



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



Mémoire

En vue de l'obtention de la diplômée

Master

Filière : Industries Pétrochimiques

Spécialité : Raffinage et Pétrochimie

Thème

**Etude de l'inhibition à la corrosion de
l'acier A283 Gr C par les feuilles de la
*Mentha Spicata L.***

Réalisé par :

- MADI Souhil

Devent les jury :

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

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Je tiens à remercier avant tout notre ALLAH, le très Miséricordieux, qui grâce à lui nous sommes arrivés au terme de ce travail.

Je remercie énormément mes deux encadrants **Dr. HOUIENE Zahia** et **Dr. MARSA Zoubida** qui ont dirigé ce travail avec beaucoup d'attention, et pour leurs orientations qui nous ont été toujours précieuse et très enrichissantes.

Je remercie Les membres de jury **Dr. RAMDANE Nassima** et **Mme CHELGHAM Amel** d'avoir accepté d'expertiser mon travail

Je remercie Mme CHENIKI Samira, et Mme ABDENOURI Nora les deux ingénieurs de laboratoires pour leurs aides.

Je voudrais exprimer toutes mes gratitudes aux enseignants du département de pétrochimie université 20 Août 1955 Skikda.

Dédicace

Je dédie cet humble travail à :

Mes chers parents

Mon frère : Aymen

Mes sœurs : Rania et Chaïma

A mon binôme : Abdelatef

A toute personne proche de moi

Je tiens à leurs exprimer l'assurance de mes sentiments respectueux et dévoués pour aides lors de la réalisation de ce mémoire pour les ou tien Mora le financier qu'ils n'ont cessé de m'apporter durant ces années de l'étude.

MADJOUH Souhil

Liste des figures

N° figure	Titre	Page
Chapitre I		
I.1	Situation géographique de la raffinerie Skikda (RA1K)	4
I.2	Les réservoirs de stockage	6
I.3	Type de bac de stockage	7
I.4	Le réservoir à toit flottant	8
I.5	Le réservoir à toit flottant externe	9
I.6	Le réservoir à toit flottant interne	9
I.7	Le réservoir horizontal	10
I.8	Les réservoirs cylindriques verticaux	11
I.9	Système d'évacuation des eaux de pluie	13
I.10	Béquilles	13
I.11	Manomètre	14
I.12	Prise d'échantillon	14
I.13	Indicateur de niveau	15
Chapitre II		
II.1	Mécanisme de l'oxydation d'un métal à haute température	20
II.2	La corrosion chimique	20
II.3	Schéma des types de revêtement métalliques.	23
Chapitre III		
III.1	L'acier A283 Gr C	28
III.2	Polisseuse	28
III.3	L'acier avant et après le nettoyage	28
III.4	Microscope métallographique	29
III.5	Un pied à coulisse	29

Liste des figures

III.6	Préparation de la solution corrosive HCl et NaCl	30
III.7	Les échantillons d'acier sans l'inhibiteur	30
III.8	Les échantillons d'acier avec l'inhibiteur	31
III.9	La courbe de la perte de masse Δm en fonction de temps t	33
III.10	La courbe de la vitesse de corrosion V_{corr} en fonction de temps t	34
III.11	La courbe de la perte de masse Δm en fonction de la masse d'inhibiteur M_i	35
III.12	La courbe de la vitesse de corrosion V_{corr} en fonction de la masse d'inhibiteur M_i	36
III.13	La courbe de la perte de masse Δm en fonction de la temps t	36
III.14	La courbe de la vitesse de corrosion V_{corr} en fonction de la temps t	37
III.15	La courbe de l'efficacité inhibitrice (EI %) en fonction de le temps t	38
III.16	La courbe de perte de masse Δm en fonction de temps t	38
III.17	La courbe de la vitesse de corrosion V_{corr} en fonction de temps t	39
III.18	La courbe de la perte de masse Δm en fonction de la masse d'inhibiteur M_i	40
III.19	La courbe de la vitesse de corrosion V_{corr} en fonction de la masse de l'inhibiteur M_i	41
III.20	La courbe de l'efficacité de corrosion EI (%) en fonction de la masse de l'inhibiteur M_i	42
III.21	La courbe de la perte de masse Δm en fonction de temps t	42

N° Tableaux	Titre	Page
Chapitre II		
II.1	Résistance à la corrosion de quelques métaux	22
Chapitre III		
III.1	Les produits chimiques utilisés et leurs propriétés	27
III.2	Composition chimique de l'acier A283 Gr-C	27
III.3	Propriétés mécaniques de l'acier A283 Gr-C	27
III.4	Variation de la perte de masse Δm et la vitesse de corrosion V_{corr} en fonction du temps t	33
III.5	Variation de la perte de masse Δm et la vitesse de corrosion V_{corr} et efficacité inhibitrice (EI %) en fonction du la masse d'inhibiteur M_i en fonction du la masse d'inhibiteur M_i	35
III.6	Variation de la perte de masse Δm et la vitesse de corrosion V_{corr} et efficacité inhibitrice (EI %) en fonction du la temps t	37
III.7	Variation de la perte de masse Δm et la vitesse de corrosion V_{corr} en fonction du temps t	39
III.8	Variation de la perte de masse Δm et de la vitesse de corrosion V_{corr} et efficacité inhibitrice (EI%) en fonction du la masse d'inhibiteur M_i	41

Liste des symboles et abréviations

Symbole et abréviations	Signification
SONATRACH	Société nationale pour la recherche, la production, et la commercialisation des hydrocarbures.
GPL	Le gaz de pétrole Liquéfié
Topping	L'unité dans la raffinerie
H₂S	Sulfure d'hydrogène
CO₂	Dioxyde de Carbone
BSR	Bactéries sulfate-réductives
NH₃	Ammoniac
UV	Ultraviolet
ASTM	American Society for Testing and Materials
Ce	Concentration du soluté dans la solution à l'équilibre (mg/l)
R	Constante universelle des gaz parfaits (J. mol ⁻¹ . K ⁻¹)
EI %	Efficacité en pourcentage
m₁	La masse avant l'essai
m₂	La masse après l'essai
M	Masse atomique (g/mole)
n	Nombre de mole (mol)
Δm	Perte de masse (g)
Ppm	Partie par million
Pa	Pascal
D	Densité
S	Surface (m ²)
T (C°)	Température (Celsius)
τ	Taux de corrosion

المخلص

يعد استخدام المثبطات من أكثر الطرق شيوعًا لحماية المعادن من التآكل. ومع ذلك، فإن معظم هذه المثبطات سامة أو مسرطنة ومضرة بالبيئة. من أجل ذلك اهتم العديد من الباحثين بإيجاد طرق جديدة لمنع التآكل استنادًا إلى مستخلصات نباتية صديقة للبيئة لحماية المعادن. هذا العمل يصف دراسة قمنا بها في مجال تثبيط تآكل الفولاذ في بيئتين مختلفتين و هما حمض الهيدروكلوريك "HCl" وكلوريد الصوديوم "NaCl" بواسطة مثبط مشتق من مستخلص نبات النعناع.

استخدمنا طريقة فقدان الكتلة (Δm) و هي الطريقة الأكثر استعمالا في المجال الصناعي و التي تعتمد في تقييمها على سرعة التآكل (V_c) و الكفاءة المثبطة ($EI\%$) كدالتين مع الزمن.

أظهرت النتائج المتحصل عليها في وسط (HCl) وفي وسط (NaCl) انخفاضا في سرعة التآكل في وجود المثبط لجميع الازمنة المستعملة مع اختلاف كتلة المثبط.

الكلمات المفتاحية: الفولاذ، التآكل، المثبط، النعناع، كلوريد الصوديوم، حمض الهيدروكلوريك.

Abstract

The use of inhibitors is one of the most common methods to protect metals against corrosion. However, most of these inhibitors are toxic or carcinogenic and harmful to the environment. Several researchers have been interested in finding new ways of inhibiting corrosion based on more environmentally friendly plant extracts for the protection of metals. This work describes here a study that we have developed in the field of inhibition of corrosion of steel in two acidic environments hydrochloric acid "HCl" and sodium chloride "NaCl" by inhibitor derived from extract of the plant mint.

We used the mass loss (Δm) and the corrosion speed [V_c "Corrosion rate"] with the inhibitory efficiency (EI%) as a function of time.

The results obtained in the HCl and in the NaCl medium show a decrease in the corrosion speed in the presence of inhibitor for all hours and at different mass of inhibitor.

Keywords: Steel, Corrosion, Inhibitor, Mint, NaCl, HCl.

Résumé

L'utilisation d'inhibiteurs est une des méthodes les plus usuelles pour protéger les métaux contre la corrosion. Or, la plupart de ces inhibiteurs sont toxiques ou cancérigènes et nuisibles à l'environnement. Plusieurs chercheurs se sont intéressés à la recherche de nouvelles voies d'inhibition de la corrosion basées sur les extraits de plantes plus respectueuses de l'environnement pour la protection des métaux. Ce travail décrit ici une étude que nous avons développée dans le domaine de l'inhibition de la corrosion de l'acier en deux milieu différents l'acide chlorhydrique "HCl" et le chlorure de sodium "NaCl" par un inhibiteur issu de extrait de la plante de menthe.

On a utilisé la méthode de gravimétrie [la perte de masse (Δm)] dont elle repose sur la vitesse de corrosion [(Vc) "Taux de corrosion "] et l'efficacité inhibitrice (EI%) en fonction du temps.

Les résultats obtenus dans le milieu HCl et dans le milieu NaCl montrent une diminution de la vitesse de corrosion en présence de cet inhibiteur pour les différents temps à différentes masses d'inhibiteur.

Mots clés : Acier, Corrosion, Inhibiteur, Menthe, NaCl, HCl.

Liste des figures	I
Liste des tableaux	III
Liste des abréviations	IV
Résumés	V
Introduction Générale	1

Chapitre I : Généralité sur le bac de stockage

Introduction	3
I.1. Raffinerie de Skikda (RA1K)	3
I.2. Situation Géographiques	4
I.3. Présentation d'unité de bac de stockage	4
I.3.1. Les bacs de stockage	4
I.4. Le stockage des hydrocarbures	5
I.5. Historique des réservoirs de stockage	5
I.6. Les réservoirs de stockage	6
I.7. Types de réservoir de stockage	6
I.8. Equipements des bacs	11
I.9. Accessoires des réservoirs de stockage	12

Chapitre II : Généralité sur la corrosion

II.1. Définition de la corrosion	16
II.2. Causes de la corrosion	16
II.3. Mécanisme de la corrosion	17
II.4. Facteurs de corrosion	17
II.4.1. Facteurs chimiques	17
II.4.2. Facteurs relatifs au milieu	18
II.4.3. Facteurs métallurgiques	19
II.4.4. Facteurs relatifs aux conditions d'emploi	19
II.4.5. Facteurs dépendant du temps	19
II.5. Différents types de la corrosion	19
II.5.1. Corrosion chimique (sèche)	19
II.5.2. Corrosion électrochimique (humide)	20
II.5.3. Corrosion biochimique (bactérienne)	21

II.6. Protection contre la corrosion (cas générale)	21
II.7. Méthodes de protection contre la corrosion	22
II.7.1. Le choix des matériaux	22
II.7.2. Protection par revêtements	23
II.7.3. Protection électrochimique	24
II.7.4. Protection cathodique	25
Chapitre III : Partie Expérimentale	
❖ Mode opératoire, matériels et produits chimiques utilisés	27
III.1. Produits chimiques utilisés	27
III.2. Acier ASTM A283 Gr-C (pour bac de stockage)	27
III.2.1. Préparation du matériau	28
III.3. Préparation des solutions utilisées (HCl et NaCl)	29
III.4. Préparation de l'inhibiteur " <i>Mentha Spicata</i> "	30
III.5. Mode opératoire	30
III.5.1. Sans Inhibiteur	30
III.5.2. Avec Inhibiteur	31
III.6. Méthodes	31
III.6.1. Méthode visuelle des surfaces	31
III.6.2. Méthode par perte de masse	31
❖ Résultats et discussions	
III.7. Solution de l'acide chlorhydrique "HCl"	32
III.7.1. Sans Inhibiteur	32
III.7.2. Avec Inhibiteur " <i>Menthe Spicata</i> "	34
III.8.1. Solution de l'acide chlorure de sodium "NaCl"	39
III.8.1. Sans Inhibiteur.	39
III.8.2. Avec Inhibiteur " <i>Menthe Spicata</i> "	40
Conclusion générale	44
Références bibliographiques	45

Introduction générale

Les réservoirs de stockage sont nécessaires à l'exploitation des champs pétroliers dans la mesure où ils permettent d'assurer une continuité de la production. Un grand nombre des réservoirs de stockage des hydrocarbures dépasse la limite d'âge prévue de leur utilisation, et pourtant ils continuent à être parfaitement fonctionnels, moyennant un suivi régulier de leur état accompagné d'une politique de maintenance appropriée.

