



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



Filière: Raffinage et pétrochimie

Spécialité: Raffinage

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme en

Master

Filière: Industries Pétrochimiques

Spécialité: Raffinage et Pétrochimie

Thème

**Étude de l'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur
 $K_2Cr_2O_7$ vis-à-vis la corrosion de l'acier A516 Gr-C
dans l'HCl**

Réalisée par:

FRIAKH SARRA

HERMOUCHE YOUSRA

Devent les jury:

Presidente	Dr. N. RAMDANE	MCB	Univ.20 Août 1955
Examinatrice	Dr. A.CHELGHAM	Magister	Univ.20 Août 1955
Encadreur	Dr. Z. HOUIENE	MCA	Univ.20 Août 1955
Co-encadreur	Dr. Z. MARSAA	MCA	Univ.20 Août 1955

Année Universitaire: 2023/2024

REMERCIEMENT

En premier lieu, nous remercions Dieu tout puissant qui nous a donné la force, le courage, la volonté de mener à terme ce travail

Nous présentons nos sincères remerciements aux Dr. HOUIENE ZAHIA notre encadreur pour ces Collaboration en matière des conseils, ces Efforts et de suivi durant tout le long de la réalisation de notre mémoire

Nous tenons également à présenter nos vifs remerciements a notre Co-encadreur Dr. MARSA ZOUBIDA pour sa gentillesse, sa générosité, et pour son soutien moral qui nous permis d'arriver à ces résultats

Nous tenons à remercier également Dr. RAMDANE NASSIMA d'être la présidente de jury de ce travail

Nous souhaite également remercié Dr. CHELGHAM AMEL d'avoir accepté d'être l'examinatrice de ce modeste travail

Enfin, nous tenons à exprimer nos gratitudes à nos amis qui nous ont soutenues depuis toujours.

DEDICACE

Louange à Dieu seul,

Je dédie ce modeste travail avec un énorme bonheur

Et une extrême joie :

A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études

A mon papa ABDALLAH pour son amour, son dévouement et ses sacrifices

*A tous les membres de ma famille et plus précisément mon frère
BADER EDDINE, mes grands parents et mes oncles SAMIR, RIAD
et Kamel*

*A moi-même pour toutes les années que j'ai souffertes, pour toute l'énergie
Que je l'ai perdue pour voir ce résultat*

A mes amis et mes proches

A tout ce qui ont participé à ma réussite et à tous qui m'aiment.

FRIAKH SARRA

DEDICACE

*Au nom de Dieu,
Je dédie ce modeste travail*

A mes parents

Ma mère

*Vous m'avez donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir tout ce que je
peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je vous porte*

Mon père

*Mes estime et de mon respect aucune dédicace ne saurait exprimer mes
sentiments, que dieu vous préserve et vous procure santé et longue vie*

A mon frère AYMEN et mes sœurs NOUR et LINA

Puisse dieu vous garde, éclaire votre route

Et vous aide à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers

*A mon oncle H. FOUZI je suis évidemment reconnaissante pour son aide
continue et sa disponibilité et son implication tout au long de mon stage*

A tous les membres de ma famille Et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

HERMOUCHE YOUSRA

Liste des figures	Page
Chapitre I	
Figure I.1 : Mécanisme de l'oxydation d'un métal à haute température	04
Figure I.2 : Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne	04
Figure I.3 : La corrosion humide	05
Figure I.4 : La corrosion généralisée	06
Figure I.5 : Les différentes formes de la corrosion	07
Figure I.6 : La corrosion galvanique	08
Figure I.7 : a) Photo à la loupe binoculaire x 6,3 d'une piqûre de corrosion (piqûre de type I) sur cuivre. b) Corrosion électrochimique, ou galvanique, de fer ou d'acier en contact avec une solution aqueuse	08
Figure I.8 : La corrosion-érosion d'un tuyau	09
Figure I.9 : Corrosion au niveau des joints de grains d'une structure métallique	10
Figure I.10 : Corrosion sous contrainte d'un tube en acier inoxydable en présence de quelques ppm de chlorure	10
Figure I.11 : Attaque de fragilisation par hydrogène	11
Figure I.12 : Le diagramme de Pourbaix	12
Figure I.13 : Les moyens de protection contre la corrosion	14
Figure I.14 : Revêtements cathodique et anodique	15
Figure I.15 : Représentation en milieu « acide » du rôle d'un inhibiteur anodique : (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur	17
Figure I.16 : Représentation du rôle d'un inhibiteur cathodique, (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur	17
Figure I.17 : Inhibiteur formant une couche tridimensionnelle	18
Chapitre II	
Figure II.1 : Réservoir à toit fixe	22
Figure II.2 : Toit à flotteur unique (simple ponton)	23
Figure II.3 : Toit à double flotteur (double ponton)	23
Figure II.4 : Réservoir à toit flottant externe	24
Figure II.5 : Réservoir à toit flottant interne	24
Figure II.6 : Les cigares	25
Figure II.7 : Les sphères	25

Figure II.8 : Bac de condensat 301-TK-001	26
Figure II.9 : Les béquilles	28
Figure II.10 : Injecteur de mousse	28
Figure II.11 : Trou d'homme	29
Figure II.12 : a) Escalier, b) Echelle	29
Figure II.13 : Accessoires de contrôle de réservoir	30
Figure II.14 : Le réseau d'incendie	31
Figure II.15 : Protection cathodique par anode sacrificielle	31
Chapitre III	
Figure III.1 : Papier abrasif	36
Figure III.2 : Polisseuse	36
Figure III.3 : a) Echantillons avant le polissage, b) Echantillons après polissage	37
Figure III.4 : Un pied de coulisse	37
Figure III.5 : Echantillon immergé dans l'eau distillée	38
Figure III.6 : Microscope métallographique	38
Figure III.7 : Préparation de la solution corrosive HCl	39
Figure III.8 : La solution HCl préparées à différentes concentrations	40
Figure III.9 : a) Structure chimique, b) Le dichromate de potassium poudre, c) Le $K_2Cr_2O_7$ commerciale	41
Figure III.10 : a) Balance électronique, b) Préparation de la solution dans les béchers, c) Les échantillons immergés dans la solution corrosive (0,25 M)	44
Figure III.11 : a) Echantillons immergés en milieu HCl (0,25 M)+inhibiteur avant 96h, b) Echantillon après 96h de l'immersion	45
Chapitre IV	
Figure IV.1 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion dans HCl (2 M)	50
Figure IV.2 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion dans HCl (0,25 M)	51
Figure IV.3 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion dans HCl (0,01 M)	52
Figure IV.4 : Influence de concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion dans HCl (2 M)	54

Figure IV.5 : Influence de concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion dans HCl (0,25 M)	55
Figure IV.6 : Influence de concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion dans HCl (0,01 M)	56
Figure IV.7 : Evolution de l'EI % de dichromate de potassium dans HCl (0,25 M) en fonction de la concentration d'inhibiteur après l'immersion de 96h	57
Figure IV.8 : Evolution de l'EI % de dichromate de potassium dans HCl (0,01 M) en fonction de la concentration d'inhibiteur après l'immersion de 96h	58
Figure IV.9 : Comparaison de l'EI % en fonction de concentration d'inhibiteur après l'immersion de 96h	58
Figure IV.10 : Isotherme d'adsorption de Langmuir de $K_2Cr_2O_7$ sur l'acier A516 dans HCl (0,25; 0,01) M après 96 h d'immersion	59
Figure IV.11 : Isotherme d'adsorption de Freundlich de $K_2Cr_2O_7$ sur l'acier A516 dans HCl (0,25; 0,01) M après 96 h d'immersion	60
Figure IV.12 : Isotherme d'adsorption de Tamkin de $K_2Cr_2O_7$ sur l'acier A516 dans HCl (0,25; 0,01) M après 96 h d'immersion	60
Figure IV.13 : a) La surface de l'acier en absence d'inhibiteur pendant 48 h d'immersion, b) La surface de l'acier en présence d'inhibiteur pendant 48 h d'immersion	62
Figure IV.14 : a) La surface de l'acier en absence d'inhibiteur pendant 96 h d'immersion, b) La surface de l'acier en présence d'inhibiteur pendant 96 h d'immersion	63
Figure IV.15 : a) La surface de l'acier en absence d'inhibiteur pendant 96 h d'immersion, b) La surface de l'acier en présence d'inhibiteur pendant 96 h d'immersion	63

Liste des tableaux	Page
Chapitre II	
Tableau II.1 : Caractéristique technique de l'équipement	26
Tableau II.2 : Analyse du condensat le 3/2/2024	27
Chapitre III	
Tableau III.1 : Composition chimique du substrat en acier A516 Gr-C	34
Tableau III.2 : Caractéristiques mécaniques de l'acier A516 Gr-C	34
Tableau III.3 : Propriétés de l'acide chlorhydrique	39
Tableau III.4 : Propriétés de dichromate de potassium	42
Tableau III.5 : Les concentrations de solution HCl préparée sans inhibiteur	43
Tableau III.6 : Les concentrations de solution HCl préparée avec inhibiteur	45
Chapitre IV	
Tableau IV.1 : La variation de la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans HCl (2 M) pour différents temps d'immersion	49
Tableau IV.2 : La variation de la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans HCl (0,25 M) pour différents temps d'immersion	51
Tableau IV.3 : La variation de la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans HCl (0,01 M) pour différents temps d'immersion	52
Tableau IV.4 : La variation de la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans HCl (2 M) pour différentes concentration d'inhibiteur pendent 48h	53
Tableau IV.5 : La variation de la vitesse de corrosion et l'efficacité de l'acier A516 dans HCl (0,25 M) pour différentes concentration d'inhibiteur pendent 96h	55
Tableau IV.6 : La variation de la vitesse de corrosion et l'efficacité de l'acier A516 dans HCl (0,01 M) pour différentes concentration d'inhibiteur pendent 96h	56
Tableau IV.7 : Coefficient de corrélation des différentes isothermes d'adsorption	61
Tableau IV.8 : Paramètre thermodynamique relatifs à l'adsorption selon l'isotherme de Langmuir	61

Liste des abréviations :

Fe : Fer

O₂ : Dioxygène

Fe₂O₃ : Oxyde de fer

e⁻ : Electron

CSC : Corrosion sous contrainte

RTF : Floating roof tank

TVR : Tension de vapeur Reid

HCl : Acide chlorhydrique

ASTM : American society for testing and materials

C : Carbone

Mn : Manganèse

P : Phosphore

S : Soufre

Si : Silicium

Mpa : Mégapascal

mm : Millimètre

°C : Degré Celsius

g : Gramme

Cm³ : Centimètre cube

ppm : Partie par million

M : Molaire

J : Joule

m₁ : Masse avant teste

m₂ : Masse après teste

K : Kelvin

Δm : Différence de Temps

V : Vitesse de corrosion

EI : Efficacité inhibitrice

θ : Taux de recouvrement

C_{inh} : Concentration de l'inhibiteur

K_{ads} : Constante de l'équilibre adsorption-désorption

R : Constante des gaz parfaits

T : Température

R² : Coefficient de corrélation

$\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$: L'énergie libre standard d'adsorption

Dédicace

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale	01
Chapitre I : Généralités sur la corrosion	
I.1. Introduction	02
I.2. Définition de la corrosion	02
I.3. Aspect économique de la corrosion	02
I.4. Types de corrosion	03
I.4.1. Corrosion chimique (sèche)	03
I.4.2. Corrosion bactérienne	04
I.4.3. Corrosion électrochimique	05
I.5. Forme de corrosion	06
I.5.1. Corrosion généralisée (uniforme)	06
I.5.2. Corrosion localisée	06
I.5.2.1. Corrosion galvanique	07
I.5.2.2. Corrosion par piqûre	08
I.5.2.3. Corrosion érosion	09
I.5.2.4. Corrosion cavernueuse (crevasse)	09
I.5.2.5. Corrosion inter-granulaire	09
I.5.2.6. Corrosion sélective	10
I.5.2.7. Corrosion sous contrainte	10
I.5.2.8. Corrosion sous fatigue	11
I.5.2.9. Attaque de fragilisation par hydrogène	11
I.6. Facteurs de corrosion	12
I.6.1. Concentration en dioxygène dissous	12
I.6.2. pH	12
I.6.3. Température	13
I.6.4. Agitation du milieu	13

I.6.5. Stagnation du milieu	13
I.6.6. Salinité	13
I.6.7. Durée de vie des installations	13
I.7. Méthodes de protection contre la corrosion	13
I.7.1. Mesures préventive	13
I.7.2. Moyens de protection	14
I.7.2.1. Protection par revêtement	14
a. Revêtements non métalliques	14
b. Revêtements métalliques	15
I.7.2.2. Protection électrochimique	15
a. Protection cathodique	15
b. Protection anodique	16
I.7.2.3. Protection par inhibiteur	16
a. Inhibiteurs anodiques	16
b. Inhibiteurs cathodiques	17
c. Inhibiteurs mixtes	18
I.8. Conclusion	18
Chapitre II : Les réservoirs de stockage	
II.1. Introduction	19
II.2. Présentation du complexe RA2K de SKIKDA	19
II.2.1. Unité TOPPING de condensat (Unité 100)	19
II.2.2. Traitement du kérosène (Unité 200)	19
II.2.3. Unité de stockage du site (Unité 300)	20
II.2.4. Système torche (Unité 400)	20
II.2.5. Utilité (Unité 500)	20
II.3. But de stockage	21
II.4. Configuration des réservoirs de stockage	21
II.5. Types des réservoirs de stockage	21
II.5.1. Réservoirs de stockage à pression atmosphérique	21
II.5.1.1. Réservoirs à toit fixe	22
II.5.1.2. Réservoirs à toit flottant	22
II.5.2. Réservoirs de stockage à sous pression atmosphérique	25

II.5.2.1. Cigares	25
II.5.2.2. Sphères	25
II.6. Présentation du bac de stockage	26
II.6.1. Accessoires du réservoir 301-TK001	27
II.6.1.1. Accessoire de lutte contre la surpression	28
II.6.1.2. Accessoires de visite et nettoyage	29
II.6.1.3. Accessoires de contrôle	30
II.6.1.4. Accessoires de sécurité	31
II.6.1.5. Accessoires de protection contre la corrosion	31
II.7. Nature de la corrosion des bacs de stockage du condensat	32
II.8. Conclusion	33
Chapitre III : Matériaux, conditions et techniques expérimentales	
III.1. Introduction	34
III.2. Identification du matériau	34
III.2.1. Préparation des échantillons	35
a. Découpage	35
b. Polissage	35
c. Le microscope métallographique	38
III.3. La solution corrosive d'étude	39
III.4. Inhibiteur de corrosion	41
III.5. Technique gravimétrique	42
III.5.1. Les étapes de la méthode gravimétrique	43
III.5.1.1. Préparation de solution corrosive sans inhibiteur	43
III.5.1.2. Préparation de solution inhibitrice	44
III.6. Phénomène d'adsorption	46
a. L'adsorption physique	46
b. L'adsorption chimique	46
III.7. Isotherme d'adsorption	46
III.7.1. Isotherme de Langmuir	46
III.7.2. Isotherme de Temkin	47
III.7.3. Isotherme de Freundlich	47
III.8. Conclusion	48

Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1. Introduction	49
IV.2. L'effet du temps d'immersion (sans inhibiteur)	49
a. Milieu HCl 2 M	49
b. Milieu HCl 0,25 M	50
c. Milieu HCl 0,01 M	52
IV.3. Effet de la concentration d'inhibiteur (avec inhibiteur)	53
a. Milieu HCl 2 M	53
b. Milieu HCl 0,25 M	55
c. Milieu HCl 0,01 M	56
IV.4. L'efficacité inhibitrice	57
a. Milieu HCl 0,25 M	57
b. Milieu HCl 0,01 M	58
IV.5. Les isothermes d'adsorption	59
IV.6. Observations au microscope optique	62
a. Milieu HCl 2 M	62
b. Milieu HCl 0,25 M	63
c. Milieu HCl 0,01 M	63
IV.7. Conclusion	64
Conclusion générale	65
Références bibliographiques	
Résumés	

Introduction générale

Introduction générale

La corrosion apparaît depuis toujours comme un mal mystérieux dans le monde, et malgré les progrès et les développements technologiques modernes, elle demeure toujours le sujet majeur dans de nombreux travaux parce qu'elle reste un problème constant, continu et souvent difficile à éliminer complètement. Elle peut causer de diverses formes de dommages qui sont des fois irréversibles à l'environnement et même en vie humaine, entraînant des pertes de matériaux, d'énergie, d'argent, d'équipement, de matériaux de construction et des perturbations de bon fonctionnement des machines et peut provoquer aussi des problèmes à la santé comme la pollution et la contamination.

Tous les aciers ordinaires tendent à se dégrader superficiellement lorsqu'ils sont soumis à des milieux corrosifs et spécialement des milieux acides qui sont largement utilisés.

La corrosion est la détérioration des matériaux par des interactions physico-chimique avec leur environnement, entraînant des modifications de propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électrique ...). Les mécanismes mis en jeu sont divers et conduisent à des formes différentes de corrosion, à savoir, la corrosion uniforme et localisé. Il existe de nombreuses méthodes pour prévenir contre la corrosion et l'utilisation des inhibiteurs est une méthode adaptée et pratique pour protéger les métaux.

Les inhibiteurs sont des substances chimique qui lorsqu'es sont ajoutés en faibles concentration en milieu agressif, peuvent réduire ou stopper la corrosion.

L'objectif attribué a ce travail est d'avoir l'efficacité inhibitrice du dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ sur des échantillons d'acier au carbone prélevés du complexe RA2K, qu'ils sont immergé dans des solutions d'acide chlorhydrique de différents concentration (2; 0,25; 0,01) M, par l'utilisation de la méthode gravimétrique.

Le travail que nous présentons est subdivisé en quatre chapitres et une conclusion:

Le premier chapitre est consacré a des rappelles théoriques sur le phénomène de corrosion et ses moyens de protection. Le deuxième chapitre décrit en générale le complexe RA2K et les réservoirs de stockage. Le troisième chapitre présente le matériau et les conditions expérimentales.

Les résultats expérimentaux et leurs discussions sont regroupés dans le quatrième chapitre. En fin, nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre I
Généralité sur la
corrosion

I.1. Introduction

La corrosion est un processus naturel qui a un impact sur la majorité des matériaux métalliques, provoquant ainsi leur dégradation. La plupart des installations et des équipements métalliques sont en contact avec divers environnements agressifs.

Chaque année, on observe des dommages importants, ce qui entraîne des pertes élevées, équivalant à des milliards de dollars. C'est pourquoi les scientifiques sont intéressés par l'étude de la corrosion et la lutte contre celle-ci.

Chaque situation et type d'installation sont soumis à des mesures préventives, tout en développant des méthodes et des moyens d'expertise de plus en plus efficaces.

I.2. Définition de la corrosion

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 ...) par interaction chimique avec le milieu environnant.

Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible car elle détruit le matériau et réduit ses propriétés, le rendant inutilisable pour une application prévue.

Lorsqu'il est en présence d'humidité, et non protégé par des revêtements métalliques, des peintures ou des inhibiteurs de corrosion, le matériau, se corrode et tend à retrouver son état naturel d'oxyde de fer.

Ce changement d'état des atomes de fer correspond à une dissolution anodique, et il est donc contrôlé par des réactions électrochimiques [1].

I.3. Aspect économique de la corrosion

Ces pertes sont de différents types

- Pertes directes
 - Coût des équipements à remplacer
 - Coût de l'entretien et du contrôle
 - Surcout dû à l'emploi de matériaux plus nobles.
- Pertes indirectes
 - Arrêt de production
 - Perte d'énergie
 - Contamination des produits [2].

I.4. Types de corrosion

L'aspect du métal et le mode d'action du milieu déterminant les types et les formes de corrosion. On peut alors distinguer les types de corrosion suivants [3] :

I.4.1. Corrosion chimique (sèche)

La corrosion est dite chimique lorsque le milieu corrosif est un liquide non électrolyte.

Il s'agit d'une réaction chimique entre le métal et une phase gazeuse ou liquide non électrolyte. Par exemple, l'oxydation de l'acier ordinaire à haute température par l'oxygène de l'air est une corrosion chimique. Cette corrosion peut être visible ou pas [3].

❖ Mécanisme de la corrosion sèche

Lorsque du métal nu et propre est placé dans un environnement contenant de l'oxygène, une couche de produits de corrosion se forme à travers laquelle le métal, le milieu environnant ou les deux à la fois, peuvent diffuser pour permettre à la réaction de continuer.

La forme générale de la réaction est :



Exemple : Oxydation du fer à haute température :



❖ Différentes étapes : La dégradation se fait en cinq étapes :

- Adsorption du dioxygène sur la surface du métal ;
- Réaction entre les atomes d'oxygène adsorbés et le métal pour former des germes d'oxyde ;
- Croissance latérale des germes jusqu'à la jonction, formation d'un film continu ;
- Croissance du film d'oxyde en épaisseur par diffusion dans le film ;
- Rupture du film d'oxyde par les contraintes induites par sa croissance et les défauts[4].

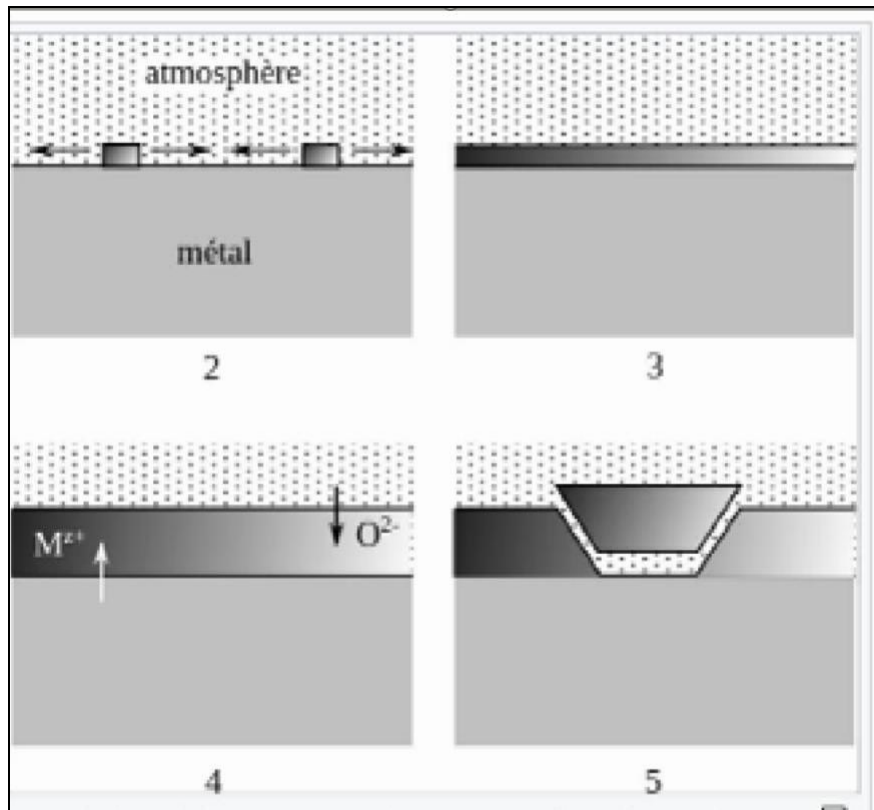


Figure I.1: Mécanisme de l'oxydation d'un métal à haute température [5].

