de la corrosion sous contrainte par le fait que les contraintes appliquées ne sont plus statiques, mais cycliques (efforts périodiques alternés).



### Fragilisation par l'hydrogène

La présence d'hydrogène dans un réseau métallique peut entraîner d'importantes détériorations du métal avec chute catastrophique de ses propriétés mécaniques.



A- : halogène (généralement Cl-), M : Métal, MOH : hydroxyde métallique.

1 : corrosion intergranulaire ; 2 : corrosion par piqûres ; 3 : corrosion par effet de crevasse ; 4 : corrosion par pile de concentration ; 5 : corrosion érosion ; 6 : corrosion sélective ; 7 : corrosion par couplage galvanique.

**Figure II.3 :** Représentation schématique de quelques types d'attaque localisée

## II.6. Effets économiques de corrosion

La corrosion est un domaine bien plus vaste qui touche toutes sortes de matériaux (Métaux, céramiques, polymères) dans des environnements variables (milieu aqueux, atmosphère, hautes températures).

La corrosion des équipements et des matériaux causent de grands dégâts dans tous les secteurs : transport, communication, industries chimique et pétrolière.

### A. Sur les installations pétrolières

- 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
- Protection :
  - ✓ Passive, inhibiteurs, active ;
  - ✓ Coût de la maintenance industrielle

- ✓ Entretien et contrôle
- Coût des équipements à remplacer.

### **B. Sur la production pétrolière**

- Contamination du produit par des produits de corrosion.
- Arrêt de production.
- Des pertes de production (fuites dans les canalisations, émissions de gaz...).

## **II.7. Conclusion**

Dans l'industrie pétrolière, les pipelines sont des outils essentiels de transport massif des hydrocarbures, sur de grandes distances, ils allient des débits importants et confirment année après année qu'ils sont le mode le plus sûr et le plus économique de transport des hydrocarbures. Cependant, leur enfouissement conduit à une série de pertes systématiques et les autres sont accidentelles.

Les pertes par corrosion, représentent une composante importante du pourcentage des pertes technologiques au cours du processus de transport par pipelines, ainsi qu'une considérable source de pollution.

# **Chapitre III**

## **Les Inhibiteurs de corrosion**

### III.1. Introduction

La protection contre la corrosion décrit des mesures ciblées visant à prévenir les attaques corrosives (c'est-à-dire en décomposition) sur un composant métallique.

La lutte contre la corrosion représente toutes les mesures qu'on peut prendre pour protéger les matériaux métalliques contre l'action destructive du milieu. La protection la plus immédiate est de choisir des métaux ou alliages résistant aux milieux agressifs et, dès la phase de conception d'une installation, la protection contre la corrosion doit être considérée pour éviter de nombreux problèmes et garantir une certaine durée de vie. La solution adoptée doit être compatible avec les prescriptions concernant la protection de l'environnement et permettre le recyclage ou l'élimination des différents composants à la fin de leur utilisation.

### III.2. Méthodes de prévention contre la corrosion

Donné que la corrosion résulte de l'action de deux partenaires, le métal ou l'alliage d'une part, la solution d'autre part, il sera possible de lutter contre ces effets par [21] :

Protection par revêtements, protection électrochimique et protection par inhibiteurs de corrosion.

#### III. 2.1. Protection par revêtements

La structure à protéger est isolée de l'agressivité du milieu corrosif en utilisant des revêtements. Ils peuvent être métalliques ou non métalliques (voir le tableau III.1) [21]

**Tableau III.1:** Types de revêtements.

<b>Revêtements métalliques</b>	<b>Revêtements non métalliques</b>	
Chrome; Aluminium	<b>Organiques</b>	<b>Inorganiques</b>
Plomb ; Etain	Peintures Vernis Laques	Couches de conversion
Cadmium ; Cuivre ;	Résine Graisses Cires	Couches étrangères au substrat
Nickel ; Argent		

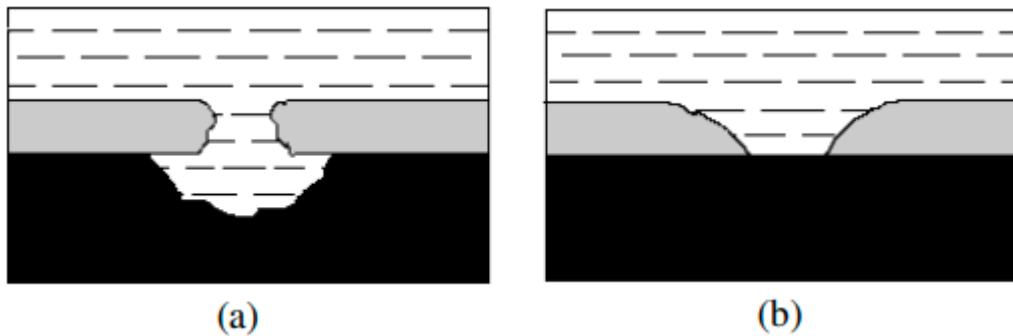
### a) Revêtements métalliques:

Parmi les différentes méthodes utilisées pour lutter contre la corrosion, la protection par revêtements métalliques. Selon leur comportement à la corrosion par rapport au substrat, on distingue deux types de revêtements métalliques :

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

Le chrome, le nickel ou le cuivre forment des revêtements plus nobles qu'un substrat en acier, contrairement au zinc, au cadmium ou l'aluminium. Dans les deux cas, la couche forme une barrière entre le métal de base et le milieu corrosif. Par contre, la différence se remarque à partir des pores ou des défauts dans la couche de corrosion. Un revêtement plus noble corrode localement le substrat qui joue le rôle d'anode (figure I.6.a). Les revêtements plus nobles que le substrat ne doivent donc contenir aucun défaut.

En revanche, lorsque le dépôt est moins noble que le substrat (figure I.6.b), le phénomène s'inverse. Le dépôt joue le rôle de l'anode et se détériore, alors que le substrat "cathode", reste protégé. En plus, il faut noter que la durée de vie du revêtement est proportionnelle à son épaisseur.[22]



**Figure III.1** : Corrosion en présence de revêtements métalliques plus nobles (a), et moins nobles (b) que le substrat.

Différentes techniques servent à fabriquer des revêtements métalliques :

- L'électrodéposition (galvanoplastie),
- Immersion dans un métal liquide (galvanisation),
- La déposition chimique,
- La déposition par projection au pistolet,
- La déposition par phase gazeuse (PVD, CVD).

**b) Revêtements non métalliques****1. Revêtements organiques**

Les revêtements organiques forment une barrière plus ou moins imperméable entre le substrat métallique et le milieu, et on les classe en trois familles [23] :

- Revêtements en bitume,
- Revêtements polymériques,
- Peintures et vernis.

**2. Revêtements inorganiques**

Les revêtements inorganiques non métalliques sont de deux types :

 **Les couches de conversion**

Ces couches sont obtenues par une réaction du métal avec un milieu choisi ; elles contiennent donc toujours des ions provenant du substrat. On différencie les couches de conversion selon leur procédé de fabrication, à savoir :

- L'anodisation,
- La phosphatation,
- La sulfuration,
- La chromatisation.

 **Les couches étrangères au substrat**

Parmi les revêtements inorganiques non métalliques étrangères au substrat, il y a :

- Ceux plus nobles que le substrat,
- Les émaux,
- Les ciments,
- Les céramiques réfractaires.

**III. 2.2. Protection électrochimique**

Elle consiste à agir de manière contrôlée sur les réactions d'oxydation et de réduction qui se produisent lors du phénomène de corrosion. En effet cette méthode consiste à imposer au métal un potentiel suffisamment bas pour que la vitesse de corrosion devienne négligeable, voire nulle. On distingue deux méthodes de protection [24] :

- La protection cathodique
- La protection anodique.

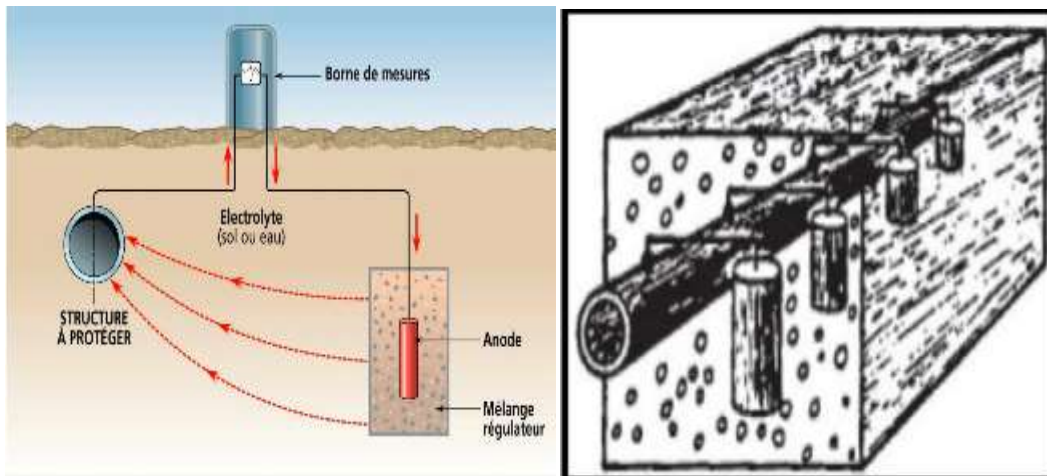
#### a. Protection cathodique

Elle consiste à abaisser le potentiel (métal – milieu) de manière à l'amener dans sa zone d'immunité ( $E \leq E_{\text{port}}$ ). Ce derrière doit être maintenue durant toute la durée de service. Deux possibilités sont pratiquement utilisées :

- La protection par anode sacrificielle
- La protection par courant imposé

#### ❖ Protection par anode sacrificielle ou anode galvanique

Dont le métal est relié électriquement avec un autre métal moins noble que lui, c'est -à-dire dont le potentiel dans la solution est plus négatif. Ce métal moins noble va se dissoudre par oxydation en émettant dans le sol un courant qui viendra protéger la structure. [25]



**Figure III.2** : Schéma de protection cathodique d'une canalisation enterrée par anodes sacrificielles [26].

### ❖ Protection par courant imposé

Utilisant un générateur extérieur au système métal/solution qui débitera un courant continu, de sens tel que dans la solution il "sortira" d'une pièce anodique appelée déversoir pour pénétrer dans le métal à protéger et le rendre cathodique.

