

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib

Faculté des Sciences et de Technologie

Département de Sciences et Technologie



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en : Chimie

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie Macromoléculaire

Thème

**Etude de l'effet inhibition d'un produit pharmaceutique de l'acier
dans un milieu agressif**

Présenté le 23/06/2024 Par :

- MORDI Mohammed Abdelillah*
- BENSAFI Mohammed Zakaria*

Encadrant :

Encadrante : Mme CHOUKCHOU BRAHAM Esmâ PR Université de Tlemcen

Co-encadrante : Mme RAMDANI Nassima MCB Université de Ain temouchent

Devant le jury composé de :

Présidente : Mme BENNABI Lamia MCA Université de Ain temouchent

Examinatrice : Mme NOUALI Fatihâ MAB Université de Ain temouchent

Année universitaire : 2023/2024

Dédicaces

Au nom de Dieu, Clément, compassionnel. Ce petit travail est dédié à nos parents, aucun hommage ne pourrait égaler l'amour dont ils ne cessent de nous combler. Que Dieu leur accorde une bonne santé et une longue vie. À nos frères et sœurs qui ont toujours été des modèles de persévérance, de courage et de générosité pour nous.

A tout la famille **MORDI** et **BENSAFI**.

En l'honneur de tous les étudiants de notre promotion et de tous ceux qui ont apporté leur contribution, que ce soit de près ou de loin, pour la réalisation de ce projet.

Remerciements

Premièrement, nous exprimons notre gratitude envers ALLAH qui nous a accordé la force et longues années.

Ce travail a été effectué au sein du laboratoire TOXICOMED de l'Université ABOU-BAKR BELKAÏD Tlemcen.

On souhaite exprimer ma profonde gratitude envers Madame Esmâ CHOUKCHOU BRAHAM, professeure à l'Université de Tlemcen et encadrante du mémoire, pour sa joie, son suivi et ses précieux conseils

Nous tenons aussi à remercier notre Co-Encadrante Madame Nassima RAMDANI MCB à l'Université de Belhadj Bouchaib Ain Temouchent pour son aide et son suivie.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers les membres du jury, Madame Lamia BENNABI, MCA à l'Université d'Ain Temouchent, d'avoir voulu présider ce jury et Madame Fatiha NOUALI, MAB à l'Université d'Ain Temouchent pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.

De plus, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers Monsieur Abbas BENCHADLI, doctorant au sein du laboratoire TOXICOMED, pour son aide et sa collaboration, ainsi qu'à Monsieur Tarik ATTAR, Professeur à l'école supérieure de Science Appliquée, pour l'aide précieuse et la patience dont il a fait preuve, lors du déroulement de ce mémoire et la partie pratique.

On tient également à exprimer notre gratitude envers toutes les personnes qui ont apporté leur contribution, que ce soit par leurs conseils, leurs suggestions ou leurs encouragements, à la réalisation de cette tâche.

À tous les professeurs de l'université Belhadj Bouchaib qui ont apporté leur contribution à notre formation . On vous remercie tous.

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 : Aspect bibliographie de l'étude

I. INTRODUCTION	1
I.A. LA CORROSION	3
I.A.1. Définition de la corrosion	3
I.A.2. Type de la corrosion.....	3
I.A.2.a La corrosion chimique	3
I.A.2.b Corrosion électrochimique	3
I.A.2.c Corrosion biochimique	4
I.A.3. Aspect morphologique de la corrosion	4
I.A.3.a. Corrosion uniforme ou généralisé.....	4
I.A.3.b. Corrosion localisée	4
Corrosion galvanique ou bimétallique.....	4
La corrosion caverneuse	5
Corrosion par piqûres.....	5
Corrosion intergranulaire.....	6
Corrosion sélective	6
Corrosion érosion.....	7
Corrosion par frottement.....	7
Corrosion sous contrainte	8
Fragilisation par hydrogène	8
I.A.4. Les facteurs de la corrosion	8
I.A.5. La vitesse de corrosion	9
Effet de la température.....	9
Effet de l'acidité.....	9
I.B. GENERALITE SUR L'ADSORPTION	9
I.B.1. Définition	9
I.B.2. Type d'adsorption	9
I.C. ISOTHERMES D'ADSORPTION	10
I.D. METHODES DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION	10
I.E. GENERALITE SUR LE PLANS D'EXPERIENCE	10
I.F. LES INHIBITEURS	11
I.F.1. Protection de la corrosion par les inhibiteurs	11
I.F.2. Propriétés des inhibiteurs	11
I.F.3. Domaines d'application.....	12
I.F.4. Classification des inhibiteurs de corrosion.....	12
I.F.5. Les types d'inhibiteur de corrosion	12
I.F.5.a. Les inhibiteurs minéraux	13

I.E.5.b Les inhibiteurs organiques	13
I.F.6. Les conditions de fonctionnement des inhibiteurs	13
I.F.7. Mécanismes et principes d'action	14
I.G. RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA POLY(N-VINYLPYRROLIDONE) ET SES DERIVES UTILISES COMME INHIBITEURS	14
CHAPITRE 2 : Partie expérimentale de l'étude	
II. INTRODUCTION.....	17
II.A. MILIEU ELECTROLYTIQUE.....	17
Acide sulfurique.....	17
II.A.1. Inhibiteur de corrosion	17
II.B. DISPOSITIF	18
II.C. PROTOCOLE EXPERIMENTAL	18
II.C.1. Méthode pondérale "La gravimétrie"	18
II.C.2. Protocoles de la mesure gravimétrique	19
II.C.3. Méthodes de détermination de la vitesse de corrosion :.....	20
CHAPITRE 3 : Résultats et discussions	
III.A. INTRODUCTION	22
III.B. RESULTATS.....	22
III.B.1. Choix de milieux corrosif.....	22
III.B.2. Effet de la concentration	22
III.B.3. Effet du temps d'immersion.....	24
III.B.4. Effet de la température	26
III.B.5. Calculs de l'énergie d'activation :.....	27
III.B.6. Calculs des paramètres thermodynamiques	28
III.B.7. Isothermes d'adsorption	29
III.C. ETUDE L'EFFICACITE DU PVP-I PAR LE PLAN D'EXPERIENCE :.....	31
CONCLUSION GENERALE	35
REFERENCE BEBLIOGRAPHIQUE.....	38

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Exemple de corrosion généralisée.....	4
Figure I-2 : Exemple et schéma explicatif de la corrosion galvanique.....	5
Figure I-3 : Exemple et schéma explicatif de la corrosion cavernueuse.....	5
Figure I-4 : Exemple et schéma explicatif de la corrosion par piques.....	6
Figure I-5 : Exemple sur la corrosion inter granulaire.....	6
Figure I-6 : Exemple et schéma explicatif de la corrosion sélective.....	7
Figure I-7 : Exemple pratique et schéma explicatif de l'érosion.....	7
Figure I-8 : Exemple de la tribocorrosion.....	7
Figure I-9 : Aspect de la corrosion sous contrainte.....	8
Figure I-10 : Fragilisation par hydrogène d'une pièce métallique.....	8
Figure I-11 : Schéma regroupant la différente classification des inhibiteurs.....	12
Figure I-12 : Exemple sur inhibiteur cathodique	13
Figure II-1 : Piece metallique avangt et apres immersion	20
Figure III-1 : L'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations en inhibiteurs à 4 températures différentes	23
Figure III-2 : La vitesse de corrosion pour différentes concentrations en inhibiteurs et à différentes températures.....	24
Figure III-3 : L'efficacité inhibitrice pour différents temps et à une concentration en inhibiteur de 10^{-3} M et une température de 293 K	25
Figure III-4 : Perte de poids en fonction du temps d'immersion de l'acier dans 0,5 M H ₂ SO ₄ , Sans et avec inhibiteur 10^{-3} M mol/L de PVP-I à 293 K.....	26
Figure III-5 : Les efficacités inhibitrices en fonction de la variation de la température à différentes concentrations en inhibiteurs.....	26
Figure III-6 : La vitesse de corrosion pour différentes températures en inhibiteurs	27
Figure III-7 : Le logarithme népérien de la vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de températures a des déférent concentrations	28
Figure III-8 : Ln(W/T) en fonction de (S/T).....	29
Figure III-9 : Les histogrammes vérifiant la validité du modèle mathématique.....	32
Figure III-10 : Contour de la concentration et de la température de l'efficacité d'inhibition de la corrosion de Béta -I.....	33
Figure III-11 : Courbes de surface de réponse en 2D et 3D des effets de la température et de la concentration d'inhibiteur sur l'efficacité de l'inhibition.....	34

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Principaux facteurs de corrosion [14]	9
Tableau III-1 : L'efficacité inhibitrice de l'acier et le cuivre dans HNO ₃ 1M et H ₂ SO ₄ 0,5M et en présence de 10 ⁻³ mol/L d'inhibiteur à 303 K.....	22
Tableau III-2 : L'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations en inhibiteurs et à différentes températures.	233
Tableau III-3 : La perte de masse et l'efficacité pour différents temps d'immersion.....	25
Tableau III-4 : Les enthalpies et entropies pour différentes concentrations en inhibiteur	29
Tableau III-5 : Énergies standards d'adsorption	30
Tableau III-6 : Matrice des expériences réalisées.....	31
Tableau III-7 : Les résultats de Q ² et R ²	32

Liste des abréviations

PVP-I : Povidone iodée

Cinh : Concentration de l'inhibiteur.

C : Concentration (mol.L^{-1}).

%E : Efficacité inhibitrice en (%).

W_{corr}' : Vitesse de corrosion avec inhibiteur.

W_{corr} : Vitesse de corrosion sans inhibiteur.

Δm : Perte de masse exprimée en mg.

S : Surface de l'échantillon exposé en cm^2 .

t : Temps d'immersion en h.

T: Température en ($^{\circ}\text{C}$).