En général, les réservoirs de stockage qui ont plus de 10 ans d'exploitation vont commencer à manifester des différents types de défauts de corrosion et de fissures en cours de fonctionnement. Les fissures peuvent se développer à partir des tailles initiales critiques conduisant ainsi à la fuite ou à la propagation de ces dernières (particulier dans les tôles de faible épaisseur).

La corrosion est l'altération des métaux provoquée par l'action du milieu environnant et consiste plus précisément en un processus spontané d'interface de nature chimique ou électrochimique. Ces phénomènes d'altération engendrent une dégradation rapide des ouvrages métalliques. En conséquence, l'industrie subit des pertes économiques énormes pour le remplacement des pièces endommagées [1]. Les coûts directs et indirects associés aux effets de la corrosion sont difficiles à évaluer. Ils incluent notamment ceux liés à l'augmentation de l'entretien des structures altérées et la perte de production de certaines entreprises [2].

Les inhibiteurs de corrosion considérés peuvent interférer avec la réaction anodique ou cathodique et forment une barrière protectrice sur la surface du métal contre les agents corrosifs. La structure moléculaire de ces inhibiteurs joue un rôle très important dans le processus de l'inhibition. Afin d'étudier l'effet de la structure des inhibiteurs organiques sur le phénomène d'inhibition de corrosion, notre choix s'est porté sur la plante de "Menthe Spicata", le milieu agressif est une solution d'acide chlorhydrique (HCl) et une solution de sel le chlorure de sodium (NaCl).

Le travail que nous présentons dans ce manuscrit est subdivisé en quatre chapitres, le premier chapitre est consacré à des généralités sur la corrosion. Et le deuxième chapitre comprend une présentation sur la raffinerie de Skikda RA1K, le troisième chapitre, nous détaillons les réservoirs d'hydrocarbures, leurs types et accessoires. Le quatrième chapitre

comporte la partie expérimentale dont on détaille les résultats expérimentaux obtenus et les discussions. Et enfin, une conclusion générale clôture ce mémoire.

Chapitre I
Généralités sur le bac de stockage

I. Introduction

L'entreprise nationale du raffinage du pétrole gère les cinq raffineries situées dans les villes de Skikda, Alger, Arzew, Hassi Messaoud et Adrar. Ces raffineries ont une capacité totale de transformation de 28 000 000 t/an.

La raffinerie de Skikda a été conçue pour plusieurs fonctions, le traitement du brut importé pour produire des bitumes routiers et oxydés. La transformation du naphta en essences et en produits aromatiques, et le raffinage du pétrole brut provenant de Hassi Messaoud, nécessitant un traitement pour obtenir une gamme de produits pétroliers utilisables. Les opérations de raffinage incluent la distillation fractionnelle, le craquage, le reformage et d'autres traitements chimiques pour améliorer ou modifier les produits.

I.1. Raffinerie de Skikda (RA1K)

Le complexe Raffinerie de Skikda, également connu sous le nom de RA1K, est chargé de transformer le pétrole brut provenant de Hassi Messaoud en produits finis. Sa capacité de traitement actuelle est d'environ 16,5 millions de tonnes par an, en plus du brut réduit importé à hauteur de 277 000 tonnes par an.

La construction du complexe a débuté en janvier 1976 suite à la signature d'un contrat le 30 avril 1974. Les travaux ont été achevés en mars 1980, et le démarrage progressif des unités de production a suivi.

La construction et la mise en service ont été réalisées en 1981 par la société italienne "SNAM-PROGETTI", avec l'assistance de trois principales sociétés nationales : SONATRO pour le traçage des routes, SONATIBA pour la construction des bâtiments et de la tour de refroidissement, ainsi que SNMETAL pour la construction des réservoirs.

Le complexe a été officiellement inauguré le 27 novembre 1983. Il convient de noter que deux nouvelles unités ont été ajoutées : l'unité de prétraitement et de reforming catalytique (unité 103 du platforming) et l'unité de traitement et de séparation du GPL (unité 104), qui ont été mises en service en octobre 1993, ainsi que d'autres installations

I.2. Situation Géographiques

La raffinerie de Skikda est située dans la zone industrielle, à environ 7 kilomètres à l'est de Skikda et à seulement 2 kilomètres de la mer.

Cette installation est alimentée en pétrole brut algérien provenant des champs pétroliers de Hassi Messaoud. Le transport du pétrole brut jusqu'au complexe est réalisé par un pipeline sur une distance de 760 kilomètres



Figure I.1 : Situation géographique de la raffinée Skikda RA1K

I.3. Présentation d'unité de bac de stockage

I.3.1. Bacs de stockage

La raffinerie de Skikda dispose de 124 bacs de stockage, dont 4 sont situés aux ports. La capacité totale de stockage est de 2,5 millions de tonnes de produits. De plus, la raffinerie possède une autonomie de stockage de pétrole brut d'environ 1,5 jour

Il existe 5 types de bacs :

- Bacs à toit flottant
- Bacs à toit fixe
- Bacs à toit bombé semi-sphérique (pour le pentane)
- Bacs sphériques (pour le butane)
- Bacs cigares (pour le propane)

I.4. Stockage des hydrocarbures

L'industrie pétrolière se distingue principalement par la production d'une quantité considérable d'hydrocarbures. Disponible sous forme liquide ou gazeuse, elle nécessite des capacités de stockage considérables. Dans ce but, des réservoirs de stockage de 30 000 à 50 000 m³, voire même 100 000 m³, sont utilisés [3].

En raison de l'importance de ces réservoirs, les activités de stockage sont généralement perçues comme des activités commerciales qui génèrent des ressources grâce à des droits d'enlèvement pour gagner de l'argent aux investisseurs initiaux. En utilisant les réservoirs de stockage, il est également nécessaire de prendre des mesures de précaution afin d'éviter l'évaporation des produits ou de maintenir la fluidité de certains produits grâce au réchauffage.

I.5. Historique des réservoirs de stockage

L'histoire des bacs de stockage des hydrocarbures remonte à plusieurs décennies, avec des développements significatifs dans les technologies de stockage au fil du temps.

Les premiers bacs de stockage des hydrocarbures remontent au début de l'industrie pétrolière, où des réservoirs en acier ou en béton ont été utilisés pour stocker le pétrole brut et d'autres produits pétroliers [4].

Les progrès technologiques ont également joué un rôle important dans l'évolution des bacs de stockage des hydrocarbures. Des systèmes de surveillance avancés, des matériaux de construction

plus résistants et des techniques de maintenance préventive ont été développés pour améliorer la sécurité et l'efficacité des installations de stockage [5].

Plus récemment, des matériaux composites et des revêtements spéciaux ont été introduits pour prolonger la durée de vie des bacs de stockage et réduire les risques de fuites ou de défaillances structurelles [6].

I.6. Réservoirs de stockage

Un réservoir de stockage à pression atmosphérique pour hydrocarbures liquides est utilisé pour mesurer les volumes de produit stocké. Lorsqu'il est utilisé dans des transactions commerciales, il doit respecter les normes métrologiques de l'Office National de Métrologie Légale (ONML) ou équivalent. Ces normes garantissent la précision des mesures, la vérification périodique des équipements et d'autres aspects liés à la fiabilité des transactions.



Figure I.2 : Les réservoirs de stockage

I.7. Types de réservoir de stockage :

La mise en place d'un réservoir repose sur deux principaux impératifs : d'une part, préserver le produit en limitant ou en empêchant les évaporations, et d'autre part, maintenir la structure à la

pression interne développée par le produit ou maintenue à un certain niveau afin de faciliter son utilisation.

En raison de sa facilité d'utilisation et de sa résistance à la pression interne, la forme cylindrique est la plus répandue. Les formes sphériques, mieux adaptées que les cylindres, sont utilisées lorsque la pression interne est élevée et permettent de diminuer les épaisseurs de paroi [7].

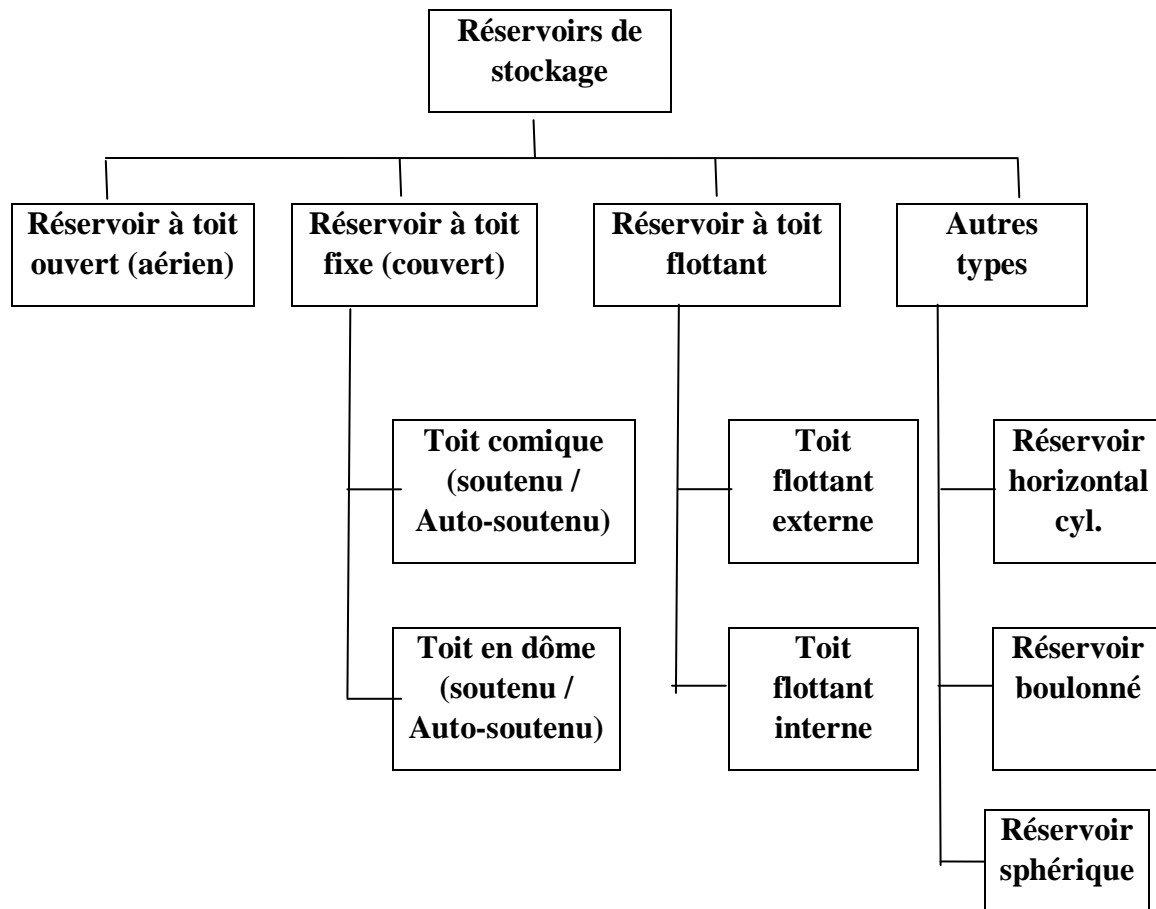


Figure I.3 : Type de bac de stockage

I.7.1. Réservoir à toit fixe

Les réservoirs à toit fixe sont conçus pour protéger les produits stockés contre la contamination extérieure, tels que la pluie et les poussières. Ils se divisent en deux catégories :

Réservoirs à toit supporté : Le toit est soutenu par une charpente reposant sur des poteaux, souvent utilisés pour de grands diamètres de réservoirs.