I.4.2. Corrosion bactérienne

La corrosion microbologique appelée aussi la corrosion bactérienne ou bio-corrosion est une corrosion causée ou favorisée par des micro-organismes, elle peut se produire dans les matériaux métalliques et non métalliques [6].

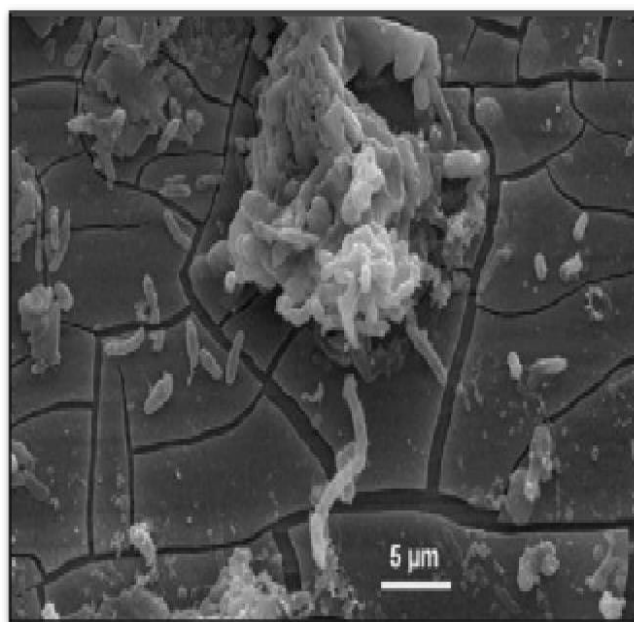


Figure I.2: Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne [7].

I.4.3. Corrosion électrochimique

Ce type de corrosion implique un milieu corrosif conducteur d'électricité (milieux aqueux, sels fondus). L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, alors un courant électrique circule entre anodes et cathodes dans le réactif et les zones qui constituent les anodes sont attaquées (corrodées) [8].

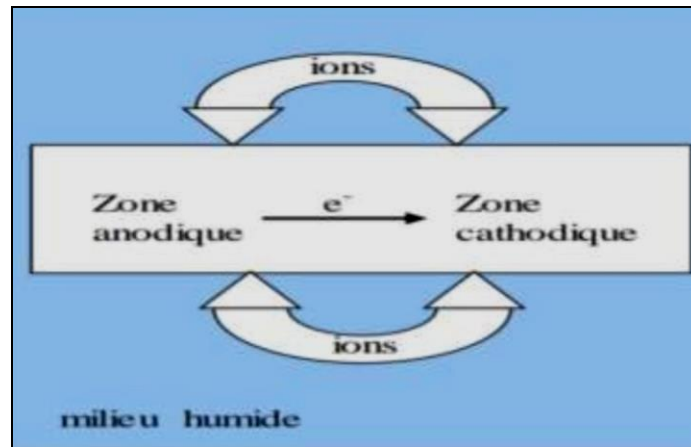


Figure I.3: La corrosion humide [9].

❖ Mécanisme de la corrosion électrochimique

Les mécanismes de la corrosion d'un matériau métallique en milieu aqueux partagent une origine électrochimique. Ces mécanismes sont le résultat d'une série de réactions qui se produisent à l'interface métal-solution et impliquent des électrons et des espèces chimiques. Ces réactions électrochimiques peuvent être décrites de la façon simplifiée suivante :

- Réaction anodique de dissolution du métal (M) :



- Réaction cathodique de réduction d'une espèce de l'électrolyte (O) :



L'espèce susceptible de se réduire devant être présente en quantité suffisamment importante dans le milieu [10].

Lorsqu'un métal est mis en contact avec une solution agressive, les comportements qui peuvent se manifester sont cités ci-dessous :

- corrosion du métal ;
- immunité du métal ;
- passivité du métal [11].

I.5. Forme de corrosion

I.5.1. Corrosion généralisée (uniforme)

Elle affecte l'ensemble de la surface du métal en contact avec l'électrolyte [12].

On parle de corrosion uniforme lorsque toute la surface du métal en contact avec la solution est attaquée de la même façon. On assiste ainsi à la formation d'une homogène couche d'oxyde de fer qui couvre tout la surface [13].

Cette forme est sans doute la plus courante et la moins problématique car elle est facilement prédite lors de la réalisation de la pièce [14].

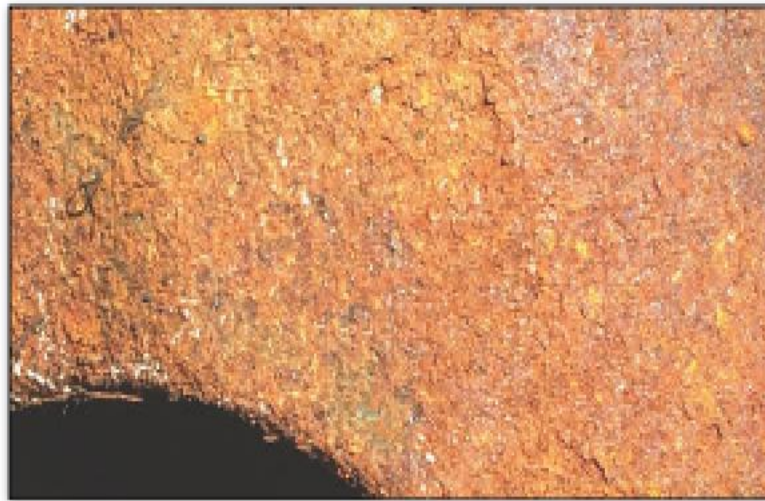


Figure I.4: *La corrosion généralisée [15].*

I.5.2. Corrosion localisée

Il s'agit d'une corrosion plus dangereuse car les dommages qu'elle engendre en profondeur réduisent considérablement la résistance du métal [16], mais sa présence se limite ou se concentre uniquement dans des parties spécifiques du métal.

Tandis que le reste de la surface n'est presque pas endommagé ou légèrement corrodé d'une façon plus générale, on peut dire qu'une corrosion localisée intervient chaque fois qu'il existe, dans le système de corrosion considéré, une hétérogénéité soit du métal, soit du milieu, soit des conditions physico-chimiques existant à l'interface. Il peut avoir de nombreuses formes, les deux formes les plus fréquentes de corrosion sont la corrosion par piqûres et la corrosion inter-granulaires [17; 18].

Nous distinguons plusieurs types de corrosion localisée que nous pouvons schématiser Comme suit :

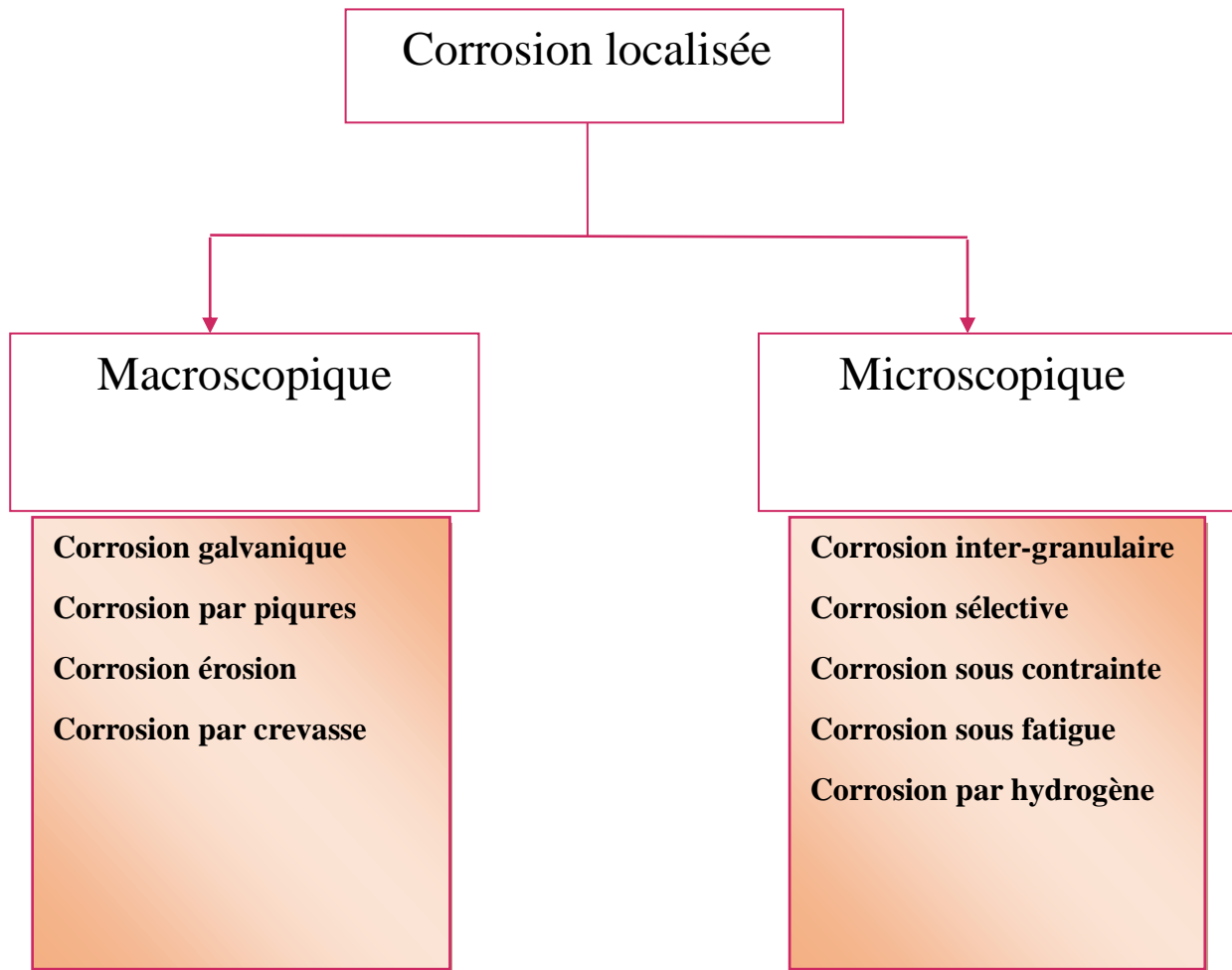


Figure I.5: *Les différentes formes de la corrosion [19].*

I.5.2.1. Corrosion galvanique

La corrosion galvanique ou bimétallique peut apparaître lorsque deux métaux ou alliages de composition différents sont couplés dans un environnement corrosif conducteur (électrolyte). Ce contact conduit à la formation d'une pile électrochimique entre les deux métaux ou alliage. Le métal le moins noble (l'anode) se dégrade et sa dégradation s'intensifie avec le temps, tandis que le métal plus noble est la cathode [1].

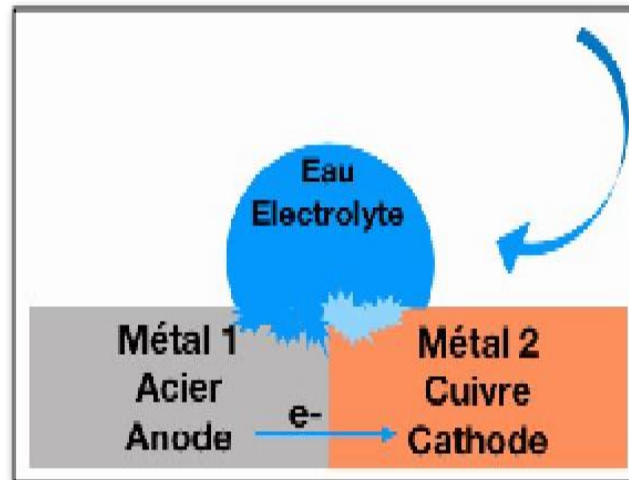


Figure I.6: La corrosion galvanique [20].

I.5.2.2. Corrosion par piqûre

La corrosion par piqûres se traduit par la formation, sur la surface du métal, de cavités aux formes irrégulières dont le diamètre et la profondeur varient suivant plusieurs paramètres propres au métal, au milieu et conditions de service (figure I.7) [21]. Elle est produite généralement par la présence d'anions agressifs notamment les halogénures et plus particulièrement les chlorures, sur des métaux protégés par des films d'oxyde très minces [22].

Le phénomène de piqûration, de nature stochastique, est souvent difficile à prédire. Sa cinétique peut être élevée. La corrosion par piqûre représente donc un danger important pour le métal et sa fonctionnalité, d'où le grand nombre d'études qui lui sont consacrées [23].

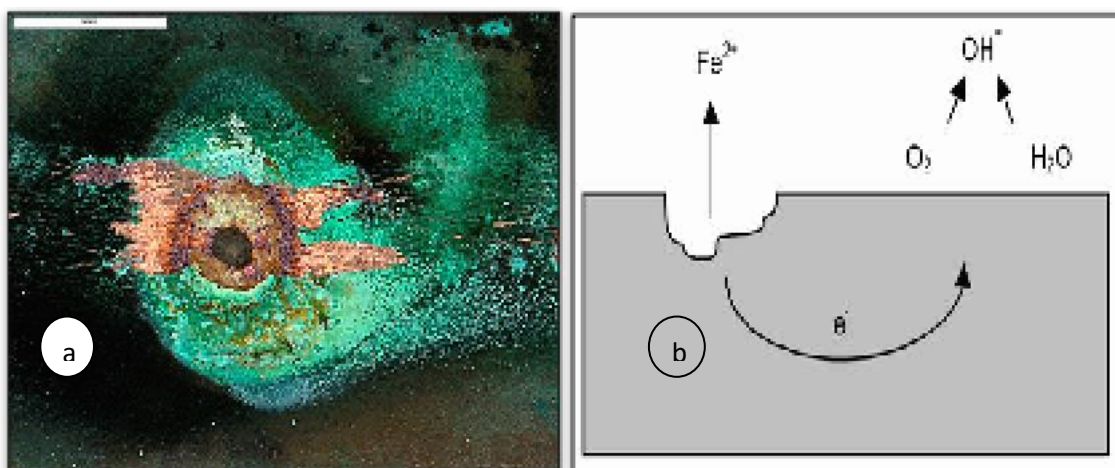


Figure I.7: a) Photo à la loupe binoculaire x6,3 d'une piqûre de corrosion (piqûre de type I) sur cuivre. b) Corrosion électrochimique, ou galvanique, de fer ou d'acier en contact avec une solution aqueuse [24].

I.5.2.3. Corrosion érosion

Cette corrosion est produite par le contact d'une surface métallique et d'un fluide corrosif en mouvement, ce fluide peut éventuellement contenir une deuxième phase liquide ou gazeuse. Il y a apparition de sillons, vallées, surfaces ondulées, trous... ayant un aspect directionnel caractérisée [25].



Figure I.8: La corrosion-érosion d'un tuyau [26].

I.5.2.4. Corrosion caverneuse (crevasse)

Elle peut apparaître lorsqu'une pièce métallique est en contact d'un électrolyte dont le renouvellement n'est pas assuré : Interstices entre matériaux de même nature, dépôts [27].

Il existe de principaux facteurs qui influencent sur la corrosion caverneuse tels que

- Matériaux : composition d'alliage, structure métallographique ;
- Conditions environnementales telles que pH, concentration en oxygène, concentrations en halogénures, température ;
- Caractéristiques géométriques des crevasses (taille de l'espace, sa profondeur et la surface) [28].

I.5.2.5. Corrosion inter-granulaire

La corrosion inter-granulaire est une attaque localisée aux joints de grains qui agit comme anode, alors que le reste du métal n'est pas attaqué (cathode). L'alliage se désagrège et perd toutes ses propriétés mécaniques. Cette forme de corrosion est due soit à la présence d'impuretés dans le joint, soit à l'enrichissement (ou l'appauvrissement) local en l'un des constituants ou bien à la précipitation des phases et combinaison chimiques lors d'un traitement thermique (martensite, nitrures, carbures.....) [1].

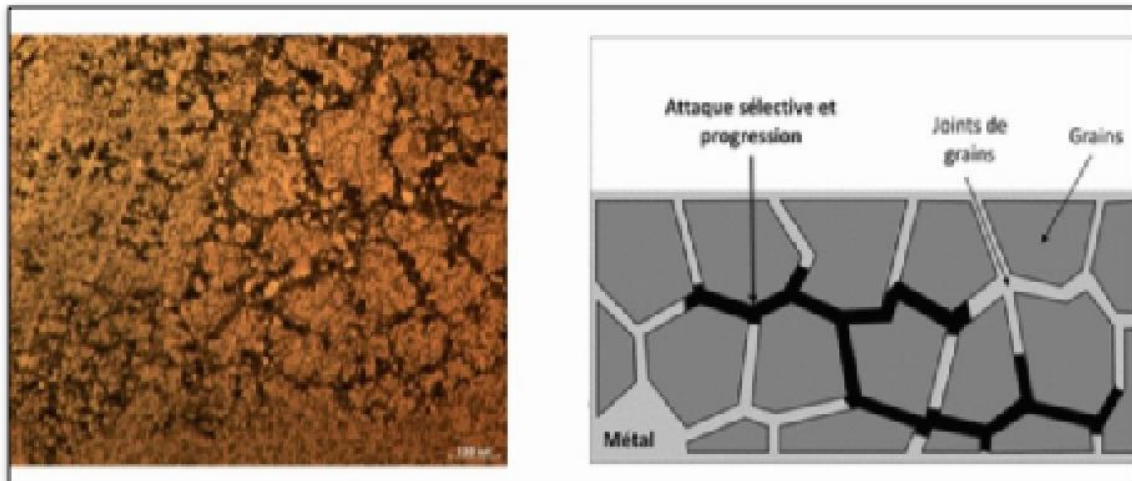


Figure I.9: *Corrosion au niveau des joints de grains d'une structure métallique [1].*

I.5.2.6. Corrosion sélective

Ce type de corrosion se traduit par la dissolution sélective de l'un des éléments de l'alliage [29]. L'alliage devient poreux (spongieux) et très fragile [30].

I.5.2.7. Corrosion sous contrainte

La fissuration par corrosion sous contrainte (CSC) est un processus de développement de fissures qui peuvent aller jusqu'à la rupture complète de la pièce métallique sous l'action simultanée d'une contrainte de traction mécanique et d'un milieu corrosif [31].

Cette forme de corrosion est de grande importance du point de vue pratique, elle constitue un risque permanent dans de nombreuses installations industrielles, tant sur le plan des incidences économique que sur les aspects sécuritaires (personnel, fiabilité des équipements, respect de l'environnement) [1].



Figure I.10: *Corrosion sous contrainte d'un tube en acier inoxydable en présence de quelques ppm de chlorure [32].*

I.5.2.8. Corrosion sous fatigue

Très comparable à la corrosion sous contrainte, elle se manifeste sur toute la surface de l'élément soumis à l'action de la contrainte cyclique (solicitation cyclique) et l'agression de l'environnement, avec l'apparition des fissures. Les environnements qui favorisent l'apparition de ce type de corrosion sont l'eau de mer et les solutions de chlorures. Il se manifeste par un abaissement de la résistance du matériau à la fatigue [33].

I.5.2.9. Attaque de fragilisation par hydrogène

La présence d'hydrogène dans un réseau métallique peut entraîner d'importantes détériorations du métal et peut conduire à la rupture de pièces ou de structure. Les atomes d'hydrogène peuvent avoir pour origine : l'atmosphère environnante, réactions électrochimiques.

❖ Mécanisme

Après l'adsorption des atomes d'hydrogène à la surface métallique, Ces atomes peuvent diffuser dans le métal et provoquent plusieurs types dégâts par :

- **Fragilisation par décarburation** : Ce phénomène survient à partir de 200°C et s'accompagne de formation de méthane.
- **Fragilisation par hydrogène et formation des soufflures** : Ce phénomène est dû à la recombinaison de l'hydrogène qui pénètre dans le métal sous forme atomique en hydrogène moléculaire susceptible d'établir des pressions très élevées dans des poches à l'intérieur du métal.
- **Fragilisation par l'hydrogène en présence de contrainte** : C'est le phénomène le plus dangereux (car sa propagation est très rapide), le plus complexe (car on ne peut pas définir une cause). Aussi il est moins connu [27].

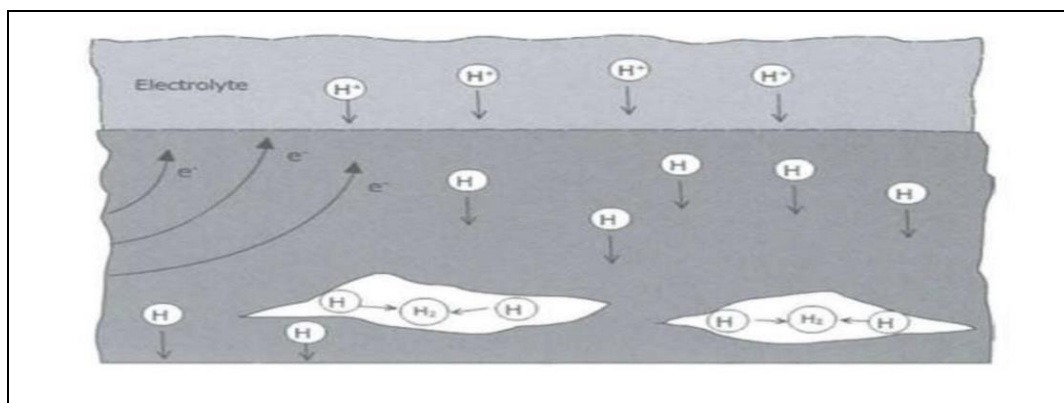


Figure I.11: Attaque de fragilisation par hydrogène [27].

I.6. Facteurs de corrosion

Le phénomène de corrosion dépend de plusieurs facteurs :

I.6.1. Concentration en dioxygène dissous

La concentration en dioxygène dissous dépend au lieu géographique, la profondeur et la saison, depuis des zones totalement désaérées jusqu'à des zones sursaturées. Pour la plupart des métaux, la forte concentration en dioxygène dissous est influé directement sur la corrosion [33].

I.6.2. pH

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.

❖ **Diagramme potentiel - pH de Pourbaix** : Les nombreuses réactions chimiques ou électrochimiques intervenant dans les phénomènes de corrosion dépendent du pH de la solution. Pourbaix a établi des diagrammes potentiel-pH qui délimitent différents domaines dans lesquels (Figure I.12) :

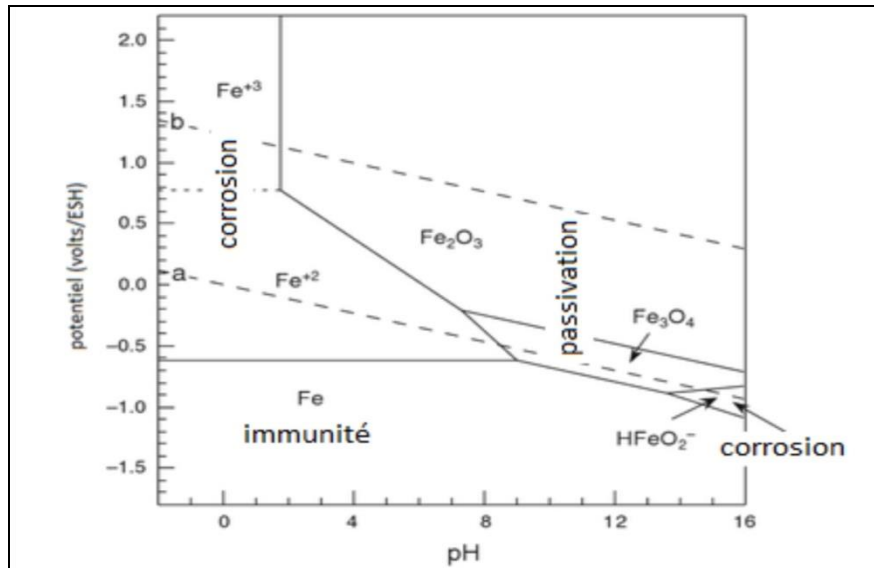


Figure I.12: Le diagramme de Pourbaix [8].