Θ : Fraction de sites occupés par l'inhibiteur.

E_a° : Energie d'activation (Kj.mol^{-1}).

ΔH_a° : Enthalpie d'activation (kJ/mol).

ΔS_a° : Entropie d'activation (J/mol.K).

ΔG_a° : L'enthalpie libre d'activation (kJ/mol).

$\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$: L'enthalpie libre d'adsorption (kJ/mol).

$\Delta H_{\text{ads}}^{\circ}$: Enthalpie libre d'adsorption (kJ/mol).

$\Delta S_{\text{ads}}^{\circ}$: Entropie d'adsorption (J/mol.K).

K_{ads}° : Constante d'adsorption.

HCl : Acide chlorhydrique.

H_2SO_4 : L'acide sulfurique.

HClO_4 : L'acide perchlorique.

A : constante d'Arrhenius.

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La corrosion est un phénomène omniprésent et coûteux qui affecte les matériaux métalliques dans une variété d'environnements, allant des infrastructures industrielles aux objets du quotidien. Elle se définit comme une réaction chimique indésirable entre un matériau métallique et son environnement, généralement en présence d'eau, d'oxygène et d'autres agents corrosifs. Ce processus naturel conduit à la détérioration progressive des propriétés du métal, pouvant ultimement entraîner des défaillances structurales et des pertes économiques considérables.

En raison du caractère économique de l'acier et des frais de production et d'installation élevés, la majorité des secteurs ont adopté différentes mesures afin de prolonger la durée de vie de ce métal précieux [1]. Il est devenu crucial d'utiliser des inhibiteurs de corrosion écologiques et biodégradables. Les études actuelles se concentrent de plus en plus sur la création de molécules organiques moins toxiques, stables et résistantes à l'oxydation à haute température [2]. L'adsorption des composés organiques sur la surface métallique entraîne une inhibition de la corrosion [3]. On peut décrire ces phénomènes d'adsorption en utilisant deux types d'interactions principaux : l'adsorption physique, l'adsorption chimique et/ou mixte [4].

De nombreux travaux [5-6] sont consacrés à l'effet des inhibiteurs de polymère sur les matériaux métalliques dans les solutions d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique.

Ce travail a pour but d'analyser l'efficacité de l'inhibiteur d'un polymère, la povidone iodée notée PVP-I, contre la corrosion de l'acier dans un milieu d'acide sulfurique 0,5 M, ainsi que d'analyser l'impact de certains paramètres expérimentaux. Ce mémoire est constitué de trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, une étude bibliographique qui consiste en une synthèse des connaissances sur la corrosion, les inhibiteurs et leurs propriétés, la PVP-I, ainsi que l'adsorption.
- Dans le deuxième chapitre, nous abordons l'aspect expérimental en présentant les différents produits et matériaux utilisés ainsi que la méthode de mesure gravimétrique.
- Le troisième chapitre est réservé à la présentation des résultats de l'expérience, ainsi qu'une étude comparative de travaux antérieurs, et un plan d'expérience sera établi pour prédire les résultats d'efficacité de l'inhibiteur PVP-I dans un large domaine de concentrations et températures.

CHAPITRE 1 :

Aspect bibliographique de l'étude

Chapitre 1 : Aspect bibliographique de l'étude

I.A. LA CORROSION

I.A.1. Définition de la corrosion

La corrosion est définie comme étant l'interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même.[3]

La corrosion métallique est le phénomène suivant lequel les métaux et Alliages ont tendance, sous l'action de réactifs chimiques ou d'agents atmosphériques, à retourner vers leur état originel d'oxydes par une attaque plus au moins rapide du milieu corrosif [4]

I.A.2. Type de la corrosion

La corrosion de métaux ou alliages peuvent avoir différentes formes : uniforme, locale, etc. La corrosion peut être réalisée selon différents procédés, chacun représentant un type de corrosion. On peut distinguer trois types de corrosion : la corrosion chimique, la corrosion électrochimique et la corrosion biochimique.

I.A.2.a La corrosion chimique

C'est le résultat d'une réaction hétérogène entre une phase solide, le métal, et une phase gazeuse ou liquide, Elle peut être causée par des milieux atmosphériques (oxygène, humidité du dioxyde de carbone, dioxyde de soufre et autres produits industriels).

Lorsque le réactif est gazeux ou que cette corrosion se produit à haute température, elle est alors appelée : corrosion sèche ou corrosion à haute température

Ce type de corrosion comprend généralement un processus de conversion d'un métal en oxyde en formant une couche de surface.

I.A.2.b Corrosion électrochimique

La corrosion électrochimique se caractérise par la corrosion de métaux et alliages au contact d'une solution contenant un électrolyte dissout. Ce phénomène se produit chaque fois qu'il existe une hétérogénéité dans l'un des composants de la paire formée par le métal et le réactif, entraînant la formation d'une batterie ou d'une micro-batterie, où l'anode et la cathode sont sur la même partie métallique. La corrosion de la partie anodique s'accompagne d'un courant à travers l'électrolyte, de l'anode à la cathode [5]

Elle nécessite la présence d'un réducteur (H_2O , H_2 ...) qui va participer à la réaction d'oxydo-réduction avec le métal : [6]



I.A.2.c Corrosion biochimique

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries, dites anaérobiques, qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique et est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs. [7]

I.A.3. Aspect morphologique de la corrosion

La première approche de la corrosion étant généralement visuelle, la corrosion peut être divisée, d'un point de vue aspect morphologique, en deux grandes classes : corrosion généralisée et corrosion localisée ou « zonale ».

I.A.3.a. Corrosion uniforme ou généralisée

La corrosion uniforme ou généralisée est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface ; Elle se traduit par une dissolution uniforme de la surface métallique en contact avec l'agent agressif. Cette forme de corrosion est relativement facile à quantifier par des mesures de perte de masse ou d'épaisseur et sa progression sur une structure en service peut être suivie par des contrôles périodiques. Les concepteurs d'appareillages peuvent en tenir compte en prévoyant des surépaisseurs consommables par la corrosion.



Figure I-1 : Exemple de corrosion généralisée.

I.A.3.b. Corrosion localisée

La corrosion localisée survient sur une partie du métal à un taux bien supérieur au reste de la surface, elle peut avoir plusieurs formes De façon globale [8]

Corrosion galvanique ou bimétallique

La corrosion galvanique ou bimétallique peut se définir simplement par l'effet résultant du contact de deux métaux ou alliages différents dans un environnement corrosif conducteur. Ce contact

conduit à la formation d'une pile électrochimique entre les deux métaux ou alliages (figure I-2). Le métal le moins résistant, moins noble, se dégrade et sa dégradation s'intensifie avec le temps [9]

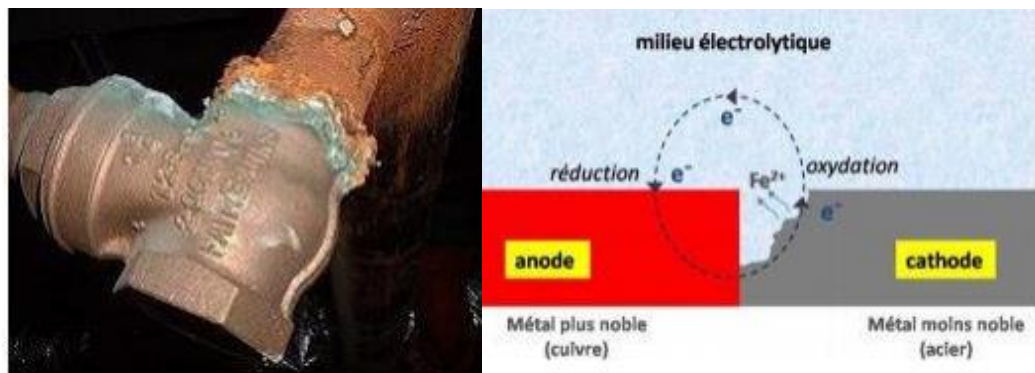


Figure I-2 : Exemple et schéma explicatif de la corrosion galvanique.

La corrosion caverneuse

Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux zones d'une structure métallique. Il y a alors une attaque des parties métalliques les moins accessibles à l'oxygène [10]. La corrosion caverneuse la plus typique se produit sur les matériaux qui sont passivés préalablement, ou des matériaux qui peuvent facilement être passivés (acier inoxydable, aluminium, alliages d'acier non allié ou faiblement allié dans des milieux plus ou moins alcalins, etc.), lorsque ces matériaux sont exposés à des espèces agressives (par exemple chlorures) qui peuvent conduire à une rupture locale de la couche d'oxyde de surface [11].

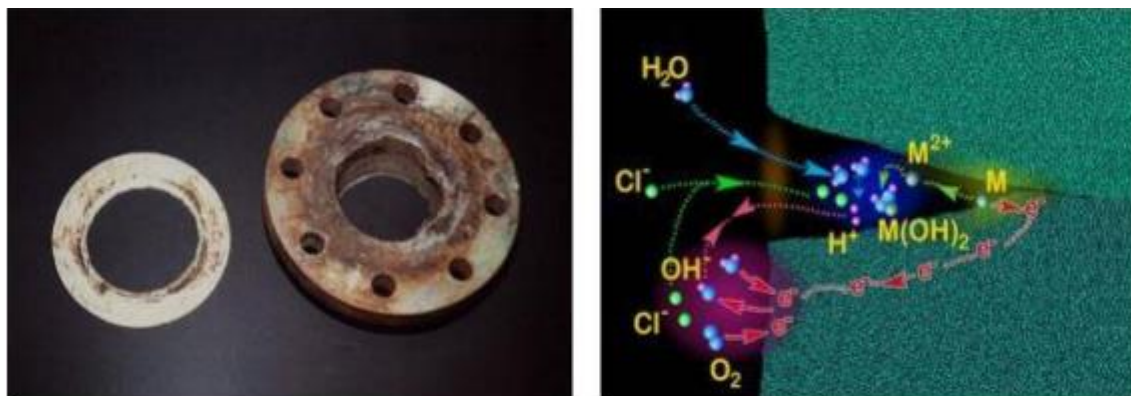


Figure I-3 : Exemple et schéma explicatif de la corrosion caverneuse.