Réservoirs à toit autoportant : sont soit coniques soit sphériques [2].



Figure I.4: Le réservoir à toit flottant

I.7.2. Réservoirs à toit flottant

Ces réservoirs sont spécialement dédiés au stockage des produits volatils. Leur capacité peut être considérable, atteignant parfois jusqu'à 500 000 barils. Ces réservoirs sont équipés d'une structure flottante qui accompagne les fluctuations du niveau du produit, montant et descendant en conséquence. En raison de leur efficacité remarquable à minimiser les pertes par évaporation [8].

Il existe deux types de réservoirs à toit flottant :

a. Réservoirs à toit flottant externe

Ces réservoirs ont un toit installé à liquide dans des bacs ouverts. La partie inférieure du toit est complètement immergée dans le liquide, éliminant pratiquement tout espace de vapeur.



Figure I.5 : Le réservoir à toit flottant externe

b. Réservoir à toit flottant interne

Les bacs à toit flottant interne : Ce sont des bacs à toit fixe dans lesquels est installé un toit flottant [2].



Figure I.6: Le réservoir à toit flottant interne

I.7.3. Réservoirs cylindriques horizontaux

Ces récipients sont équipés d'extrémités dotées de fonds emboutis hémisphériques ou elliptiques. Bien qu'ils soient conçus pour le stockage sous haute pression, leur utilisation est généralement restreinte à des capacités relativement faibles [9].



Figure I.7: Le réservoir horizontal

La configuration d'un réservoir dépend de deux facteurs essentiels qui sont

- La conservation du produit en évitant les évaporations.
- La tenue de la structure à la pression interne développée par le produit [2].

I.7.4. Réservoirs cylindriques verticaux

Ces dispositifs, couramment désignés sous le nom de réservoirs, reposent directement sur le sol ou sur une base à l'aide d'un fond plat. Ils sont typiquement équipés soit d'un toit fixe conique ou sphérique, soit d'un toit flottant qui se déplace sur la surface du liquide et glisse le long du piston formé par la paroi du réservoir [10].



Figure I.8 : Les réservoirs cylindriques verticaux

I.8. Equipements des bacs

I.8.1. La robe

Dans ce contexte, la robe désigne un revêtement mural constitué de panneaux de bois courbés selon les dimensions de la pièce, assurant à la fois une esthétique agréable et une isolation thermique efficace.

I.8.2. La virole

Cette pièce particulière est un élément de ferronnerie en forme d'anneau, souvent orné de motifs complexes, utilisé pour encadrer les fenêtres ou les portes, ajoutant ainsi une touche décorative élégante à l'architecture intérieure.

I.8.3. La cuvette

Un élément de plomberie essentiel, la cuvette est le bassin en céramique ou en porcelaine monté sur un support, utilisé pour la collecte des eaux usées et des déchets organiques dans les toilettes, assurant ainsi l'hygiène et la gestion efficace des déchets.

I.8.4. Le fond

Cette référence peut désigner la base d'un récipient ou d'un conteneur, généralement fabriquée en métal ou en plastique, offrant une surface stable et résistante pour le stockage sécurisé de divers matériaux ou produits.

I.8.5. L'assise

Dans ce contexte, l'assise fait référence à la fondation d'une structure architecturale ou d'un bâtiment, constituée de béton armé ou de maçonnerie, fournissant un support solide et durable pour la construction et assurant sa stabilité structurelle.

I.8.6. Le toit

Cette partie importante de l'architecture résidentielle est la structure supérieure d'une maison ou d'un bâtiment, généralement composée de matériaux tels que des tuiles, du métal ou du chaume, offrant une protection contre les intempéries et assurant l'étanchéité du bâtiment [3].

Ces équipements sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement et la sécurité bacs de stockage d'hydrocarbures.

I.9. Accessoires des réservoirs de stockage**I.9.1. Accessoires d'accès**

I.9.1.1. Escaliers : Ils peuvent être de forme hélicoïdale ou verticale et sont utilisés pour permettre l'accès aux opérations de vérification, de contrôle, de réparation et de nettoyage.

I.9.1.2. Échelle basculante : Ce type d'échelle change de position lorsque le toit se déplace, comme dans le cas d'un toit flottant, assurant ainsi un accès sécurisé.

I.9.1.3. Trappes d'accès : Ces ouvertures permettent aux agents d'entretien, de nettoyage et de réparation d'accéder à l'intérieur du réservoir.

I.9.2. Accessoires de protection contre la corrosion**I.9.2.1. L'évacuation des eaux de pluie**

L'application d'une couche de peinture permet de protéger passivement le réservoir en utilisant une protection cathodique par anode. Le soutirage du courant permet de garantir la protection extérieure du réservoir.[2]

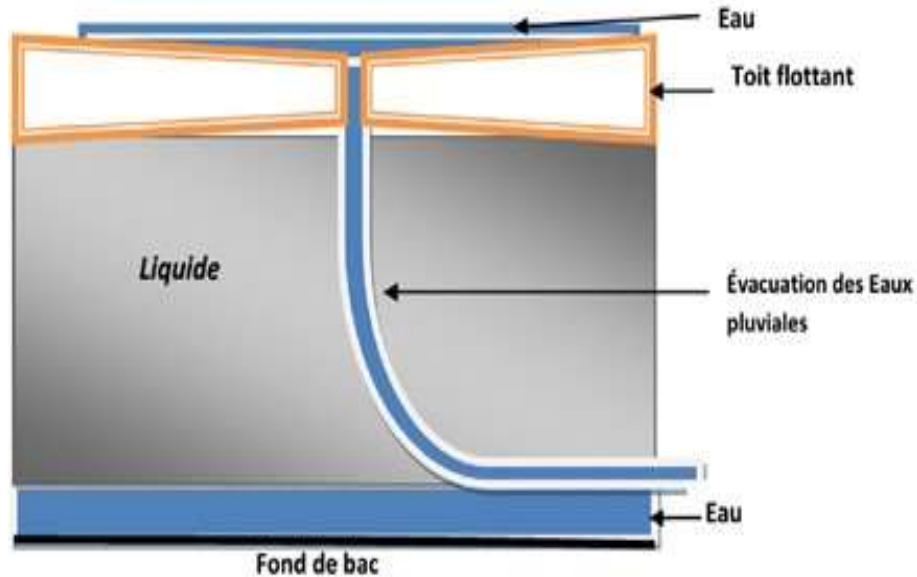


Figure I.9: Système d'évacuation des eaux de pluie

I.9.2.2. Béquilles

Quand la hauteur du liquide ne permet plus au toit de flotter, sa structure est soutenue par des piliers ou des colonnes de soutien spécialement conçus à cet effet

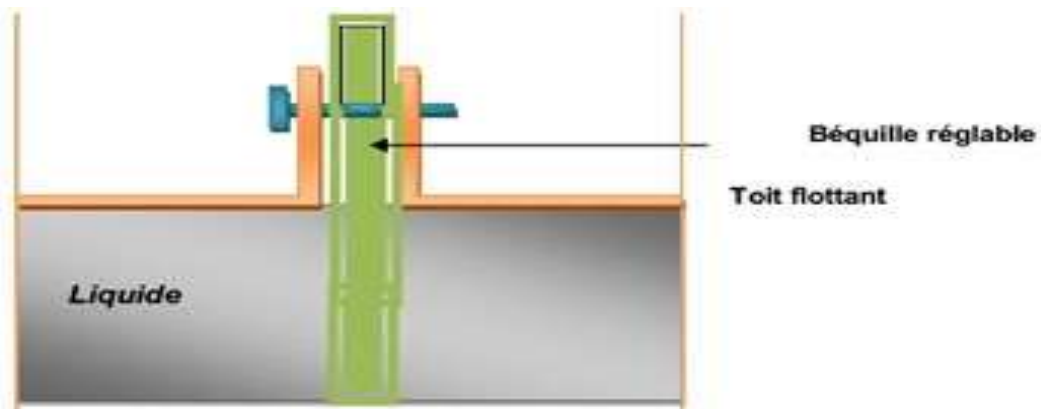


Figure I.10: Béquilles

I.9.3. Accessoires de contrôle

I.9.3.1. Manomètre

Le manomètre est utilisé pour surveiller la pression à l'intérieur du bac afin de maintenir une pression d'épreuve constante.



Figure I.11 : Manomètre

I.9.3.2. Dispositif de prise d'échantillon

Le dispositif de prise d'échantillon permet de prélever des échantillons et de mesurer et analyser les caractéristiques du produit et mesurer la température.



Figure I.12: Prise d'échantillon

I.9.3.3. Indicateur de niveau

L'indicateur de niveau aide à mesurer le niveau de liquide dans le réservoir et à mesurer le volume du produit lors du remplissage ou de la vidange [2].



Figure I.13 : Indicateur de niveau

Chapitre II
Généralités sur la corrosion

II.1. Définition de la corrosion

La corrosion est une réaction interraciaire irréversible entre un matériau et son environnement, entraînant la consommation du matériau ou la dissolution dans le matériau d'une composante de l'environnement. Cette définition inclut les effets positifs de la corrosion ainsi que l'absorption d'une composante de l'environnement sans consommation du matériau.

II.1.1. Corrosion externe

La corrosion externe des réservoirs est causée par des phénomènes électrochimiques et chimiques affectant la surface externe de ces derniers. Ce type de corrosion peut être provoqué par :

- ✓ Les défauts de revêtement
- ✓ Les insuffisances des systèmes de protection
- ✓ L'agressivité du sol (sol à faible résistivité électrique)

II.1.2. Corrosion interne

Pour les pipelines, la corrosion interne est principalement causée par une attaque chimique sur la surface interne du tube. Ce type de corrosion est entraîné par la présence de sulfure d'hydrogène (H_2S) et de dioxyde de carbone (CO_2) dans le gaz, ainsi que par la présence de bactéries sulfate-réductrices (BSR) dans les oléoducs. Pour les réservoirs, ce type de corrosion concerne essentiellement les produits stockés susceptibles de contenir de l'eau chargée en produits corrosifs. Cette corrosion affecte principalement les points bas où l'eau peut s'accumuler. Les zones de soudure sont des points sensibles en raison de leur hétérogénéité géométrique et électrochimique, et le risque augmente en cas de développement de bactéries sulfate-réductrices [1].

II.2. Causes de la corrosion

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes, résultant d'interactions chimiques et/ou physiques entre le matériau et son environnement. Les différents paramètres provoquant la corrosion d'un matériau incluent :

- ✓ Composition chimique et microstructure du métal
- ✓ Composition chimique de l'environnement

- ✓ Paramètres physiques (température, concentration, irradiation, etc.)
- ✓ Sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottement, etc.) [12][13].

II.3. Mécanisme de la corrosion

Le comportement d'un métal, ou la façon dont un métal réagit avec son environnement, peut varier. Ce comportement peut être simple, consistant en une seule étape, par exemple la corrosion du fer dans une atmosphère d'oxygène à haute température. La réaction de corrosion peut aussi être plus complexe, comprenant deux étapes ou plus, comme lorsque le fer entre en contact avec de l'eau ou de l'acide chlorhydrique. Si deux métaux différents, tels que le fer et le zinc, entrent en contact dans de l'eau salée, ou si le métal est soumis à une tension dans certains environnements, la réaction de corrosion peut devenir plus compliquée.

Bien qu'il existe de nombreux métaux différents (environ 80) et de nombreux environnements variés (certainement plus de 80), toutes les réactions de corrosion peuvent être décrites par deux mécanismes principaux :

- ✓ Sans formation de courant électrique et de potentiel électrique : Ce mécanisme se réalise lorsque des métaux entrent en contact avec des substances qui ne sont pas des électrolytes.
- ✓ Avec formation de courant électrique et potentiel électrique : Ce mécanisme se réalise lorsque les métaux entrent en contact avec des électrolytes (substances qui conduisent le courant électrique).

II.4. Facteurs de corrosion

Les phénomènes de corrosion dépendent de nombreux facteurs, qui peuvent être classés en quatre groupes principaux [14].