- ❖ Ces diagrammes représentent trois domaines :
- ❖ **Domaine d'immunité** : Dans cette région aucune réaction n'est thermodynamiquement possible.
- **Domaine de corrosion** : Le produit de corrosion possède une forme soluble.

- **Domaine de passivation** : Le produit de corrosion est un solide insoluble, susceptible de protéger le métal [8].

I.6.3. Température

La température influe sur les phénomènes de dilatation et de contraction du métal. De tels effets en climat à températures élevés la corrosion augmente.

I.6.4. Agitation du milieu

L'agitation libère les éléments participant à la corrosion, et ne peut pas protéger le métal par les dépôts formés par ces produits.

I.6.5. Stagnation du milieu

La stagnation du milieu conduit à une consommation de ces éléments pouvant aboutir à un équilibre [29].

I.6.6. Salinité

La présence des ions chlorures favorise la corrosion localisée. Leur concentration augmente du milieu d'une part, et d'autre part le film passif en surface devient moins stable [2].

I.6.7. Durée de vie des installations

Dans l'industrie pétrolière les équipements de raffinage et de pétrochimie sont conçus pour très longue durée de service en température. La prolongation de temps d'utilisation des matériaux en température conduisant au phénomène de vieillissement. Le matériau subit des modifications de leur microstructure (sensibilisation, précipitation des phases intermétalliques) et de leurs caractéristiques mécaniques.

I.7. Méthodes de protection contre la corrosion

Devant la complexité des mécanismes de corrosion, on trouve un ensemble de mesures permettant de lutter contre la corrosion, mais le choix optimal d'une solution de protection reste difficile. Les méthodes de lutte contre la corrosion les plus utilisées sont :

I.7.1. Mesures préventives

Des mesures préventives prises au bon moment, permettant d'éviter de nombreux

problèmes de corrosion et cela sans frais supplémentaires :

- Protection par choix judicieux des matériaux ;
- Protection par une forme adaptée des pièces [34].

I.7.2. Moyens de protection

Nous ne citons ici que les principaux procédés applicables à l'anticorrosion :

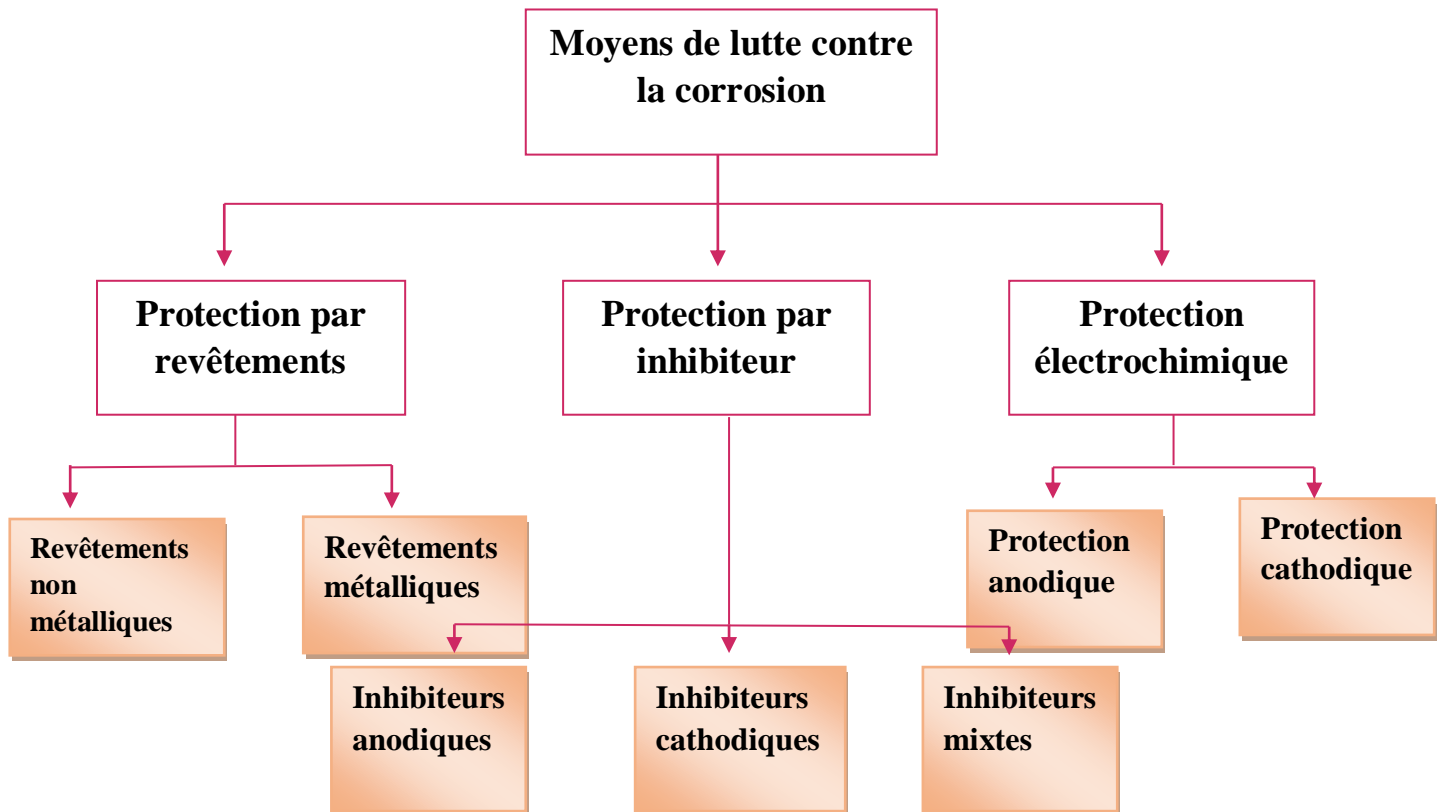


Figure I.13: Les moyens de protection contre la corrosion.

I.7.2.1. 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.

a) Revêtements non métalliques

- **Revêtement Organiques**

Les revêtements organiques forment une barrière plus au moins imperméable entre le substrat métallique et le milieu, ils se divisent en trois familles :

- Les revêtements en bitume.
- Les revêtements polymériques.

➤ Les Revêtements par peinture et vernis [34].

- **Revêtement inorganiques**

➤ **Émaillage:** En plus de son intérêt décoratif, l'émaillage protège les métaux contre la corrosion dans de nombreux milieux en raison de son imperméabilité à l'eau et à l'oxygène.

➤ **Ciment et béton:** Il agit comme un isolant entre l'élément ou la structure à protéger et l'extérieur. Sa faible porosité assurant la protection des pièces métalliques contre la corrosion [35].

b) Revêtements métalliques

- **Revêtement cathodique :** Le revêtement est noble dans la classification des potentiels de dissolution par rapport au métal de base. Dans ce cas le revêtement constitue la cathode et le métal de base est considéré comme anode. La moindre fissure dans le revêtement cathodique entraînera l'attaque du métal de base, il est donc nécessaire que le revêtement soit parfaitement continu et ne contient aucun défaut.

- **Revêtement anodique :** Pour les revêtements anodiques, le métal de base est noble par rapport au revêtement. Dans ce cas le métal de base constitue la cathode et le revêtement qui est attaqué

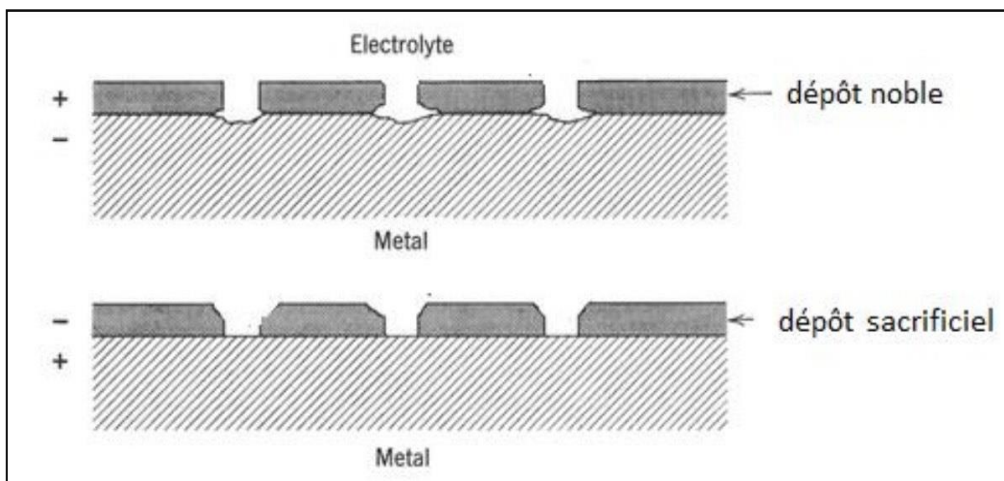


Figure I.14: Revêtements cathodique et anodique [27].

I.7.2.2. Protection électrochimique

a) Protection cathodique

Elle consiste à placer le métal dans son domaine d'immunité, elle est réalisable soit par anode sacrificielle ou bien par courant imposé.

- **Protection par anode sacrificielle :** L'anode sacrificielle forme une pile électrochimique avec la structure à protéger, qui joue alors le rôle de la cathode. L'anode

sacrificielle doit donc posséder un potentiel réversible inférieur à celui du métal que l'on veut préserver. Pour protéger l'acier, par exemple on utilise le magnésium, le zinc et l'aluminium, ainsi que leurs alliages [36].

- **Protection par courant imposé :** On impose à l'aide d'une source extérieure un courant ou un potentiel cathodique par rapport à une anode constituée par un matériau inaltérable (titane platiné, graphite...) [36].

b) Protection anodique

Est une technique permettant de contrôler la corrosion d'une surface métallique en faisant l'anode d'une cellule électrochimique et en contrôlant le potentiel d'électrode dans une zone où le métal est passif [37].

I.7.2.3. Protection par inhibiteur

Les inhibiteurs de corrosion sont des produits chimiques qui lorsqu'ils sont ajoutés à faibles concentrations à un environnement corrosif, ralentissent ou arrêtent le processus de corrosion des métaux en contact avec le milieu corrosif [38].

Les inhibiteurs sont classés selon leur réaction partielle en :

- inhibiteurs anodiques ;
- inhibiteurs cathodiques ;
- inhibiteurs mixtes.

a. Inhibiteurs anodiques

Egalement appelé inhibiteur de passivation, si l'inhibiteur s'adsorbe préférentiellement sur les sites anodiques de dissolution du métal où la réaction suivante se déroule, il s'agit d'un inhibiteur anodique [39].



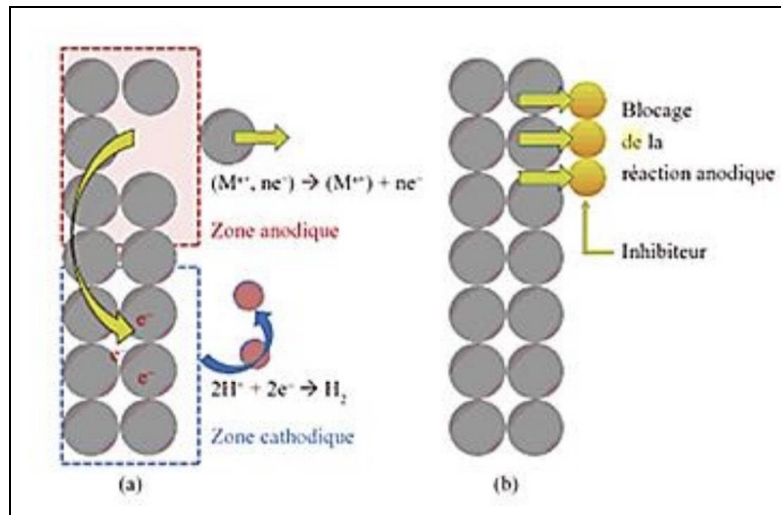


Figure I.15: Représentation en milieu « acide » du rôle d'un inhibiteur anodique : (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur [39].

b. Inhibiteurs cathodiques

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

En milieu aqueux neutre ; la réaction cathodique suivante :



S'effectue essentiellement sur les portions de surface a nue et stabilise la couche d'oxyde protectrice.

En milieu aqueux acide, la réaction cathodique :

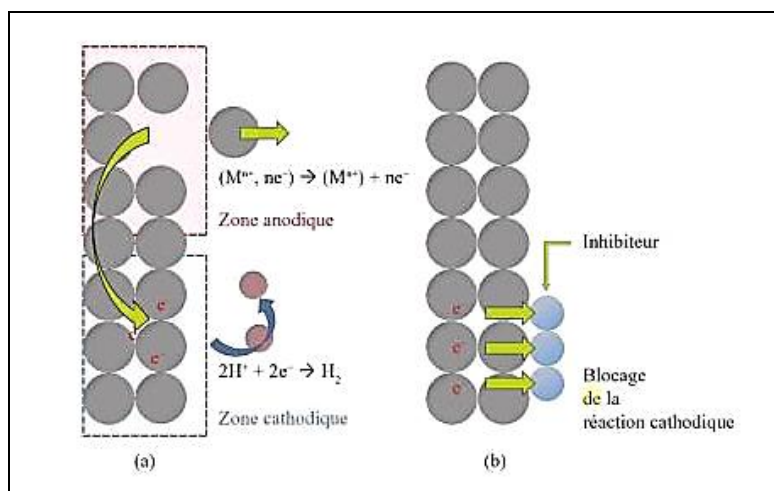


Figure I.16: Représentation du rôle d'un inhibiteur cathodique, (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur [39].

c. Inhibiteurs mixtes

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

En se combinant au cation métallique ou à l'anion provenant des réactions de surface, l'inhibiteur forme un sel insoluble qui colmate les porosités de la couche d'oxyde [40].

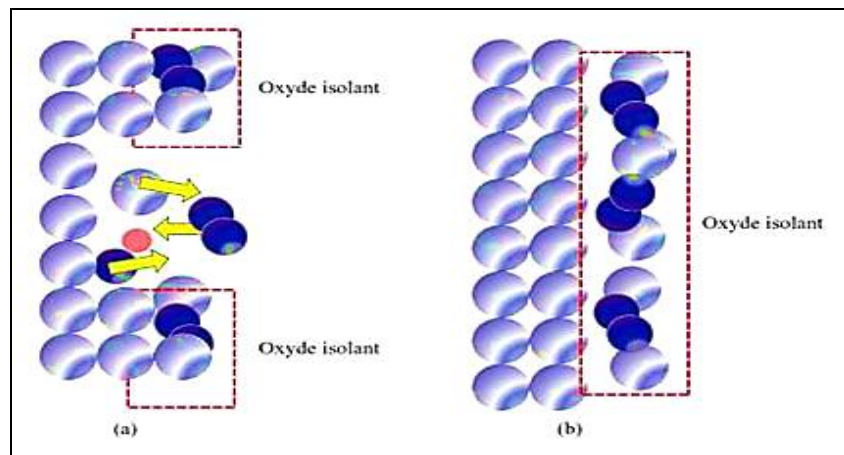


Figure I.17: *Inhibiteur formant une couche tridimensionnelle [40].*

I.8. Conclusion

En résumé, la corrosion tout simplement est un retour naturel vers un état oxydé dans les matériaux comme les bacs de stockage, plusieurs méthodes sont utilisées pour lutter contre ce phénomène tel que la protection par inhibiteur, et nous allons découvrir dans le prochain chapitre les bacs de stockage qui se trouve dans le complexe RA2K pour faciliter l'étude.

Chapitre II
Les réservoirs de
stockage

II.1. Introduction

Les réservoirs de stockage sont largement utilisés dans de nombreuses activités industrielles, notamment dans les usines de transformation telles que les raffineries et l'industrie pétrochimique. Ils servent à stocker une variété de produits différents. Ils sont disponibles dans des diverses tailles et comprennent des produits tels que les matières première, les produits finis, les gaz et les liquides. Il y à une multitude de réservoirs de stockage disponible, qui peuvent être placé sur le sol, dans le sol, ou sous terre.

II.2. Présentation du complexe RA2K de SKIKDA

Le Complexe Topping de Condensat RA2K est situé dans l'enceinte, Zone Industrielle de Skikda, à l'Est de la ville de Skikda, en dehors du tissu urbain, dans le périmètre de l'ancien aéroport.

Le Complexe a été réalisé dans le but de disposer d'une flexibilité en matière de commercialisation du condensat qui permet à SONATRACH une meilleure valorisation de ce produit sur le marché international. Le Complexe traite cinq (05) millions de tonnes de condensat par ans, en fonctionnement continu et permet la production des produits finis suivants : Butane, Naphta, Jet A1 (Kérosène), Le gasoil.

Le complexe comprend principalement :

II.2.1. Unité TOPPING de condensat (Unité 100)

Le Topping est constitué des sections suivantes :

- Distillation du condensat ;
- Stabilisation du naphta ;
- Dépropanisations et séchage du butane.

II.2.2. Traitement du kérosène (Unité 200)

Le kérosène provenant de la distillation du condensat est traité pour en faire du Jet A1.

Le traitement du kérosène se fait comme suit :

- Mélange avec de la soude caustique ;
- Elimination des acides naphéniques (précipitation par électro finage) ;
- Elimination de l'eau et des impuretés à l'aide de filtres et de coalesceurs ;
- Elimination des impuretés et des particules à l'aide de filtres et d'argile.

II.2.3. Unité de stockage du site (Unité 300)

- Stockage du condensat ;
- Stockage du butane ;
- Stockage du butane hors spécification ;
- Stockage du naphta ;
- Stockage du Jet A1 ;
- Stockage du gasoil léger ;
- Stockage du gasoil lourd.

II.2.4. Système torche (Unité 400)

Ce système permet de récupérer les gaz provenant des événements de l'unité Topping, ainsi que des sphères de stockage de butane et de les brûler dans la torche.

L'installation est composée :

- D'un séparateur (400 V 001),
- De pompes de condensat (400 P 001/002),
- La garde hydraulique (400 V 002),
- Le système d'allumage,
- La torche elle-même avec le brûleur et les pilotes.

II.2.5. Utilité (Unité 500)

Ces installations se composent :

- Réception, stockage et distribution de l'eau industrielle ;
- Traitement de l'eau potable ;
- Réseau d'eau anti-incendie ;
- Système d'eau de refroidissement ;
- Système d'air ;
- Réseau d'air combustible ;
- Unité de traitement des eaux résiduaires ;
- Sous stations pour la réception et la distribution de l'énergie électrique [41].

II.3. But de stockage

- Lors du stockage de pétrole et de gaz, une certaine quantité de pétrole ou de gaz est temporairement stockée dans un volume de stockage appelé appareils à pression ou réservoir varie en fonction de la pression exercée sur le produit stocké ;
- Assure la continuité de la production et de l'exploitation ;
- Élimine les gaz indésirables par dégazage naturel [42].

II.4. Configuration des réservoirs de stockage

Pour répondre à la variété des produits liquides industriels à stocker, les fabricants utilisent des réservoirs de différentes formes et conceptions, étudiés pour s'adapter de manière rationnelle et économique aux caractéristiques du produit à traiter.

La configuration d'un réservoir repose sur deux principes fondamentaux : d'une part, la préservation du produit en limitant ou en empêchant les évaporations. Par ailleurs. La stabilité de la pression interne créée par le produit ou maintenue à un certain niveau afin de favoriser l'explosion [42].

II.5. Types des réservoirs de stockage

Les réservoirs de stockage à utiliser dépendent de la nature du produit à stocké. Certains produits doivent être stockés sous pression (gaz liquéfié) et nécessitent des réservoirs de stockage très résistants (comme les sphères), d'autre peuvent être stocké à une pression moyenne (comme le pétrole, l'essence) ou à une pression nulle.

II.5.1. Réservoirs de stockage à pression atmosphérique

La plupart des réservoirs de grande capacité contenant des liquides inflammables sont des réservoirs atmosphériques. Ce type de stockage est composé d'un ensemble de tôle d'acier au carbone soudée et est utilisé à une pression proche de la pression atmosphérique [43].

Ces bacs de stockage sont sous forme cylindrique et sont constitués de :

- **Fond** : C'est la base du réservoir, il est fait également d'un ensemble de tôles.
- **Robe** : C'est une paroi verticale constituée de tôles cintrées au diamètre du réservoir.
- **Virole** : C'est un anneau constitué de tôles dont la succession donne la robe.
- **Toit** : C'est la partie supérieure du réservoir, il est fait d'un assemblage de tôles. Il peut être fixe ou flottant [44].

II.5.1.1. Réservoirs à toit fixe

La présence d'un toit fixe permet une meilleure conservation des produits peu volatils, dangereux ou polluants. Ce toit permet d'éviter leur contamination par des agents extérieurs (pluie, poussières,...).

On classe les réservoirs à toit fixe en deux catégories :

- **Réservoirs à toit supporté:** Ces toits sont constitués d'une charpente soutenue par un ou plusieurs poteaux (pour des diamètres supérieurs à 25 mètres) qui reposent sur le fond du réservoir.

- **Réservoirs à toit autoportant:** sont soit coniques soit sphériques [45].

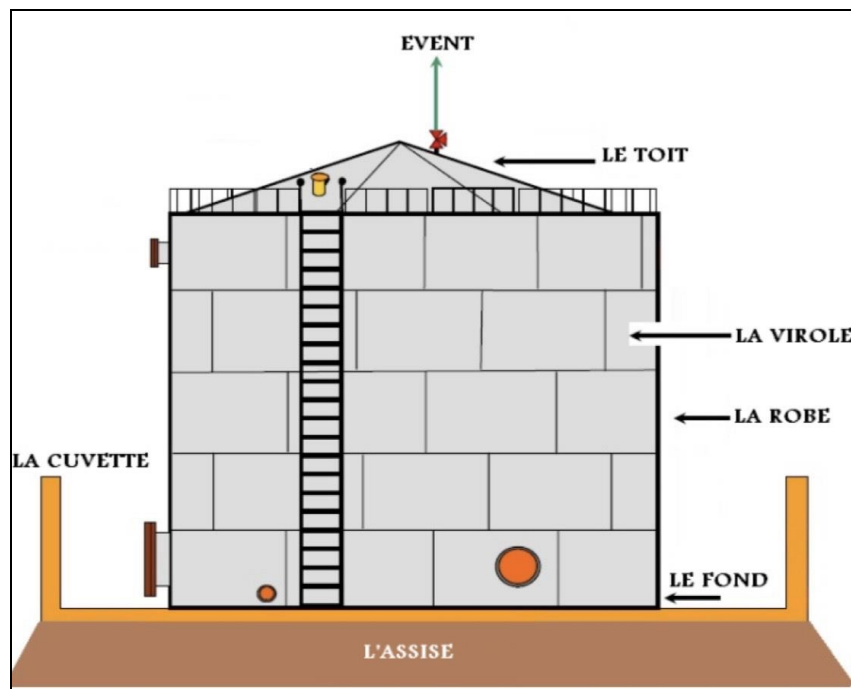


Figure II.1: Réservoir à toit fixe [45].