#### b. Protection anodique

Elle consiste à élever la tension (métal – milieu) de manière à l'amener dans sa zone de passivation. Elle s'applique aux métaux passivables, dont le potentiel de corrosion se situe dans le domaine actif  $E_{\text{corr}} < E_{\text{passiv}}$ . Une polarisation anodique permet dans ce cas de déplacer le potentiel dans le domaine passif où la densité du courant passif est très faible. En revanche pour atteindre l'état passif, il faut appliquer une densité de courant nettement plus élevée, car elle doit être supérieure à la densité de courant de passivation. Donc avant d'exercer cette méthode, il est nécessaire d'avoir recours à des essais préliminaires permettant de déterminer la densité de courant correspondante à l'établissement de la passivité ainsi que le domaine de potentiel pour lequel le matériau reste passif, c.à.d. l'étendue du palier de passivité. La protection anodique peut être envisagée dans des milieux tels que les acides oxygénés (nitriques ou phosphoriques), les nitrates alcalins, pour des métaux tels que l'acier ordinaire ou inoxydable, le titane et le zirconium. Les alliages à base de cuivre ne sont pas passivés. [27]

## III.2. 3. Protection par inhibiteurs

### III.2.3.1. Définition d'inhibiteur

Le mot « inhiber » est dérivé du latin *inhibere* qui signifie arrêter, retenir. Le mot « inhibition » est employé en chimie et en corrosion depuis 1907. [28]

La définition d'un inhibiteur de corrosion n'est pas unique, néanmoins celle retenue par la "National Association of Corrosion Engineers" (NACE) est la suivante : un inhibiteur est une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration ». [29][30]

### III.2.3.2. Propriétés

Un inhibiteur de corrosion doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier. Il doit être non seulement stable en présence des autres constituants du milieu, mais également ne pas influencer sur la stabilité des espèces des autres contenues dans ce milieu. Un inhibiteur est définitivement

reconnu comme tel s'il est stable à la température d'utilisation et efficace à faible concentration. Il peut être utilisé en vue d'une protection permanente (surveillance primordiale du dispositif) ou plus couramment en vue d'une protection temporaire : durant une période où la pièce est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage, etc.) ou encore lorsque la pièce est soumise à des usinages très sévères comme le perçage, taraudage, forage, filetage, etc.

### III.2.3.3. Nature des molécules de l'inhibiteur

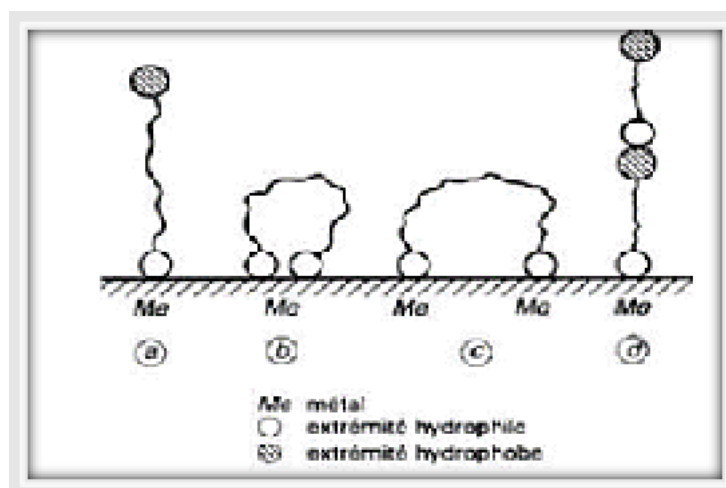
#### a. Les inhibiteurs organiques

Les molécules organiques sont promises à un développement plus que certain en termes d'inhibiteur de corrosion : leur utilisation est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. Les inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière. [31] Ils possèdent au moins un centre actif (les atomes N, S, P, O) susceptible d'échanger des électrons avec le métal, tel l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont :

- Le radical amine (-NH<sub>2</sub>),
- Le radical mercapto (-SH),
- Le radical hydroxyle (-OH),
- Le

radical

carboxyle (-COOH).



**a** : Adsorption simple par l'extrémité hydrophile

**b** : Chélation de surface

**c** : Pontage de surface

**d** : Adsorption en multicouche

**Figure III. 3 :** Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique [32].

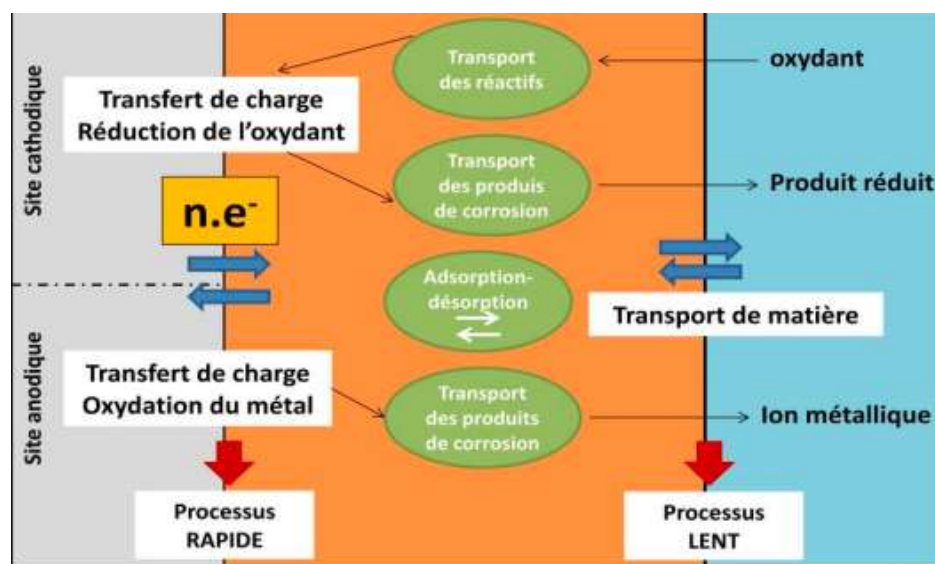
### b. Les inhibiteurs minéraux

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 leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions ou cations). Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type  $XO_4^{n-}$  tels les chromates, molybdates, phosphates, silicates, etc. Les cations sont essentiellement  $Ca^{2+}$  et  $Zn^{2+}$  et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle  $OH^-$ . Le nombre de molécules en usage à l'heure actuelle va en se restreignant, car la plupart des produits efficaces présentent un côté néfaste pour l'environnement.

#### III.2.3.4. Mode d'action des inhibiteurs de corrosion

Les inhibiteurs de corrosion n'agissent pas de la même façon. Un même composé aura souvent un mécanisme d'action qui dépendra du système de corrosion (métal/solution).

La corrosion étant un processus essentiellement électrochimique, l'action de l'inhibiteur ne peut se faire qu'au niveau d'une des étapes des réactions élémentaires données dans la figure III.4. Le mécanisme d'action d'un inhibiteur est le plus souvent à rechercher au voisinage proche de la surface métallique. Toutefois, en circuit fermé, on peut se débarrasser de l'oxygène, et la corrosion est alors contrôlée par un simple ajustement du pH à une valeur assez grande. Les chromates, les amines et les nitrites sont efficaces dans ce cas.



**Figure III. 4** : Les différentes étapes lors de la dissolution d'un métal en milieu liquide.

### A. Mécanisme d'action électrochimique

Ce classement des inhibiteurs tient compte de la nature électrochimique de la corrosion en phase liquide, qui met en jeu au moins deux réactions :

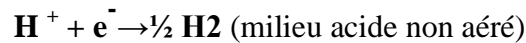
- Une réaction anodique de dissolution du métal (réaction d'oxydation) :



- Une réaction cathodique de réduction d'un oxydant de la solution :



Exemple :



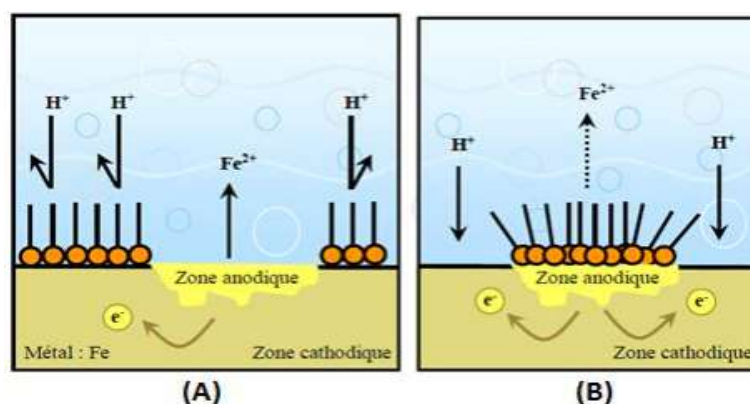
Si l'inhibiteur diminue la vitesse de la réaction d'oxydation en bloquant les sites anodiques (siège de l'oxydation du métal), il est appelé inhibiteur anodique.

S'il ralentit par contre la réaction de réduction en bloquant les sites cathodiques (siège de la réduction de l'oxygène dissous en milieu aéré ou siège de la réduction du proton  $H^{+}$  en milieu acide), il est appelé inhibiteur cathodique.