II.4.1. Facteurs chimiques

La corrosion de l'acier dans le sol est principalement due à des phénomènes électrochimiques. Elle dépend à la fois de l'agressivité spécifique du sol sur lequel le réservoir est installé et des phénomènes d'électrolyse associés au type de réservoir.

Il y a plusieurs facteurs chimiques sur la corrosion quelque :

II.4.1.1. Salinité

Les chlorures sont des ions agressifs souvent responsables de corrosions localisées. Leur présence en solution entraîne des effets complémentaires : d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu, et d'autre part, la salinité influence la conductivité du milieu aqueux [14].

II.4.1.2. Acidité

Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu. La corrosion s'intensifie avec la diminution du pH du milieu [15].

II.4.1.3. Paramètres physico-chimiques

Les milieux agressifs sont caractérisés par divers paramètres physiques et chimiques, parmi lesquels :

a. Effet du pH

Le pH, généralement compris entre 7.5 et 8.5, peut être modifié par l'oxydation de la matière organique avec production de CO₂. Ce dernier peut atteindre des valeurs plus basses dans les zones anoxiques avec formation d'hydrogène sulfuré. L'échange de CO₂ avec l'air peut légèrement modifier le pH [15].

b. Effet de la température

En général, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle réduit les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réaction et de transport. L'importance de son influence varie selon le milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau [4].

II.4.2. Facteurs relatifs au milieu

- ✓ Concentration de la solution
- ✓ Teneur en O₂, impuretés, gaz dissous (CO₂, NH₃, H₂S)
- ✓ Acidité (pH) du milieu, salinité, résistivité
- ✓ Température, pression

II.4.3. Facteurs métallurgiques

- ✓ Composition de l'alliage, hétérogénéités cristallines
- ✓ Impuretés, inclusions
- ✓ Procédés d'élaboration
- ✓ Traitement thermique, mécanique
- ✓ Additions protectrices

II.4.4. Facteurs relatifs aux conditions d'emploi

- ✓ État de surface, défauts de fabrication
- ✓ Forme des pièces
- ✓ Sollicitations mécaniques
- ✓ Utilisation d'inhibiteurs
- ✓ Procédés d'assemblage (couple galvanique, soudure)
- ✓ Couche d'oxyde superficielle
- ✓ Présence de bactéries
- ✓ Force électromotrice extérieure (électrolyse)

II.4.5. Facteurs dépendant du temps

- ✓ Vieillissement
- ✓ Contraintes mécaniques (internes ou externes)
- ✓ Modalités d'accès de l'oxygène dissous (ou autres gaz)
- ✓ Modification des revêtements protecteurs
- ✓ Apparition éventuelle de dépôts calcaires ou autres [14].

II.5. Différents types de la corrosion

La corrosion peut se développer suivant différents processus qui définissent chacun un type de corrosion [6].

II.5.1. Corrosion chimique (sèche)

La corrosion chimique est une réaction entre le métal et une phase gazeuse. Lorsque cette corrosion se produit à haute température, elle est appelée "corrosion sèche" ou "corrosion à haute température".

Dans le processus de corrosion chimique, l'oxydation du métal et la réduction de

l'oxydant se produisent simultanément. Les atomes du métal forment directement des liaisons chimiques avec l'oxydant, qui capte les électrons de valence des atomes métalliques [17].

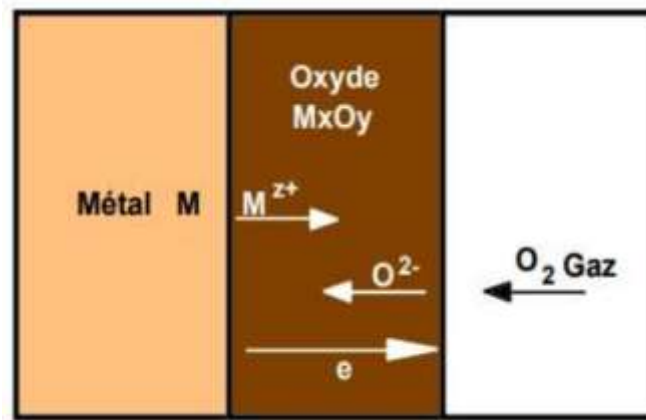


Figure II.1 : Mécanisme de l'oxydation d'un métal à haute température

Cette forme de corrosion peut être causée par des agents atmosphériques tels que l'oxygène, l'humidité, l'anhydride carbonique, l'anhydride sulfureux et d'autres produits industriels. Elle aboutit généralement à la transformation des métaux en oxydes, formant des couches superficielles [16].



Figure II.2 : La corrosion chimique

II.5.2. Corrosion électrochimique (humide)

La corrosion électrochimique, également connue sous le nom de "corrosion humide", est le mode de corrosion le plus répandu et le plus significatif. Elle repose sur l'oxydation du

métal en ions ou en oxydes.

Ce type de corrosion implique à la fois une réaction chimique et un transfert de charges électriques (circulation d'un courant). La présence d'un agent réducteur (comme H₂O, O₂, H₂, etc.) est essentielle pour que la corrosion du métal puisse se produire [17].

II.5.3. Corrosion biochimique (bactérienne)

Aussi appelée bio-corrosion, il s'agit de l'attaque bactérienne des matériaux métalliques, particulièrement dans les canalisations enterrées et les réservoirs. Le métabolisme de certaines bactéries entraîne la formation d'acide sulfurique, qui attaque le métal. Dans le secteur pétrolier, la corrosion bactérienne est souvent due à des bactéries sulfurons en milieu anaérobie, qui transforment les sulfates en hydrogène sulfuré. Cet hydrogène sulfuré réagit ensuite avec les sels ferreux pour former du sulfure de fer [18].

II.6. Protection contre la corrosion (cas générale)

La protection contre la corrosion consiste en diverses mesures visant à empêcher ou limiter les attaques corrosives sur les composants métalliques. L'objectif principal est de minimiser les dommages causés par la corrosion tout au long de la durée de vie du composant. Bien qu'une résistance absolue à la corrosion soit impossible, il est crucial de garantir une protection adéquate pendant toute la période d'utilisation du composant.

La force motrice de la corrosion dépend du potentiel électrochimique du métal concerné, déterminé par son oxydo-réduction. Pour prévenir la corrosion, il est essentiel de contrer les processus électrochimiques qui la favorisent. En pratique, cela peut être réalisé par deux méthodes principales :

II.6.1. Protection active

Cette méthode vise à augmenter la stabilité électrochimique du métal en utilisant des inhibiteurs de corrosion. Ces additifs spéciaux lient chimiquement les agents corrosifs tels que l'oxygène, l'eau et le sel, ralentissant ainsi le processus de corrosion.

II.6.2. Protection passive

Cette approche consiste à appliquer des revêtements ou des couches non métalliques (couches de conversion) pour créer une barrière physique entre le métal et son environnement, empêchant ainsi les agents corrosifs d'atteindre le métal.

II.7. Méthodes de protection contre la corrosion

II.7.1. Choix des matériaux

Une des méthodes les plus simples pour prévenir la corrosion est de choisir des matériaux appropriés. Par exemple, l'acier inoxydable ou l'aluminium sont souvent utilisés pour leur résistance à la corrosion. Les développements constants dans les alliages de nickel, d'acier et de titane améliorent encore la protection contre la corrosion. Ces matériaux peuvent réduire la nécessité d'autres moyens de protection.

Cependant, le comportement à la corrosion n'est qu'un des critères dans le choix des matériaux. La résistance à la corrosion dépend de l'interaction entre le métal et son environnement, et non du métal seul. Le tableau ci-dessous présente la résistance intrinsèque à la corrosion de quelques métaux purs dans différents milieux.

Tableau II.1 : Résistance à la corrosion de quelques métaux

<i>Milieu</i>	<i>Fe</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Al</i>	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>	<i>Ta</i>
Air humide	-	+	+	+	+	m	+	+
Eau froide naturelle aérée	m	+	+	+	m	+	+	+
Eau de mer	-	+	+	m	+	-	+	+
Acide non oxydant	-	m	m	+	-	-	+	+
Acide oxydant	-	+	m	-	-	-	+	+
Acide + Cl ⁻	-	+	m	-	-	-	m	+
Base + O ₂	+	+	+	+	-	-	+	m
Oxydation à haute température	m	+	+	-	-	-	m	-

(+) : Bonne résistance

(-) : Mauvaise résistance

m : Résistance moyenne

II.7.2. Protection par revêtements

Pour protéger une structure contre la corrosion, on peut utiliser divers types de revêtements qui isolent le matériau de l'environnement corrosif. Ces revêtements peuvent être métalliques ou non métalliques [17].

II.7.2.1. Caractéristiques des revêtements anticorrosion

Les principales qualités recherchées pour un revêtement anticorrosion sont

- ✓ Une bonne résistance aux acides, aux bases et aux sels.
- ✓ Une bonne résistance à l'humidité et aux rayons U.V.
- ✓ Une bonne adhérence au support.
- ✓ Une application facile.
- ✓ Une épaisseur suffisante (au moins 40 micromètres).
- ✓ Un séchage rapide pour éviter la détérioration par des agents chimiques.

II.7.2.2. Types de revêtements

Il existe deux grandes catégories de revêtements

- Les revêtements métalliques.
- Les revêtements non métalliques [17].

a. Revêtements métalliques

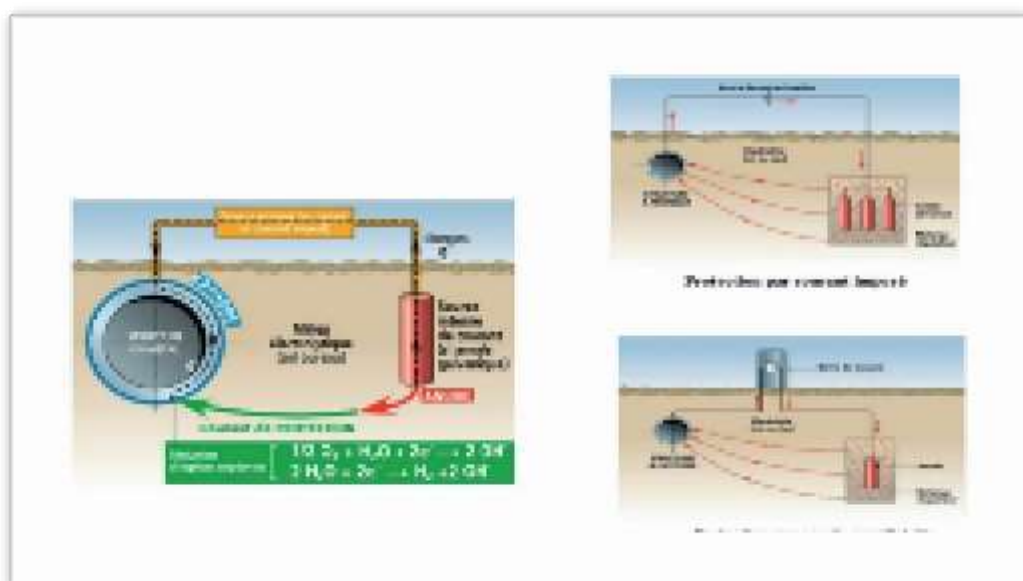


Figure II.3 : Schéma des types de revêtement métalliques.

Les revêtements métalliques sont couramment utilisés pour protéger l'acier contre la corrosion atmosphérique. Ils peuvent être classés en deux types en fonction de leur comportement par rapport au métal à protéger :

- ✓ Revêtements cathodiques (nobles) : Le métal protecteur est plus noble que le métal à protéger. Cela signifie qu'il ne se corrode pas facilement et offre une protection durable.
- ✓ Revêtements anodiques (sacrificiels) : Le métal protecteur est moins noble que le métal à protéger. Ce type de revêtement se corrode à la place du métal de base, offrant ainsi une protection sacrificielle [17].

b. Revêtements non métalliques

➤ **Revêtements organiques**

Les revêtements organiques forment une barrière plus ou moins imperméable entre le substrat métallique et l'environnement. Ils se divisent en trois catégories principales :

- ✓ Revêtements en bitume : Utilisés pour les structures enterrées.
- ✓ Revêtements polymériques (caoutchoucs) : Offrent une protection flexible.
- ✓ Revêtements par peintures et vernis : Appliqués sur diverses surfaces pour une protection et une esthétique améliorée [19].