II.5.1.2. Réservoirs à toit flottant

Cette structure flottante se déplace en fonction des mouvements de descente et de montée du produit. Ces réservoirs sont spécialement conçus pour les produits volatils en raison de leur capacité remarquable à diminuer les pertes par évaporation. La capacité de ces réservoirs peut être très importante (plus de 35000 m³).

- **RTF externe:**
 - **Toit à flotteur unique (simple ponton) :** Il est constitué par une surface centrale de plaques avec une couronne circulaire soudée sur sa périphérie composée de caissons étanches flottants.

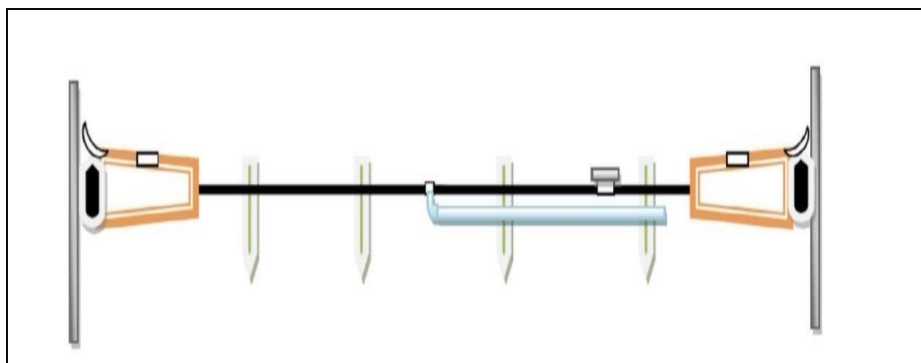


Figure II.2: Toit à flotteur unique (simple ponton) [46].

➤ **Toit à double flotteur (double ponton):** Il est constitué par deux surfaces de tôles circulaires. L'une recouvre l'autre et séparées l'une de l'autre par des cloisons ou des charpentes de façon à créer un matelas d'air entre le produit stocké et l'atmosphère.

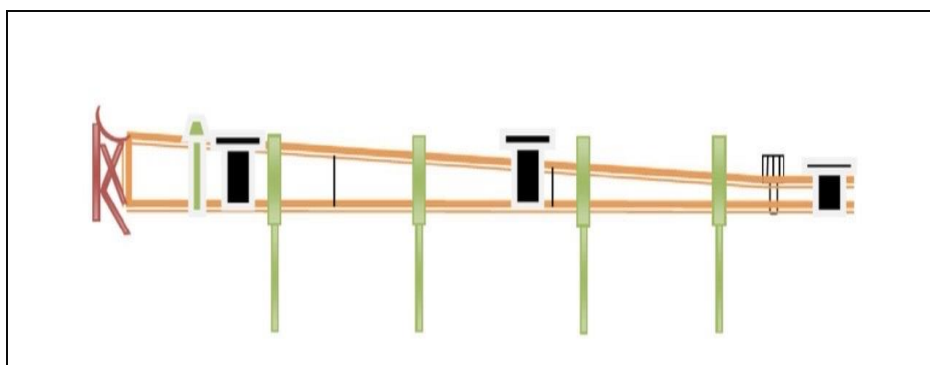


Figure II.3: Toit à double flotteur (double ponton) [46].

- **RTF interne:** Utilise pour le stockage de produit le plus volatils et les très dangereux, ce type est équipé d'un toi fixe et toi flottant repose directement sur le liquide donc il minimise les pertes par vaporisation [46].

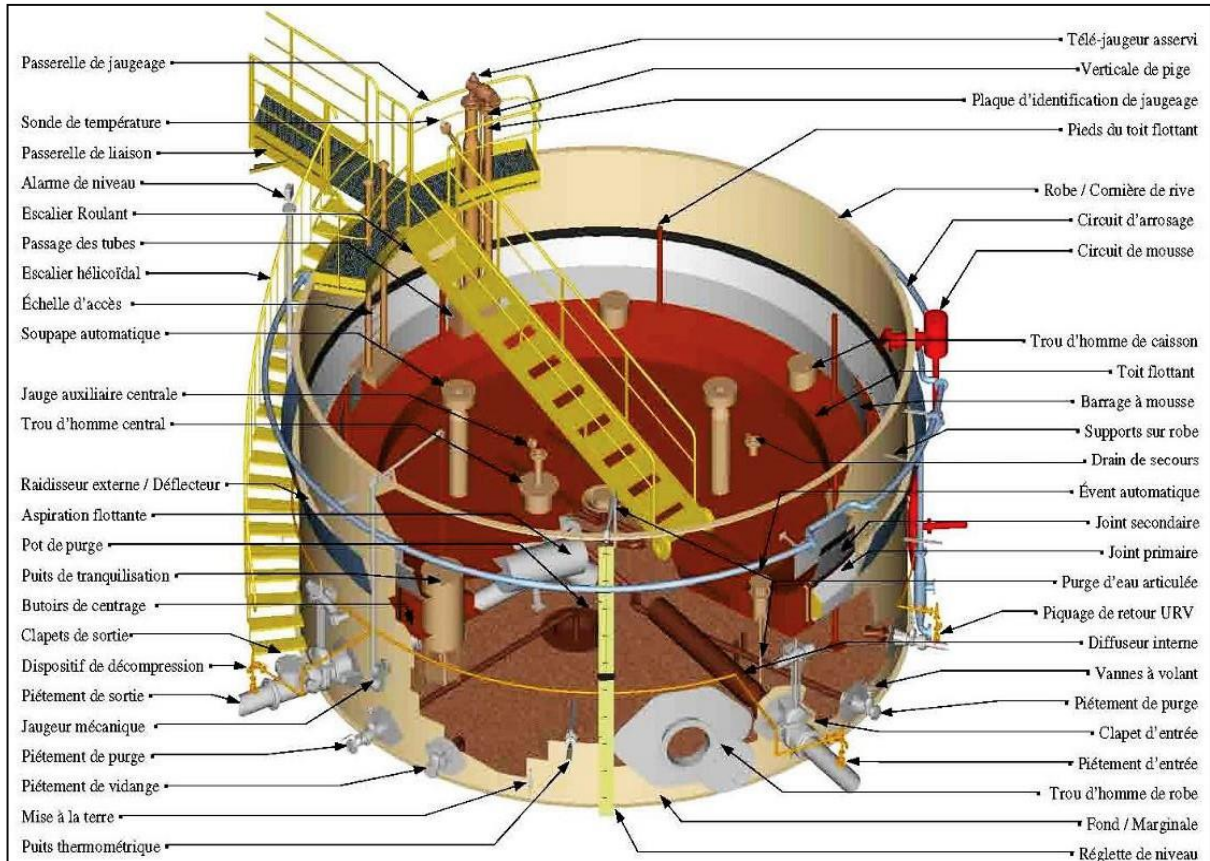


Figure II.4: Réservoir à toit flottant externe [45].

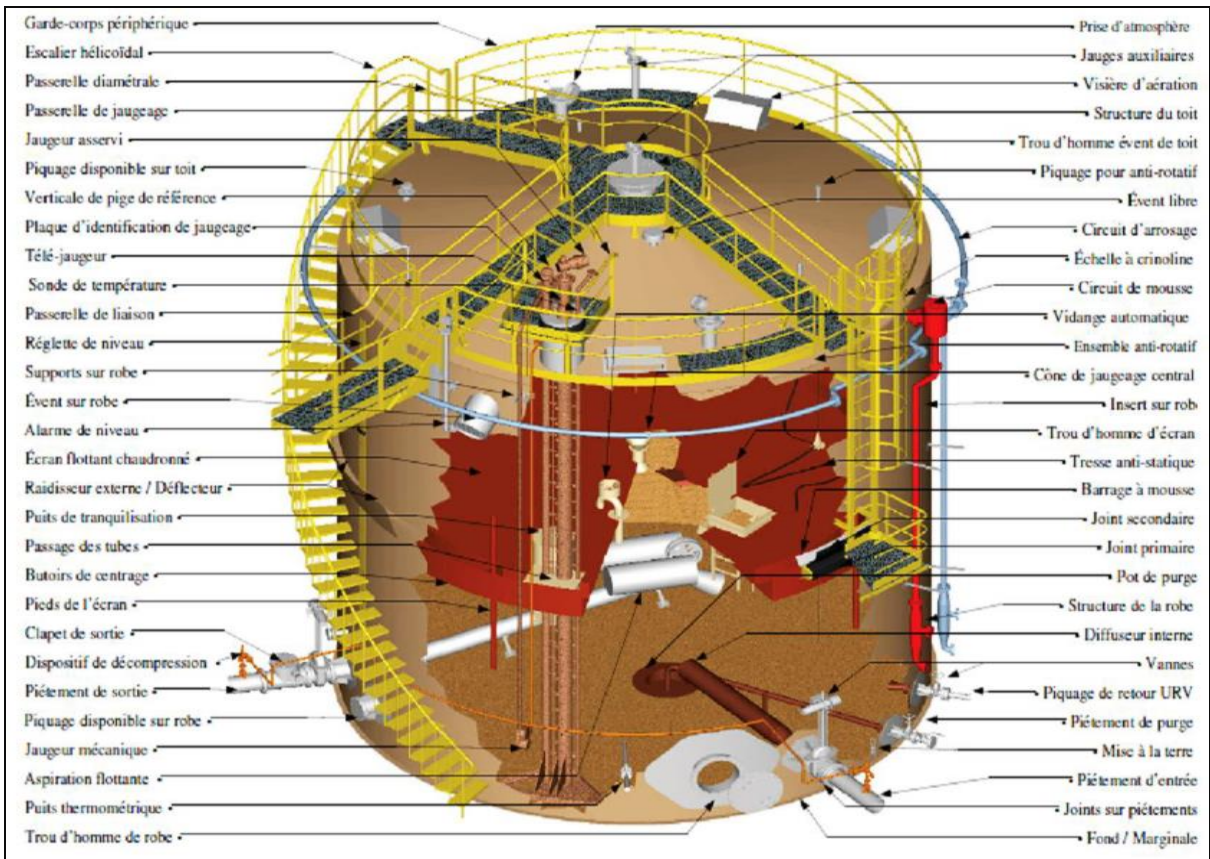


Figure II.5: Réservoir à toit flottant interne [45].

II.5.2. Réservoirs de stockage à sous pression atmosphérique

II.5.2.1. Cigares

Ils peuvent être positionnés de manière verticale ou horizontale. La plus part de ces réservoirs présente un diamètre de 1,5 à 3m, avec une longueur d'une dizaine de mètres. Les réservoirs horizontaux sont généralement installés sur des berceaux [47].



Figure II.6: *Les cigares* [48].

II.5.2.2. Sphères

Ils sont généralement supportés par des poteaux ou quelquefois, par une jupe métallique ou un massif de béton placé sous l'hémisphère inférieur. Les sphères sont couramment utilisés dans les installations gazières pour stocker des gaz sous pression tels que l'ammoniac et le GPL, ils permettent ainsi la réalisation économique de grandes capacités [47].



Figure II.7: *Les sphères* [49].

II.6. Présentation du bac de stockage

Le bac étudié dans ce projet (301-TK 001) est destiné pour le stockage du condensat en provenance de la zone de stockage du terminal de transport. Le réservoir est de type à toit flottant externe. Le condensat est transféré vers l'unité Topping via un pipeline à l'aide de deux pompes (301-P001/002) qui fonctionnent en alternance à un débit de 910 m³/h.

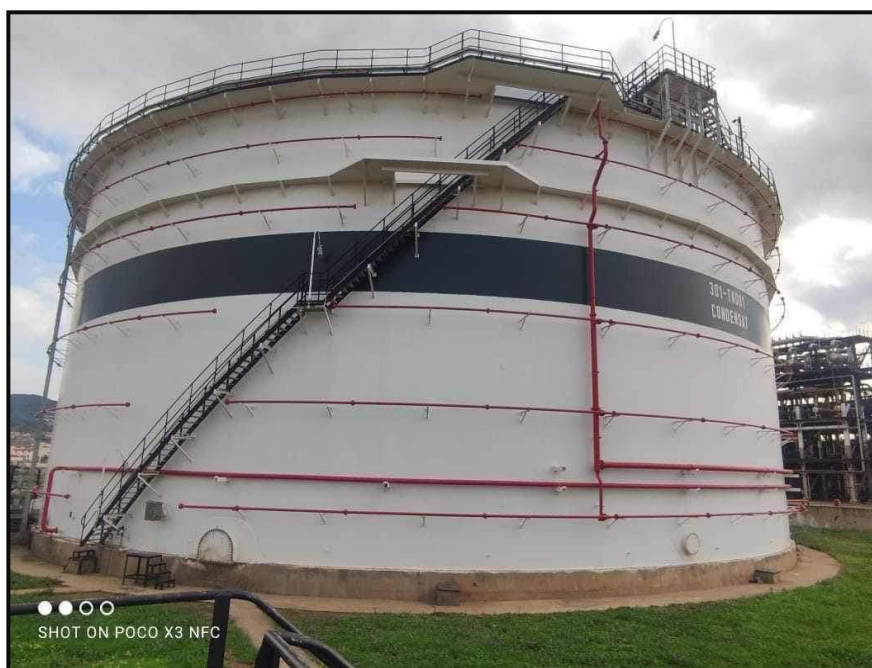


Figure II.8: Bac de condensat 301-TK 001.

Tableau II.1: Caractéristique technique de l'équipement [50]

Nom	301-TK001
Code	API650 -10th EDITION .ADD.3
Fluide d'opération	CONDENSAT OIL
Diamètre nominale	46000 mm
Hauteur nominale	19000 mm
Capacité	25427 m ³
Niveau d'opération max	17500 mm
Densité	0,71
Température de désigne	65 ⁰ c
Pression de désigne	ATM
Date de fabrication	05/2008

❖ **Caractéristique générale du produit stocké (Condensat) :** Dans le spectre des hydrocarbures non raffinés, les condensats occupent une place intermédiaire, allant du gaz naturel aux pétroles bruts. Associés aux gisements de gaz naturel et à la partie gazeuse des champs de pétrole, ils représentent la part des hydrocarbures qui, gazeux dans le gisement, se condensent sous forme liquide lors de leur détente à pression atmosphérique. Ils servent principalement à la production de naphtha (81.45%), de kérosène (10.14%), de gazole léger (3.75%) et gazole lourd (3.31%) [51].

Tableau II.2: Analyse du condensat le 3/2/2024 [52]

Condensat	Valeur	Unité
Densité Moy à 15 ⁰ c	0,6991	/
TVR	0,67	Kg/cm ²
Teneur en soufre totale	7,285	ppm
Acidité	0,005	mg KOH/g
Teneur en eau	53	ppm

II.6.1. Accessoires du réservoir 301-TK001

- **Système d'évacuation des eaux de pluie :** La pluie s'accumule au centre du toit et est évacuée grâce à d'un tube articulé installé dans le réservoir puis évacuée par une prise de soutirage située au fond de la robe.

- **Béquille :** Quand la hauteur du liquide ne permet plus de maintenir le toit en flottaison, on utilise des béquille pour assuré son sup portage. Les bacs peuvent comporter deux types de béquilles (on à citer un type): Les béquilles réglables (la hauteur de réglage est fonction des consignes d'exploitation).



Figure II.9: Les béquilles.

- **Déversoir d'injection de la mousse** : injection à l'extérieur d'un bac à toit flottant, sur le joint d'étanchéité. Une couronne métallique soudée sur le toit permet de retenir la mousse sur la périphérie afin de recouvrir le joint [46].

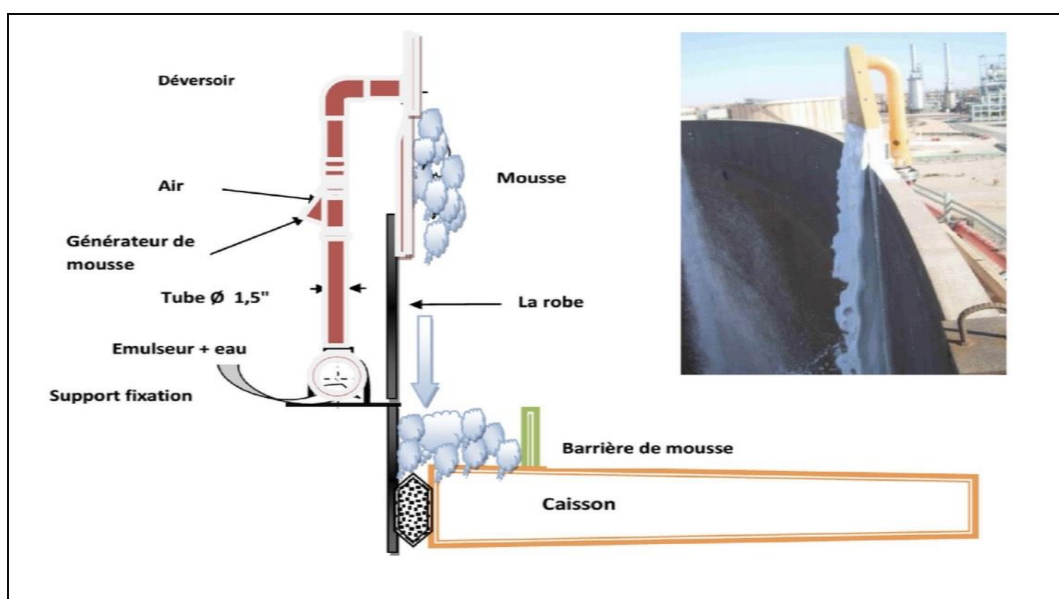


Figure II.10: Injecteur de mousse [53].

II.6.1.1. Accessoire de lutte contre la surpression

- **Soupapes** : Ces dispositifs sont automatiques qui permettent de libérer l'excédent de vapeur une fois la pression de la phase gazeuse à l'intérieur du réservoir atteint une valeur-limite ou critique. On nomme cette pression : la pression de tarage.
- **Events** : Ce sont des ouvertures permanentes situées en haut du réservoir, qui servent à évacuer les vapeurs d'hydrocarbures en excès par temps chaud.

II.6.1.2. Accessoires de visite et nettoyage

- **Trous d'homme:** il sera nécessaire de prévoir au moins un trou d'homme sur le réservoir. Le trou d'homme sur la robe sert à réaliser des travaux à l'intérieur du réservoir, acheminer les équipements nécessaires et accès des opérations pour exécuter les opérations d'entretien et de nettoyage.



Figure II.11: Trou d'homme.

- **Escalier et Echelle:** Un escalier de forme hélicoïdale ou verticale, conçu pour effectuer des vérifications, des contrôles, des réparations et des travaux de nettoyage. La position de l'échelle change lorsque le toit se déplace pour un toit flottant [53].

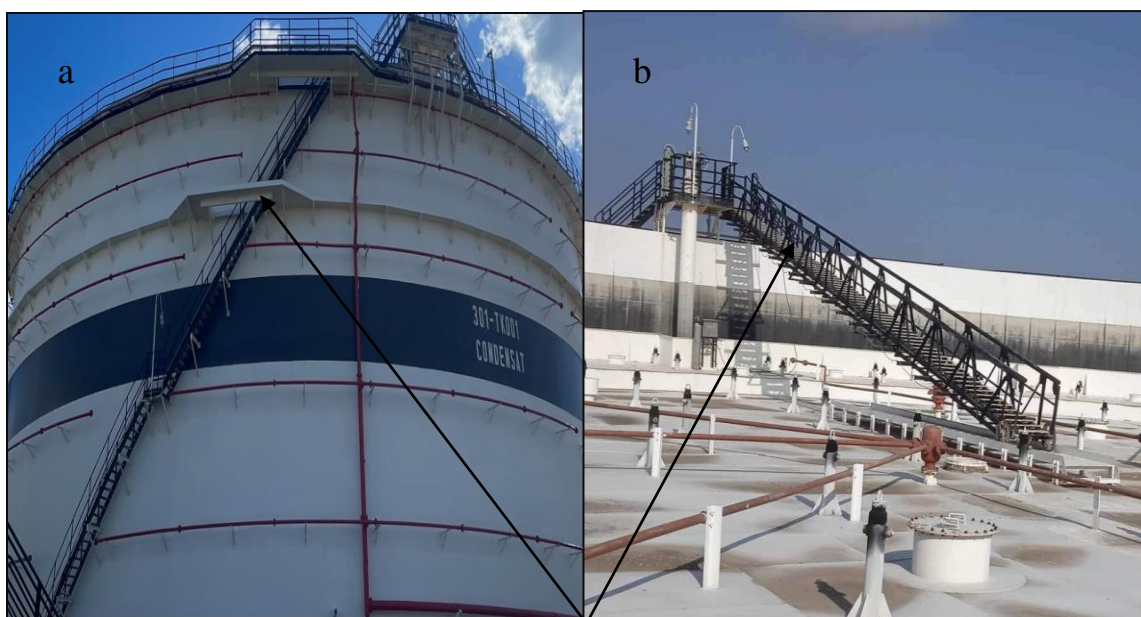


Figure II.12: a) Escalier, b) Echelle.

II.6.1.3. Accessoires de contrôle

- **Manomètre:** La pression à l'intérieur du bac est contrôlée par le manomètre d'indication de pression afin de maintenir la pression d'épreuve constante.
- **Dispositif de prise d'échantillon:** Il est utilisé pour prendre des échantillons, évaluer la qualité du produit et mesurer la température.
- **Dispositif de purge:** Il a pour fonction de faire sortir les impuretés qui se mélangent avec le produit au fond du réservoir. Le liquide drainé sera acheminé dans les réseaux d'huiles, puis vers un séparateur.
- **Indicateur de niveau:** Celui-ci permet de mesurer le niveau du liquide dans le réservoir et de compter le volume du produit lors du remplissage et ou de la vidange de celui-ci. La détermination du niveau du produit dans le réservoir se fait à l'aide d'un indicateur de niveau à flotteur qui suit le niveau du liquide. S'il n'y a pas de flotteur, on détermine le niveau du produit à l'aide d'une jauge manuelle.

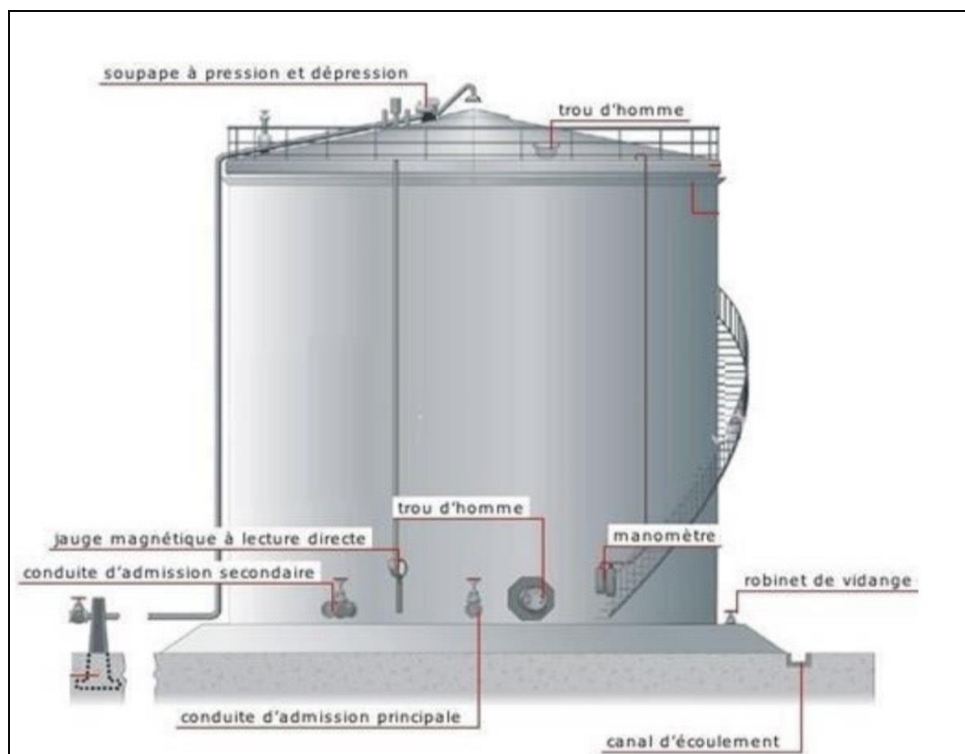


Figure II.13: Accessoires de contrôle de réservoir [53].