Les inhibiteurs mixtes agissent à la fois pour diminuer la vitesse de la réaction anodique et celle de la réaction cathodique.

Somme toute, on peut considérer que l'action de l'inhibiteur se fait par :

- L'interposition d'une barrière entre le métal et le milieu corrosif. En milieux acides, le rôle de l'adsorption du composé à la surface sera prépondérant.
- Le renforcement d'une barrière préexistante : en général une couche d'oxyde ou d'hydroxyde.
- La formation d'une barrière par interaction entre l'inhibiteur et un ou plusieurs éléments du milieu agressif (milieux neutres ou alcalins).

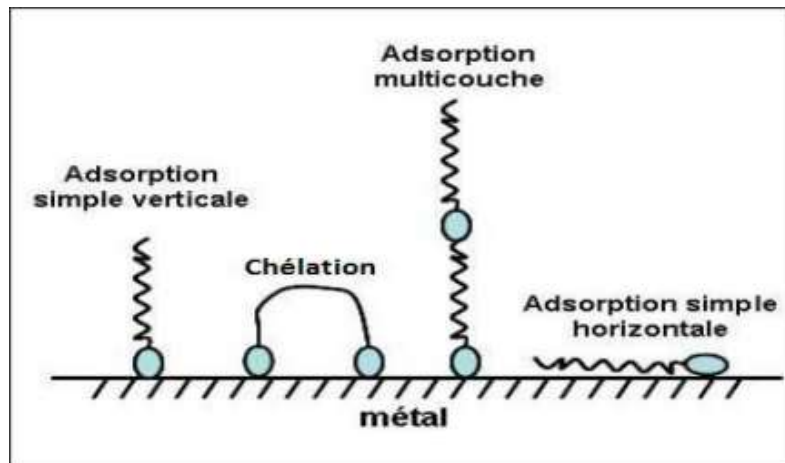


**Figure III.5:** Formation des couches barrières cathodiques (A) et anodiques (B), en milieu acide [33].

### B. Mécanismes d'action interfaciale

Cet autre mode de classement des inhibiteurs, les classe en tenant compte de leur mode de fixation sur le substrat métallique. Ainsi on distingue :

- Les inhibiteurs d'adsorption ou "d'interface" qui apparaissent en milieu acide (film mono ou bidimensionnel).
- les inhibiteurs dits "d'interphase" qui apparaissent en milieu alcalin (films tridimensionnels).



**Figure III.6:** Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.

#### III.2.3.5. Classification des inhibiteurs de corrosion

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

**A. Selon le mécanisme réactionnel (adsorption ou formation de film)****1) Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique**

La corrosion peut ralentir suite à l'adsorption d'un inhibiteur à la surface du métal. Le degré d'inhibition dépend alors de l'équilibre entre espèces dissoutes et adsorbées. L'adsorption est le mode d'action des inhibiteurs organiques, elle résulte de l'existence des forces de Van Der Waals entre l'inhibiteur et le métal [34].

**2) Formation d'un film intégrant les produits de dissolution du substrat**

Cette forme d'inhibition, appelée inhibition d'interphase traduit la formation d'un film tridimensionnel entre le substrat corrodé et les molécules d'inhibiteur. Les inhibiteurs d'interphase ne sont pas uniquement adsorbés aux interfaces (Métal / oxyde) et (oxyde / électrolyte), mais sont également incorporés dans les couches barrières (formation de complexes). Les molécules inhibitrices d'interphase forment des réseaux homogènes, denses, de bonne stabilité et elles se caractérisent par une faible porosité [35].

**B. Selon la réaction partielle****1. Inhibiteurs anodiques:**

Les inhibiteurs anodiques (également appelé inhibiteurs de passivation) sont tous inorganique, et ils agissent par un ralentissement de la réaction partielle anodique. Ils bloquent la réaction anodique en favorisant la réaction naturelle de passivation de la surface métallique. L'adsorption intervient aussi dans l'action des inhibiteurs anodiques. En générale, ces inhibiteurs réagissent avec les produits de corrosion initialement formés, et il en résulte la création d'une filme cohésive et insoluble sur la surface métallique.

**2. Inhibiteurs cathodiques:**

Pendant le processus de corrosion, inhibiteurs cathodiques prévient l'occurrence de la réaction cathodique du métal. Ces inhibiteurs sont tous inorganiques, et ils ont des ions métalliques capable de produire une réaction cathodique due à l'alcalinité, ainsi produisant des composés insoluble qui se précipite d'une manière sélective sur les sites cathodiques. En plus, ils agissent en déposant par adsorption une couche compacte et adhérent sur la surface métallique. Ceci augmente l'impédance de la surface métallique, et ça limite la diffusion des espèces réductible. Ces inhibiteurs mènent à une grande inhibition cathodique.

**3. Inhibiteurs mixtes:**

En générale, les inhibiteurs organiques (y compris les extraits des plantes) sont des inhibiteurs mixtes. Les inhibiteurs mixtes agissent en même temps sur les surfaces anodiques

et cathodiques, ils diminuent la vitesse des deux réactions partielles, mais modifient peu le potentiel de corrosion. Pour les inhibiteurs mixtes, le potentiel de corrosion pour un essai avec l'inhibiteur n'est pas fortement différent du potentiel sans l'inhibiteur, et théoriquement ils doivent être le même.

### **C. Selon le domaine d'application**

On distingue :

- Les inhibiteurs en milieu acide. Ils sont utilisés pour éviter une attaque électrochimique de l'acier lors du décapage.
- Les inhibiteurs en milieux neutres qui servent surtout à protéger les circuits de refroidissement.
- Les inhibiteurs en milieu organique (dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence.
- les inhibiteurs en phases gazeuses qui sont généralement utilisés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport (exemple : amines).

### **III.2.3.6. Méthodes d'étude des inhibiteurs**

Les méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion sont celles de la corrosion d'une manière générale. Ces méthodes peuvent être électrochimiques ou non électrochimiques, à savoir :

- ✓ La méthode de la perte de poids.
- ✓ Mesure du potentiel de corrosion.
- ✓ Tracé des courbes stationnaires intensité-potentiel.
- ✓ Mesure de la résistance de polarisation par le tracé de la courbe  $I = f(E)$  au voisinage du potentiel de corrosion.
- ✓ La spectroscopie d'impédance électrochimique.
- ✓ Dosage du métal dissous par absorption atomique.

# **Chapitre IV**

## **Méthodes d'Etudes et résultat**

### IV.1. Introduction

Dans le présent travail nous avons utilisé la méthode gravimétrique (la perte de masse) afin de déterminer l'influence du l'inhibiteur sur la corrosion du bac de stockage.

Cette méthode est très utilisée dans l'industrie pétrochimique. Elle consiste à peser la masse du métal étudié avant et après expérience. Cette dernière est le contacte de l'acier avec le milieu corrosif en fonction du temps en absence d'inhibiteur dans une première étape et ce même contacte en son présence.

L'utilisation de cette technique nécessite la bonne préparation des échantillons (acier), le milieu corrosif, ainsi que la solution inhibitrice.

### IV.2. Matériau d'étude et milieu réactionnel

Le matériau utilisé dans notre travail est l'acier C-1020, ou AISI 1020, qui est un acier connu par sa bonne usinabilité, soudabilité et ductilité. Nous avons ramené cet échantillon d'un tube de pipeline de la Sonatrach de Skikda, spécifiquement de la Raffinerie de Skikda (RA1K).

- **Composition chimique**

La composition chimique de cet acier est donnée par le tableau (IV.1).

**Tableau IV.1** : Teneur en masse des éléments présents dans C-1020.

Eléments	Fer (Fe)	Carbone (C)	Manganèse (Mn)	Phosphore (P)	Soufre (S)
<b>Teneur %</b>	(99,08-99,53) %	(0,17-0,23) %	(0,30- 0,60) %	Max 0,04%	Max 0,05%

Ces pourcentages peuvent légèrement varier selon les sources et les normes spécifiques employées dans la fabrication de l'acier tels que :

- Pièces automobiles.
- Composants de machines.
- Applications structurelles.
- Fixations : Couramment utilisé pour les boulons, écrous et goujons en raison de sa résistance et de sa facilité de fabrication.
- Équipements agricoles.

– Tuyaux et tubes : Souvent utilisé dans des applications à basse pression.

## 1. Préparation du matériau

### a. Découpage

Nous avons découpé les échantillons à l'aide d'une tronçonneuse sous formes de plaques de dimensions (10 x 10 x 2) mm (figure. IV.1).



**Figure IV.1:** Les échantillons de l'acier.

### b. Polissage

Les surfaces des coupons d'acier subit avant chaque manipulation un prétraitement, qui consiste en un polissage manuel par le papier abrasif de granulométrie de plus en plus fine : 80, 120, 400 et 1200, afin d'obtenir un état de surface adéquat.



**Figure IV. 2 :** Une polisseuse mécanique

Ensuite, les échantillons ont été rincés avec de l'eau distillée. Une fois séchés, ils ont été de nouveau rincés avec de l'acétone (figure. IV.3).



Figure IV. 3 : les échantillons préparés après le polissage

## 2. Solutions de chlorure de sodium (NaCl)

La préparation de la solution de chlorure de sodium ( $10^{-2}$  M de NaCl) a été obtenue en dissolvant 0,585 grammes de NaCl dans un litre d'eau distillée. La solution obtenue a été stockée dans une fiole jaugée.

## 3. Solution de chlorure de zinc (ZnCl<sub>2</sub>)

L'inhibiteur utilisé dans ce travail est le chlorure de zinc. Le ZnCl<sub>2</sub> est un composé chimique inorganique qui est un sel de zinc et de chlorure. Il a diverses applications industrielles et commerciales en raison de ses propriétés physico-chimiques uniques.