Corrosion par piqûres

C'est une forme de corrosion qui se produit par certains anions, notamment les ions chlorures, sur les métaux dit « passibles » (aluminium, chrome, cobalt, cuivre, acier inoxydable, acier dans le béton, etc.) qui sont protégés par un film d'oxyde passif (figure I-5). Cette forme de corrosion est particulièrement insidieuse, l'attaque se limite à des piqûres, très localisées et pouvant progresser

très rapidement en profondeur, alors que le reste de la surface reste indemne. L'installation peut être perforée en quelques jours sans qu'une perte de poids appréciable de la structure apparaisse [12].

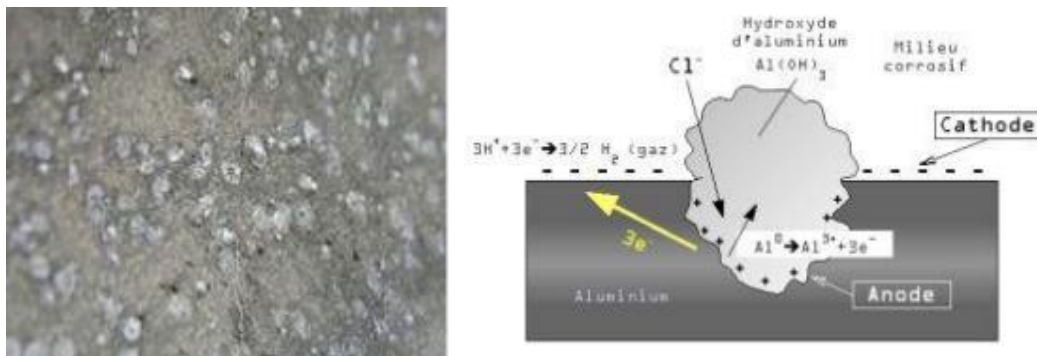


Figure I-4 : Exemple et schéma explicatif de la corrosion par piques.

Corrosion intergranulaire

C'est une attaque sélective aux joints de grains, par suite d'hétérogénéités locales : appauvrissement de l'un des constituants ou au contraire, enrichissement par suite de précipitation lors d'un traitement thermique par exemple. Il a alors création de piles locales avec dissolution des zones anodiques [12].

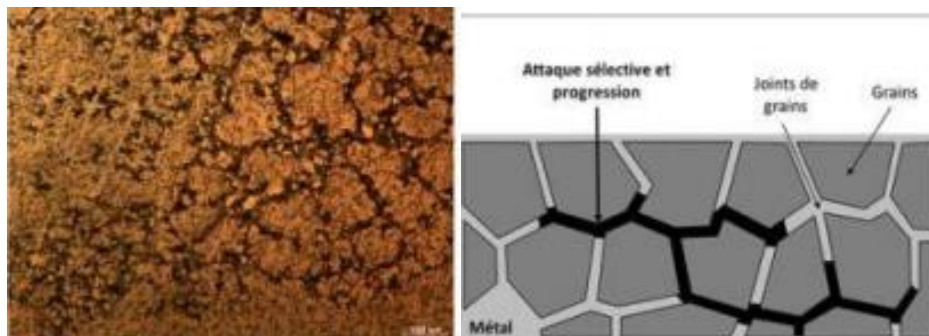


Figure I-5 : Exemple sur la corrosion intergranulaire.

Corrosion sélective

Comme son nom l'indique, ce mode de corrosion se traduit par la dissolution sélective de l'un des éléments de l'alliage si celui-ci est homogène, ou de l'une des phases si l'alliage est polyphasé, conduisant ainsi à la formation d'une structure métallique poreuse. La dézincification (dissolution sélective du zinc) dans un laiton est l'exemple le plus connu (figure I-6) [9]

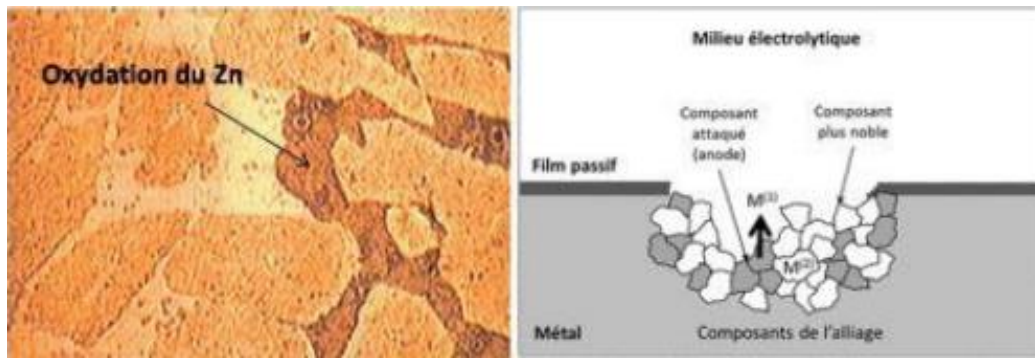


Figure I-6 : Exemple et schéma explicatif de la corrosion sélective.

Corrosion érosion

Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a lieu, souvent, sur des métaux exposés à un écoulement rapide d'un fluide (air, eau, etc.) (Figure I-7). La plupart des métaux et alliages y sont sensibles, en particulier les métaux mous (cuivre, plomb, etc.) ou ceux dont la résistance à la corrosion dépend de l'existence d'un film superficiel (aluminium, aciers inoxydables) [9]

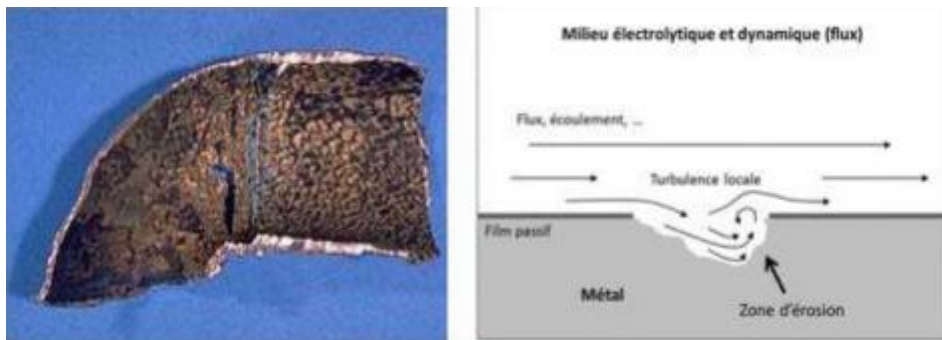


Figure I-7 : Exemple pratique et schéma explicatif de l'érosion.

Corrosion par frottement

C'est la détérioration qui se produit à l'interface entre des surfaces en contact, à la suite de la conjugaison de la corrosion et d'un faible glissement réciproque des deux surfaces.



Figure I-8 : Exemple de la tribocorrosion.

Corrosion sous contrainte

Ce type de corrosion correspond à une fissuration du métal qui résulte d'une action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique (figure I-9). Elle se définit comme un processus de développement de fissures, pouvant aller jusqu'à la rupture complète de la pièce sous l'action combinée d'une tension mécanique et d'un milieu corrosif [12].

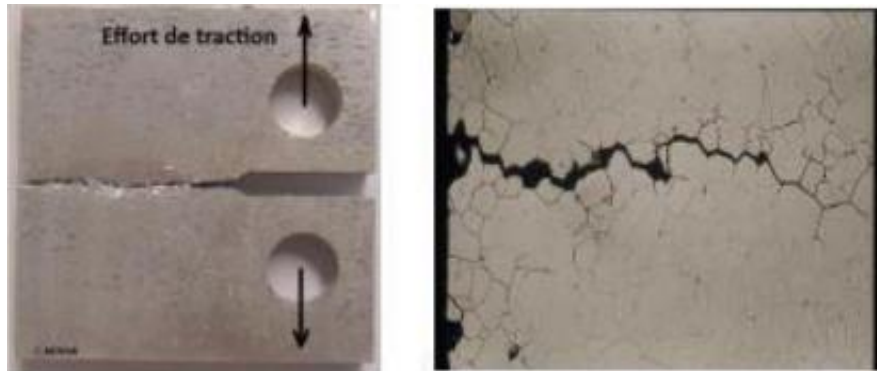


Figure I-9 : Aspect de la corrosion sous contrainte.

Fragilisation par hydrogène

La présence d'hydrogène dans un réseau métallique génère de très fortes pressions à l'intérieur du métal pouvant aboutir à une rupture différée (figure I-10). Ces atomes d'hydrogène ont pour origine: l'atmosphère environnante, les procédés d'électrolyse et la corrosion électrochimique [13].



Figure I- 10 : Fragilisation par hydrogène d'une pièce métallique.

I.A.4. Les facteurs de la corrosion

La corrosion étant un problème d'interface métal/milieu, il est possible de classer les facteurs qui influencent le processus en deux grandes catégories : les facteurs liés au milieu et ceux liés au métal

Tableau I-1 : Principaux facteurs de corrosion [14]

Facteurs du milieu Corrosif	Facteurs Métallurgiques	Facteurs définissant Les conditions d'emploi	Facteurs dépendant du temps
<ul style="list-style-type: none"> •Concentration du réactif •Teneur en oxygène •pH du milieu •Température •Pression 	<ul style="list-style-type: none"> •Composition de l'alliage •Procédés d'élaboration •Impuretés •Traitement thermique •Traitement mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> •Etat de surface •Forme des pièces •Emploi d'inhibiteur •Procédés d'assemblage 	<ul style="list-style-type: none"> •Etat de surface •Forme des pièces •Emploi d'inhibiteur •Procédés d'assemblage

I.A.5. La vitesse de corrosion

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend de :

Effet de la température

Elle accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport.