II.6.1.4. Accessoires de sécurité

- **Cuvette de rétention:** Son objectif est de prendre en charge 75% du contenu du réservoir en cas de fuite. Les cuvettes qui contiennent plusieurs réservoirs, doivent être divisées en compartiments dont le nombre est déterminé en fonction de la capacité totale des réservoirs.

- **Dispositifs d'alarme NH et NB:** Dès que le produit atteint son niveau haut (NH) et son niveau bas (NB), ils émettent un signal sonore.
- **Vannes de sécurité:** Elles ont pour objectif de préserver le réservoir contre les surpressions et les dépressions. Leur nombre est de deux (02). La vanne de sécurité pour la zone annulaire se trouve entre toit (flottant) et la robe et la vanne de décharge automatique.
- **Réseau d'incendie:** Celui-ci est équipé par des conduites d'eau et de mousse refoulée sous pression grâce à système de pompes [54].



Figure II.14: *Le réseau d'incendie.*

II.6.1.5. Accessoires de protection contre la corrosion

- La protection passive du réservoir est réalisée par application d'une couche de peinture avec une protection cathodique par anode.
- La protection externe du réservoir est réalisée par soutirage du courant.
- La cathode ne protège pas la surface intérieure du fond du réservoir, mais une couche de résine époxy est prévue pour prévenir la corrosion interne causée par la composition chimique du produit stocké, comme la présence de sels et de sulfures [46].

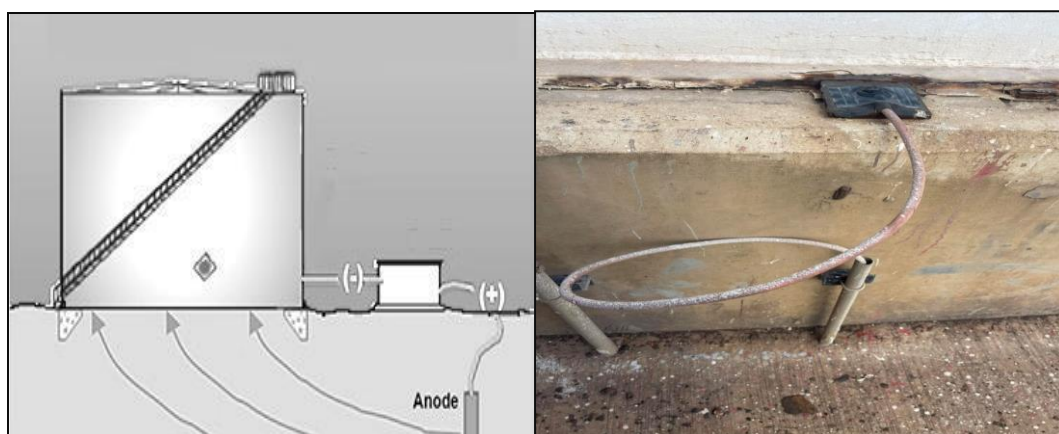


Figure II.15: *Protection cathodique par anode sacrificielle.*

II.7. Nature de la corrosion des bacs d stockage du condensat

L'une des principales modes de détériorer les bacs de stockage est la corrosion, qui peut être de nature électrochimique ou bactérienne et avoir un impact sur tous les éléments d'un bac de stockage, tant en interne qu'en externe. De plus, la corrosion peut être soit localisée soit généralisée.

La corrosion généralisée associée à la corrosion par piqûres peut se produire à l'intérieur ou à l'extérieur. Alors que des piqûres isolées peuvent créer des fuites mineures, la concentration d'un grand nombre de piqûres ou une zone de corrosion localisée, peuvent provoquer une fuite majeure.

❖ La corrosion interne peut résulter

- Le produit stocké contienne des substances agressives ou polluantes (parfois en association avec d'autres conditions). Un exemple serait la corrosion du ciel du réservoir, ce qui pourrait avoir un impact sur la partie interne du toit et la robe du réservoir en raison de la présence de composés soufrés et de vapeur d'eau ;
- Entrée et accumulation d'eau dans le réservoir résultant de la respiration du réservoir en raison de différences de température et condensation de vapeur d'eau, présence d'eau dans le produit stocké, ou entrée d'eau de pluie par le joint des toits flottants ;
- Qualité inadéquate des matériaux d'apport des soudures [55].

❖ La corrosion externe peut résulter

- La couche supérieure de l'assise du réservoir présente un mauvaise qualité: les polluants présente dans la couche supérieure de la fondation tels que de l'argile, des pierres, des cendres, ou d'autres matériaux acérés peuvent conduire à une zone de concentration d'oxygène aux points de contact du fond du réservoir. Une anode est formée par les petites zones de contact entre le fond et les polluants, tandis que le reste du fond forme une cathode, d'où une corrosion ponctuelle au point de contact ;
- Entrée d'eau de pluie par la pénétration du fait d'un mauvais contact entre la tôle marginale et l'assise du réservoir ;
- Accumulation d'eau de pluie au niveau de la marginale, des cornières sur les viroles ou sur les tôles de toit ;
- Délamination de la tôle de marginale particulièrement dans des secteurs où de l'eau et des débris s'accumulent autour de la base du réservoir ;

- Restes de calamine sur les plaques ;
- Température du produit stocké qui peut accroître la vitesse de la corrosion sous calorifuge ;
- Agressivité des conditions ambiantes (industrielles, maritimes...), fonction de l'humidité relative, de la teneur en chlorures ou en espèces chimiques provenant de la pollution (SO₂ en particulier), de la température, du vent, de la pluie [55].

II.8. Conclusion

Les réservoirs sont parmi les moyens de stockage les plus utilisés dans de nombreuses industries, et ils sont plus complexes en matière de dimensionnement, d'étude et de prise en charge du volet sécurité. Ils sont en interaction avec le produit stocké, l'environnement extérieur tel que les conditions climatiques. Et pour cela ils nécessitent un savoir-faire pointu pour répondre aux exigences de la norme et de la réglementation en vigueur.

Chapitre III
Matériaux, conditions
et techniques
expérimentales

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous exposons la méthode utilisée pour étudier la corrosion d'un bac de stockage via l'inhibiteur et la procédure expérimentale (préparation des surfaces, conditions opératoires...) ainsi un rappel de certaines définitions et concepts qui sont nécessaires à notre travail et qui vont nous permettre de maîtriser les phénomènes qui sont en jeu.

III.2. Identification du matériau

Le matériau concerné par cette étude est un acier au carbone d'un bac de stockage de type **A516 Gr-C**, selon la norme ASTM (American Society for Testing and Materials).

- La composition chimique de l'est donnée par le tableau (III.1) :

Tableau III.1: Composition chimique du substrat en acier A516 Gr-C

Eléments	C	Mn	P	S	Si
%massique	≤ 0,27	≤ 0,90	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,40

- Le tableau (III.2) résume les caractéristiques mécaniques essentielles de l'acier A516 :

Tableau III.2: Caractéristiques mécaniques de l'acier A516 Gr-C

Caractéristique mécanique	
La résistance à la traction (MPa)	485-620
La limite d'élasticité minimale (MPa)	260
%Allongement minimale en 200 mm	17
%Allongement minimale en 50 mm	21

III.2.1. Préparation des échantillons

La préparation des échantillons a été réalisée pour la révélation de la microstructure et pour les traitements chimiques de surface. Les étapes nécessaires pour ces préparations sont listées ci-dessous :

a. Découpage

Les échantillons ont été prisés à partir d'un bac de stockage de type acier au carbone, et coupés avec une tronçonneuse en des formes cubiques de surface 1 cm².

b. Polissage

Les échantillons peuvent être préparés jusqu'à l'obtention d'une finition parfaite, ou bien, la préparation peut être stoppée lorsque la surface est compatible avec l'examen souhaité.

Au-delà des exigences de la préparation, les objectifs principaux sont énumérés ci-dessous :

- Tous les éléments structurels doivent être conservés ;
- La surface doit être exempte de rayures et de déformations ;
- Aucun matériau étranger ne doit contaminer la surface de l'échantillon ;
- L'échantillon doit être plan et poli miroir si possible ;
- On recherche toujours un coût par échantillons optimal ;
- Toutes les préparations doivent être 100 % reproductibles ;
- Le polissage qui suit confère à la surface de l'échantillon la planéité d'un poli miroir.

Les échantillons ont subi un cycle de polissage réalisé sur une polisseuse tournante à 300 tours/min sur lequel est collé un papier abrasif. Le polissage est réalisé sous lubrification continue (l'eau) pour éviter tout échauffement local suite au frottement, en utilisant des papiers abrasifs de granulométrie croissante : 120; 150; 220; 400; 600; 800; 1000; 1200, et 2000 pour obtenir un état de surface lisse plane, plus uniforme et brillante.

Les papiers abrasifs utilisés au début du polissage (120; 150; 200) est illustré dans la figure (III.1) :



Figure III.1: Papier abrasif.

La polisseuse automatique utilisée pour préparer les échantillons d'acier A516 est présenté dans la figure (III.2) :



Figure III.2: Polisseuse.

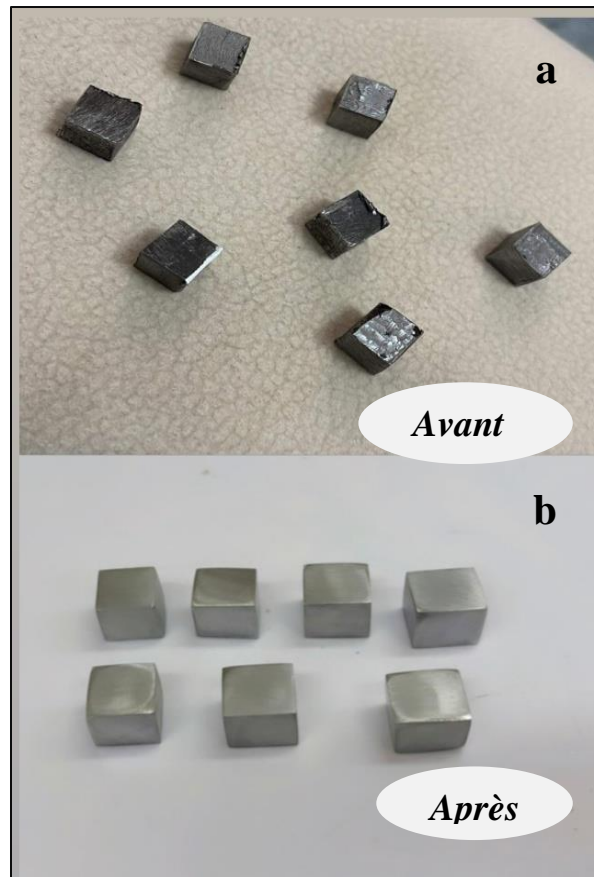


Figure III.3: a) Echantillons avant le polissage, b) Echantillons après polissage.

On utilise un pied de coulisse (Figure III.4) pour mesurer les dimensions des pièces. Ensuite les échantillons sont rincés à l'eau distillée (Figure III.5) pour nettoyer la surface après l'abrasion mécanique, puis rincés à l'acétone (c'est un dégraissage chimique qui élimine les corps indésirables).



Figure III.4: Un pied de coulisse.

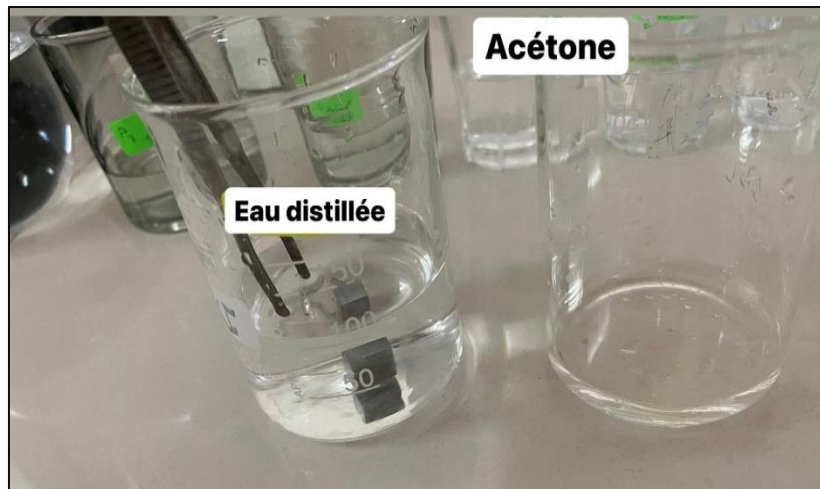


Figure III.5: *Echantillon immergé dans l'eau distillée.*

c. Le microscope métallographique

L'observation des microstructures a été réalisée à l'aide d'un microscope métallographique qui permet l'observation des échantillons, avec différents agrandissements. La figure (III.3) montre une photo du microscope optique qui a servi à l'observation des échantillons de l'acier A516.



Figure III.6: *Microscope métallographique.*

III.3. La solution corrosive d'étude

Dans ce travail, On utilise un milieu corrosif d'acide chlorhydrique (HCl) de différentes concentrations (2; 0,25; 0,01) M, obtenu par dilution de l'acide concentré commerciale 37% avec l'eau distillée jusqu'à le trait de jauge. Les essais ont été effectués dans un milieu naturellement aéré et sans agitation.

Tableau III.3: Propriétés de l'acide chlorhydrique

Formule brute	HCl
Densité	1,18
Masse molaire	36,5 g / mol
Pureté	37%



Figure III.7: Préparation de la solution corrosive HCl.

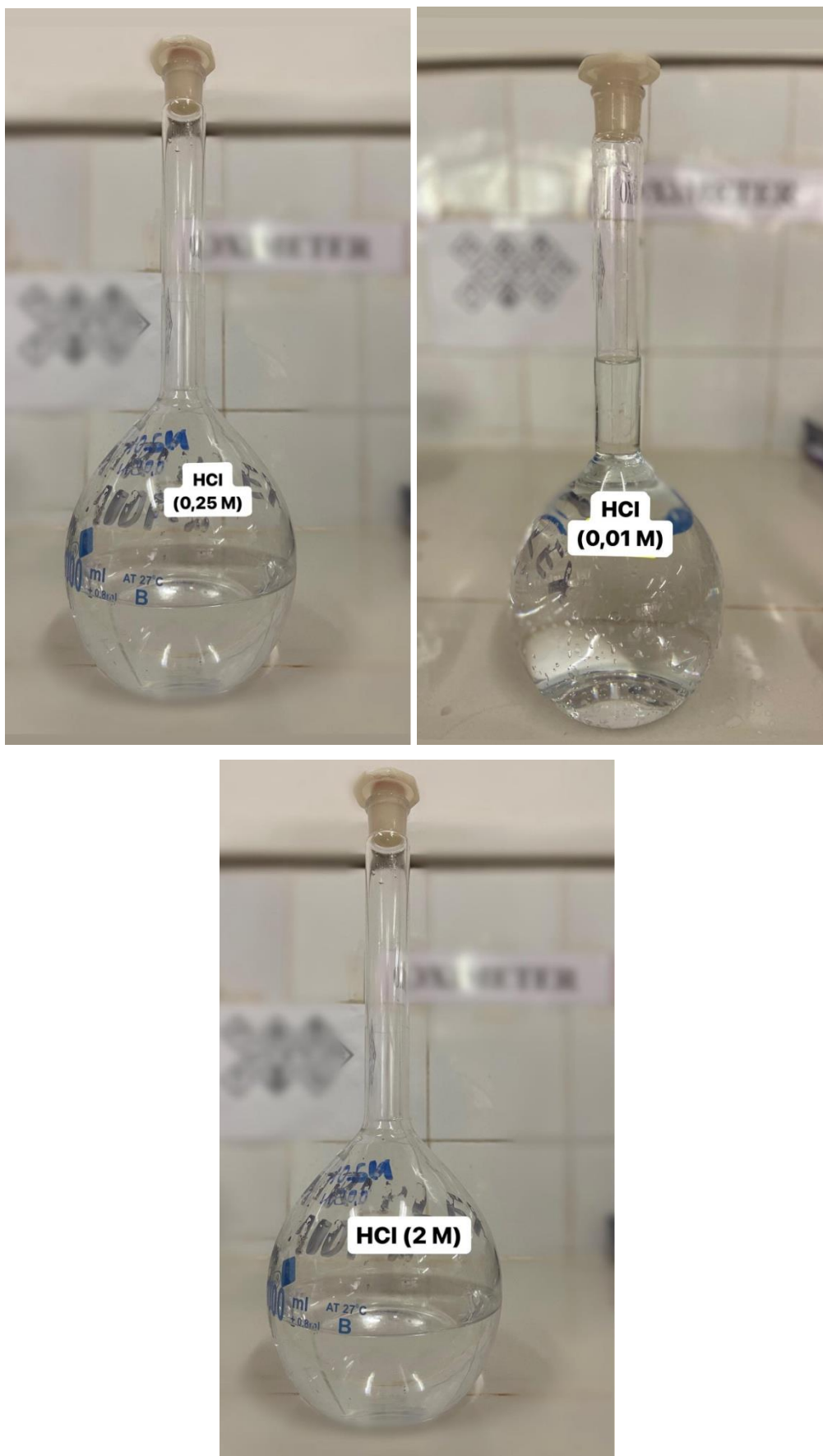


Figure III.8: La solution HCl préparée à différentes concentrations.

III.4. Inhibiteur de corrosion

L'inhibiteur est le dichromate de potassium, aussi appelée bichromate de potassium, est un composé chimique principalement utilisé comme inhibiteur de corrosion. Il est solide de couleur orange à rouges, soluble dans l'eau, de formule $K_2Cr_2O_7$.

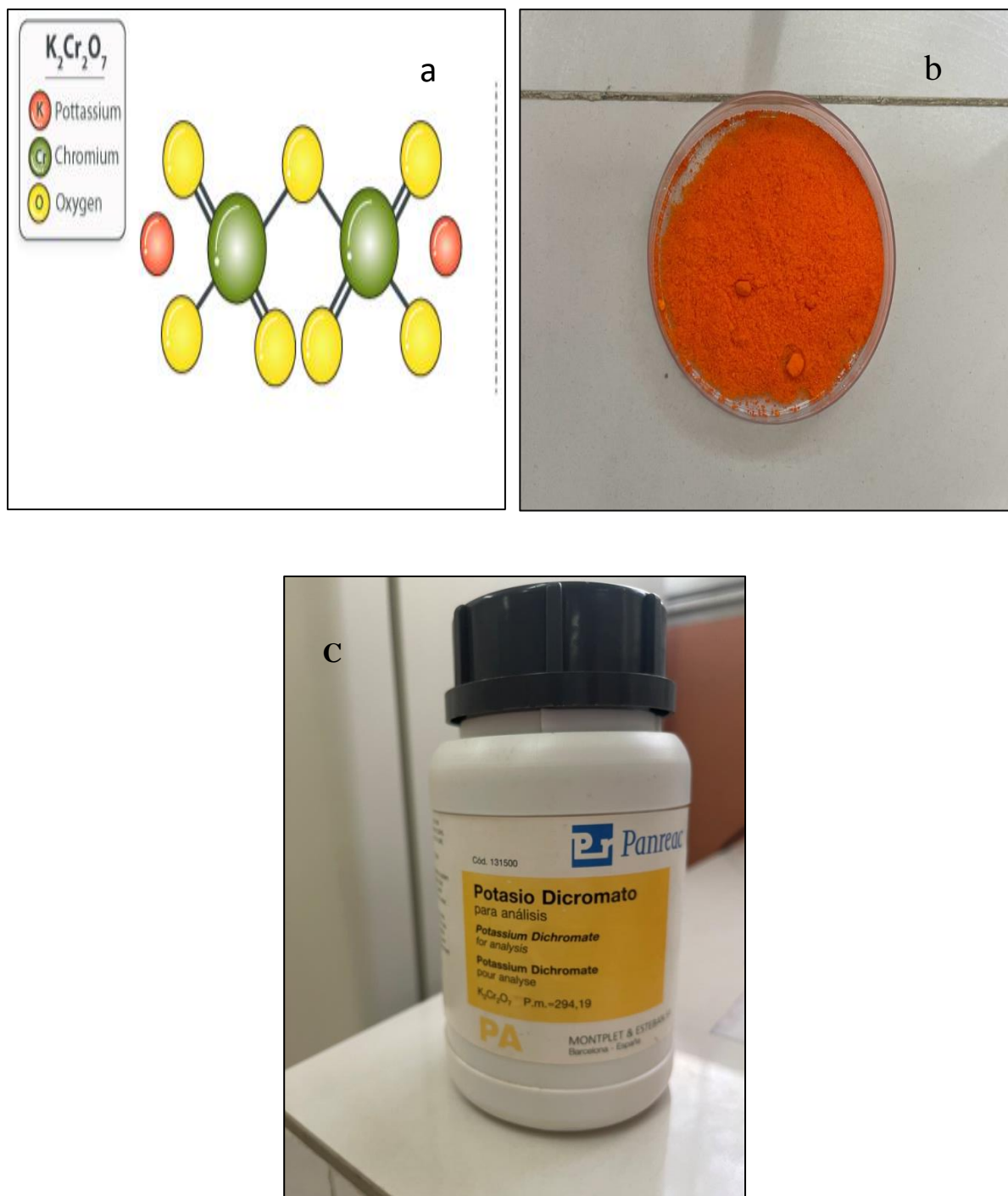


Figure III.9: a) Structure chimique, b) Le dichromate de potassium poudre, c) Le $K_2Cr_2O_7$ commerciale.

Tableau III.4: Propriétés de dichromate de potassium

Propriété	Valeur
Formule chimique	$K_2Cr_2O_7$
Masse molaire	294,18 g/mol
Masse volumique	2,7 g/cm ³
Point de fusion	398 °C
Point d'ébullition	500 °C
pH	>7

III.5. Technique gravimétrique

La méthode gravimétrique est une méthode d'analyse chimique quantitative. Pour déterminer la perte de masse, il est nécessaire de nettoyer minutieusement l'échantillon corrodé pour éliminer tous les produits de corrosion avant la pesée. En pesant l'échantillon avant et après l'essai.

La mesure de la perte de masse (Δm) subie par un échantillon de surface (s), pendant un temps d'immersion (t) dans une solution corrosive maintenue à température ambiante. La vitesse de corrosion est ensuite estimée en utilisant la formule (Eq.III.1):

$$v = \frac{\Delta m}{S.t} \dots\dots\dots \text{(Eq.III.1)}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

m₁ et m₂ : Les masses avant et après teste en g.

s : La surface de l'échantillon en cm².

t : Le temps d'immersion de l'échantillon dans la solution en heure.

v : La vitesse de corrosion en g .cm⁻².h⁻¹.