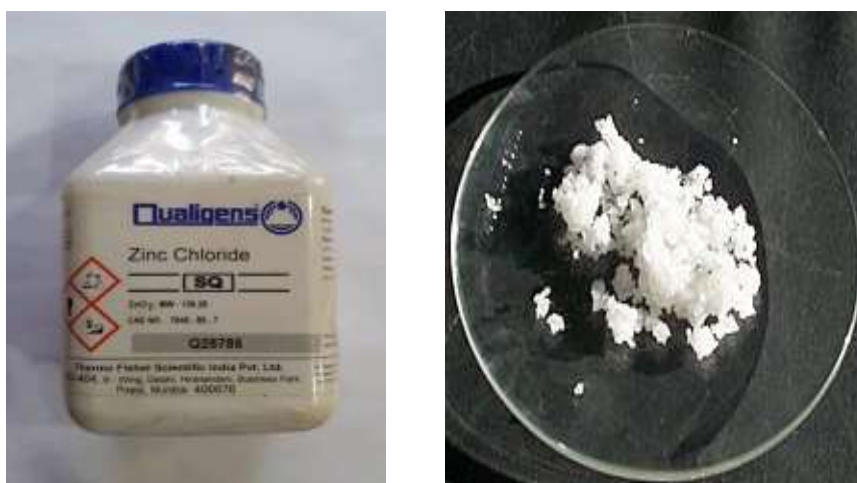


Figure IV.4: Chlorure de zinc

### • Propriétés

- Formule chimique : ZnCl<sub>2</sub>
- Apparence : Poudre blanche ou cristaux incolores
- Solubilité : Très soluble dans l'eau, ainsi que dans l'éthanol, le glycérol et l'éther.

- Densité : 2,91 g/cm<sup>3</sup>
- Masse moléculaire : M=136.4g/mol

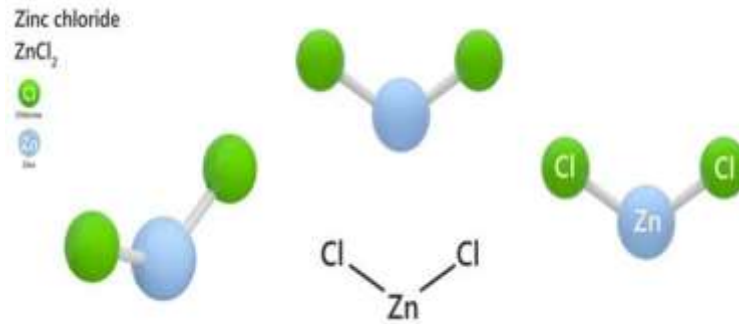


Figure IV.5 : Structure de chlorure de zinc

### IV.3. Partie expérimentale

#### IV.3.1. Méthode gravimétrique (perte de masse)

L'utilité de mesurer la masse perdue consiste en l'évaluation du taux de corrosion qui se définit comme une perte de masse par unité de surface et de temps et est exprimé en (g/cm<sup>2</sup>/an). Le taux de corrosion est calculé à partir de la formule suivante

$$\tau = \frac{\Delta m_i}{st} \quad \text{Avec} \quad \Delta m = m_i - m_f$$

- $m_i$  : 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 de l'expérience en jours.

#### IV.3.2. Manipulation

Chaque manipulation est définie par la masse et la surface totale de l'échantillon, les propriétés de la solution (pH, concentration, etc.) et le temps que nous l'avons mentionné par la suite.

- Les valeurs des pH choisis sont (3, 7 et 10).
- Les concentrations, de l'inhibiteur utilisés, varient de (0 ; 50 ; 100 ; 150 ; 200 ; 300 ; 350 ; 400 ; 500 ; 550) ppm.

- La durée de l'immersion a été fixée pour dix jours dans 100 ml de solution.
- Après chaque test, l'échantillon est retiré de la solution puis nettoyé à l'eau. Les produits de corrosion ont été éliminés de la surface du métal à l'aide d'une brosse à dent souple. Ensuite, après rinçage à l'eau distillée et séchage l'échantillon a été repesé, sa nouvelle masse a été également reportée dans des tableaux. (IV.2), (IV.3), (IV.4), (IV.5), (IV.6) et (IV.7).

### IV.3.3. Résultats

#### A. Sans inhibiteur (en fonction du temps)

Nous avons entamé trois (3) séries d'expériences suivant les différents pH utilisés, à savoir, (pH = 3, 7 et 10) et ce en absence de l'inhibiteur (que NaCl), Afin de connaître l'effet de ce milieu sur le métal en fonction du temps, les résultats obtenus sont mentionnés dans les tableaux. (IV.2), (IV.3) et (IV.4) :

#### 1. Manipulation 1: (pH = 3)

Les figures (IV.6), (IV.7) représentent les surfaces du métal avant et après l'expérience.



Figure IV.6 : Surface du métal avant.

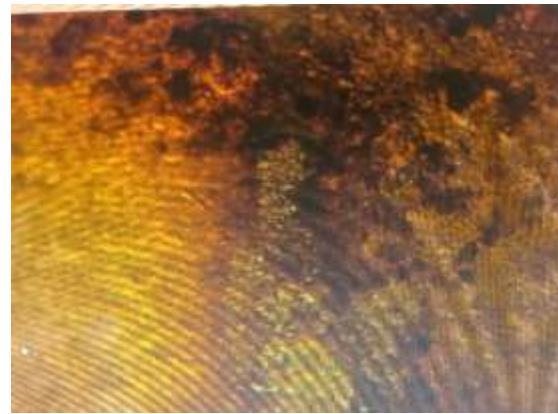
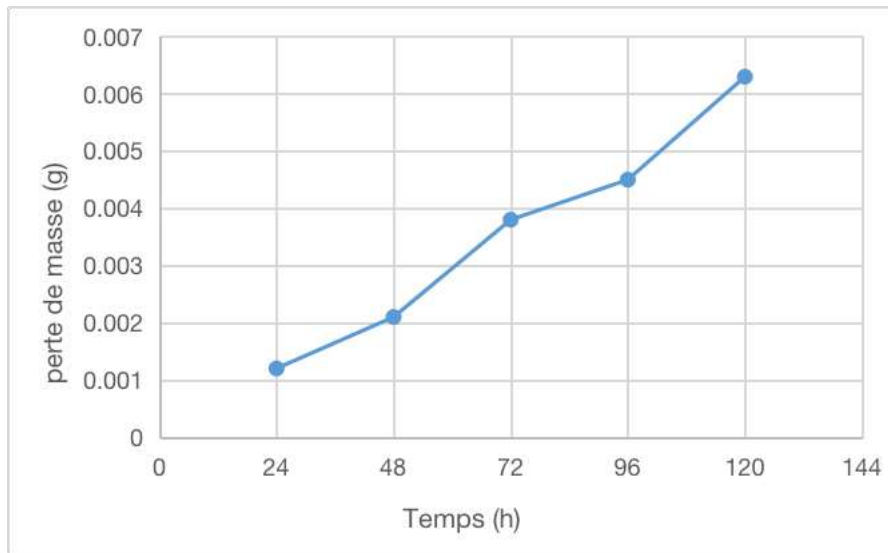


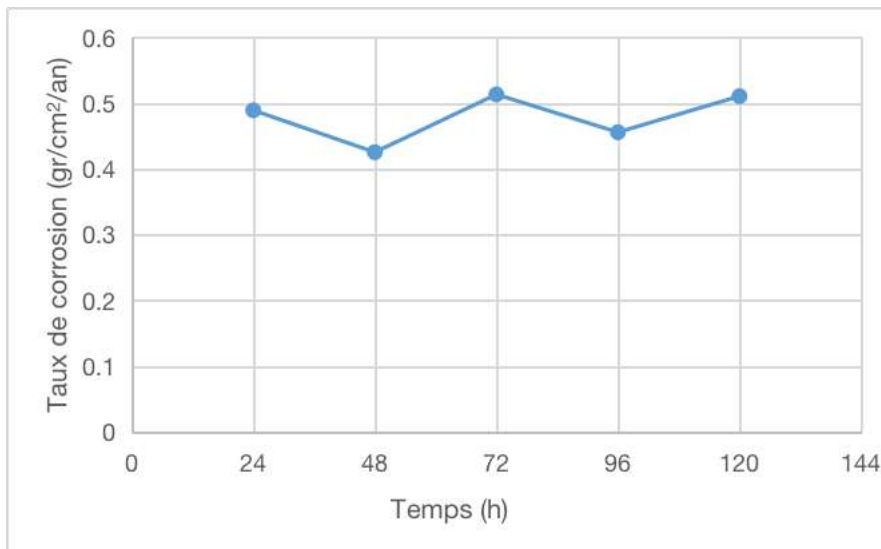
Figure IV.7 : Surface du métal après.

**Tableau IV.2** : Variation de la masse et le taux de corrosion de l'acier en fonction du temps, dans une solution 0.1 M NaCl a pH = 3

Temps (h)	24	48	72	96	120
$m_i$ (g)	1.7304	1.8268	1.4583	1.8338	2.1908
$m_f$ (g)	1.7292	1.8247	1.4545	1.8293	2.1845
$\Delta m$ (g)	0.0012	0.0021	0.0038	0.0045	0.0063
$\tau$ (g/cm <sup>2</sup> /an)	0.4866	0.4258	0.5137	0.4562	0.5110



**Figure IV.8 :** Représentation graphique de  $\Delta m$  en fonction du temps à pH = 3.

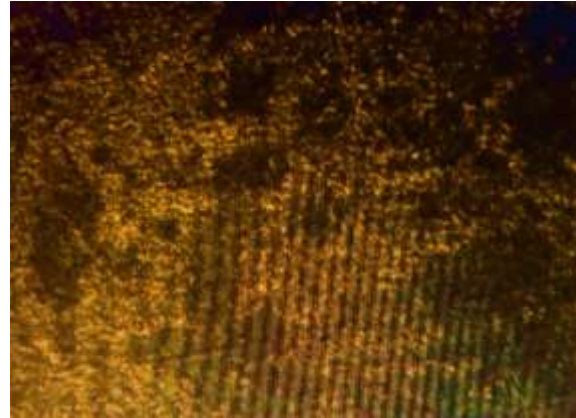


**Figure IV.9:** Représentation graphique de taux (la vitesse) de corrosion en fonction du temps à pH = 3.

- D'après le tableau (IV.2) et les deux figures (IV.8) et (IV.9), Nous remarquons que la perte de masse augmente en fonction du temps ce qui permet de dire que le milieu est vraiment corrosif.
- Le microscope optique montre que le matériau présente la corrosion sélective, comme cela se voit sur sa surface dans la figure (IV.7).