Effet de l'acidité

Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu. la corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu.

I.B. GENERALITE SUR L'ADSORPTION

I.B.1. Définition

Il s'agit de l'adsorption d'un inhibiteur à la surface du métal. Le degré d'inhibition dépend alors de l'équilibre entre espèces dissoutes et adsorbées, exprimé par une isotherme d'adsorption. Le mécanisme est particulièrement important en milieu acide.[16]

I.B.2. Type d'adsorption

L'adsorption des composés organiques peut être décrite par deux principaux types d'interaction à savoir l'adsorption physique et chimie. Ces deux types d'adsorption sont influencés par la nature et la charge du métal, la structure chimique du produit organique et le type d'électrolyte.[17]

I.B.2.a. Adsorption physique

Ce phénomène est dû aux forces faibles, du type Van Der Waals, entre les espèces adsorbées et la surface. Phénomène réversible, il n'implique aucune énergie d'activation.

I.B.2.b. Adsorption chimique

Une chaleur d'adsorption plus élevée caractérise l'adsorption chimique, qui implique des liaisons fortes. Ce processus nécessite parfois une énergie d'activation. Généralement, une seule couche d'atomes ou de molécules est adsorbée [18].

I.C. ISOTHERMES D'ADSORPTION

Une isotherme est une fonction qui décrit la quantité adsorbée (Q) en fonction de la concentration à température constante. L'allure des isothermes d'adsorption à une température donnée dépend des interactions adsorbant/adsorbât et en particulier de la nature de l'espèce adsorbée et de la nature de la surface du solide. Plusieurs modèles d'isothermes d'adsorption sont proposés et ils diffèrent par leurs conditions de validité.

I.D. METHODES DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION

Différentes mesures sont prises pour protéger les matériaux métalliques contre l'action destructive par corrosion des milieux acides. La protection la plus fiable immédiate est la prévention à la corrosion par le choix des métaux ou alliages résistants aux milieux agressifs. La protection contre la corrosion doit être considérée, dès la phase de conception d'une installation, pour éviter de nombreux problèmes et garantir une certaine durée de vie. La solution adoptée doit être compatible avec les prescriptions concernant la protection de l'environnement et permettre le recyclage ou l'élimination des différents composants à la fin de leur utilisation. Il existe plusieurs techniques de protection :

- Prévention par une forme adaptée des pièces.
- Prévention par un choix judicieux des matériaux.
- Protection par revêtements.
- Protection par inhibiteurs.
- Protection électrochimique. [16]

Dans notre étude, nous nous sommes intéressées à la protection de la corrosion par l'utilisation d'inhibiteurs

I.E. GENERALITE SUR LE PLANS D'EXPERIENCE

Actuellement, de nombreux procédés de fabrication ou expérimentaux deviennent de plus en plus complexes en raison de la multiplicité des variables impliquées, rendant leur contrôle intuitif difficile.

Les expériences demeurent l'unique moyen de saisir et de modéliser de tels phénomènes complexes. Cependant, leur exécution sans une méthodologie rigoureuse peut conduire à des impasses, telles que des modèles impossibles à ajuster ou des résultats incohérents.

Afin de surmonter ces défis, il est impératif de réduire le nombre d'essais nécessaires tout en

maintenant la qualité des résultats. C'est là que la méthode des plans d'expériences intervient comme une solution recommandée pour optimiser cette approche. Son objectif essentiel est d'obtenir un maximum d'informations tout en réalisant un minimum d'essais, tout en établissant des liens entre les facteurs influençant le phénomène étudié et la variable considérée.

Dans le contexte industriel, où minimiser les essais se traduit par un gain de temps et de productivité, cette approche revêt une importance cruciale. Les entreprises cherchent constamment à atteindre la meilleure qualité au coût le plus bas possible, rendant l'application de la méthode des plans d'expériences indispensable.

I.F. LES INHIBITEURS

I.F.1. Protection de la corrosion par les inhibiteurs

Conformément à la définition donnée par la Association Nationale des Ingénieurs en Corrosion (NACE) « un inhibiteur c'est une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration » [17]. La diminution de la vitesse de corrosion est réalisée soit en limitant les réactions chimiques ou électrochimiques, en agissant sur le processus anodique, cathodique ou mixte, soit en modifiant l'agressivité de l'électrolyte à l'interface matériau/milieu [18]. La protection de la surface du matériau par un inhibiteur de corrosion peut être, une protection permanente ou temporaire (pendant le stockage par exemple) [19]. Ainsi, l'inhibiteur doit obéir à plusieurs exigences telles que la diminution de la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter les caractéristiques physiques ; une bonne efficacité inhibitrice à faible concentration et une stabilité en présence des autres constituants du milieu ou aux différentes températures d'utilisation. Comme les normes européennes sont très strictes en ce qui concerne la toxicité, un inhibiteur doit être aussi compatible avec celle-ci et, bien sûr, d'un point de vue économique. Le choix des inhibiteurs de corrosion à des fins pratiques, est basé sur la connaissance de leur mécanisme d'action.

I.F.2. Propriétés des inhibiteurs

Partant de la définition d'un inhibiteur de corrosion, ce dernier doit donc vérifier un certain nombre de propriétés fondamentales [19] :

Abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans en affecter les caractéristiques physicochimiques, en particulier la résistance mécanique (par exemple, risque de fragilisation par l'hydrogène en milieu acide) :

- Être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants ;
- Être stable aux températures d'utilisation ;
- Être efficace à faible concentration ;

- Peu onéreux par rapport aux économies ;
- Être compatible avec les normes en vigueur de non-toxicité et de protection de l'environnement

I.F.3. Domaines d'application

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

- Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux de procédés industriels, etc.) ;
- L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport.
- L'industrie des peintures sur métaux où les inhibiteurs sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux. [20]

I.F.4. Classification des inhibiteurs de corrosion

Généralement, les inhibiteurs de corrosion sont classés en fonction du domaine d'application, de la composition chimique (inhibiteur organique ou minéral), de la réaction partielle (inhibiteur cathodique, anodique ou mixte) ou du mécanisme réactionnel mis en jeu (adsorption et/ou formation d'un film), le diagramme de la (figure I-11) regroupe les différentes classes.[21] ; [22]

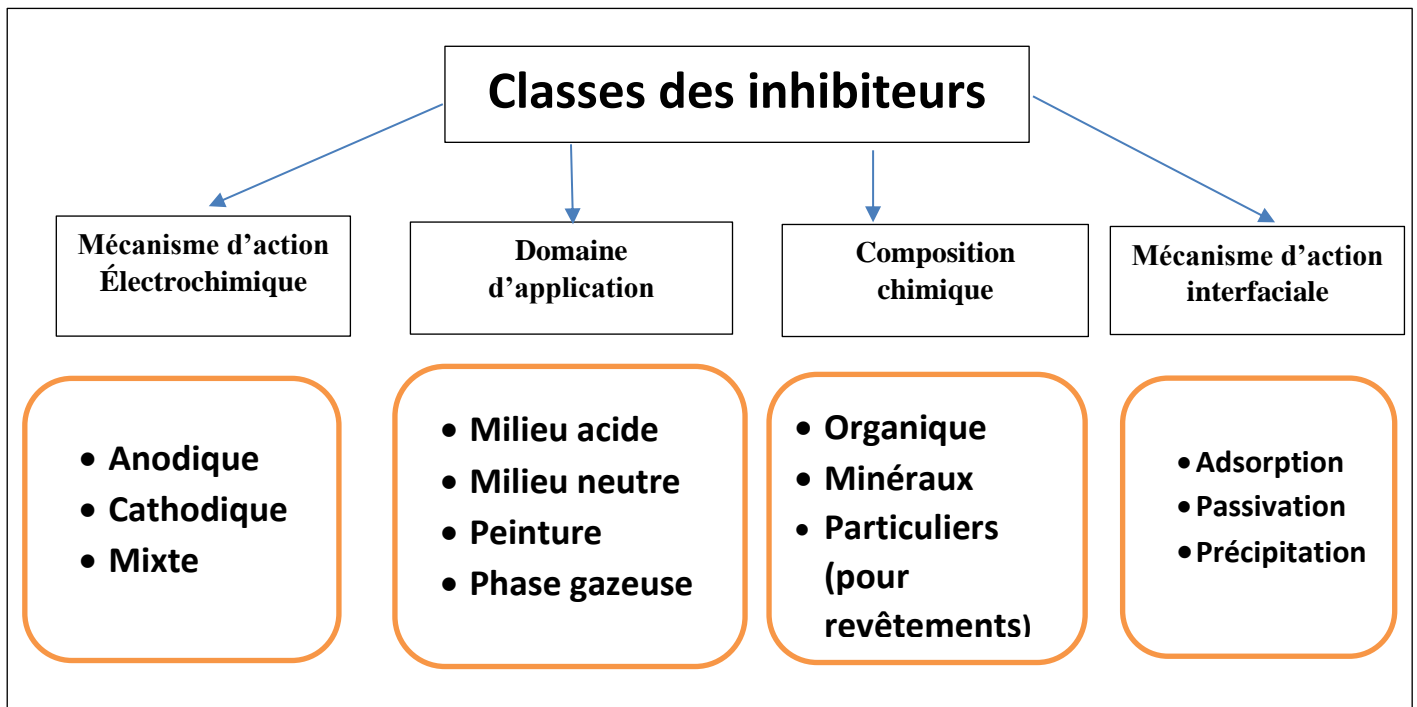


Figure I-11 : Schéma regroupant la différente classification des inhibiteurs.