❖ L'efficacité inhibitrice (EI %) est donné par l'équation (Eq.III.2):

$$EI (\%) = \frac{V(HCl) - V(HCl+inh)}{V(HCl)} \times 100 \quad \dots\dots\dots (Eq.III.2)$$

$V_{(HCl)}$: La vitesse de corrosion en absence d'inhibiteur.

$V_{(HCl+inh)}$: La vitesse de corrosion en présence d'inhibiteur.

III.5.1. Les étapes de la méthode gravéométrique

III.5.1.1. Préparation de solution corrosive sans inhibiteur

Après le polissage des échantillons et le nettoyage des surfaces dans deux solutions (l'eau distillé et l'acétone), les pièces sont pesés à l'aide d'une balance avant d'immérgés dans le milieu. Ensuite ont les plangés dans des béchers, chaque bécher a une contenance de 100 ml de l'acid chlorhydrique (HCl) pour des différents temps d'immersion à une température ambiante.

Ainsi les pièces sont retirés de la solution et rincés aves l'eau distillé. On applique une brosse à dent souple pour éliminer les produits de corosion qui forment sur la surface métallique, puis les échantillons sont séchés et pesés.

Le tableau (III.5) illustre la solution acide chlorhydrique (HCl) préparé pour différentes concentration (2; 0,25; 0,01) M, sachant que pour chaque essais on utilise cinq échantillons de l'acier A516.

Tableau III.5: Les concentrations de solution HCl préparée sans inhibiteur

Sans inhibiteur	
Série 1	Acide chlorhydrique 2 M
Série 2	Acide chlorhydrique 0,25 M
Série 3	Acide chlorhydrique 0,01 M

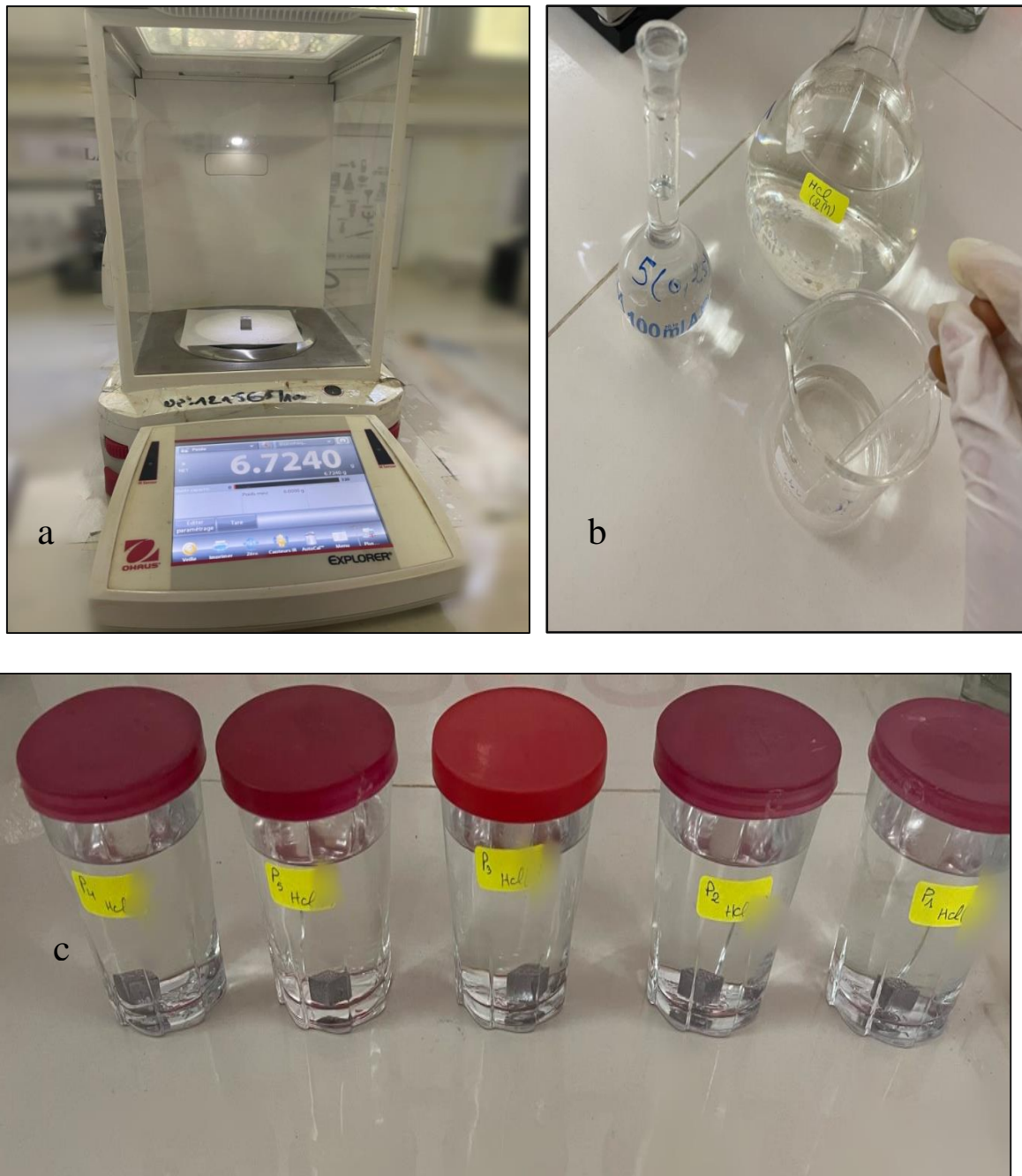


Figure III.10: a) Balance électronique, b) Préparation de la solution dans les béchers, c) Les échantillons immergés dans la solution corrosive (0,25 M).

III.5.1.2. Préparation de solution inhibitrice

Une fois la surface des échantillons est préparée (polissage, nettoyage), les pièces sont pesés et plongés en milieu (HCl + inhibiteur) dans des béchers contenant 100 ml de solution HCl et une concentration croissante d'inhibiteur (0; 100; 300; 500; 700; 900) ppm. A la fin, les échantillons sont prélevés et ainsi lavés avec l'eau distillé et repesés.

Le tableau (III.6) montre les trois séries préparées de la solution ($\text{HCl} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) la pour des concertation croissante d'inhibiteur. Chaque série possède un meilleur temps d'immersion

Tableau III.6: Les concentrations de solution HCl préparée avec inhibiteur

Avec inhibiteur	
Série 1	Acide chlorhydrique 2 M + inhibiteur (48h)
Série 2	Acide chlorhydrique 0,25 M + inhibiteur (96h)
Série 3	Acide chlorhydrique 0,01 M + inhibiteur (96h)

La figure (III.11) représente l'un des essais préparées de solution ($\text{HCl} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) de concentration 0,25 M pour un temps d'immersion 96h.



Figure III.11: a) Echantillons immergés en milieu $\text{HCl}(0,25 \text{ M}) + \text{inhibiteur}$ avant 96h, b) Echantillon après 96h de l'immersion.

III.6. Phénomène d'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel les molécules d'un fluide (gaz, ou liquide) appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide appelé adsorbant. Ce phénomène est différent de l'absorption, par lequel un fluide rentre dans le volume d'une autre phase liquide ou solide.

Les principaux modes d'adsorption sont l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

a. L'adsorption physique : C'est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules du solide et celles de la substance adsorbé.

b. L'adsorption chimique : Elle résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat [56].

III.7. Isotherme d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont très importantes pour déterminer le mode d'action de l'inhibiteur. Pour cela, la valeur du taux de recouvrement de la surface du métal par l'inhibiteur adsorbé (θ) à température étudiée 25°C, est définie par la relation suivante :

$$\theta = \frac{V(\text{HCl}) - V(\text{HCl}+\text{inh})}{V(\text{HCl})} \dots\dots\dots \text{(Eq.III.3)}$$

Ainsi, différentes isothermes comprenant Langmuir, Temkin et Freundlich, ont été testées afin de trouver l'isotherme d'adsorption convenable. Selon ces isothermes, θ est relié à la concentration en inhibiteur.

III.7.1. Isotherme de Langmuir

Ce mode néglige tout type d'interaction entre les espèces, et considère une adsorption par blockage géométrique des sites. L'équation de l'isotherme est de la forme :

$$\frac{\theta}{1-\theta} = K_{ads} C_{inh} \dots\dots\dots \text{(Eq.III.4)}$$

Où:

K_{ads} : La constante de l'équilibre adsorption-désorption de l'inhibiteur sur la surface du métal.

C_{inh} : La concentration de l'inhibiteur ajouté en solution.

Les hypothèses de ce modèle sont les suivantes :

- Absence d'interaction entre les espèces adsorbées à la surface de l'électrode ;
- Equivalence des sites d'adsorption (surface homogène) ;
- Chaque site donne lieu à l'adsorption d'une molécule d'adsorbat ;
- Les sites d'adsorption sont en nombre bien défini par unité de surface ;
- Le nombre des molécules qui arrivent à la surface est égal au nombre de molécules qui quittent la surface (adsorption réversible) [56].

III.7.2. Isotherme de Temkin

La variation du taux de recouvrement en fonction linéaire de C_{inh} , il y a attraction ou répulsion entre espèces adsorbées à la surface [57].

L'isotherme de Temkin exprimée par l'équation suivante :

$$\ln(-2a \theta) = K_{ads} C_{inh} \dots\dots\dots \text{(Eq.III.5)}$$

Où :

a : La constante d'interaction entre particules adsorbées.

III.7.3. Isotherme de Freundlich

La relation de Freundlich exprimé par la relation :

$$\ln \theta = \ln(K_{ads}) + a \ln(C_{inh}) \dots\dots\dots \text{(Eq.III.6)}$$

Ce modèle est utilisé dans le cas de formation possible de plus d'une couche sur la surface et les sites sont hétérogènes avec des énergies de fixation différentes.

La relation entre L'énergie libre standard d'adsorption et la constante d'équilibre du processus d'adsorption K_{ads} est donnée par la relation suivante :

$$K_{ads} = \frac{1}{55,5} \exp - \frac{\Delta G^{\circ}ads}{RT} \dots\dots\dots \text{(Eq.III.7)}$$

Où :

R : La constante des gaz parfaits ($8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$).

T : La température en Kelvin.

55.5 : La concentration molaire de l'eau dans la solution (mol/l).

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la méthode gravimétrique utilisée à fin d'estimer le phénomène de corrosion du matériau (l'acier A516) dans le milieu HCl à différentes concentrations. On a parlé aussi sur les préparations de la solution corrosive et la solution inhibitrice ainsi que les isothermes d'adsorption et les conditions expérimentales appliquées pour assurer de bonnes manipulations.

Chapitre IV
Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Ce chapitre est porté sur l'étude de l'effet d'inhibiteur de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ sur la corrosion de l'acier A516 en milieu acide par la méthode gravimétrique.

Dans cette méthode, le suivi du phénomène de la corrosion est réalisé par la mesure de la perte masse avant et après l'immersion d'échantillons d'acier dans une solution d'acide chlorhydrique (HCl) qui comporte deux étapes principales : suivi de la corrosion de l'acier A516 dans HCl en absence et en présence de différentes concentration d'inhibiteur.

IV.2. L'effet du temps d'immersion (sans inhibiteur)

Parmi les facteurs qui ont un effet sur la vitesse de corrosion, nous citons le facteur du temps d'immersion, pour cela nous avons testé différentes temps d'immersion de l'acier A516 en milieu HCl de différentes concentration (2; 0,25; 0,01) molaire.

Les résultats obtenus pour les trois essais de concentrations différentes sont regroupés dans les tableaux (IV.1; IV.2; IV.3):

a. Milieu HCl 2 M

Tableau IV.1: La variation de la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans HCl (2 M) pour différents temps d'immersion

Temps (h)	m_1 (g)	m_2 (g)	Δm (g)	La vitesse ($g.cm^{-2}.h^{-1}$) 10^{-4}
1	6,5851	6,5819	0,0032	5,3333
3	7,4756	7,4644	0,0112	6,2222
5	7,6613	7,6369	0,0244	8,1333
48	7,2839	7,1847	0,0992	3,4444
50	7,5003	7,3982	0,1021	3,4066

- m_1 : Avant teste
- m_2 : Après teste

L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion dans HCl (2 M) est exprimée par la figure (IV.1) :

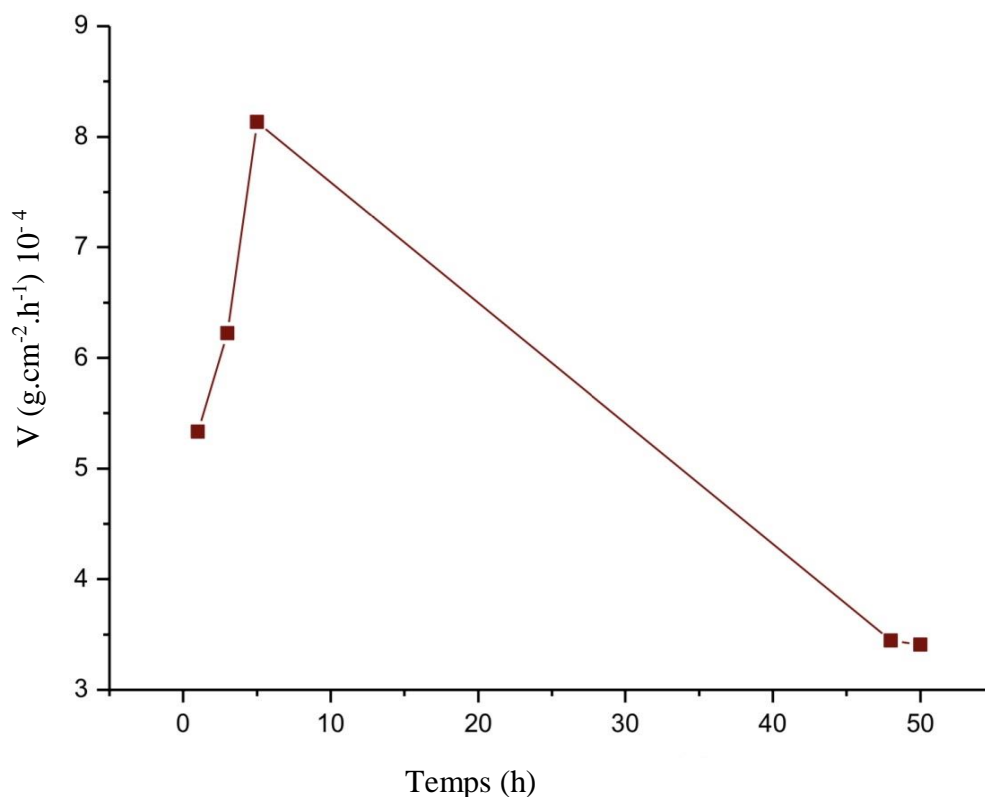


Figure IV.1: Evolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion dans HCl (2 M).

Les résultats de tableau IV.1, montrent que la vitesse de corrosion augmente en fonction du temps d'immersion jusqu'à 5 heures (la meilleure vitesse de corrosion), Cela confirme qu'il y a une perte de masse de l'acier c'est-à-dire une destruction de l'acier A516 dans le milieu corrosif.

Au delà de 5 heures, la vitesse de corrosion subit une réduction, ceci indique qu'il y a formation d'une couche protectrice sur la surface de l'acier jusqu'à la stabilisation après 48 heures.

b. Milieu HCl 0,25 M

Les résultats de l'immersion de l'acier au carbone A516 dans la solution acide chlorhydrique (HCl) de concentration (0,25 M) sont décrits dans le tableau (IV.2) :

Tableau IV.2: La variation de la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans HCl (0,25 M) pour différents temps d'immersion

Temps (h)	m_1 (g)	m_2 (g)	Δm (g)	La vitesse ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$) 10^{-4}
25	6,7240	6,7054	0,0186	1,2400
27	7,5447	7,5216	0,0231	1,4259
29	7,0942	7,0632	0,0312	1,7931
30	6,4451	6,3988	0,0457	2,5388
96	6,0972	5,9026	0,1946	4,1709

Ces observations sont clairement vues par la figure (IV.2) :

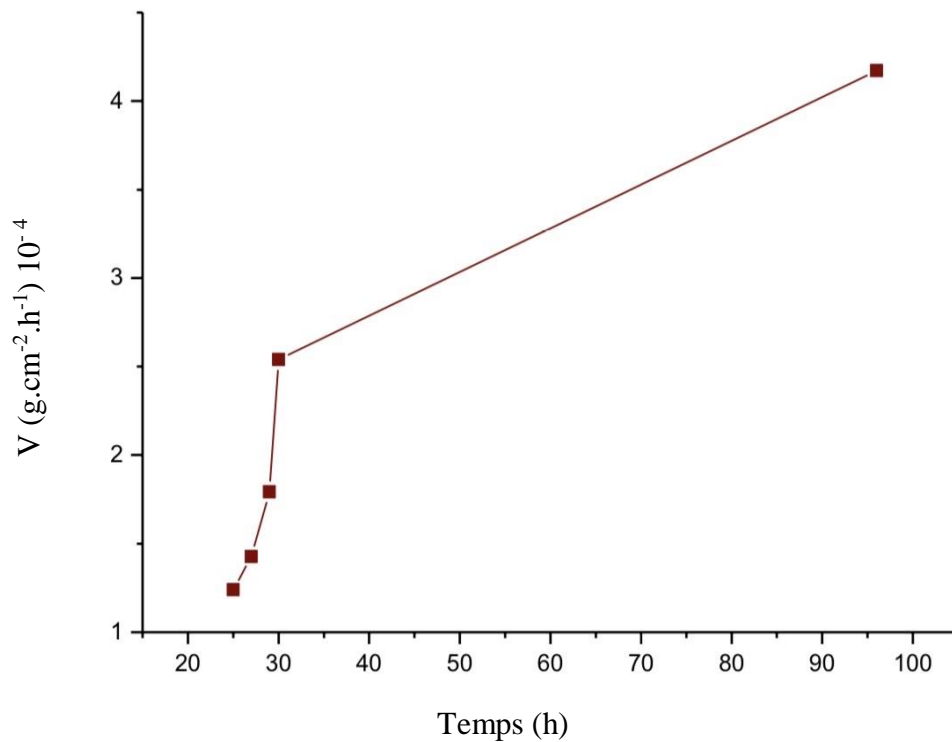


Figure IV.2: Evolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion dans HCl (0,25 M).

L'analyse des résultats de tableau IV.2, montre que la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans le milieu corrosif HCl (0,25 M) augmente avec le temps d'immersion jusqu'à atteindre une valeur maximale à 96 heures.

c. Milieu HCl 0,01 M

Tableau IV.3: La variation de la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans HCl (0,01 M) pour différents temps d'immersion

Temps (h)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	Δm (g)	La vitesse (g.cm ⁻² .h ⁻¹) 10 ⁻⁵
25	5,4365	5,4337	0,0028	2,3050
27	6,4579	6,4524	0,0055	5,3050
29	7,1830	7,1762	0,0068	6,1060
30	6,0381	6,0279	0,0102	6,9958
96	7,3430	7,3198	0,0232	4,9803

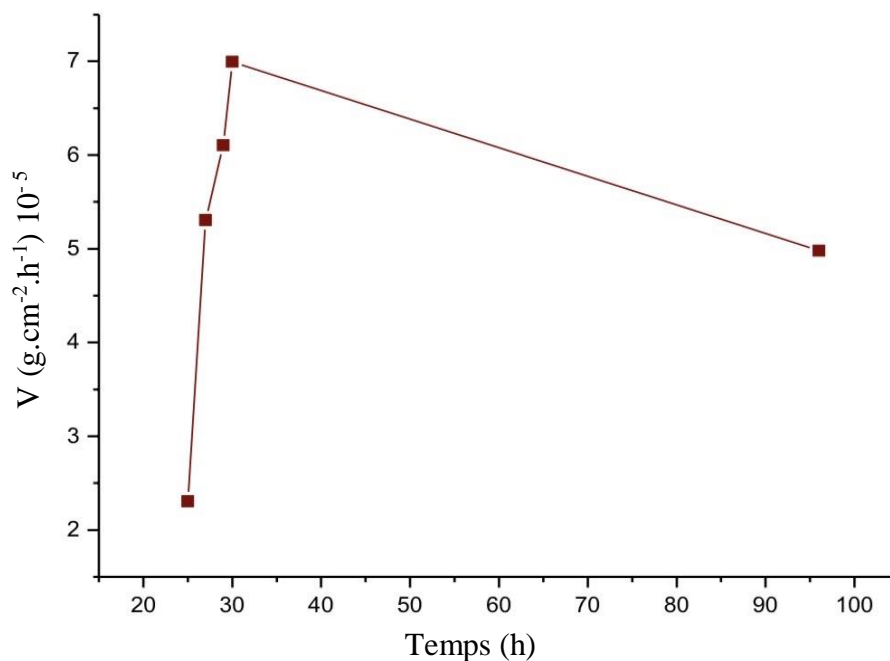


Figure IV.3: Evolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion dans HCl (0,01 M).

Les résultats de tableau (IV.3), montre que la vitesse de corrosion de l'acier A516 augmente avec le temps d'immersion jusqu'à 30 heures. Après ce dernier temps la vitesse diminue à cause de la formation d'un film protecteur sur la surface de l'acier au carbone.