## 2. Manipulation 2: (pH = 7)

Les figures (IV.10) et (IV.11) représentent les surfaces du métal avant et après l'expérience.

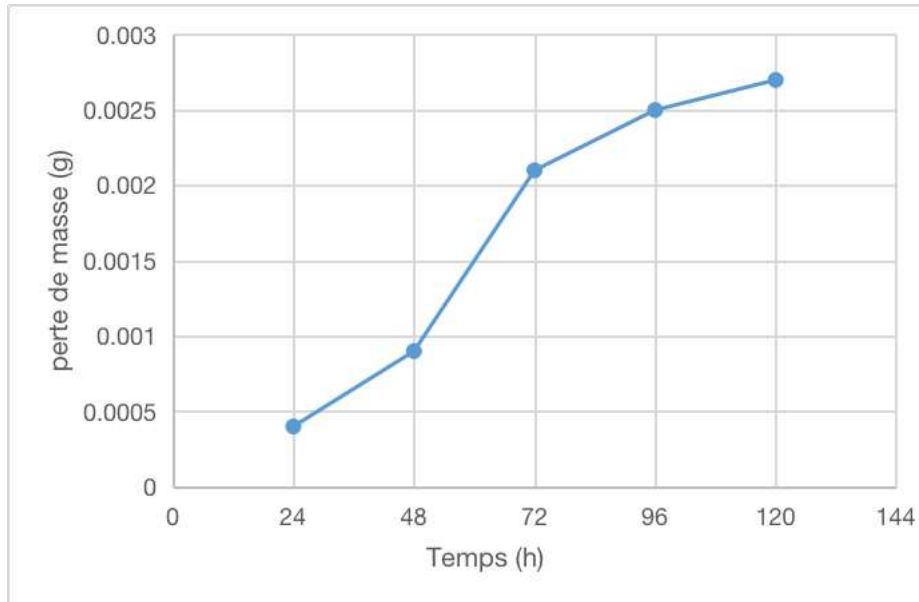


**Figure IV.10** : Surfaces du métal avant.

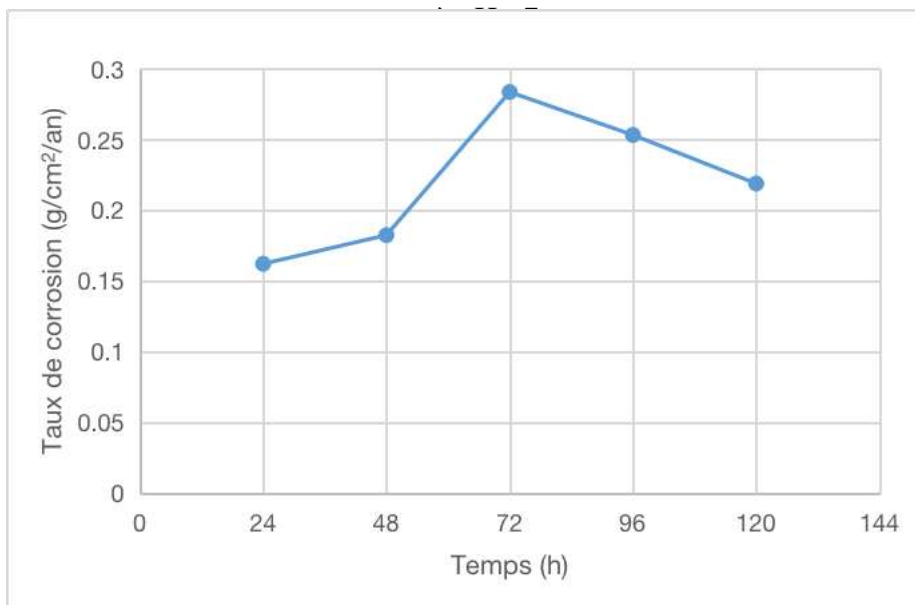
**Figure IV.11** : Surfaces du métal après.

**Tableau IV.3** : Variation de la perte de masse et le taux de corrosion de l'acier en fonction du temps dans une solution 0.1 M NaCl et pH = 7

Temps (h)	24	48	72	96	120
$m_i$ (g)	1.4063	2.3099	1.5853	2.0309	2.0211
$m_f$ (g)	1.4059	2.3090	1.5832	2.0284	2.0184
$\Delta m$ (g)	0.0004	0.0009	0.0021	0.0025	0.0027
$\tau$ (g/cm <sup>2</sup> /an)	0.1622	0.1825	0.2838	0.2534	0.2190



**Figure IV.12 :** Représentation graphique de  $\Delta m$  en fonction du temps



**Figure IV.13:** Représentation graphique de taux de corrosion en fonction du temps à pH = 7.

- D'après le tableau (IV.3) et les deux figures (IV.12) et (IV.13), Nous remarquons que la perte de masse augmente légèrement en fonction du temps ce qui permet de dire que le milieu a une influence négative.
- Le microscope optique montre qu'il y a une corrosion sélective sur la surface du matériau (figure IV.11), mais c'est moins par rapport au milieu acide.

### 3. Manipulation 3: (pH = 10)

Les figures (IV.14.) et (IV.15.) représentent les surfaces du métal avant et après l'expérience.

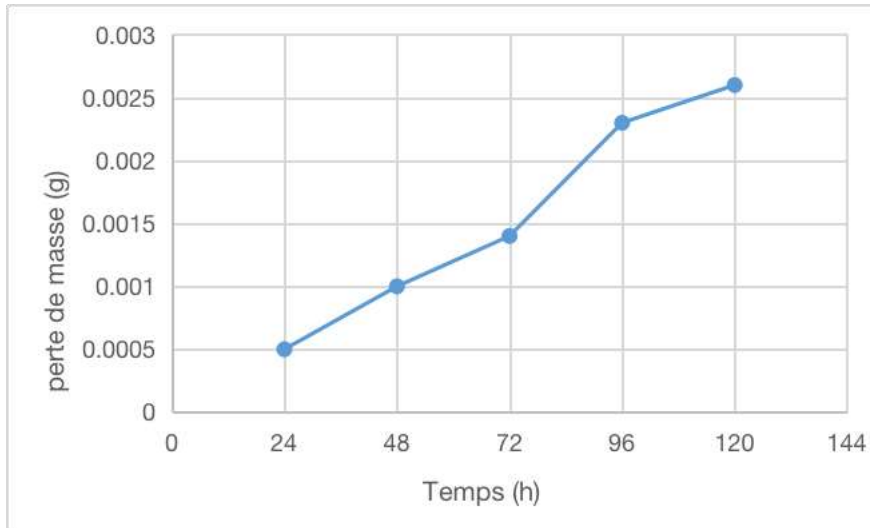


**Figure IV.14 :** surfaces du métal avant.

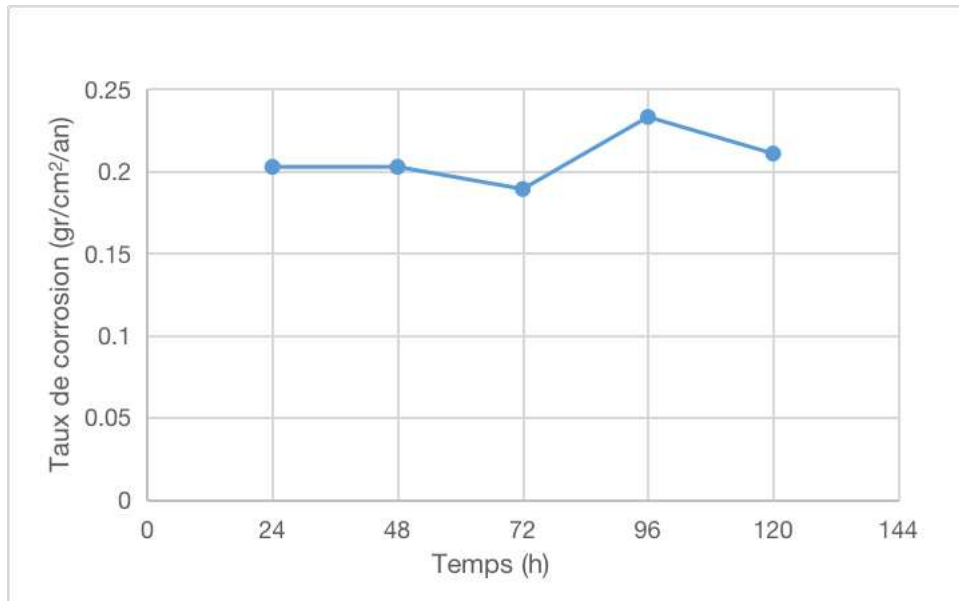
**Figure IV. 15 :** surfaces du métal après.

**Tableau IV. 4 :** Variation de la masse et le taux de corrosion de l'acier en fonction du temps, dans une solution 0.1 M NaCl a pH = 10.