I.F.5. Les types d'inhibiteur de corrosion

Le domaine d'utilisation des inhibiteurs recouvre les milieux acides, la vapeur et les eaux de refroidissement. En général, les inhibiteurs sont classés en fonction de leur mode d'action. On distinguera ainsi

I.F.5.a. Les inhibiteurs minéraux

Inhibiteurs anodiques

Les inhibiteurs anodiques diminuent la densité de courant de dissolution du métal et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif. Ce type d'inhibiteurs doit être utilisé en quantité suffisante car dans le cas contraire, ils peuvent accentuer la corrosion des zones non protégées.

Inhibiteurs cathodiques

Un inhibiteur cathodique diminue la densité du courant partiel cathodique et déplace le potentiel de corrosion dans le sens négatif. Ceci se produit par la précipitation de l'espèce insoluble sur les sites cathodiques. Des ions de zinc sont utilisés en tant qu'inhibiteurs cathodiques en raison de la précipitation de $Zn(OH)_2$ aux sites cathodiques.

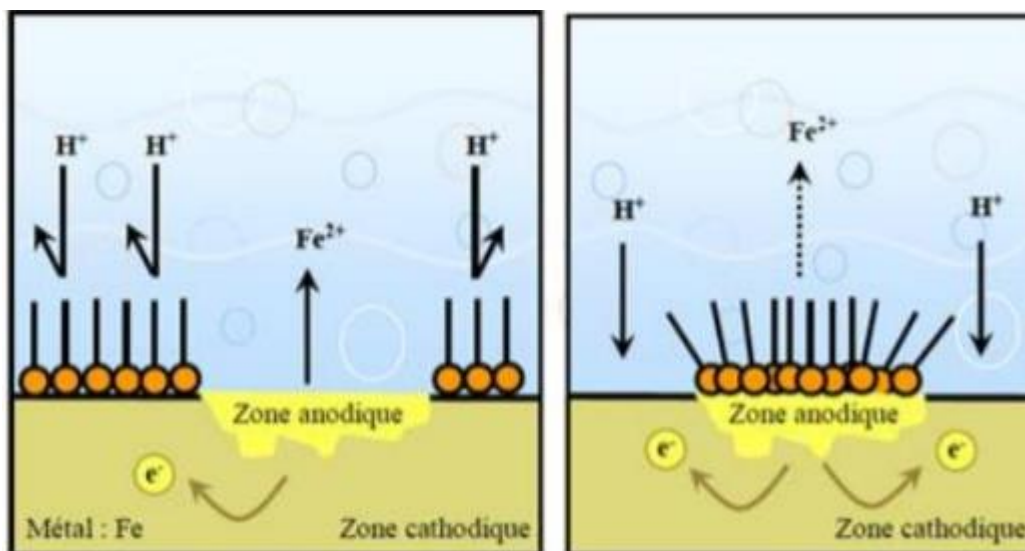


Figure I-12 : Exemple Inhibiteurs cathodiques.

Inhibiteurs mixtes

Un inhibiteur mixte diminue la vitesse des deux réactions partielles mais il modifie peu le potentiel de corrosion

I.E.5.b Les inhibiteurs organiques

L'Amidoamines, éthanol amines, aldéhydes, mercaptans, sont des molécules à chaînes longues capables de se fixer à la surface du métal par une de leurs extrémités.[23]

I.F.6. Les conditions de fonctionnement des inhibiteurs

La nature du métal : un inhibiteur efficace sur le fer ne l'est pas nécessairement sur le Cuivre, c'est-à-dire la protection de deux métaux nécessite deux inhibiteurs [24,25].

La concentration en inhibiteur : il existe une concentration minimale efficace qu'il est important de connaître, mais aussi maximale qu'il ne faut dépasser [26,27].

La température : l'inhibiteur perd en général ses propriétés protectrices à une Température élevée [28].

La propreté de la surface métallique : Une surface propre nécessitera une plus faible quantité du même produit qu'une surface encrassée par des produits de corrosion préexistants [29].

La nature du milieu : la présence d'ions agressifs (Cl^- ; SO_4^{2-} , NO_3^- ;) peut modifier le comportement d'un inhibiteur.

I.F.7. Mécanismes et principes d'action

Les inhibiteurs de corrosion n'ont pas un mode d'action propre, unique, mais ils sont liés au système de corrosion. Un inhibiteur peut agir comme une barrière entre le métal et le milieu corrosif, et celle-ci peut être préexistante (couche d'oxyde ou d'hydroxyde déjà formée). Dans ce cas les mécanismes font intervenir le plus souvent des processus d'adsorption et de blocage de surface le mode d'action peut aussi être de nature cinétique, l'inhibiteur peut alors ralentir la vitesse de la réaction cathodique ou de la réaction anodique ou agir simultanément sur les deux. L'inhibition peut aussi résulter de la formation d'un composé insoluble qui colmate les zones sensibles et la vitesse de corrosion diminue alors avec le temps.

I.G. RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA POLY(N-VINYLPYRROLIDONE) ET SES DERIVES UTILISES COMME INHIBITEURS

La poly (N-vinylpyrrolidone) iodée, plus connue sous le nom de la povidone iodée est sous forme de solide poudreux, brun-jaune à odeur caractéristique, ayant masse volumique de 1,225 g/mL à 20 °C et est soluble dans l'eau, il a un pH approximatif de 2,0 dans une solution aqueuse à 10 % [30].

L'effet des composés des dérivés PVP-I sur le comportement de corrosion du fer et l'acier dans les solutions acides a été bien étudié. Il a montré que les propriétés protectrices de tels composés dépendent de leur capacité de réduire le taux de corrosion. Ainsi, nous allons décrire d'une façon succincte des travaux récents, traitant particulièrement, le domaine de la protection du fer et de l'acier contre la corrosion en milieu acide par ces copolymères.

La polyvinylpyrrolidone est un polymère provenant de la polymérisation d'un monomère de N-vinylpyrrolidone. Cette polymérisation peut aboutir à différents composés en fonction du procédé utilisé.

La poly (N-vinylpyrrolidone) (PVP-I) est un polymère hydrophile doué des propriétés fortes intéressantes, son introduction dans de nouveaux matériaux est susceptible de leur conférer un large aspect d'application.

En effet la poly (N-vinylpyrrolidone) est un polymère qui possède un pouvoir complexant vis-à-vis de certains réactifs [34 - 35], il est capable de former des liaisons hydrogènes et présentant une excellente biocompatibilité et une très faible toxicité [36 - 37].

C'est un très intéressant agent stabilisant et possède des caractéristiques adhésives [38 - 39]. La fixation d'une fonction terminale sur la PVP-I n'est généralement pas suffisante pour modifier ses propriétés physico-chimiques et mécaniques [40 - 41]. Les complexes de poly électrolytes sont efficaces dans la dépollution des eaux. Ils peuvent être employés dans la rétention sélective des ions de métaux lourds [42].

De plus, il est connu que l'inhibition de la corrosion peut être améliorée par la présence de plusieurs inhibiteurs dans le milieu corrosif. Ce phénomène s'appelle la synergie. En 2004, Larabi et Harek [43] ont étudié l'effet de l'ion iodure sur la corrosion de l'acier doux. Ces auteurs ont observé que le taux d'inhibition maximal était de 78% lorsque la concentration de PVP-I était égale à 250 mg/L et que le milieu corrosif était de 0,5 M. H₂SO₄.

Ainsi que dans la plupart des solvants organiques usuel sa Tg 175 °C. La poly (N-vinylpyrrolidone) (PVP-I) est un polymère hydrophile doué des propriétés fortes intéressantes, son introduction dans de nouveaux matériaux est susceptible de leur conférer un large aspect d'application.

En 2004, Larabi et al. [43] ont utilisé une analyse gravimétrique pour étudier l'effet d'inhibition de la corrosion des ions PVP-I et iodure de potassium sur l'acier à faible teneur en carbone dans une solution de HCl 1 M. La PVP-I a un effet inhibiteur évident, En présence de 0,1% de KI, la concentration est passée de 100 mg /L à 95,20 %. L'effet de la température par mesure d'impédance électrochimique a été vérifié. Ils ont conclu que Le PVP-I est chimiquement adsorbé et a un effet sur le comportement de la cathode et de l'anode de l'acier. Ceci explique nos recherches sur les inhibiteurs de PVP-I.

CHAPITRE 2 :

Partie expérimentale de l'étude

CHAPITRE 2 : Partie expérimentale de l'étude

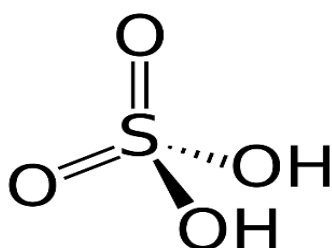
II . INTRODUCTION

Ce chapitre examine et étudier les divers matériaux et produits utilisés, ainsi que la méthode de mesure gravimétrique.

II.A. MILIEU ELECTROLYTIQUE

Nous avons utilisé une solution corrosive (solution acide) des solutions aqueuses préparées de solutions commerciales d'acide sulfurique au cours de cette étude.

Acide sulfurique



Pureté : 95-97 %

Densité 1,84

Masse molaire : 98,08g/mol

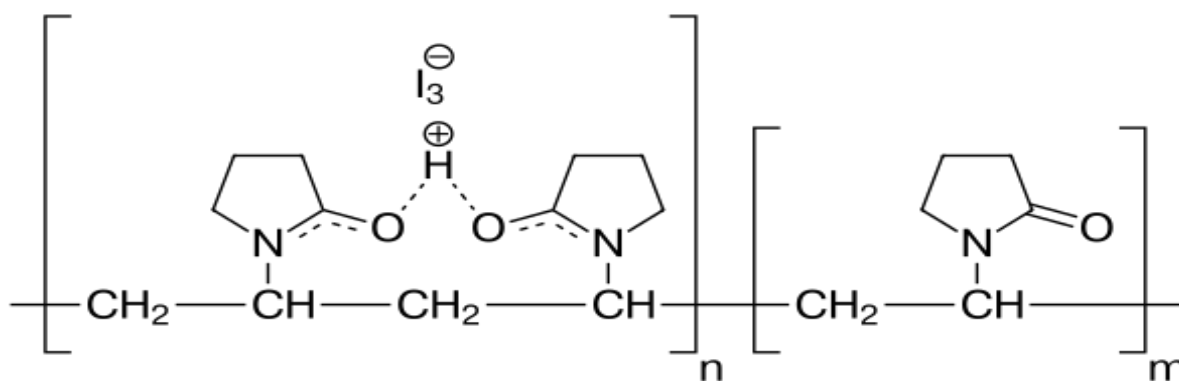
La solution préparée est de 0,5 M en H₂SO₄

CAS : 7664-93-9

SIGMA-ALDRICH

II.A.1. Inhibiteur de corrosion

L'inhibiteur de corrosion utilisé dans cette étude est la poly(N-vinylpyrrolidone) iodée, également appelée povidone iodée, qui possède des propriétés chimiques intrigantes et une solubilité dans l'eau.