IV.3. Effet de la concentration d'inhibiteur (avec inhibiteur)

L'efficacité inhibitrice a été testé par la méthode gravimétrique dans une solution HCl de différents concentration (2; 0,25; 0,01) M dans deux temps d'immersion successive, à savoir, 48h et 96h, qui ont été déjà examinés dans les expériences précédentes en absence d'inhibiteur, en présence de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ comme inhibiteur à un gradient de concentration croissante (0; 100; 300; 500; 700; 900) ppm.

a. Milieu HCl 2 M

L'étude de l'effet de concentration d'inhibiteur sur la vitesse de corrosion de l'acier A516 à différentes concentration dans l'HCl (2 M) est donnée dans le tableau (IV.4) :

Tableau IV.4: La variation de la vitesse de corrosion de l'acier A516 dans HCl (2 M) pour différentes concentration d'inhibiteur pendant 48h

Concentration d'inhibiteur (ppm)	m_1 (g)	m_2 (g)	Δm (g)	La vitesse ($g \cdot cm^2 \cdot h^{-1}$) 10^{-4}
0	6,3098	6,1846	0,1252	5,3669
100	7,3477	7,1782	0,1695	7,2659
300	7,4148	7,2167	0,1981	8,4919
500	7,0183	6,7942	0,2244	9,6193
700	6,8532	6,5766	0,2766	1,1856
900	7,2469	6,9787	0,2682	1,1496

L'influence de la concentration d'inhibiteur sur la vitesse de l'acier au carbone est exprimée par la figure (IV.4) :

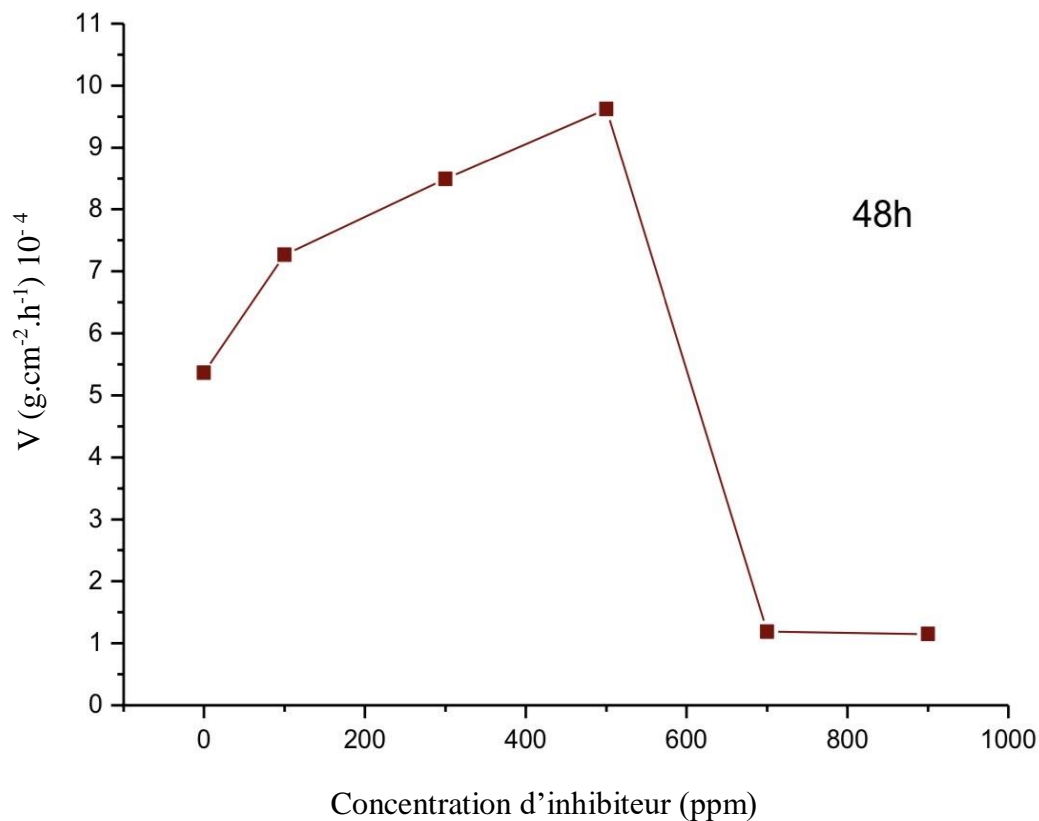


Figure IV.4: Influence de concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion dans HCl (2 M).

D'après le tableau (IV.4), on remarque que la vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de concentration d'inhibiteur $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ jusqu'à atteindre 500ppm cela peut du a une concentration élevée d'acide chlorhydrique (2 M).

Au-delà de 500 ppm la vitesse de l'acier A516 diminue considérablement en raison de l'effet d'inhibition.

b. Milieu HCl 0,25 M

Tableau IV.5: La variation de la vitesse de corrosion et l'efficacité de l'acier A516 dans HCl (0,25 M) pour différentes concentration d'inhibiteur pendant 96h

Concentration d'inhibiteur (ppm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	Δm (g)	La vitesse (g .cm ⁻² .h ⁻¹) 10 ⁻⁴	EI %
0	6,5352	6,2940	0,2412	5,1709	0
100	7,0124	6,8020	0,2104	4,5096	12,78
300	7,0098	6,7856	0,2078	4,4538	13,86
500	5,7216	5,5144	0,2072	4,4410	14,11
700	6,6086	6,4363	0,1723	3,6929	28,57
900	6,2418	6,1035	0,1383	2,9642	42,67

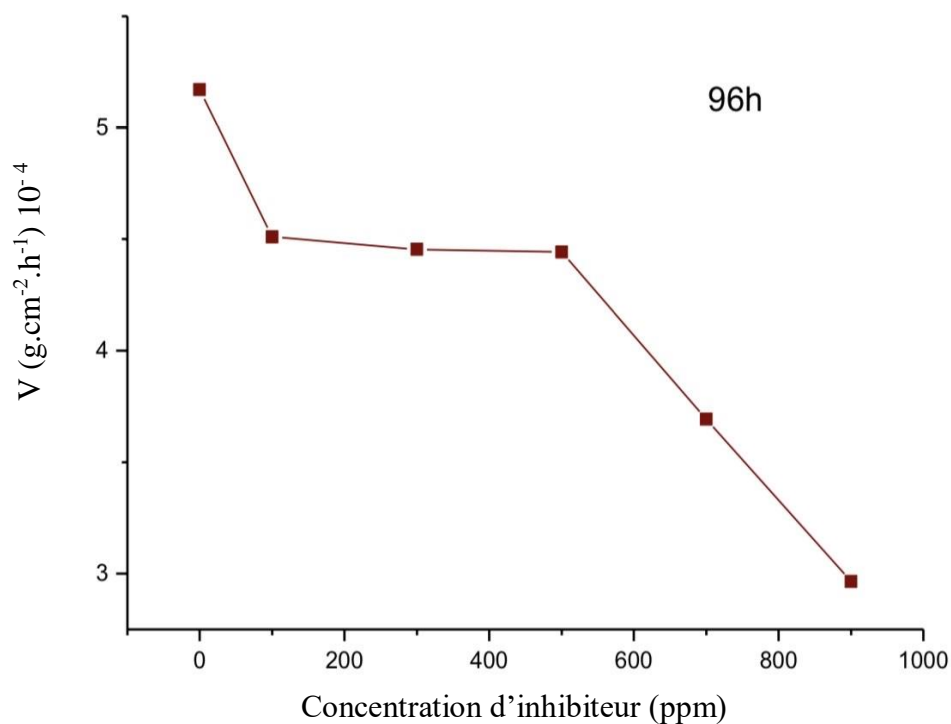


Figure IV.5: Influence de concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion dans HCl (0,25 M).

L'examen de tableau (IV.5), nous permet de noter que la vitesse de la corrosion de l'acier A516 en milieu HCl (0,25 M) diminue graduellement lorsque la concentration de l'inhibiteur $K_2Cr_2O_7$ augmente.

c. Milieu HCl 0,01 M

Tableau IV.6: La variation de la vitesse de corrosion et l'efficacité de l'acier A516 dans HCl (0,01 M) pour différentes concentration d'inhibiteur pendant 96h

Concentration d'inhibiteur (ppm)	m_1 (g)	m_2 (g)	Δm (g)	La vitesse ($g \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$) 10^{-5}	EI %
0	5,7539	5,7419	0,0120	3,2552	0
100	6,6750	6,6657	0,0093	2,5227	22,50
300	6,7202	6,7160	0,0042	1,1393	65,00
500	5,4091	5,4061	0,0030	0,8138	75,00
700	6,2767	6,2749	0,0018	0,3858	88,14
900	5,8633	5,8631	0,0002	0,0428	98,68

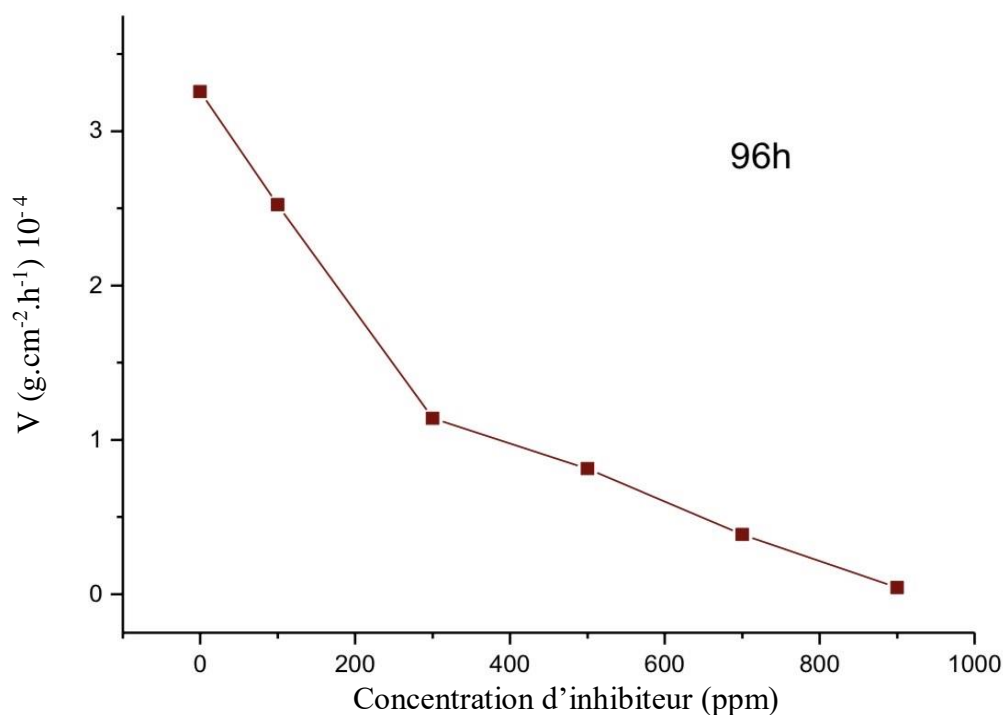


Figure IV.6: Influence de concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion dans HCl (0,01 M).

Selon les résultats présentés dans le tableau (IV.6), précédent nous permet de constater que la vitesse en milieu HCl (0,01 M) en présence d'inhibiteur dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ diminue avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur.

Ce comportement peut être attribué à la présence de l'inhibiteur dissout dans la solution corrosive qui s'étale à l'interface acier/solution corrosive et forme une couche qui protège la surface de l'acier et réduit ainsi sa corrosion.

IV.4. L'efficacité inhibitrice

a. Milieu HCl 0,25 M

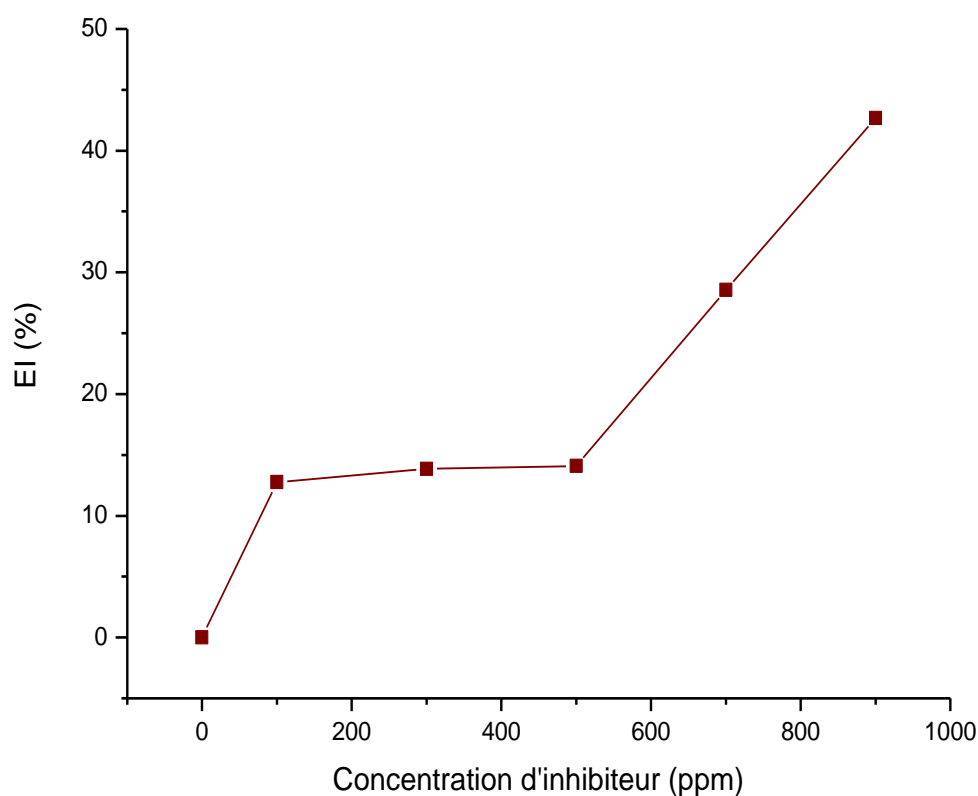


Figure IV.7: Evolution de l'EI % de dichromate de potassium dans HCl (0,25 M)

En fonction de la concentration d'inhibiteur après l'immersion de 96h.

D'après la figure (IV.7), nous pouvons noter que notre efficacité inhibitrice augmente en fonction de la concentration de l'inhibiteur jusqu'à atteindre une valeur maximale 42,67% à 900 ppm.

b. Milieu HCl 0,01 M

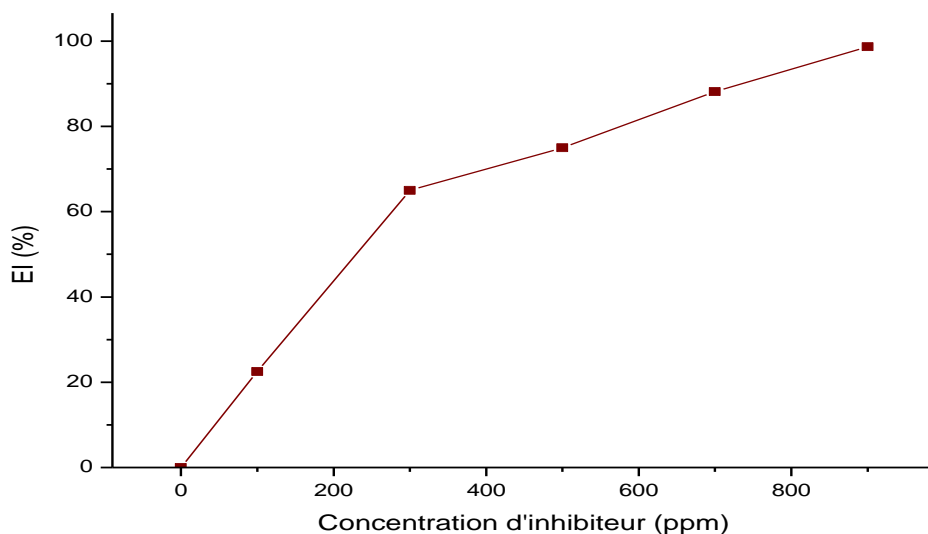


Figure IV.8: Evolution de l'EI % de dichromate de potassium dans HCl (0,01 M) en fonction de la concentration d'inhibiteur après l'immersion de 96h.

Selon la figure (IV.8), l'efficacité inhibitrice augmente en augmentant la concentration d'inhibiteur jusqu'à atteindre une valeur maximale 98,68% à 900 ppm.

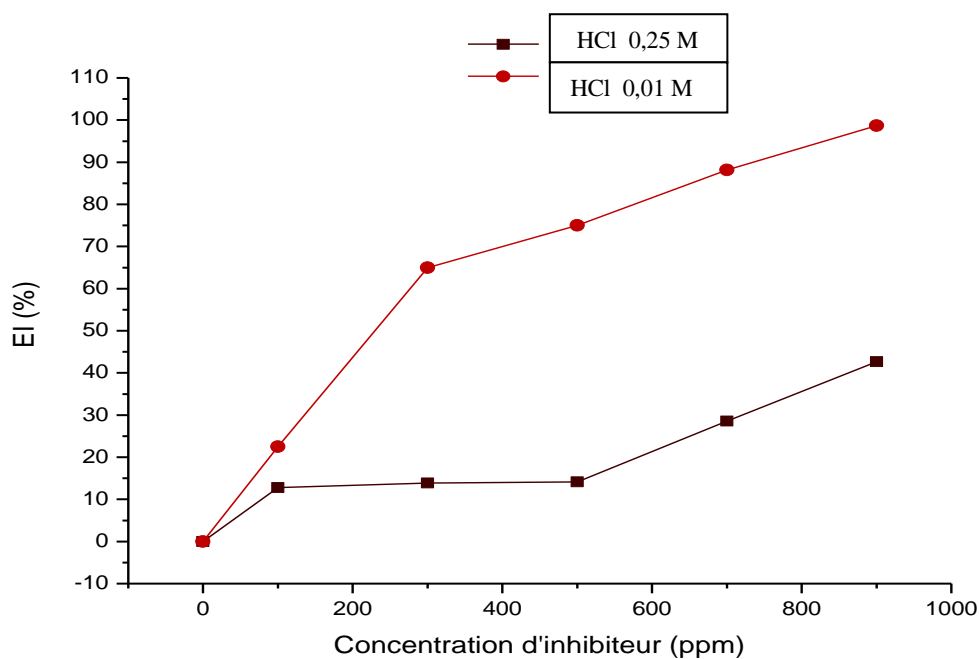


Figure IV.9: Comparaison de l'EI % en fonction de concentration d'inhibiteur après l'immersion de 96h.

- **L'étude de la comparaison d'efficacité inhibitrice**

L'étude de la comparaison de l'efficacité inhibitrice de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ contre la corrosion de l'acier A516 dans l'HCl entre les deux concentrations (0,25 et 0,01) M, a donné un résultat positif.

L'inhibiteur de dichromate de potassium présente une très bonne efficacité inhibitrice de 98,68% dans l'HCl 0,01 M pour une concentration de 900 ppm de $K_2Cr_2O_7$.

IV.5. Les isothermes d'adsorption

Les courbes d'isothermes d'adsorption de Langmuir, Temkin et Freundlich de l'acier dans HCl (0,25; 0,01) M en présence du dichromate de potassium sont représentées dans les figures (IV.10, IV.11, IV.12) :

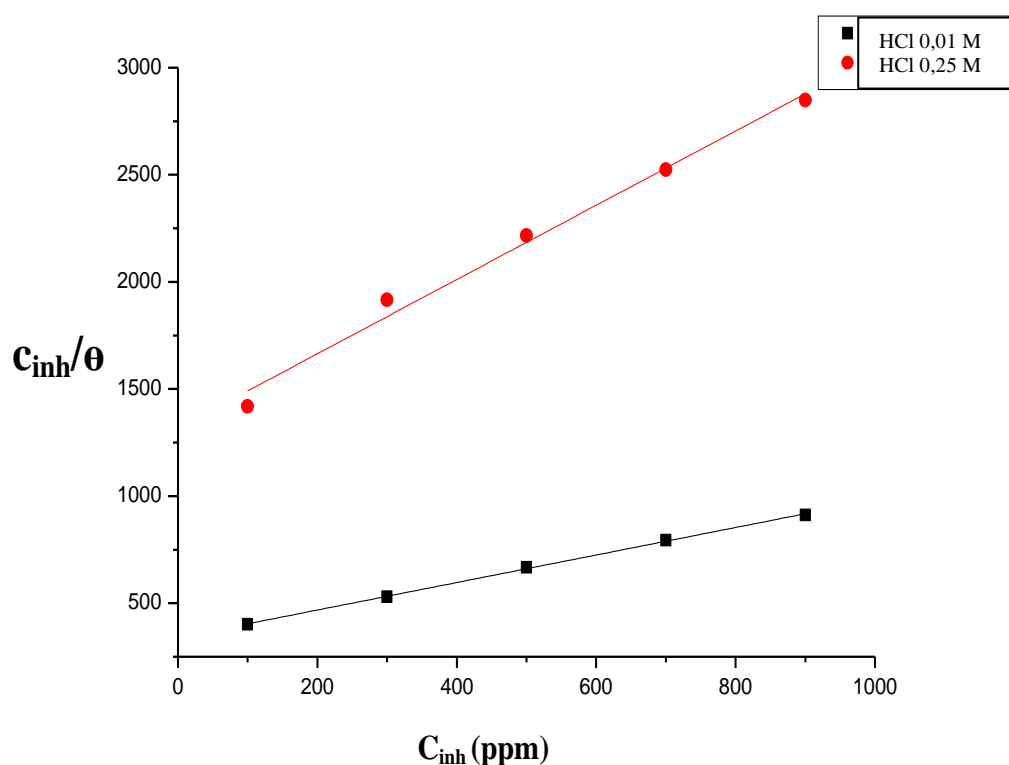


Figure IV.10: Isotherme d'adsorption de Langmuir de $K_2Cr_2O_7$ sur l'acier A516 dans HCl (0,25; 0,01) M après 96 h d'immersion.

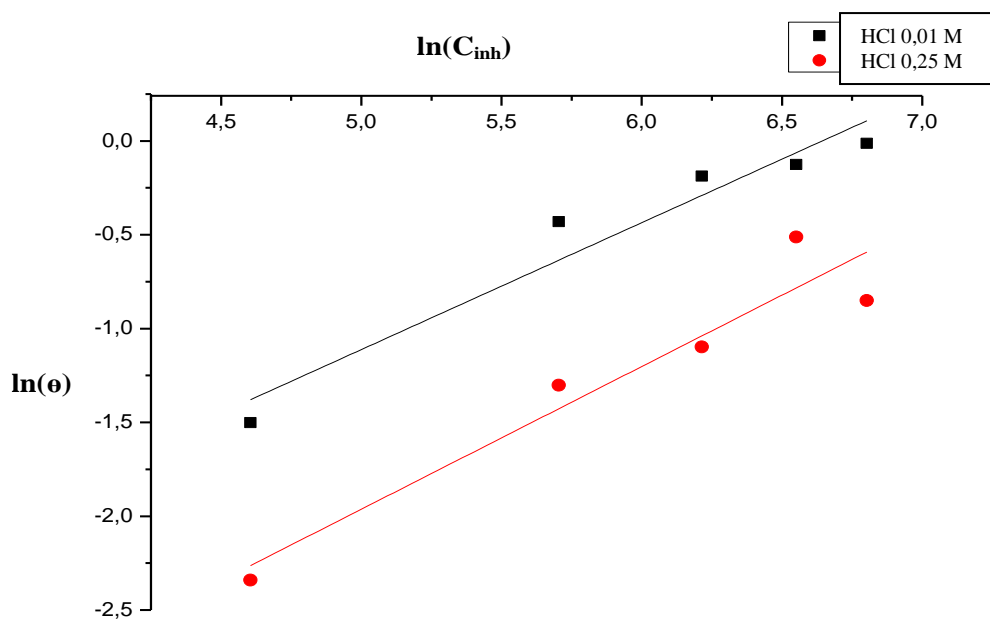


Figure IV.11: Isotherme d'adsorption de Freundlich de $K_2Cr_2O_7$ sur l'acier A516 dans HCl (0,25; 0,01) M après 96 h d'immersion.

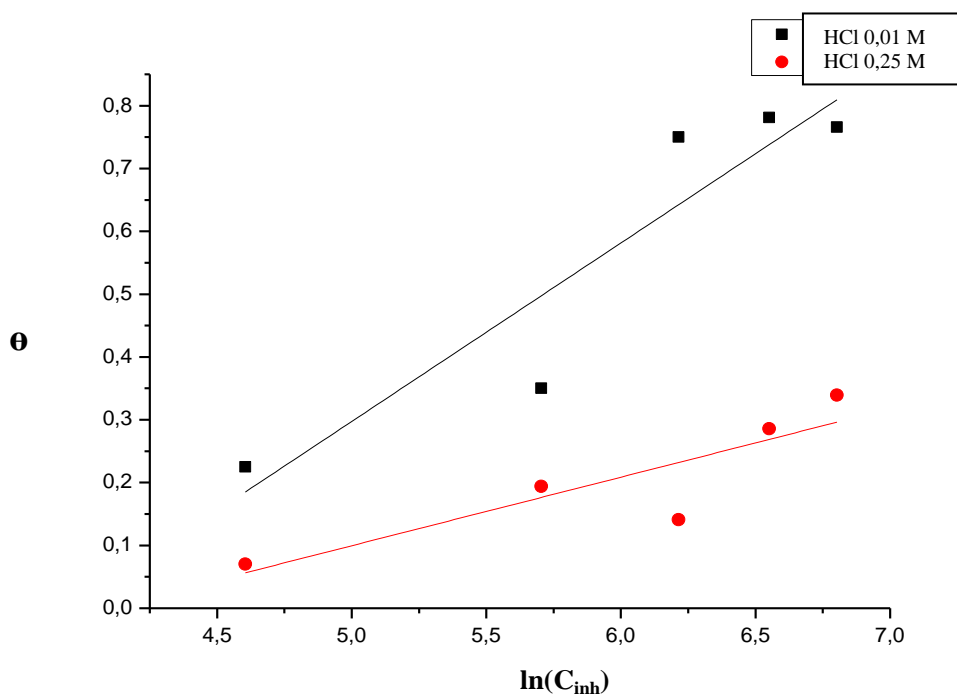


Figure IV.12: Isotherme d'adsorption de Tankin de $K_2Cr_2O_7$ sur l'acier A516 dans HCl (0,25; 0,01) M après 96 h d'immersion.