<b>Temps (h)</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>72</b>	<b>96</b>	<b>120</b>
<b><math>m_i</math> (g)</b>	1.1222	2.1260	1.5868	2.0200	2.0531
<b><math>m_f</math> (g)</b>	1.1217	2.1250	1.5854	2.0177	2.0505
<b><math>\Delta m</math> (g)</b>	0.0005	0.0010	0.0014	0.0023	0.0026
<b><math>\tau</math> (g/cm<sup>2</sup> /an)</b>	0.2027	0.2027	0.1892	0.2331	0.2108



**Figure IV.16 :** Représentation graphique de  $\Delta m$  en fonction du temps à pH = 10.



**Figure IV.17 :** Représentation graphique de taux de corrosion en fonction du temps à pH = 10.

- D'après le tableau (IV.4) et les deux figures (IV.16 ; IV.17), Nous remarquons que la perte de masse est faible en fonctions du temps ce qui permet de dire que le milieu a une influence négative.
- Le microscope optique montre qu'il y a peu de corrosion sélective sur la surface du matériau (figure IV.15), ce qui est moindre par rapport aux deux milieux précédents.

### ❖ Interprétation les résultats

La vitesse de corrosion des métaux dans une solution corrosive dépend fortement du pH du milieu.

#### . pH = 3 (milieu acide) :

Dans un milieu acide, la concentration en ions  $H^+$  est élevée. Ces ions peuvent réagir avec les électrons produits lors de l'oxydation du métal, ce qui favorise ainsi les réactions électrochimiques.

La présence de NaCl (chlorure de sodium) augmente encore la vitesse de corrosion en fournissant des ions  $Cl^-$ . Les ions  $Cl^-$  peuvent pénétrer la couche passive fine sur la surface du métal, provoquant des piqûres et des crevasses comme produit de la corrosion.

Ainsi, à pH 3, on observe généralement une vitesse de corrosion élevée.

#### . pH = 7 (milieu neutre) :

À pH =7, l'eau est neutre, ce qui signifie qu'il y a un équilibre entre les ions  $H^+$  et  $OH^-$ . La corrosion est souvent moins agressive, mais elle peut toujours se produire en présence d'ions chlorure ( $Cl^-$ ) comme ceux du NaCl. Les ions chlorure peuvent pénétrer les couches d'oxyde passivante et provoquer des piqûres localisées (pitting corrosion)

À pH =7, la corrosion peut être modérée mais les ions chlorure présents dans le NaCl peuvent provoquer des attaques localisées qui affaiblissent le métal.

#### . pH = 10 (milieu basique) :

Dans un milieu basique (pH =10), la concentration en ions  $OH^-$  est élevée. Les métaux comme l'acier peuvent former des couches d'oxyde protectrice (passivation) plus stables dans des environnements basiques, réduisant ainsi la vitesse de corrosion générale.

Même en milieu basique, les ions  $Cl^-$  peuvent toujours favoriser la corrosion localisée s'ils pénètrent les couches passivantes.

Par conséquent, la vitesse globale de corrosion à pH = 10 est généralement plus faible que dans les milieux acides ou neutres.

### B. Avec inhibiteur

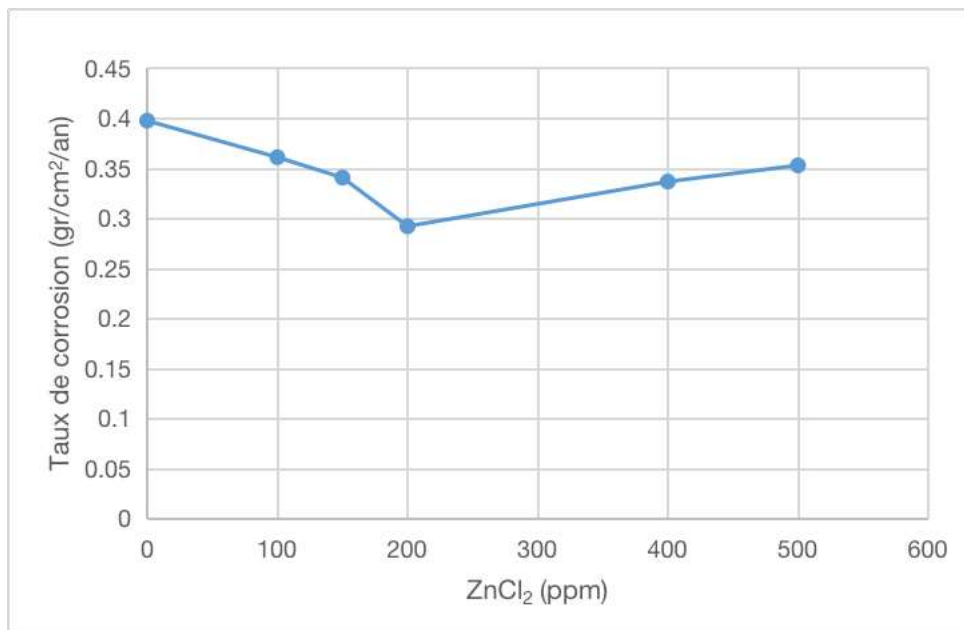
La série d'expériences ci-dessous sont réalisés avec l'addition de chlorure de zinc comme inhibiteur de corrosion ( $ZnCl_2$ ), dans un but de déterminer son influence et le protocole adéquat pour ce phénomène.

Les taux de corrosion exprimés en ( $g/cm^2/an$ ) en fonction des concentrations d'inhibiteur en (ppm), sont donnés dans les tableaux. (IV.5) ; (IV.6) et (IV.7) :

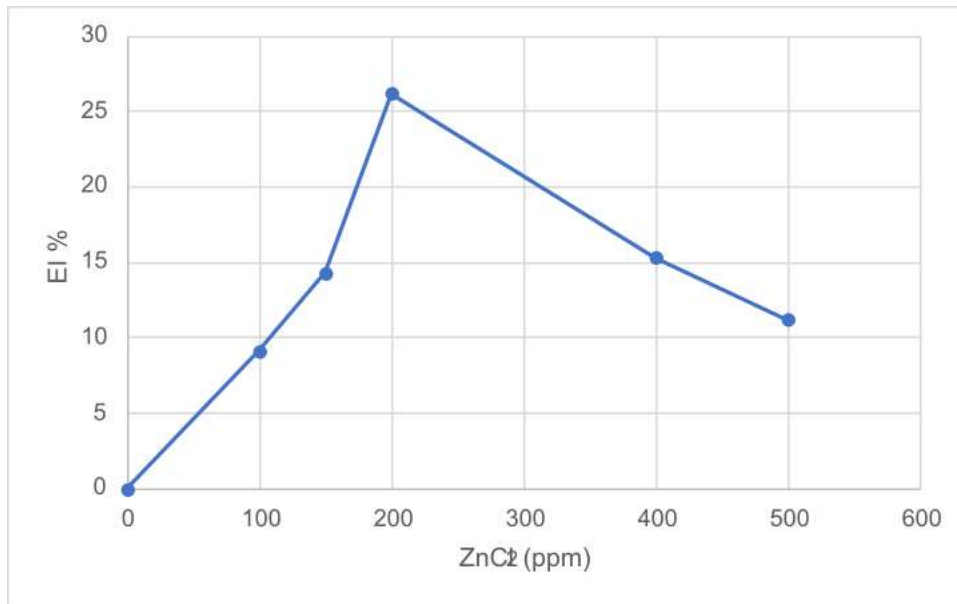
#### 1) Manipulation 1 : (pH = 3)

**Tableau IV.5** : le taux (la vitesse) de corrosion de l'acier en fonction de la masse de l'inhibiteur ajouté dans une solution  $10^{-2}$  M NaCl, pH= 3, pendant 10 jours.

ZnCl <sub>2</sub> (ppm)	0	100	150	200	400	500
Surface (cm <sup>2</sup> )	0.9	0,9	0,9	1	0,9	0,9
m <sub>i</sub> (g)	1,8918	2.0235	1,4880	1,7735	1,8828	2,3660
m <sub>f</sub> (g)	1,8820	2.0146	1,4796	1,7655	1,8745	2.3573
Δm (g)	0,0098	0,0089	0,0084	0,0080	0,0083	0,0087
τ (g/cm <sup>2</sup> /an)	0.3974	0,3609	0,3406	0,292	0,3366	0.3528
EI%	0	9.18	14.29	26.22	15.30	11.22



**Figure IV.18** : Représentation graphique de taux de corrosion en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH = 3.



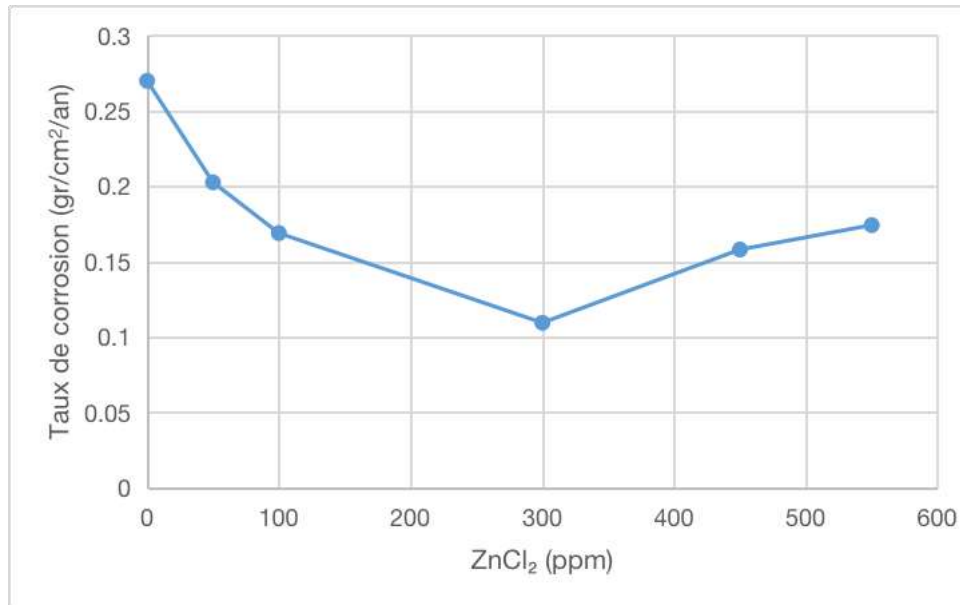
**Figure IV.19:** Représentation graphique de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion  $ZnCl_2$  en fonction de concentration d'inhibiteurs à  $pH = 3$ .