Masse volumique : 1,225 g/mL à 20 °C

PH : 2,0 solutions aqueuses à 10%. (PH approximatif)

Ce dernier se trouve sous forme de poudre brun-jaune à odeur caractéristique.

CAS : 25655-41-8 Alfa-Aesar

II.B. DISPOSITIF

- Béchers (50mL)
- Eprouvettes graduées (50mL)
- Fioles jaugées (1L)
- Bouchon en verre
- Entonnoir
- Agitateur magnétique avec chauffage
- Barreau aimanté
- Balance électromagnétique
- Verre de montre
- Spatule
- Pissette
- Des pièces métalliques.
- Des flacons étiquetés avec bouchons
- Une polisseuse a papiers abrasifs.
- Des papiers abrasifs (SAITAC) de granulométrie (SiC400#, SiC800#, SiC1000#, SiC120# (utilisés pour le polissage des échantillons
- Pied à coulisse.
- Un séchoir.
- Des files.
- Polisseuse.
- Un bain marie
- Une balance de précision

II.C. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

II.C.1. Méthode pondérale "La gravimétrie"

La méthode gravimétrique est l'une des techniques les plus anciennes et les plus fondamentales pour étudier la corrosion des métaux. Elle repose sur la mesure de la perte de masse d'un échantillon métallique exposé à un environnement corrosif pendant une période et une température donnée. Voici comment cette méthode fonctionne généralement :

- **Préparation de l'échantillon** : Un échantillon métallique de forme et de taille spécifiques est soigneusement préparé, généralement en polissant sa surface pour éliminer les impuretés et en le pesant précisément pour obtenir sa masse initiale.
- **Exposition à l'environnement corrosif** : L'échantillon est ensuite exposé à l'environnement corrosif de manière contrôlée. Cela peut être fait en le plaçant dans une

solution corrosive, en le soumettant à des conditions atmosphériques spécifiques, ou en le mettant en contact avec d'autres substances corrosives

- **Période d'exposition** : L'échantillon est laissé dans l'environnement corrosif pendant une durée déterminée, qui peut varier en fonction de la nature de la corrosion étudiée et des objectifs de l'expérience.
- **Retrait et nettoyage de l'échantillon** : Après la période d'exposition, l'échantillon est retiré de l'environnement corrosif et soigneusement nettoyé pour éliminer tout produit de corrosion ou dépôt.
- **Mesure de la perte de masse** : L'échantillon est à nouveau pesé avec précision pour déterminer sa masse finale après exposition. La différence entre la masse initiale et la masse finale donne la perte de masse de l'échantillon due à la corrosion.
- **Calcul du taux de corrosion** : À partir de la perte de masse mesurée, le taux de corrosion peut être calculé en divisant la perte de masse par la densité du matériau et la durée de l'exposition. Cela donne une indication de la vitesse à laquelle le métal se corrode dans l'environnement donné.

$$E = \left(1 - \frac{W_{\text{corr}'}}{W_{\text{corr}}}\right) \times 100 \quad (\text{Eq.II.1})$$

Où :

$E(\%)$: Efficacité de l'inhibition

$W_{\text{corr}'}$: la vitesse de corrosion en présence de l'inhibiteur

W_{corr} : La vitesse de corrosion en absence de l'inhibiteur

II.C.2. Protocoles de la mesure gravimétrique

Dans un milieu d'acide sulfurique 0,5 M, différentes concentrations de PVP-I (2,5 ; 5 ; 7,5 et 10^{-3} mg/L) ont été préparées. Après avoir poli les échantillons de pièces métalliques avec de la polisseuse et des papiers abrasifs de 400 à 1200 grains, nous avons calculé les surfaces de chaque côté de chaque pièce avec un pied à coulisse et pesé avant chaque essai. Ensuite, nous avons dégraissé les pièces en les attachant à un fil avec de l'acétone et de l'eau distillée. Après séchage au séchoir, Ces derniers ont été placés dans des bouteilles remplies de solution avec un pourcentage d'inhibiteur connu et enfin placés dans un bain marie pour maintenir la température souhaitée



Figure II-1 : Piece métallique avant et après immersion

II.C.3. Méthodes de détermination de la vitesse de corrosion :

La notion de vitesse de corrosion n'a de sens que si la corrosion se produit uniformément sur toute la surface métallique (corrosion généralisée). Les éléments suivants ont un impact sur la rapidité de cette attaque [46] :

La composition chimique comprend la nature et les proportions des constituants fondamentaux, des additifs et des impuretés.

La microstructure comprend la grosseur des grains, le nombre de phases présentes et la composition de chacune, les défauts structurels, Les caractéristiques technologiques comprennent les méthodes de préparation et de traitement, les conditions de stockage, le transport, l'état et le traitement de surface, tels que la pièce travaillée ou « brute », la rugosité, la couche protectrice naturelle, le film de protection temporaire, etc.

La vitesse de corrosion W_{corr} est donnée par l'expression suivante :

$$W_{corr} = \frac{\Delta m}{t.S} (mg \cdot h^{-1} \cdot cm^{-2}) \quad (Eq.I.2)$$

Δm : étant la perte de masse exprimée en mg.

t : le temps de la mesure en heure.

S : la surface de l'échantillon en cm^2 .

La méthode gravimétrique de mesure de la corrosion est appréciée pour sa simplicité, sa fiabilité et sa capacité à fournir des données quantitatives. Cependant, elle peut être limitée par la nécessité d'une exposition prolongée à l'environnement corrosif et ne fournit souvent qu'une évaluation globale de la corrosion, sans fournir de détails sur les mécanismes spécifiques impliqués.

CHAPITRE 3 :

Résultats et discussions

CHAPITRE 3 : Résultats et discussions

III.A. INTRODUCTION

Dans notre étude, la méthode gravimétrique (la perte de masse) a été utilisée pour déterminer la corrosion de nos échantillons d'acier. Plusieurs paramètres ont été étudiés, y compris l'impact de la concentration, de la température et du temps d'immersion.

Pour augmenter la précision des résultats, ces mesures sont effectuées sur le même échantillon trois fois.

Nous avons utilisé cette méthode avec deux différents métaux (l'acier et le cuivre), et avec deux différents acides (nitrique et sulfurique) avec le même inhibiteur.

III.B. RESULTATS

III.B.1. Choix de milieu corrosif

Il est nécessaire de faire un choix de milieu corrosive pour cela nous avons testé deux milieux afin de voir le milieu où nos inhibiteurs sont efficaces.

Tableau III.1 : Les vitesses de corrosion de l'acier et le cuivre dans HNO_3 1M et H_2SO_4 0,5M et en présence de 10^{-3} mol/L d'inhibiteur à 303 K.

métaux		milieu	
		HNO_3	H_2SO_4
acier	E(%)	6,81	73,97
cuivre		23,14	47,29

D'après le tableau, il nous apparaît clairement que l'efficacité de l'inhibiteur dans l'acier est meilleure que dans le cuivre, et qu'il en est de même dans l'acide H_2SO_4 .

III.B.2. Effet de la concentration

Dans notre étude, nous avons examiné comment l'acier a évolué en termes d'efficacité inhibitrice et de vitesse de corrosion en présence d'un inhibiteur à différentes concentrations de polyvinyl(pyrolidone)-iode et dans un acide seul. Nous avons observé

que la durée optimale d'immersion est de 2 heures, car à cette température, l'efficacité reste stable.

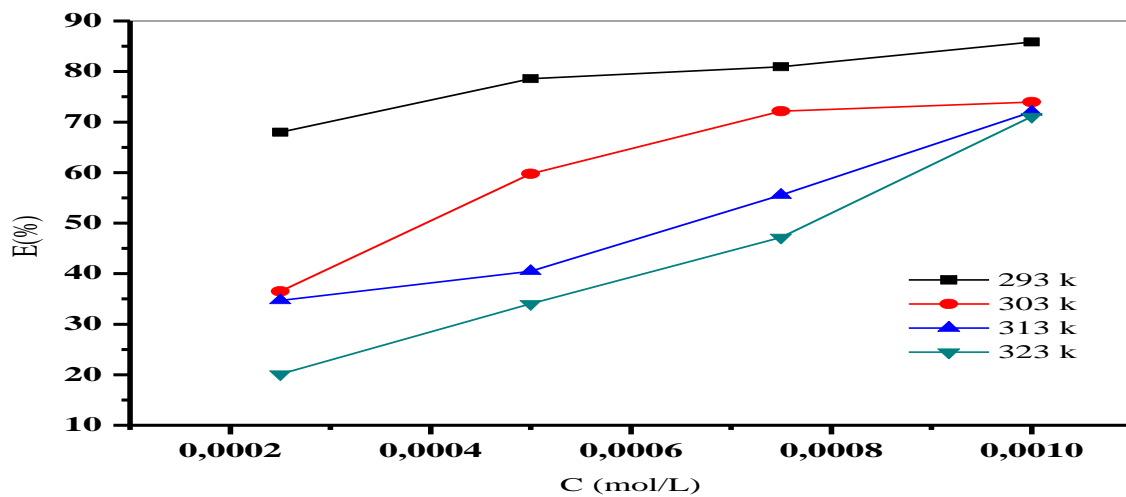


Figure III-1 : l'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations en inhibiteurs à 4 températures différentes.