➤ **Revêtements inorganiques**

- ✓ Couches de conversion : Modifient chimiquement la surface du métal pour le rendre moins susceptible à la corrosion.
- ✓ Couches étrangères au substrat : Par exemple, les revêtements à base de ciment en génie civil qui ajoutent une barrière physique robuste [19].

II.7.3. Protection électrochimique

La protection électrochimique est une méthode de prévention de la corrosion basée sur le contrôle électrique du potentiel de corrosion. Elle vise à réduire la vitesse de corrosion et, bien qu'elle puisse être coûteuse à mettre en œuvre, elle est efficace sur le long terme [20].

II.7.4. Protection cathodique

La protection cathodique est une technique active de protection contre la corrosion des matériaux métalliques au contact d'un électrolyte (milieu aqueux conducteur ionique comme les eaux, les sols, le béton). Cette méthode réduit le potentiel de corrosion jusqu'à un niveau où la vitesse de corrosion du métal est considérablement diminuée. Le courant de protection cathodique peut être appliqué par l'un des deux systèmes suivants :

a. Protection par anode réactive ou sacrificielle

L'anode sacrificielle forme une pile électrochimique entre deux métaux de noblesse différente le métal à protéger (cathode) et l'anode réactive ou sacrificielle. L'anode sacrificielle doit avoir un potentiel réversible inférieur à celui du métal à protéger. Pour l'acier, on utilise souvent le magnésium, le zinc, l'aluminium et leurs alliages [20].

b. Protection par courant imposé

Dans les installations de protection cathodique par courant imposé, une alimentation électrique polarise cathodiquement la structure à protéger en faisant circuler un courant continu entre l'ouvrage et une anode auxiliaire, dite "déversoir". Cette méthode permet de régler la tension ou le courant selon les besoins, optimisant ainsi le système pour protéger de grandes surfaces. Elle nécessite cependant une ligne électrique et un entretien continu. Elle est couramment utilisée pour protéger les structures enterrées comme les conduites de gaz et les câbles à haute tension.

Ces techniques de protection sont essentielles pour prévenir la corrosion et prolonger la durée de vie des structures métalliques dans divers environnements corrosifs [20].

c. Protection par revêtements moins nobles anodiques ou sacrificiels

Le principe de la protection anodique est différent de celui de la protection cathodique. La protection anodique s'applique aux métaux capables de se passiver, dont le potentiel de corrosion se situe dans le domaine actif. Dans ce cas, une polarisation anodique permet de déplacer le potentiel vers le domaine passif. La densité de courant nécessaire pour maintenir le métal à l'état passif correspond à la densité de courant passif, qui est généralement très faible. Ainsi, le maintien d'une protection anodique nécessite peu de courant, même en l'absence de revêtement organique. Cependant, pour atteindre l'état passif initialement, une

densité de courant nettement plus élevée est requise, car elle doit être supérieure à la densité de courant de passivation [20].

Chapitre III
Partie expérimentale

❖ Mode opératoire, matériels et produits chimiques utilisés

III.1. Produits chimiques utilisés

Dans notre étude nous avons utilisé les produits chimiques dont leurs propriétés physicochimiques sont récapitulées dans le tableau (III.1) :

Tableau III.1 : Les produits chimiques utilisés et leurs propriétés physicochimiques

Produits	Formule chimique	Degré de pureté %	Masse molaire	Densité
Acide chlorhydrique	HCl	99.99	36.46	1,18
Chlorure de sodium	NaCl	99.99	58.44	2,16
Eau distillée	H ₂ O	Sans sels	18	1
Acétone	CH ₃ COCH ₃	Pur	46	0,79

III.2. Acier A283 Gr-C (pour bac de stockage)

C'est un acier employé dans de nombreux secteurs industriels tels que l'industrie pétrolière pour la construction de réservoirs de stockage de grand volume. Nous l'avons obtenu par l'industrie de raffinage (Raffinerie RA1K) de Skikda, utilisé pour le stockage des hydrocarbures issue du pétrole. Sa composition chimique et ses propriétés mécaniques sont détaillées dans le tableau (III.2 et III.3) :

- Composition chimique :

Tableau III.2 : Composition chimique de l'acier A283 Gr-C

Elément	C	Si	Mn	P	S
%	0.24	0.4	0.9	0.035	0.04

- Propriétés mécaniques :

Tableau III.3 : Propriétés mécaniques de l'acier A283 Gr-C

Propriété mécanique	Valeur
Limite d'élasticité	380-5150 MPa
Limite de rupture	205 MPa
Allongement à la rupture	22% min
Réduction de la zone	25% min

III.2.1. Préparation du matériau

Les étapes de préparation de l'acier sont :

- ✓ Découper les échantillons à l'aide d'une tronçonneuse sous formes de plaques rectangulaires de $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^2$

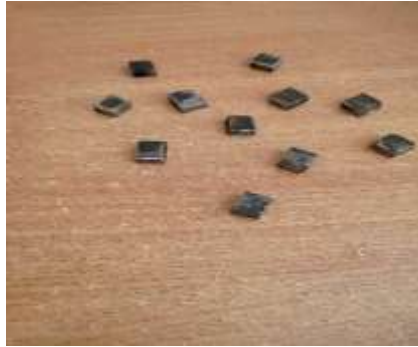


Figure III.1 : L'acier A283 Gr C

- ✓ Les surfaces des coupons d'acier subissent avant chaque manipulation, un prétraitement, qui consiste en un polissage manuel au papier abrasif de granulométrie de plus en plus fine (de grade 80 ,120 ,400 ,800 ,1200 ,4000) parue polisseuse tournant à une vitesse d'environ 300 tr/min, afin d'obtenir une surface lisse, ayant un aspect homogène.



Figure III.2 : Polisseuse

- ✓ Ensuite, les échantillons sont lavés avec de l'eau distillée, dégraissés par l'acétone puis rincés à l'eau distillée, enfin séchés et stockés.



Figure III.3 : Acier avant et après le nettoyage

- ✓ Les échantillons ont été examinés au moyen d'un microscope métallographique de la marque "euro max" qui permet l'observation des échantillons, avec différents agrandissements.



Figure III.4 : Microscope métallographique

- ✓ Les échantillons ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse.



Figure III.5 : Un pied à coulisse

III.3. Préparation des solutions utilisées

III.3.1. Préparation de l'acide chlorhydrique (HCl) :

Le milieu corrosif utilisé est constitué d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique à la concentration (0.01 M de HCl) a été obtenue en dilution $V = 0.76$ ml de HCl dans un litre d'eau distillée.

Le volume de solution corrosive utilisée : $V_s = 0.1$ l = 100 ml.

III.3.2. Préparation du chlorure de sodium (NaCl)

Le milieu corrosif utilisé est constitué d'une solution aqueuse de chlorure de sodium à la concentration (0.01 M de NaCl) a été obtenue en dilution $V = 0.76$ (0,5846g) ml de (NaCl) dans un litre d'eau distillée.

Le volume de solution corrosive utilisée : $V_s = 0.1 \text{ l} = 100 \text{ ml}$.

- La préparation des solutions corrosives (HCl et NaCl) se fait dans les fioles (figure III.6).



Figure III.6 : Préparation de la solution corrosive HCl et NaCl

III.4. Préparation de l'inhibiteur "*Mentha Spicata*"

Nous avons utilisé les feuilles de menthe "*Mentha spicata*" dont nous avons mélangé 30g dans 100ml de méthanol pendant 24 heures.

III.5. Mode opératoire

III.5.1. Sans Inhibiteur

Nous pesons la masse des échantillons d'acier avant de les placer dans la solution corrosive dans une première étape.

Ensuite, nous les plaçons pendant différent temps : (1h, 2h, 4h, 24h, 26h et 28h) dans un bécher d'une capacité de 100 ml de solution corrosif (HCl, NaCl). A la fin de l'expérience, une fois le temps spécifié écoulé, on sèche les pièces avec de l'eau distillée, puis de l'acétone et nous repesons à nouveau les pièces pour déterminer les deux paramètres :

- ❖ La perte de masse
- ❖ Le taux de corrosion



Figure III.7 : Les échantillons d'acier sans l'inhibiteur

III.5.2. Avec Inhibiteur

De la même manière que précédemment, le temps est constant mais la quantité d'inhibiteur change.

Nous plaçons les échantillons d'acier pour différentes quantités de l'inhibiteur : (50 ppm ,100 ppm ,150 ppm ,200 ppm ,250 ppm) dans un bécher d'une capacité de 100 ml de solution corrosive (HCl ou NaCl), à la fin de l'expérience, une fois le temps spécifié écoulé, on sèche les pièces avec de l'eau distillée, puis de l'acétone. Ensuite, nous pesons à nouveau les pièces pour déterminer les trois paramètres :

- ❖ La perte de masse
- ❖ Le taux de corrosion
- ❖ L'efficacité inhibitrice



Figure III.8 : Les échantillons d'acier avec l'inhibiteur

III.6. Méthodes

III.6.1. Visuelles des surfaces

L'observation des surfaces des échantillons, est une méthode qualitative qui se fait à l'œil nu ou par microscopie optique. Elle permet de mettre en évidence, soit une dégradation, soit des formes de corrosion telles que: les crevasses ou les piqûres, c'est-à-dire la morphologie de corrosion.[22]

III.6.2. Méthode par gravimétrie (perte de masse)

Les études de corrosion ont pour but, de façon générale, de déterminer quantitativement la dégradation d'un matériau au cours du temps. La méthode la plus simple, et la moins coûteuse est celle de la perte de masse.[23]

Cette technique se base sur l'idée d'immerger l'échantillon de surface (S) dans un milieu corrosif maintenue à température constante pendant un temps (t), et à mesurer la différence de

masse des échantillons avant et après chaque essai. L'utilité de l'activité de la masse perdue consiste dans l'analyse de la vitesse de corrosion qui est définie comme une perte de poids par unité d'espace et de temps et est exprimée en (g/cm²*h).[24]

- La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$V_{\text{corr}} = \frac{\Delta m}{S t} \quad (\text{Equation III.1})$$

$$\Delta m = m_2 - m_1 \quad (\text{Equation III.2})$$

m_1 et m_2 : désignent respectivement les masses avant et après l'essai en mg ou g.

S : la surface de l'échantillon, exposée en cm².

T : le temps d'exposition dans la solution en heure

L'efficacité inhibitrice EI (%) d'un composé étudié est calculée, en utilise la relation suivante :

$$EI (\%) = \frac{V_{\text{sans}} - V_{\text{avec}}}{V_{\text{sans}}} \times 100 \quad (\text{Equation III.3})$$

EI : L'efficacité inhibitrice (%)

V_{sans} : La vitesse de corrosion de l'acier sans inhibiteur en (g/cm²*h)

V_{avec} : La vitesse de corrosion de l'acier avec inhibiteur en (g/cm²*h)

❖ Résultats et discussions

Nous présentons les résultats des tests de l'effet de l'inhibiteur vert, "*Mentha Spicata*", sur la corrosion de l'acier A283 Gr C dans deux (2) milieux différents. À savoir, l'acide chlorhydrique (HCl) et le chlorure de sodium (NaCl).

III.7. Solution de l'acide chlorhydrique (HCl)

III.7.1. Sans Inhibiteur :

Le facteur de temps est un facteur majeur car il montre l'influence du milieu au cours de temps. Dans ce contexte, nous avons étudié ce paramètre avec différentes durées : (1h, 2h, 4h, 24h, 26h et 28h) dans le milieu d'acide chlorhydrique (HCl) [C= 0.01 mol / l et V=100ml].

a. La perte de masse (Δm)

Les valeurs expérimentales de la perte de masse de l'acier A283 Gr C en fonction du temps dans un environnement d'acide chlorhydrique (HCl) en l'absence d'inhibiteur à ($T = 25\text{ C}^\circ$) sont résumées dans le tableau (III.4) :

Tableau III.4: Variation de la perte de masse (Δm) en fonction du temps (t) et la vitesse de corrosion V_{corr} .