En l'absence d'inhibiteur, le taux de corrosion est de l'ordre de  $0.3974 \text{ (g/cm}^2\text{/an)}$ . En présence de l'inhibiteur  $ZnCl_2$ , les taux de corrosion sont diminués. Dans l'intervalle de concentration de 100 à 200 ppm, l'efficacité inhibitrice augmente, lorsque la concentration en inhibiteur augmente. La meilleure protection est obtenue à une concentration de 200 ppm. Dans l'intervalle 200 à 500 ppm, l'efficacité inhibitrice diminue, lorsque la concentration en inhibiteur augmente.

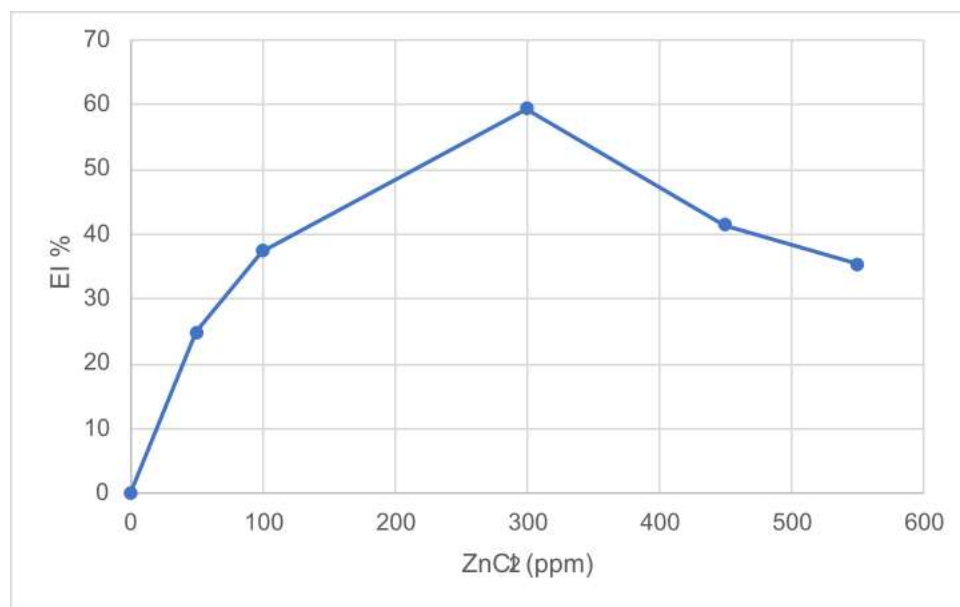
## 2) Manipulation 2: ( $pH = 7$ )

**Tableau IV.6 :** le taux de corrosion de l'acier en fonction de la masse de l'inhibiteur ajouté dans une solution  $10^{-2} \text{ M NaCl}$ ,  $pH = 7$ , pendant 10 jours.

$ZnCl_2$ (ppm)	0	50	100	300	450	550
Surface ( $\text{cm}^2$ )	1	0,9	0,95	0,9	0,9	0,9
mi (g)	2,1032	2,0835	1,6164	1,4427	1,9303	2,2223
mf (g)	2,0958	2,0785	1,6120	1,4400	1,9264	2,2180
$\Delta m$ (g)	0,0074	0,0050	0,0044	0,0027	0,0039	0,0043
$\tau$ ( $\text{g/cm}^2\text{/an}$ )	0,2701	0,2027	0,1690	0,1095	0,1581	0,1743
EI %	0	24.95	37.43	59.45	41.46	35.46



**Figure IV.20** : Représentation graphique de taux de corrosion en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH =7



**Figure IV.21** : Représentation graphique de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion ZnCl<sub>2</sub> en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH =7.

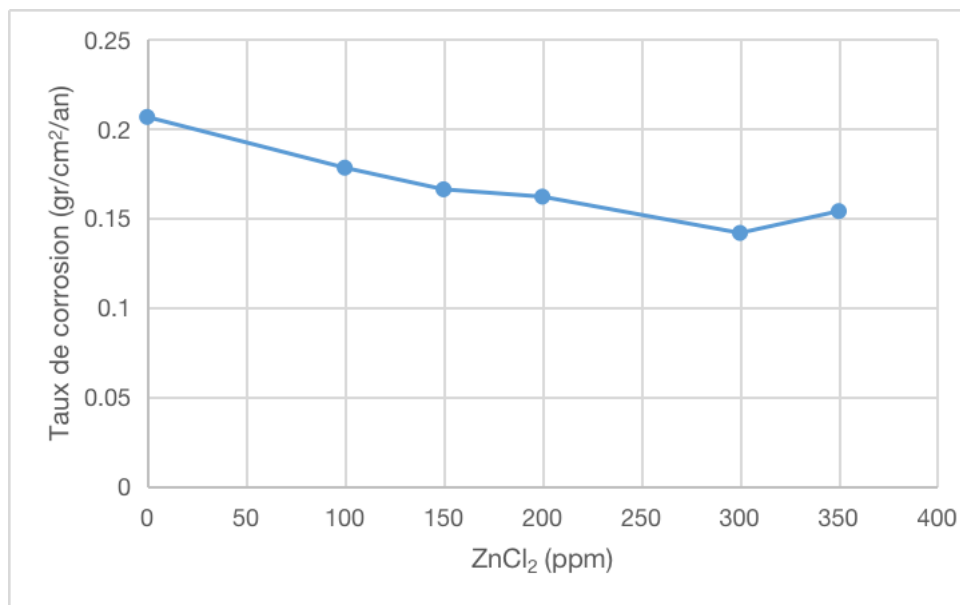
En l'absence d'inhibiteur, le taux de corrosion est de l'ordre 0,2701 (g/cm<sup>2</sup>/an). En présence de l'inhibiteur ZnCl<sub>2</sub>, le taux de corrosion sont diminués. Dans l'intervalle de concentration de 50 à 300 ppm, l'efficacité inhibitrice augmente, lorsque la concentration en

inhibiteur augmente. La meilleure protection est obtenue à une concentration de 300 ppm. Dans l'intervalle 300 à 550 ppm, l'efficacité inhibitrice diminue, lorsque la concentration en inhibiteur augmente.

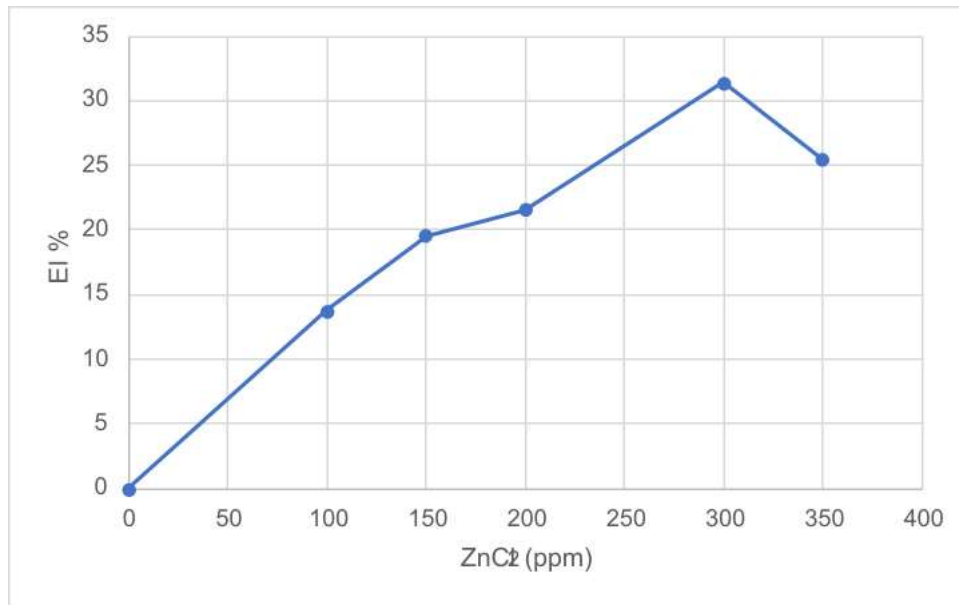
### 3) Manipulation 3: (pH = 10)

**Tableau IV.7** : le taux de corrosion de l'acier en fonction de la masse de l'inhibiteur ajouté dans une solution  $10^{-2}$  M NaCl, pH = 10, pendant 10 jours.

ZnCl <sub>2</sub> (ppm)	0	100	150	200	300	350
Surface (cm <sup>2</sup> )	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9
mi (g)	2,0418	1,9248	1,6076	2,1459	2,0769	1,7997
mf (g)	2,0367	1,9204	1,6035	2,1419	2,0734	1,7959
Δm (g)	0,0051	0,0044	0,0041	0,0040	0,0035	0,0038
τ (g/cm <sup>2</sup> /an)	0,2068	0,1784	0,1663	0,1622	0,1419	0,1541
EI %	0	13.73	19.58	21.56	31.38	25.48



**Figure IV.22:** représentation graphique de la vitesse de corrosion en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH = 10.



**Figure IV.23** : représentation graphique de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion ZnCl<sub>2</sub> en fonction de concentration d'inhibiteurs à pH = 10.