La figure III-1 met en évidence de manière évidente que l'efficacité augmente en fonction de la concentration en inhibiteur à diverses températures. Il est possible d'observer une stabilisation de la corrosion, c'est-à-dire une concentration maximale d'inhibiteur pour une concentration optimale de 10^{-3} M de PVP-I et $0,5\text{M H}_2\text{SO}_4$

Tableau III-2 : L'efficacité inhibitrice pour différentes concentrations en inhibiteurs et à différentes températures.

T (K) \ C (mg/L)	293	303	313	323
$2,5 \times 10^{-4}$	67,99	36,50	23,40	15,24
5×10^{-4}	73,56	59,77	40,48	34,04
$7,5 \times 10^{-4}$	80,93	72,16	55,56	47,17
10^{-3}	85,85	73,97	72,81	66,40

Le tableau présente les résultats de l'efficacité inhibitrice liée à la corrosion de nos échantillons métalliques dans le H_2SO_4 , qui évoluent avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur et diminuent avec l'augmentation de la température.

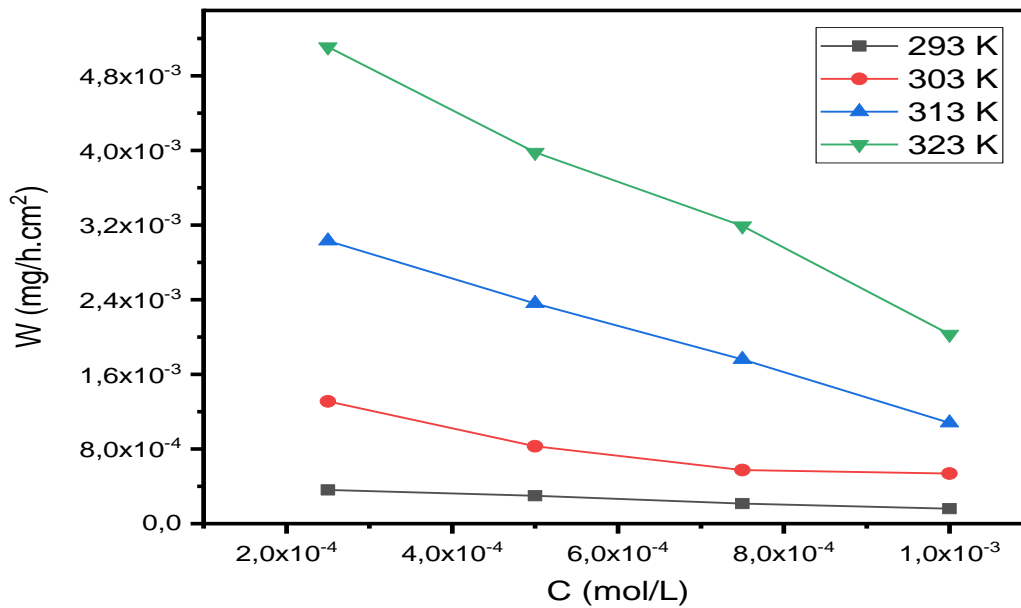


Figure III-2 : La vitesse de corrosion pour différentes concentrations en inhibiteurs et à différentes températures.

La vitesse de corrosion varie en fonction des concentrations en inhibiteurs et des températures.

III.B.3. Effet du temps d'immersion

Parmi les éléments qui influencent la vitesse de corrosion de l'acier, on retrouve le temps d'immersion que nous avons mesuré en prenant différents temps tels que, 1, 2, 3 et 5 heures. Nous avons également calculé leur efficacité inhibitrice comme illustré dans la figure III-3. De plus, nous avons également calculé leurs pertes de masse à la concentration optimale de $10^{-3}M$, car c'est la valeur où l'efficacité est maximale. À 293 K, nous avons également calculé leur vitesse de corrosion.

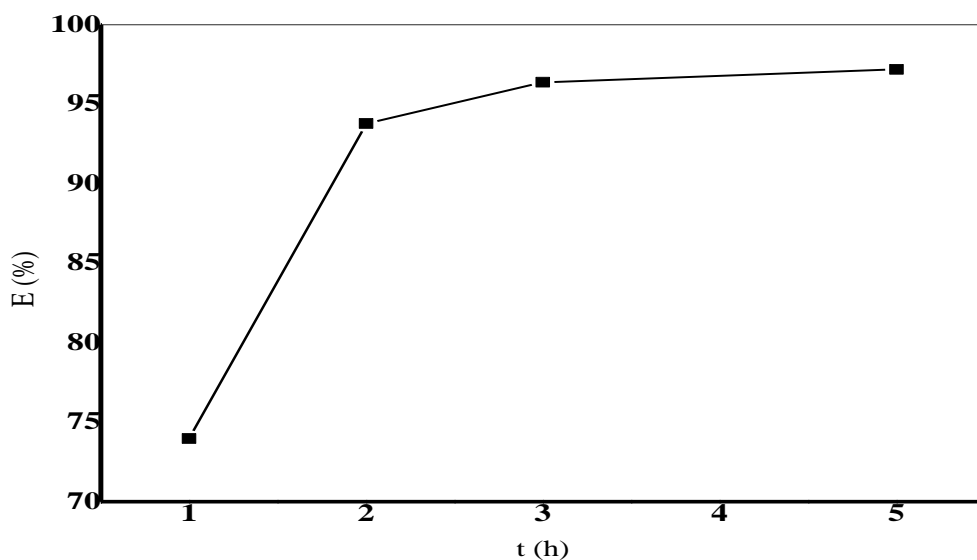


Figure III-3 : L'efficacité inhibitrice pour différents temps et à une concentration en inhibiteur de 10^{-3}M et une température de 293 K

Selon les résultats de la figure III-3, l'augmentation du temps de l'échantillon immergé entraîne une diminution de l'efficacité inhibitrice.

Tableau III-3 : La perte de masse et l'efficacité pour différents temps d'immersion.

Temps (h)	$\Delta m/S$	%E
1	0,00603	73,97
2	0,0136	93,78
3	0,02328	96,38
5	0,04115	97,19

A partir de 2h le temps d'inhibition reste presque stable

Le tableau III-3 illustre la variation de la perte de masse Δm en fonction du temps d'immersion pour le H_2SO_4 , à une température de 293 K et une concentration optimale de 10^{-3}M

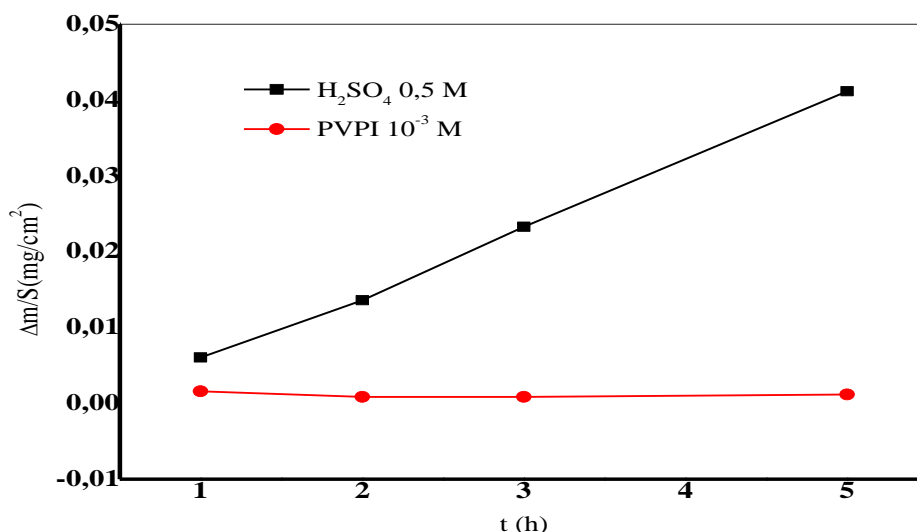


Figure III-4 : Perte de poids en fonction du temps d'immersion de l'acier dans 0,5 M H₂SO₄, Sans et avec inhibiteur 10⁻³M mol/L de PVP-I à 293 K

La figure montre clairement que la perte de masse d'acide seul augmente proportionnellement avec le temps d'immersion.

III.B.4. Effet de la température

Nous avons analysé comment l'efficacité inhibitrice a été évoluée et la vitesse de corrosion a augmenté en présence et en absence d'inhibiteur à différentes températures pendant une immersion optimale de 2 heure.

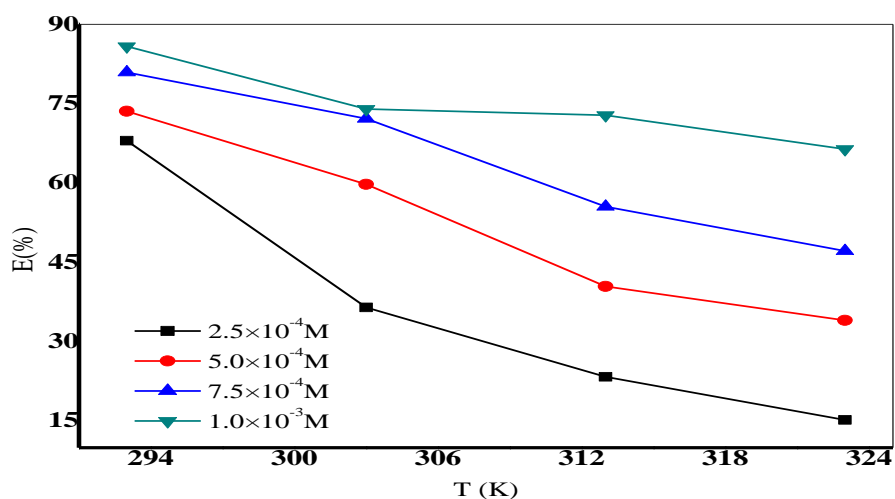


Figure III-5 : Les efficacités inhibitrices en fonction de la variation de la température à différentes concentrations en inhibiteurs

Dans la figure III-5 on remarque que l'efficacité d'inhibition diminue avec l'augmentation de la température tout en augmentant la concentration de l'inhibiteur. Cela implique que la résistance à la corrosion diminue lorsque la température est élevée.