Temps (h)	1	2	4	24	26	28
m_1 (g)	3.8390	3.6415	3.5870	3.9755	3.1287	3.5499
m_2 (g)	3.8317	3.6183	3.5401	3.7303	2.8631	3.2589
Δm (g)	0.0173	0.0232	0.0469	0.2452	0.2656	0.2910
$V_{\text{corr}} \cdot 10^3$ (g/cm ² .h)	20.801	13.112	14.297	11.743	10.018	9.832

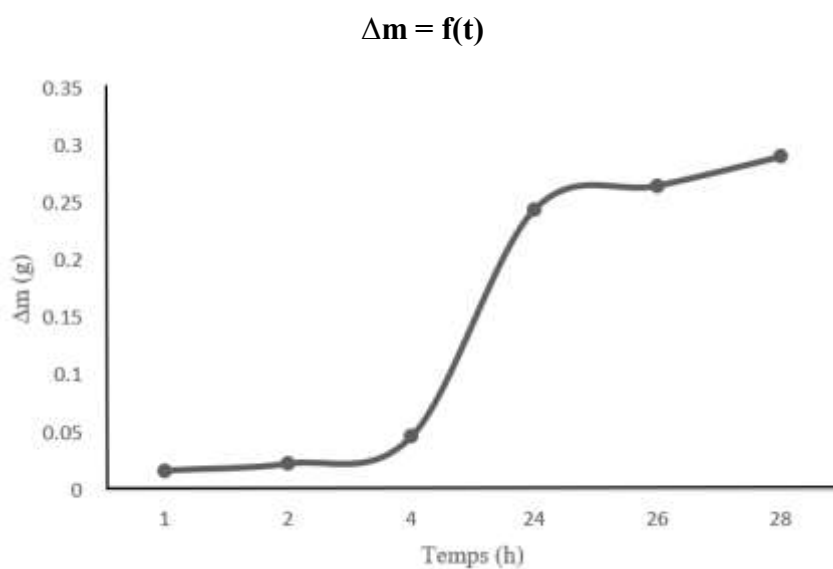


Figure III.9: La perte de masse (Δm) en fonction de temps (t)

- Les Valeurs de la perte de masse augmentent en fonction du temps en milieu d'acide chlorhydrique (HCl) en l'absence d'inhibiteur.

b. La vitesse de corosion V_{corr}

Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion de l'acier A283 Gr C en milieu d'acide chlorhydrique (HCl) en l'absence de l'inhibiteur à température ambiante est résumé dans le tableau (III.4).

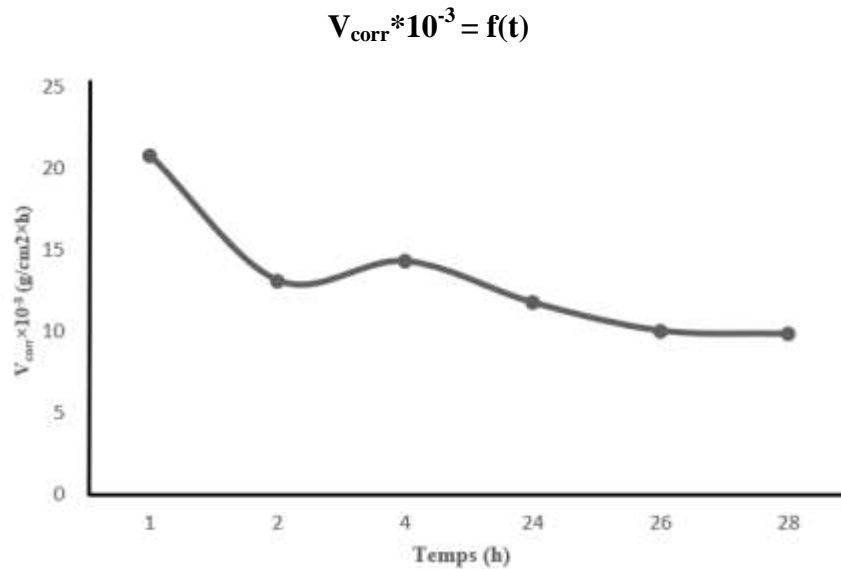


Figure III.10: La vitesse de corosion en fonction de temps

- Les résultats du tableau (III.4) montrent que il y a diminution de la vitesse de corrosion en milieu l'acide chlorhydrique (HCl) au cours du temps.

III.7.2. Avec Inhibiteur "*Menthe Spicata*":

Dans ce contexte, (première étape), nous avons étudié l'addition de ce paramètre avec différentes masses: (0ppm, 50ppm, 100ppm, 150ppm, 200ppm, 250ppm) pour 24h dans l'acide chlorhydrique HCl (C= 0.01 mol / l et V=100ml).

- Les valeurs expérimentales de la perte de masse de l'acier A283 Gr C en fonction du temps dans un environnement d'acide (HCl) en présence l'inhibiteur "*Menthe Spicata*" à (T =25 C°) sont résumées dans le tableau (III.5):

Tableau III.5: Variation de la perte de masse (Δm) et la vitesse de corrosion (V_{corr}) et l'efficacité inhibitrice (EI%) en fonction de la masse d'inhibiteur M_i .

La masse de inhibiteur (ppm)	0	50	100	150	200	250
m_1 (g)	3.8194	3.6153	3.5376	3.7263	2.8595	3.2566
m_2 (g)	3.5850	3.4044	3.3525	3.5693	2.7236	3.1488
Δm (g)	0.2344	0.2191	0.1851	0.1570	0.1359	0.1078
$V_{\text{corr}} * 10^{-3}$ (g/cm ² .h)	11.833	9.951	8.891	8.159	6.044	4.537
EI %	43.313	23.462	37.786	30.341	39.626	53.774

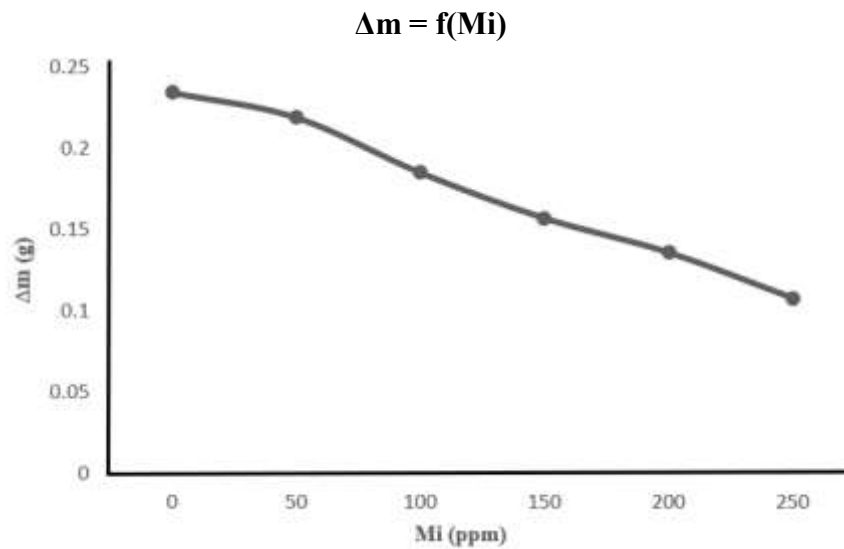


Figure III.11: La perte de masse Δm en fonction de la masse d'inhibiteur M_i

- On remarque une diminution relative de la corrosion de la masse d'acier avec l'augmentation de la masse de l'inhibiteur, ce que indique l'efficacité de l'inhibiteur pour protéger l'acier de la corrosion dans la solution acide "HCl".

La vitesse de corrosion (V_{corr}) et l'efficacité inhibitrice (EI %) de l'acier A283 Gr C sont présentés par les figures (III.12) et (III.13).

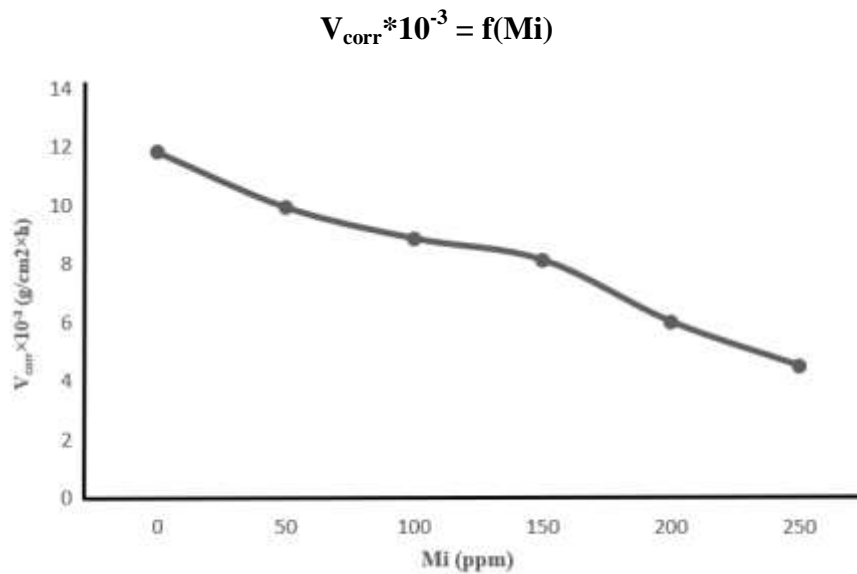


Figure III.12: La vitesse de corrosion V_{corr} en fonction de la masse d'inhibiteur M_i

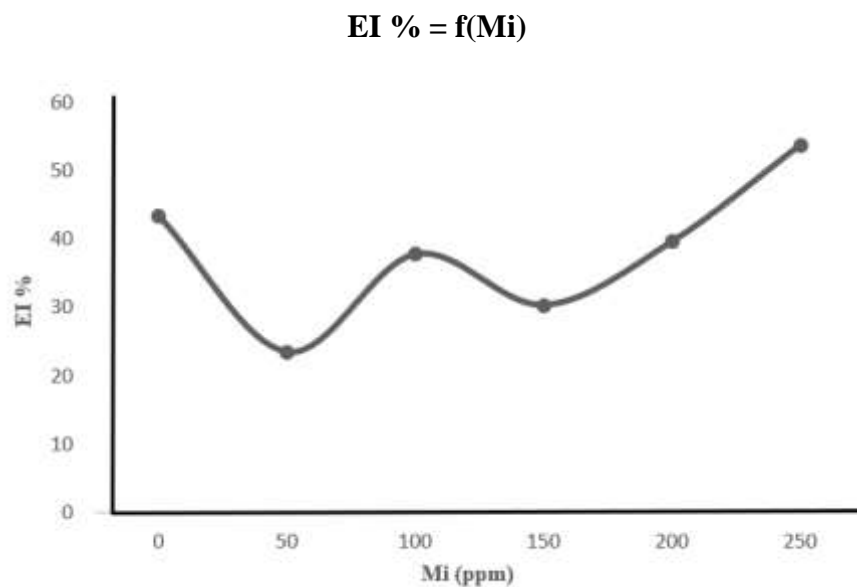


Figure III.13: La efficacité inhibitrice (EI %) en fonction de la masse d'inhibiteur M_i

- Les résultats obtenus d'après le tableau (III.5) et les deux figures (III.12) et (III.13), montrent que la vitesse de corrosion diminue avec l'augmentation de la quantité d'inhibiteur, et cela est dû au fait que l'inhibiteur a joué son rôle dans la protection du métal contre la corrosion. La meilleure valeur de l'efficacité inhibitrice qui atteint 50,77% est obtenue avec la masse de 250 mg d'inhibiteur,

Dans une deuxième étape, nous avons testé la validité de l'inhibiteur sur de longues durées (48h,72h,196h,303h) avec 50 mg de l'inhibiteur dans l'acide chlorhydrique HCl, les résultats sont regroupés dans le tableau (III.6).