En l'absence d'inhibiteur, le taux de corrosion est de l'ordre de 0,2068 (g/cm<sup>2</sup>/an). En présence de l'inhibiteur ZnCl<sub>2</sub>, le taux de corrosion sont diminués. Dans l'intervalle de concentration de 100 à 300 ppm, l'efficacité inhibitrice augmente, lorsque la concentration en inhibiteur augmente. La meilleure protection est obtenue à une concentration de 300 ppm. Après 300 ppm, l'efficacité inhibitrice diminue, lorsque la concentration en inhibiteur augmente.

#### ❖ Interprétation des résultats

Les valeurs minimales du taux de corrosion obtenues correspondant aux concentrations respectives : 200 ppm pour le pH = 3, et 300 ppm pour les pH = (7 et 10). Cette diminution peut être attribuée à la formation d'une couche fine d'hydroxyde de zinc Zn(OH)<sub>2</sub>, qui résulte de la réaction des ions Zn<sup>2+</sup> fournis par l'inhibiteur et les ions OH<sup>-</sup> produits par la réduction de l'oxygène et de l'eau au voisinage des cathodes. Cet hydroxyde crée une couche isolante et peu conductrice s'opposant à l'accès des espèces cathodiques à la surface du métal et diminuant ainsi la vitesse de corrosion.

À faible concentration de ZnCl<sub>2</sub>, l'effet inhibiteur sur la corrosion est limité, ce qui explique la vitesse de corrosion initialement élevée.

À mesure que la concentration de  $ZnCl_2$  augmente, l'inhibiteur devient plus efficace, réduisant ainsi la vitesse de corrosion.

La concentration optimale semble être autour de 300, où la vitesse de corrosion est la plus basse, indiquant une efficacité maximale de l'inhibiteur à ce point.

Au-delà de cette concentration optimale, l'efficacité de l'inhibiteur diminue, ce qui pourrait être dû à la saturation du système ou à des effets secondaires indésirables, augmentant ainsi la vitesse de corrosion.

Une diminution du pH est constatée, elle est due probablement à la réaction des ions  $Fe^{2+}$  en présence de l'eau et celle de la consommation des ions  $OH^-$  pour la formation de la couche  $Zn(OH)_2$ .

#### IV.5. Conclusion

En conclusion, Nous avons montré que la vitesse de corrosion des métaux dans une solution corrosive (NaCl) dépend fortement du pH du milieu. Lorsque le pH = 3 (acide) nous avons obtenu une forte corrosion contrairement au milieu neutre (pH = 7) ou elle est modérée et quasiment nulle dans le pH = 10 (basique).

Le  $ZnCl_2$  ajouté au milieu joué un rôle significative dans la réduction de la vitesse de corrosion de l'acier C-1020 (d'un pipeline). La meilleure protection significative a été trouvée à une concentration égale à 200 ppm pour le milieu acide (pH=3), 300 ppm pour le milieu neutre (pH=7) et le milieu alcalin (pH=10).

# **Conclusion Générale**

### Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'étudier l'efficacité inhibitrice de chlorure de zinc contre la corrosion de l'acier C-1020 (d'un pipeline) par la technique de la perte de masse.

Notre travail consiste à une étude sur les pipelines, nous avons parlé de quelques définitions et généralités. Ensuite nous avons discuté du phénomène de corrosion et de ses types, et ses différentes formes.

Nos recherches incluent également certaines façons de se protéger contre ce dernier, notamment la prévention à l'aide d'inhibiteurs.

Cette étude a révélé que :

1. La vitesse de corrosion des métaux dans une solution corrosive (NaCl) dépend fortement du pH du milieu.
  - pH 3 : Vitesse de corrosion élevée due à la forte concentration en ions  $H^+$  et  $Cl^-$ .
  - pH 7 : Vitesse de corrosion modérée avec un risque accru de corrosion localisée par les ions  $Cl^-$ .
  - pH 10 : Vitesse de corrosion globale faible, mais possibilité de corrosion localisée due aux ions  $Cl^-$ .
2. Les tests de masse perdue et de polarisation ont démontré une efficacité notable de l'inhibiteur  $ZnCl_2$  à un  $pH \geq 7$  :
  - 26.22% à un pH de 3, avec une concentration de 200 ppm
  - 59.45% à un pH de 7, avec une concentration de 300 ppm
  - 31.38% à un pH de 10, avec une concentration de 300 ppm
3. À faible pH, cet inhibiteur offre une protection limitée pour l'acier utilisé.
4. Au-delà des concentrations optimales, les taux de corrosion augmentent.
5. Pour améliorer significativement l'efficacité inhibitrice, il semble que cet inhibiteur pourrait être combiné avec un autre.

---

## Bibliographie

---

### Bibliographie

- [1] Djamel BENNACER, 2011. Etude des phénomènes d'interfaces verticales de écoulements diphasiques dans un pipeline Cas des Carburants Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen
- [2] [https://fr.wikipedia.org/wiki/OI%C3%A9oduc\\_trans-Alaska](https://fr.wikipedia.org/wiki/OI%C3%A9oduc_trans-Alaska).
- [3] Fatch AGGOUNE, 2010. Évaluation de L'endommagement des tubes dans leurs Conditions D'exploitation - Mémoire de Magister, Université Mentouri - Constantine
- [4] <https://www.hydropipesolutions.com/>
- [5] Support de Formation: EXP-PR-EQ040-FR, Dernière Révision: 13/04/2007, Page 10 de 64
- [6] [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com)
- [7] Stéphane Sainson « Inspection en ligne des pipelines. Editions TEC & DOC 2007.
- [8] International standard organization, 1999. Corrosion of metals and alloys—Basic terms and definitions. Geneva : ISO 8044, 1999.
- [9] Hakim BENSABRA. Cours de Corrosion et Protection des Métaux - première année Master Génie des Matériaux, Université de JIJEL, 2016. 87p
- [10] 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
- [11] S. YOTNSI & M. A. GANA. Etude de corrosion bactérienne (rapport). Evaluation de la contamination bactérienne du champ pétrolier d'Edjeleh, par la bactérie sulfatoréductrices, Mars- 1999. (Entreprise nationale Sonatrach, centre de recherche et développement), laboratoire Traitement Des Hydrocarbures Département corrosion.
- [12] MALOU, Natacha P., 2002-2003. Etude de la corrosion et maintenance des installations pétrolières de Shell Sénégal; Cas du dépôt de Jetée Nord. UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR.
- [13] VERVISCH-FORTUNÉ., 2009 Isabelle. Sensibilité de la technique, d'émission acoustique à la corrosion des armatures dans le béton. THÈSE de DOCTORAT, Université De Toulouse III – Paul Sabatier. (25 septembre 2009).
- [14] B. Normand, N. Pébère, C. Richard, M. Wery, prévention et lutte contre la Corrosion, une approche scientifique et technique, édition presses polytechniques Et universitaires romandes, Italie (2004).
- [15] Phénomènes de corrosion; protection des métaux.
- [16] K. ROUIBAH., 2003 mémoire de magistère " Contribution à l'étude du comportement électrochimique du couple galvanique acier au carbone/anodes de zinc dans l'eau de mer naturelle".
- [17] O. BELAHSEN « corrosion cours et exercices » 2014.
- [18] D. Nadir; R. Rabah. Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion, 2004.
- [19] 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.

## **Bibliographie**

---

- [20] Edgar MOLEIRO. Evolution de la morphologie interfaciale au cours de la dissolution anodique du cuivre dans une solution aqueuse d'ammoniaque. Thèse de Doctorat : Génie des procédés. Ecole nationale supérieure des mines de Saint-Etienne 1998. 211p.
- [21] Catonné. I.I.J, les Revêtements Protecteurs dans l'Industrie, Principe - choix, CAST LYON, 1977.
- [22] B. Stanislas, Etude du Dimensionnement Optimal d'un Système de Protection Cathodique, Alimenté par Energie Solaire, Université de Boumerdès, 2010.
- [23] E. W. Skerray, L. L. Shreir, Corrosion, Newnes Butterworth, London, 1976.
- [24] Campa. A, Protection des Surfaces Métalliques Contre la Corrosion, Technologie Professionnelle pour les Mécaniciens, Tome 2, Professionnelle pour les Mécaniciens, paris, 1971.
- [25] Marec M., 1996 Corrosion et protection cathodique, Paris.
- [26] Corrosion des métaux, 2005 ENSPM formation industrie - IFP training, France,
- [27] Fiaud.C Inhibiteurs de Corrosion, m160, Technique de l'Ingénieur, 2000.
- [28] Christian Vargel, Corrosion de l'aluminium, 2d. Dunod, ISBN 2-10-006569-6, (2002).
- [29] Pascale Bommersbach, thèse de doctorat "Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous l'influence de la température et des conditions hydrodynamiques", Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, (2005).
- [30] NACE Glossary of corrosion Terms, Materials Protection, vol4, n°1, pp.79-80, (1965).
- [31] C. Fiaud, Lemaitre, N. Pebere, Inhibiteurs de Corrosion in: BERANGER. G, MAZILLE. H, Corrosion et anticorrosion. Mécanique et ingénierie des matériaux, Lavoisier. Paris, Hermès Science Publications, pp. 245-266, (2002).
- [32] Christian. Fiaud, Inhibiteurs de corrosion, technique de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques, vol. M-160, (1999-2000).
- [33] E. Schaschl, NACE Corrosion Inhibitors, USA, National Association of Corrosion Engineers, (1973) 28.
- [34] A.Jayarman, Corrosion Inhibitors in Hydrocarbon Systems, Corrosion 96, paper n°221 Nace International, Houston, TX, 1996.
- [35] J. Bernard, A. Michel, J. Philibert, J. Talbot, Métallurgie Générale, 2ème édition Masson, 1984, Paris, pp 409 – 412.