Tableau IV.7: Coefficient de corrélation des différentes isothermes d'adsorption

Isotherme d'adsorption	Coefficient de corrélation R^2	
	HCl (0,25 M)	HCl (0,01 M)
Langmuir	0,98549	0,99917
Freundlich	0,8845	0,92187
Tamkin	0,69036	0,81785

D'après l'analyse des figures (IV.13, IV.14, IV.15) et le tableau (IV.7), On constate que :

- Seule la courbe C_{inh}/θ en fonction de la concentration d'inhibiteur est linéaire pour les deux concentrations HCl (0,25; 0,01) M. Les coefficients de corrélation (R^2) sont proches de 1.
- Le type d'adsorption sur la surface de l'acier en milieu HCl obéit l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Ce modèle d'adsorption suppose l'existence d'un nombre déterminé de sites d'adsorption et que chaque site ne peut accueillir qu'une seule espèce adsorbée.

Les valeurs de la constante d'adsorption K_{ads} est obtenue en extrapolant les droites de régression à l'axe des ordonnées.

Tableau IV.8: Paramètre thermodynamique relatifs à l'adsorption selon l'isotherme de Langmuir

	K_{ads} (l/mol)	ΔG°_{ads} (KJ/mol)
HCl 0,25 M	223,2100	-23,3498
HCl 0,01 M	865,9508	-26,7087

- La grande valeur de K_{ads} donne une meilleure efficacité d'inhibition en raison d'une forte interaction électrique entre la double couche et les molécules inhibitrices d'adsorption

tandis qu'une petite valeur de K_{ads} compromettant que de telles interactions entre les molécules inhibitrices adsorbants et la surface métallique sont plus faibles indiquant que les molécules inhibitrices sont facilement amovibles par les molécules de solvant de la surface.

- Les valeurs négatives de ΔG°_{ads} indiquent la spontanéité des processus d'adsorption et la stabilité de la couche adsorbée sur la surface métallique.
- Généralement les valeurs de ΔG°_{ads} , voisine de -20 KJ/mol ou moins négatives, indiquent que l'adsorption est physique.

IV.6. Observations au microscope optique

Nous avons étudié l'évolution de la surface de l'acier A516, immergées dans les solutions (sans et avec inhibiteur) par le microscope optique :

a. Milieu HCl 2 M

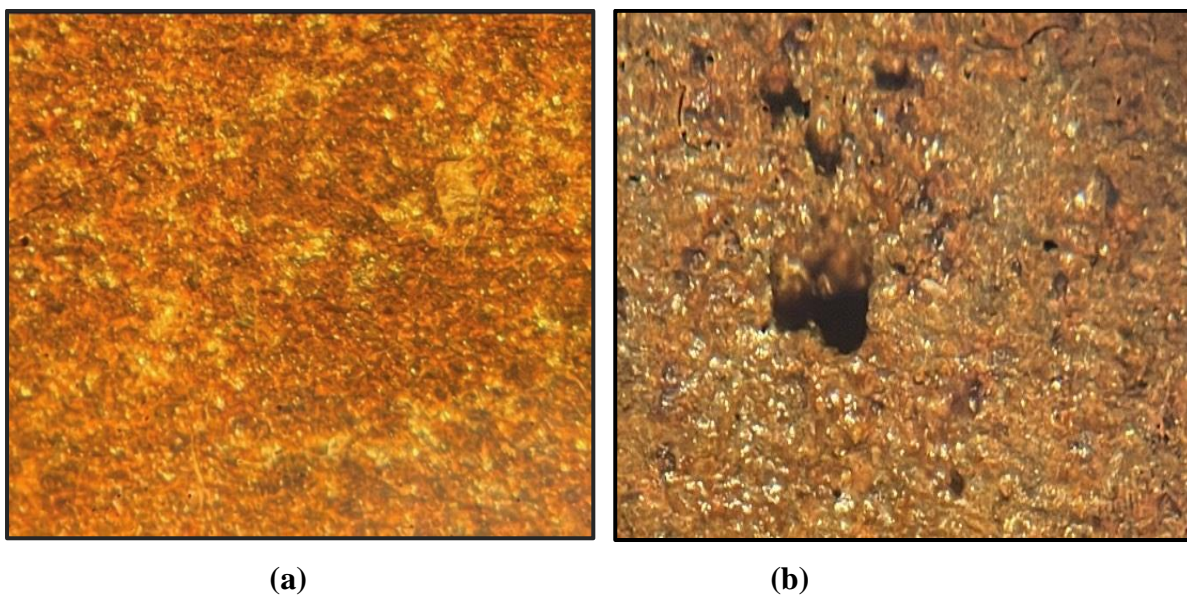


Figure IV.13: a) La surface de l'acier en absence d'inhibiteur pendant 48 h d'immersion, b) La surface de l'acier en présence d'inhibiteur pendant 48 h d'immersion.

Nous remarquons par le microscope optique que la surface de l'acier A516 après 48 heures d'immersion dans HCl 2 M est fortement attaquée sous forme d'une corrosion sélective.

En présence d'inhibiteur, nous observons d'après la figure (IV.13) que la surface d'acier est endommagée sous forme de piqures.

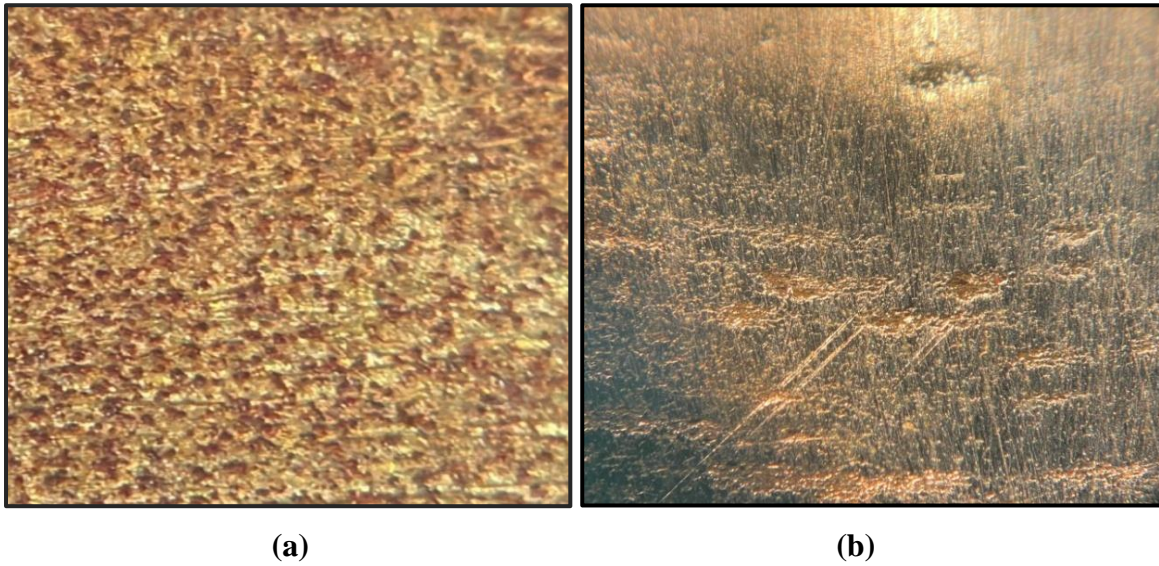
b. Milieu HCl 0,25 M

Figure IV.14: a) La surface de l'acier en absence d'inhibiteur pendant 96 h d'immersion, b) La surface de l'acier en présence d'inhibiteur pendant 96 h d'immersion.

En absence d'inhibiteur, nous observons d'après la figure (IV.14) que la surface d'acier A516 abîmer sous forme des piqures.

Par contre en présence de $K_2Cr_2O_7$, nous constatons que la surface d'acier est moins endommagée.

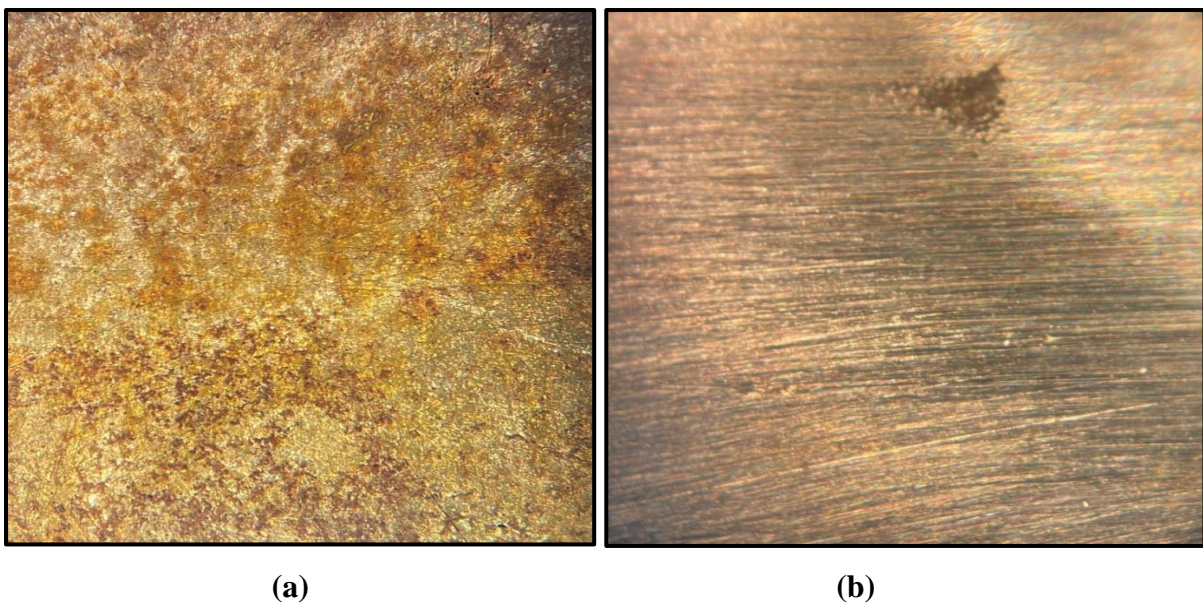
c. Milieu HCl 0,01 M

Figure IV.15: a) La surface de l'acier en absence d'inhibiteur pendant 96 h d'immersion, b) La surface de l'acier en présence d'inhibiteur pendant 96 h d'immersion.

L'examen microscopique montre que la surface d'acier en absence d'inhibiteur est corroder sous forme sélective.

Tandis qu'en présence de notre inhibiteur la surface est moins corrodée et nous avons observés ce résultat visuellement.

IV.7. Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail de mémoire montre que l'inhibiteur de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ a une influence positive et par conséquent une très bonne efficacité inhibitrice pour l'acier au carbone A516 dans le milieu d'acide chlorhydrique (HCl) à des concentrations égales à (0,25; 0,01) M.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'efficacité inhibitrice de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) sur la corrosion de l'acier A516 en milieu acide HCl à des concentrations différentes (2; 0,25; 0,01) M, par la méthode gravimétrique. Pour ce fait, nous avons étudié l'effet du temps d'immersion et de la concentration d'inhibiteur sur le processus de corrosion. Dans cette étude, l'analyse de surface par microscope métallographique a été également utilisée.

Les résultats obtenus, mènent aux conclusions suivantes:

- La vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de la concentration en inhibiteur dans le milieu d'HCl (2 M), et diminuer dans les milieux d'HCl (0,25 et 0,01) M.
- L'efficacité inhibitrice augmente avec la concentration en inhibiteur dans les solutions d'HCl (0,25 et 0,01) M.
- L'efficacité atteint une valeur maximale de 98,68% pour une concentration d'inhibiteur de 900 ppm dans l'HCl (0,01 M).
- L'adsorption de cet inhibiteur sur la surface de l'acier en milieu HCl (0,25 et 0,01) M suit le modèle de l'isotherme de Langmuir.
- Les valeurs négatives de l'énergie libre standard d'adsorption montrent la physisorption de l'inhibiteur sur la surface d'acier, et que les réactions sont spontanées.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] H .BENSABRA, Cours de Corrosion Et Protection des Métaux, Université de Jijel, 2016.
- [2] F.BADAOU, Cour Corrosion Et Protection, IAP, 20 juin.
- [3] B. GROSGOGEAT, P.COLON, Cours sur la corrosion, 2010.
- [4] https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Corrosion_%C3%A0_haute_temp%C3%A9rature?fbclid=IwAR3OTbbuyjtzxyJvYqNpGp_QPSwxlqLt1OGg9iV50YNZWStTeQfn_2kxcQ#Kof1988, Consulter le 10-2-2024.
- [5] P. KOFSTAD, High Temperature Corrosionéd. Elsevier, 1988.
- [6] A.LEKOU, Comportement à la corrosion des revêtements de cermet en milieux salins, Mémoire de Master, Université 20 Aout 1955 - Skikda, 2014.
- [7] Cour de corrosion et protection des métaux.
- [8] S.BENSAADA, cours de corrosion, Edition : P/n° 5267.
- [9] La corrosion humide : <http://www.ipest.rnu.tn/html/Journee/corrosion>: consulter le 26-02-2022
- [10] N. Le BOZEC, Réaction de Réduction de l'Oxygène sur les Aciers Inoxydables en Eau de Mer Naturelle, Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, 2000.
- [11] J.BARRALIS, et G. MAEDER, Précis de Métallurgie : Elaboration, Structures-Propriétés et Normalisation, 5^e édition, Nathan 1990.
- [12] Corrosion et inhibition des puits et collectes, édition technip, Paris, 1981.
- [13] S.KHERRAF, comportement électrochimique de l'acier A 105 différents milieux influence
- [14] W.D.CALLISTER, science et génie des matériaux, 5^e éme Edition, Edition DUNOD bibliothèque nationale du Québec ,2001
- [15] <https://www.swagelok.com/fr/toolbox/material-selection-guide/corrosion-types#uniform>, Consulter le 1-03-2024.
- [16] LANDOLT, Traité des matériaux vol 12 : Corrosion et chimie de surface des métaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes ,1997.

[17] FANG, ZHIGANG, JINGYICAO, and Yong GUAN, Corrosion Control Technologies for Aluminum Alloy Vessel, 2020.

[18] F.DABOSI, G. BERANGER & B. BAROUX, Corrosion localisée, Les éditions de physique, Les Ulis Cedex A, France ,1944.

[19] K.OUALI, H CHERGUI, Effet des inhibiteurs verts sur La corrosion des aciers, Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahim -Borj Bou Arirridje, 2020/2021.

[20]<https://www.gbm-France.com/conseils/possibilite-de-connexion-de-differents-materiaux/>, Consulter le 10-03-2024.

[21] C .NARGEL, CORROSION DE L'ALUMINIUM , DONDO,Paris, 1999.

[22] MS .IDRISS, Étude du comportement électrochimique de l'acier C38 et l'acier inoxydable UR45N dans différents milieux , Thèse de Doctorat, Université Mohammed V Rabat, Maroc, 2016.

[23] F.PEREZ, C.BROKATE, Étude de la compétition entre corrosion uniforme et localisée par Automates cellulaires , thèse de doctorat, Université Pierre Et Marie Curie, Paris-France, 2016.

[24] https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Corrosion_par_piq%C3%BBres, Consulter le 15-03-2024.

[25] A .BOUKHATEM. R.AOUF, contribution à l'étude des propriétés anti-oxydatives et de l'efficacité anticorrosive sur l'acier API 5L X52 d'une prodigiosine. Algérie- Chlef, 2016.

[26] Z.KHIATI, H .MRAH , Cours corrosion et protection des métaux, Université mohamed boudiaf-Oran, 2022 -2023.

[27] S.KHARREF , Cour de Corrosion, Université 20 août 1955-Skikda , 2023.

[28] OKYERE, S.MAVIS, Corrosion Protection for the Oil and Gas Industry : Pipelines, Subsea Equipment and Structures, CRC Press ,2019.

[29] S.AUDIOSIO, Livre multimédia de la corrosion, Laboratoire de physico chimie Industriel, Paris, 2003.

[30] M. d. f. d. p. A. A. N. e. BENDAHIR, Corrosion dans les installations pétrolières de Surface causes, effets et remèdes, ADRAR, 2019.

[31] DURING, DD.EVERT , . Corrosion atlas : a collection of illustrated case histories. Elsevier, 2018.

[32] CESAM Journée d'information « Plaisance » Défaillance des structures métalliques et des transmissions, 14 juin 2016.

[33] G. BERANGER, H. MAZILLE, Corrosion des métaux et alliages-Mécanismes et Phénomènes, Hermès Science Publications, Paris, 2002.

[34] Y.HERMOUCHE, S.FRIAKH, Z.LAOUAR, A.ZOUIED, Etude de problème de corrosion des échangeurs de chaleur 58 E01, Mémoire de licence, Université 20 août 1955-SKIKDA, 2021-2022.

[35] A.KATIT, N.GHACEB, Etude de l'efficacité inhibitrice de dichromate de potassium contre la corrosion des aciers A283 Gr-Cet X70 dans un milieu d'acide sulfurique 3M, Mémoire de master, Université 20 août 1955-SKIKDA, 2022-2023.

[36] D. LANDOLT, « Corrosion et chimie de surface des matériaux traité des matériaux 12», Edition Presses Polytechniques et universitaires Romandes, 1993.

[37] Anodic protection: https://en.wikipedia.org/wiki/Anodic_protection: consulter le 12-03-2022.

[38] T. P. Zhao, G.N. Mu,Corros. Sci.,41 ,1937–1944.

[39] J. Ledion, Inhibiteurs de corrosion dans le traitement des circuits d'eau, Techniques de l'Ingénieur, cor1000, 2013.

[40] F.WEDIAN, Corrosion inhibition of copper by capparispinosa L, extract in strong acidic medium: experimental and density functional theory, int.J. electrochem, sci, (2017).

[41] A.MAGHARBI, Présentation du complexe Topping condensat RA2K, rapport de stage, Skikda ,2021.

[42] M.BOUGARECHE,O .BOUKERFA,Conception d'un bac de stockage a toit flottant a double deck, mémoire de Master, Boumerdes ,2021.

[43] M. DRISSI, Etude de récupération des pertes par évaporation au niveau des bacs de stockage brut ONR , Mémoire de master, Université Mohamed khider- Biskra ,2019- 2020.

[44] F.BOUKROUH, B .SEKOUM, Commande et Supervision d'un Bac de Stockage , Mémoire d'ingénieur d'état en automatique , Ecole Nationale Polytechnique-El Harrache , 2020).

[45] Cour technologie des parcs de stockage et terminaux , Constantine ,2019-2020.

[46] I.SOLTANI, Cour des bacs de stockage, Université 20 aout 1955-Skikda, 2023.

[47] DJEBRI , Cour traitement de pétrole brut , IAP – Boumerdes.

[48] Global Liquefied Petroleum Gas (LPG) Market 2015 Industry Trends, Price, Research, Analysis and Forecast 2015-2020 | Overview Analysis Market Research (wordpress.com) , consulter le 29-02 -2024.

[49] <https://www.gettyimages.fr/detail/photo/three-round-holding-tanks-at-petrochemical-plant-image-libre-de-droits/184279895>, Consulter le 29-02-2024.

[50] Service d'inspection département technique RA2K, Skikda.

[51] Document d'étude sur le déversement du condensat, plan d'action pour le méditerrané centre régional méditerrané pour l'intervention d'urgence contre la pollution marine accidentelle REMPEC ,2021.

[52] Service de fabrication département de production RA2K, Skikda.

[53] Mr.TIKOBAINI, Cours de stockage des produits pétrolier FHC, 2019 – 2020.

[54] Cahier de charge de construction d'un bac de stockage RTE, Skikda ,2019.

[55] L'Union des Industries Chimiques. “ Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux ” EDF , 2011.

[56] H.HAMITOUCHE, Etude de l'efficacité inhibitrice de quelque tensioactifs, synthétisés à partir de coupe pétrolières algériennes, dans la lutte contre la corrosion interne des pipelines, mémoire Master, USDB, 2005.

[57] S.MESROURI, M.BENDJBEL, Suivi de la corrosion de l'acier par la méthode gravimétrique, mémoire Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahim -Borj Bou Arirridje, 2020/2021.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de tester l'effet d'inhibiteur de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) contre la corrosion de l'acier A516 en milieu HCl (2; 0,25; 0,01) M.

L'étude de la corrosion a été réalisée par la méthode gravimétrique. L'effet de la concentration en inhibiteur, du temps d'immersion sur la vitesse de la corrosion ont été déterminés ainsi que les isothermes d'adsorption et l'analyse des surfaces par le microscope métallographique.

Les résultats obtenus montrent que le dichromate de potassium possède un pouvoir inhibiteur remarquable contre la corrosion de l'acier A516 en milieu HCl (0,25 et 0,01) M et la valeur d'efficacité inhibitrice atteint 98,86% pour une concentration d'HCl (0,01 M).

Mots clés: acier, acide chlorhydrique, corrosion, inhibiteur, méthode gravimétrique, adsorption.

Abstract

The main of this study is to test the effect of potassium dichromate $K_2Cr_2O_7$ inhibitor against corrosion of A516 steel in HCl medium (2; 0,25; 0,01) M.

The study of corrosion was carried out by gravimetric measurement. The effect of the concentration of inhibitor, immersion time on corrosion speed were determined as well as the isotherms adsorption and surface analysis using the metallographic microscope.

The results obtained show that potassium dichromate used has an inhibitory power remarkable against corrosion of steel A516 in HCl medium (0,25 and 0,01) M and the efficiency value inhibitory reaches up to 98,86% for a concentration of (0,01 M) HCl.

Key words: steel, hydrochloric acid, corrosion, inhibitor, gravimetric method, adsorption.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو اختبار تأثير مثبط ثنائي كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ ضد تآكل الفولاذ A516 في وسط HCl M (2; 0,25; 0,01). تم إجراء دراسة التآكل عن طريق القياس الوزني . تم تحديد تأثير تركيز المانع وزمن الغمر على سرعة التآكل وكذلك تساوي حرارة الامتزاز وتحليل السطوح بمجهر علم المعادن. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن ثنائي كرومات البوتاسيوم المستخدم لديه قوة تثبيطية ملحوظة ضد تآكل الفولاذ A516 في وسط HCl M (0,01; 0,25) وتصل قيمة كفاءة التثبيط إلى 98.86% عند تركيز M (0,01) HCl .

الكلمات المفتاحية: الفولاذ، حمض الهيدروكلوريك، التآكل، المانع، الطريقة الوزنية، الامتزاز.