Tableau III.6 : Variation de la perte de masse (Δm) et la vitesse de corrosion (V_{corr}) et l'efficacité inhibitrice (EI%) en fonction du temps (t)

Temps (h)	48	72	196	303
m_1	3.2911	3.0677	3.0766	3.3786
m_2	3.1353	2.853	2.4902	2.4980
Δm	0.1558	0.2147	0.5864	0.8806
$V_{\text{corr}} * 10^{-3}$ (g/cm ² .h)	3.6911	3.323	3.1441	3.2154
EI %	82.254	74.616	78.021	72.562

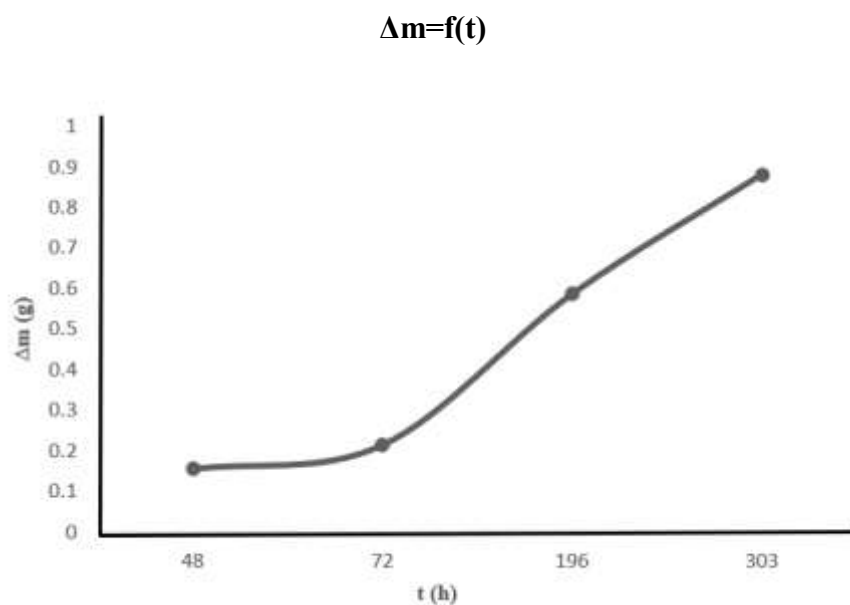


Figure III.14: La perte de masse Δm en fonction du la temps t

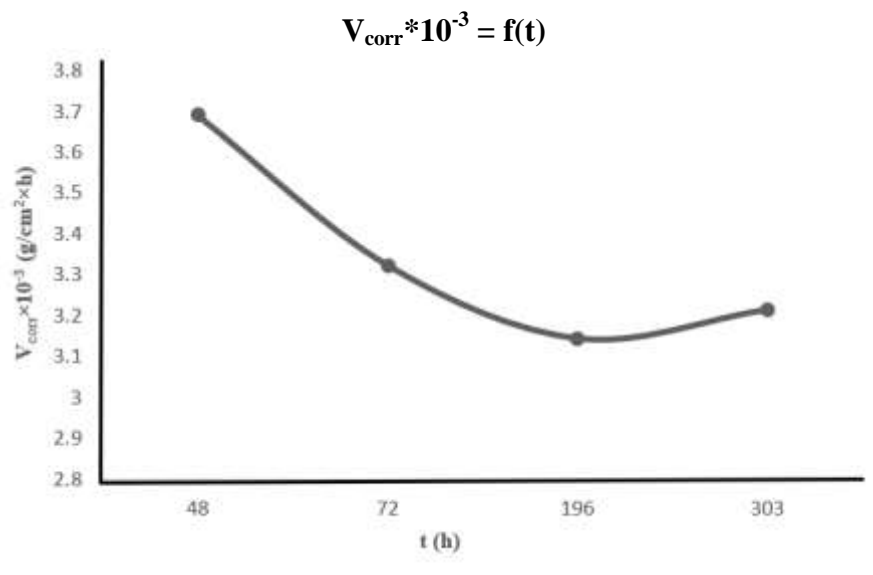


Figure III.15: La vitesse de corrosion V_{corr} en fonction du la temps t

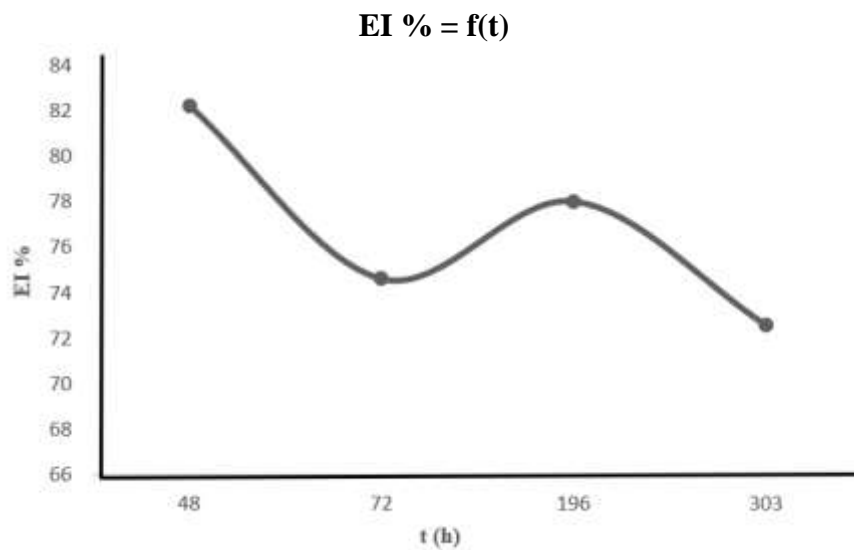


Figure III.16: L'efficacité inhibitrice (EI %) en fonction du la temps t

- Les résultats obtenus montrent une bonne efficacité en fonction du temps.

III.8.1. Solution de l'acide chlorure de sodium « NaCl »

III.8.2. Sans Inhibiteur

Dans ce contexte, nous avons étudié ce paramètre avec différentes durées: (1h, 2h, 4h, 24h, 26h et 28h) dans la solution de chlorure de sodium « NaCl » ($C= 0.01 \text{ mol / l}$ et $V=100\text{ml}$)

Les valeurs expérimentales de la perte de masse de l'acier A283 Gr C en fonction du temps dans un environnement l'acide chlorure de sodium (NaCl) en l'absence d'inhibiteur à ($T =25 \text{ C}^\circ$) sont résumées dans le tableau (III.7) et les figures (III.17) et (III.18):

Tableau III.7: Variation de la perte de masse Δm en fonction du temps t

Temps (h)	1	2	4	24	26	28
m1 (g)	3.3988	3.5705	3.5523	3.5393	3.3628	3.5267
m2 (g)	3.3919	3.5567	3,5240	3.4137	3.2280	3.3791
Δm (g)	0.0069	0.0138	0.0283	0.1256	0.1348	0.1476
$V_{\text{corr}} \times 10^{-3}$ ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{h}$)	7.58	7.41	7.29	5.56	5.08	5.02

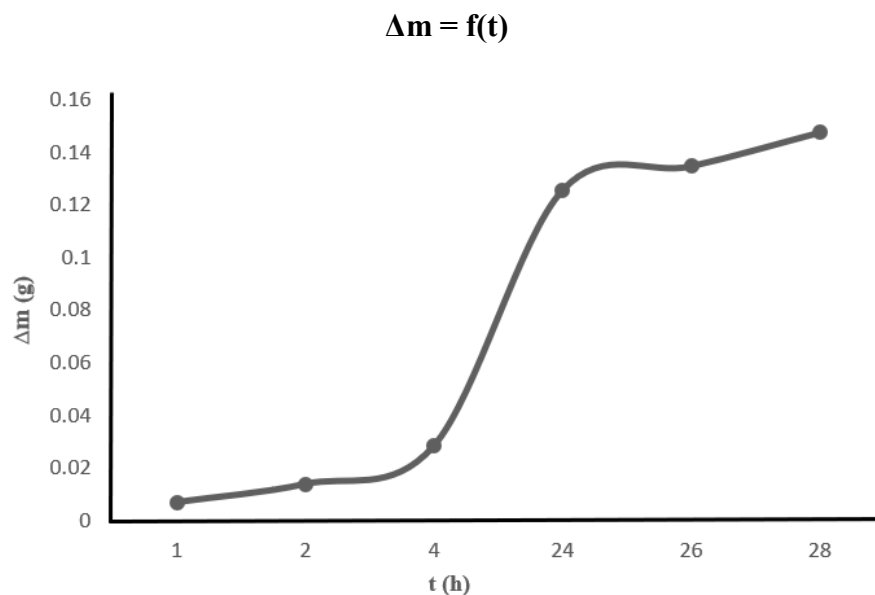


Figure III.17: La perte de masse Δm en fonction de temps t

- ✓ Les valeurs de perte de masse augmentent en fonction du temps en milieu acide (NaCl) en l'absence d'inhibiteur. On remarque également que la perte de masse en milieu (NaCl) est bien moindre que dans le milieu acide (HCl) ce qui nous montre que l'acier A283 Gr C est moins sensible à la corrosion dans le milieu acide NaCl.

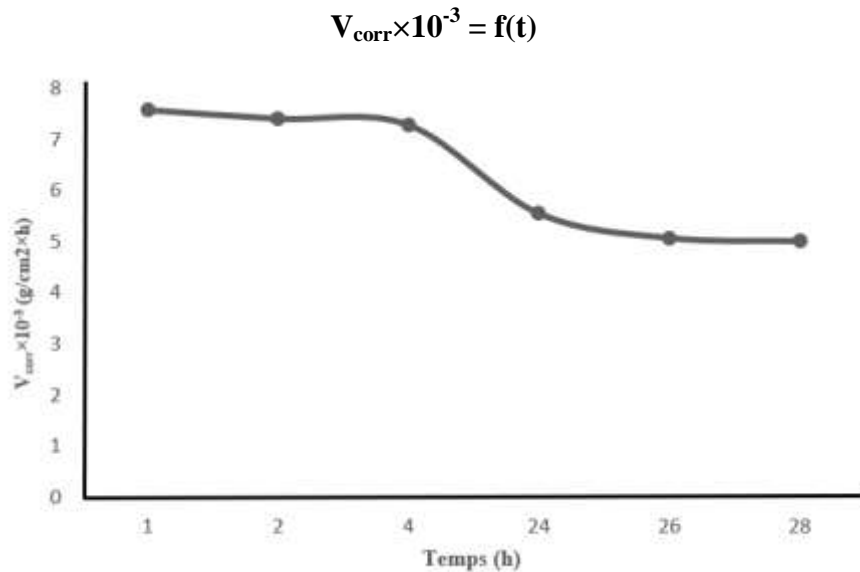


Figure III.18: La vitesse de corrosion en fonction de temps t

- ✓ Les valeurs de vitesse de corrosion diminuent en fonction du temps en milieu (NaCl) et en l'absence d'inhibiteur. Cette réduction provient de la formation d'une couche protectrice contre la corrosion de l'acier A283 Gr C.

III.8.2. Avec Inhibiteur "*Menthe Spicata*" :

Dans ce contexte, nous avons étudié ce paramètre avec différentes masses de l'inhibiteur : ($m_1= 0\text{ppm}$, $m_2= 50\text{ppm}$, $m_3= 100\text{ppm}$, $m_4= 150\text{ppm}$, $m_5= 200\text{ppm}$, $m_6= 250\text{ppm}$) pour 24heures et ($C= 0.01 \text{ mol / l}$ et $V=100\text{ml}$) de NaCl.

- Les valeurs expérimentales de la perte de masse de l'acier A283 Gr C en fonction du temps dans un environnement de chlorure de sodium en présence l'inhibiteur "*Menthe Spicata*" à ($T=25 \text{ C}^\circ$) sont résumées dans le tableau suivant (III.8).

Tableau III.8: Variation de la perte de masse Δm et la vitesse de corrosion V_{corr} et efficacité inhibitrice (EI %) en fonction de la masse d'inhibiteur M_i

La masse d'Inhibiteur (ppm)	0	50	100	150	200	250
m1(g)	3.3877	3.5523	3.5190	3.4103	3.2238	3.3763
m2 (g)	3.2808	3.4583	3.4378	3.3406	3.1651	3.3293
Δm (g)	0.1069	0.0940	0.0812	0.0697	0.0587	0.0470
$V_{\text{corr}} \cdot 10^{-3}$ (g/cm².h)	4.901	4.223	3.489	3.194	2.473	1.952
EI %	35.352	43.042	52.261	42.528	51.375	61.154

$$\Delta m = f(M_i)$$

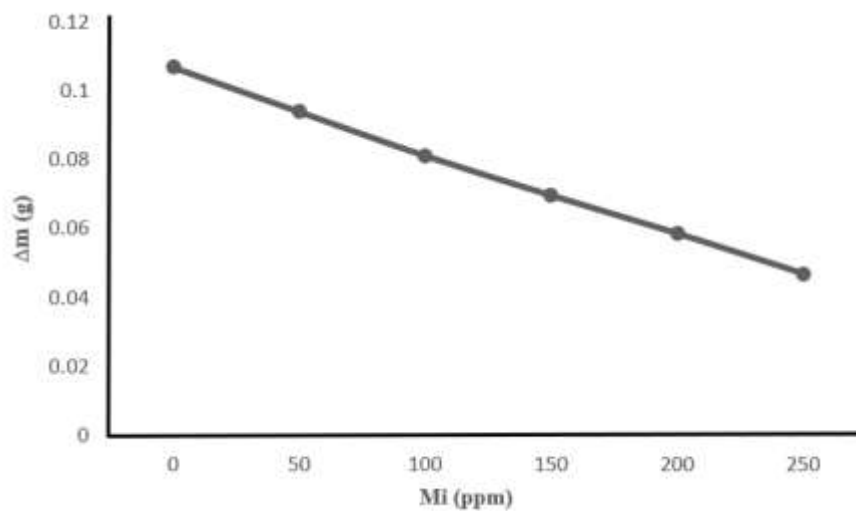


Figure III.19: La perte de masse Δm en fonction de la masse d'inhibiteur M_i

- ✓ On remarque que plus la masse de l'inhibiteur dans la solution acide est importante, moins la solution corrode la pièce métallique.
- Nous avons calculé la vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice (EI %) de l'acier après le temps d'immersion, en présence d'un inhibiteur "Menthe Spicata" en différentes quantités. Les résultats sont présentés dans le tableau (III.8).

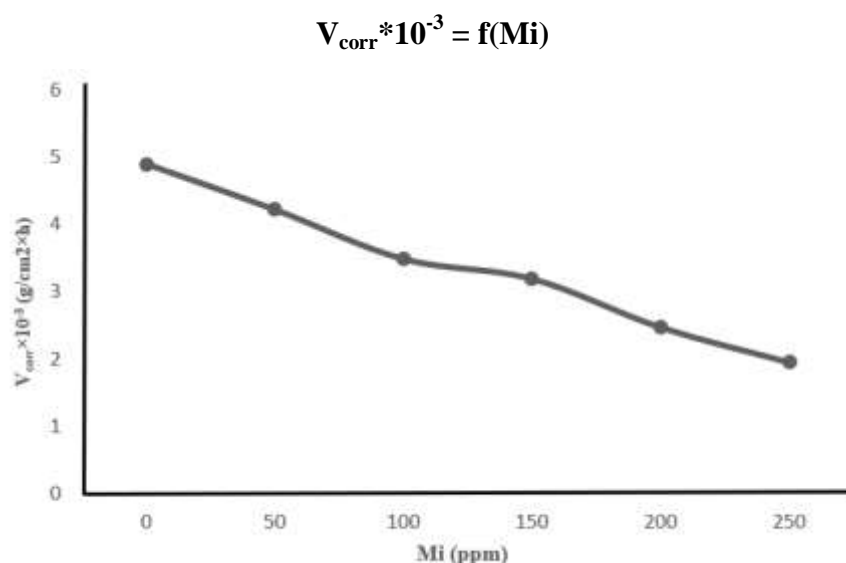


Figure III.20: La vitesse de corrosion $V_{\text{corr}} * 10^{-3}$ en fonction de la masse de l'inhibiteur

- ✓ D'après les résultats présentés dans le tableau (III.8), on peut conclure qu'à mesure que la quantité d'inhibiteur augmente, la vitesse de corrosion diminue. Cela indique de bonnes propriétés de prévention de la corrosion de l'acier. Cela indique que l'inhibiteur possède de bonnes propriétés de prévention à la corrosion.

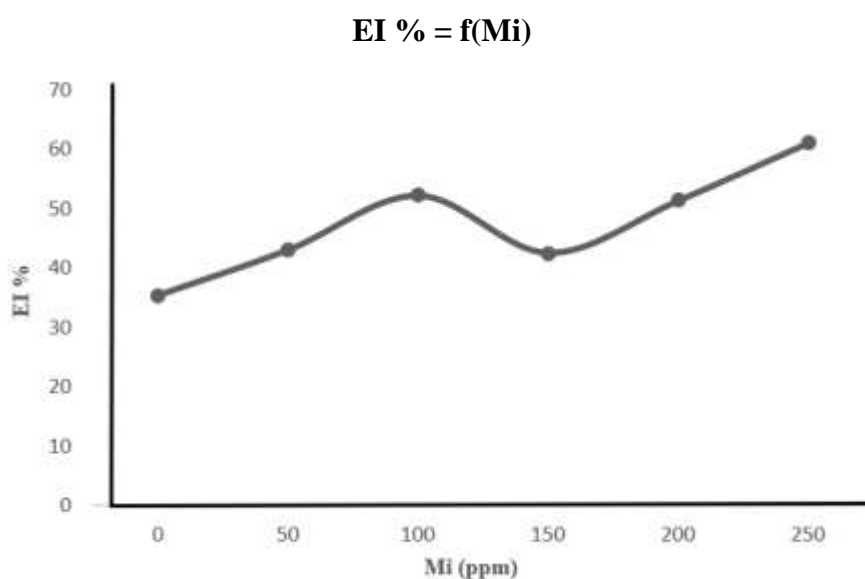


Figure III.21: L'efficacité de corrosion en fonction de la masse de l'inhibiteur Mi

- ✓ Nous observons une augmentation de l'efficacité inhibitrice de cet inhibiteur avec l'augmentation de la quantité de l'inhibiteur. Cela indique que ce dernier est absorbé à la surface de l'acier, et par conséquent, ils affectent la corrosion de l'acier en closant les sites actifs contre la corrosion. L'efficacité optimale de l'inhibition est obtenue à une quantité de 250 ppm de l'inhibiteur (61.15%).

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'étudier l'extraction d'inhibiteur de la plante "*Mentha Spicata*" et d'évaluer l'activité inhibitrice de cet inhibiteur sur la corrosion de l'acier au carbone (dans les milieux acides (HCl/NaCl)).

Dans un premier temps, nous avons étudié le comportement de l'acier dans le milieu acide et les facteurs qui l'influencent, pour le temps d'immersion, Nous avons varié le temps en l'absence d'inhibiteur et les résultats ont montré que la vitesse de corrosion diminue avec le temps.

En étudiant différentes quantités d'inhibiteur (50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm), nous avons constaté que la meilleure quantité est de 250 ppm, où la vitesse de corrosion est réduite et le taux d'inhibition a atteint 61,15 %.

Les résultats obtenus montrent que l'inhibiteur de la menthe a un rôle efficace.

À partir des résultats obtenus, nous pouvons dire que tourner vers la chimie végétale comme solution pour réduire le problème de la corrosion, car ces ressources naturelles sont riches en substances actives qui ont la capacité de s'adsorber sur la surface du métal et de le protéger.

Nous espérons également à l'avenir utiliser d'autres méthodes d'étude, caractérisées par leur précision, en plus de fournir des détails supplémentaires sur les mécanismes d'inhibition [21].

Références bibliographiques

- [1] : T. H. Rogers « Marine Corrosion », London : Newnes (1968) p.307.
- [2] : Département Génie des Transports U.M. Constantine Technologie des parcs de Stockage et terminaux Master 1 TDH S2 (2019-2020).
- [3] : Dr. AKE. « Cours de stockage, distribution et transport des hydrocarbures (STDH) ». Licence 2, Service Leroini, COTE D'IVOIRE. [En ligne]. Disponible à l'adresse : www.slideshare.net/slideshow/cours-de-stockage-distribution-des-hydrocarbures/38003320
- [4] : American Petroleum Institute (API) : L'API publie des normes et des recommandations pour la conception, la construction et la maintenance des installations de stockage des hydrocarbures. Leurs documents, tels que les API 650 (réservoirs en acier) et API 653 (inspection, réparation, altération et reconstruction de réservoirs en acier existants) sont des références couramment utilisées dans l'industrie.
- [5] : Publications spécialisées : Des revues spécialisées dans l'industrie pétrolière et gazière, telles que Oil & Gas Journal, Offshore Magazine et Petroleum Review, fournissent souvent des articles techniques et des études de cas sur les technologies de stockage des hydrocarbures.
- [6] : Rapports gouvernementaux : Les agences gouvernementales chargées de la réglementation de l'industrie pétrolière et gazière, telles que l'Environmental Protection Agency (EPA) aux États-Unis ou l'Agence internationale de l'énergie (AIE), publient des directives et des rapports sur les meilleures pratiques en matière de stockage des hydrocarbures.
- [7] : CHAMAYOU, Réais. "Réservoirs métalliques : stockage des liquides. Généralités." Techniques de l'ingénieur. Génie mécanique BM6590 (1997): BM6590-1.
- [8] : Les Réservoirs de Stockage. February 26, 2023.
www.kupdf.net/download/les-reservoirs-de-stockage_63fa6fcbe2b6f518026132a7
- [9]: Richard L. Snyder, Extension Biometeorology's, University of California, Atmospheric Science, Davis, CA 95616, U.S.A.
- [10] : CHAMAYOU, Réais. "Réservoirs métalliques : stockage des liquides. Généralités." Techniques de l'ingénieur. Génie mécanique BM6590 (1997) : BM6590-1

www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/stockage-et-transfert-des-fluides-equipements-sous-pression-42174210/reservoirs-metalliques-stockage-des-liquides-generalites-bm6590/configuration-des-reservoirs-de-stockage-bm6590niv10002.html

[11] : Robert M Silverstein, Francis X Webster, David J Kiemle, Identification spectrométrique de composés organiques, 2ième édition, De Boeck.

[12] : V. Branzoi, F. Branzoi, M. Baibarac. Mater. Chem. Phys. 65(2000) 288–297.

[13]: A.R. Zadeh, I. Danaee, M.H. Maddahy, J. Mater. Sci. Technol. 29 (9) (2013) 884–892.

[14] : KHOUHI, Faiza. Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (Eau, huile et gaz), Thèse de Magister, Chimie, Université M'Hamed bougera de Boumerdès Faculté de science, 2007/2008, 125 p

[15] : GERARD, Béranger HENRI, Mazille. Corrosion des métaux et alliages - Mécanismes et phénomènes, paris, 2002, 410 p.

[16] : A. Benyachi, M. Roch, J. Pagetti, M. Troquet, Matériaux et Techniques, 76 (1988) 36

[17] : Dr BENSABRA, Hakim. Cours de Corrosion et Protection des Métaux IFP Cours Introduction & théorie de la corrosion

[18] : DIDI, Adnane. Etude de corrosion bactérienne champs Hassi Messaoud, Thèse de master, mcp, Université Kasdi Merbah Oaurgla 2017/2018, 54 p.

[19] : ABEKHTI, Nadia & BENDAHIR, Aicha. la corrosion dans les installations pétrolières de surface, causes, effets et remèdes, Thèse de Master, génie chimique, Université Adrar 2018/2019, 54 p.

[20] : KANGNIVI, Clarisse. Moyens de lutte contre la corrosion, EPAC/GME5, p 2-8.

[21]: H. H. Ulich, R. W. Revie «Corrosion and Corrosion Control» 3th Ed, New York: John Wiley & Sons Ltd. (1985) p. 441.

[22] : F. CONSTANTIN, Etude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement, Institut national des sciences appliquées de Lyon France, 2011.

[23] : M MANSOURI, Etude de corrosion en utilisant les inhibiteurs, Spécialité construction mécanique, Université Mohamed Khider, Biskra, 2020

[24] : A NADJI, Synthèse et étude de l'effet inhibiteur contre la corrosion d'un acier au carbone A283 Gr-C par une molécule organique, Spécialité chimie des produits naturels, Université Larbi Tebssi, Tébessa, 2020.