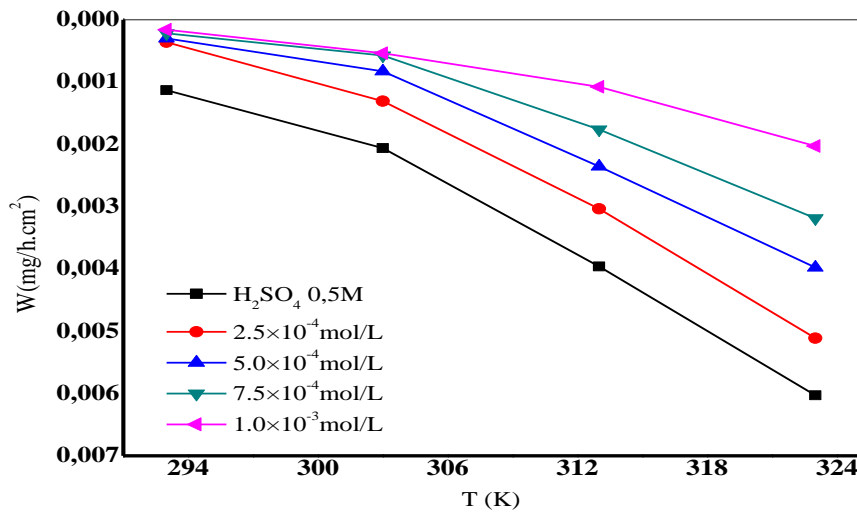


Figure III-6 : la vitesse de corrosion pour différentes températures en inhibiteurs.

Dans la Figure III-6 nous avons illustré comment la vitesse de corrosion devient plus rapide pour un acide seul et à différentes concentrations d'inhibiteur en fonction de la température. L'augmentation rapide de toutes les vitesses est observée avec le chauffage, et plus la concentration en inhibiteur augmente, plus la vitesse diminue.

III.B.5. Calculs de l'énergie d'activation :

Afin de calculer l'énergie d'activation nous allons faire appel à l'équation suivante [43] :

$$\ln(W) = \frac{-E_a^\circ}{RT} + A \quad (\text{Eq.III.1})$$

Avec :

E_a° : l'énergie d'activation (kJ. mol⁻¹).

T : température (K).

A : constante d'Arrhenius.

R=8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹

Pour obtenir le calcul de l'énergie d'activation, le Ln(W) a été tracé en fonction de l'inverse de la température. La pente obtenue est égale à $-E_a/R$, ce qui nous permet de dire que :

$$E_a^\circ = -R \times a \quad (\text{Eq.III.2})$$

Comme peut le montrer la figure III-7

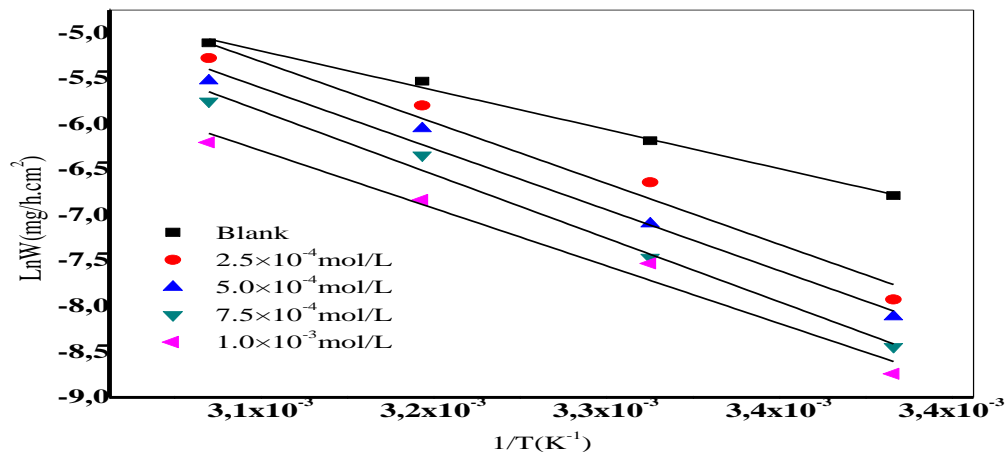


Figure III-7 : Le logarithme népérien de la vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de températures a des différentes concentrations.

Dans ces résultats, il est possible de conclure que l'incorporation d'un inhibiteur entraîne une modification des valeurs de l'énergie d'activation apparente, ce qui suggère que la barrière énergétique de la réaction de corrosion augmente en présence d'inhibiteurs sans altérer le mécanisme de dissolution [49].

III.B.6. Calculs des paramètres thermodynamiques

Pour déterminer l'enthalpie et l'entropie de l'activation en utilisant l'équation alternative d'Arrhenius :

$$\ln(W/T) = [\ln(R/(Nh) + \Delta S_a^\circ / R) - \Delta H_a^\circ / RT] \quad (\text{Eq.III.3})$$

Avec :

ΔH_a° : L'enthalpie d'activation (kJ/mol).

ΔS_a° : L'entropie d'activation (J/mol.K)

$$h = 6,6261 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$NA = 6,02252 \times 10^{23}$$

$$\Delta G_a^\circ = \Delta H_a^\circ - T\Delta S_a^\circ \quad (\text{Eq.III.4})$$

Avec :

ΔG_a° : l'enthalpie libre d'activation (kJ/mol).

La variation de $\ln(W/T)$ en fonction de l'inverse de la température est une droite, avec une pente égale à $(\Delta H_a^\circ/R)$ et une ordonnée à l'origine b égale à $(\ln R/Nh + \Delta S_a^\circ/R)$ [48].

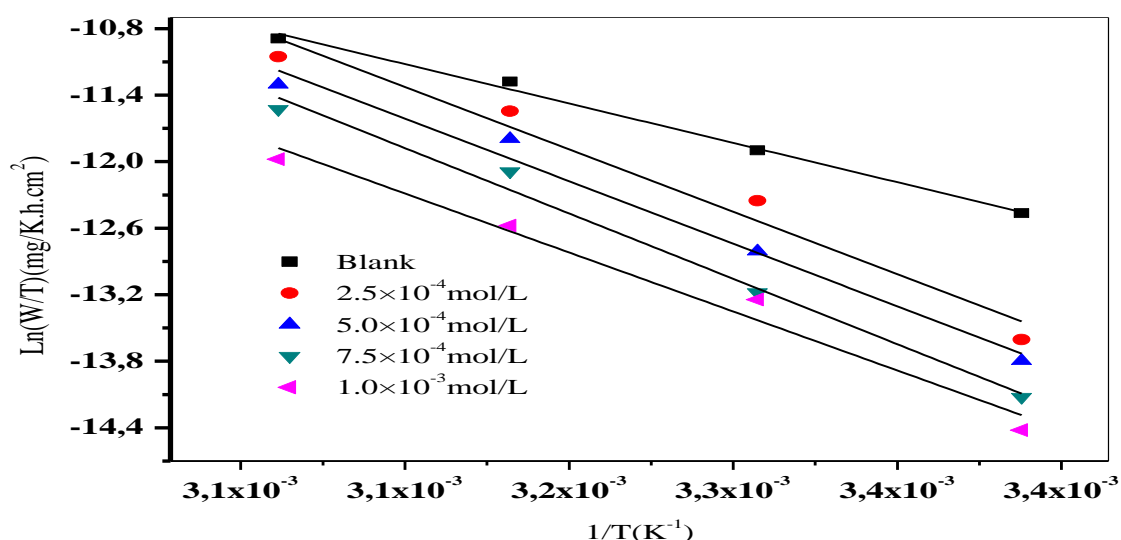


Figure III-8 : Ln(W/T) en fonction de (1/T)

Tableau III- 4 : Les enthalpies et entropies pour différentes concentrations en inhibiteur

C	R ²	E _a (kJ/mol ⁻¹)	R ²	ΔH _a ^o (kJ/mol)	E _a ^o - ΔH _a ^o	ΔS _a ^o (J/mol.K)	ΔG _a ^o (kJ/mol)
Blank	0,99352	44,73	0,9926	42,17	2,55	-157,14	90,56
2,5×10 ⁻⁴	0,96027	69,47	0,95685	66,89	2,58	-80,98	91,83
5×10 ⁻⁴	0,98037	69,53	0,9786	67,00	2,53	-83,01	92,56
7,5×10 ⁻⁴	0,98585	72,54	0,98481	70,02	2,52	-75,71	93,31
10 ⁻³	0,97257	65,68	0,97022	63,19	2,48	-100,62	94,18

Le signe positif de ΔH_a^o indique que la dissolution de l'acier a été difficile lorsque la température augmentait, ce qui suggère que le processus de dissolution de l'acier est endothermique.[48,49,50]. Les valeurs positives de ΔG_a^o indiquent la non-spontanéité du processus [51- 59].

ΔS_a^o a des valeurs négatives, ce qui indique une réduction du désordre qui se produit lors de la formation du complexe métal/espèces adsorbées. [52].

Les valeurs de E_a^o mentionnées dans le tableau ont été plus élevées en présence d'extrait qu'en l'absence, ce qui suggère une action inhibitrice de l'extrait en augmentant la barrière énergétique du processus de corrosion, mettant en évidence l'adsorption physique [54]

III.B.7. Isothermes d'adsorption

On peut expliquer l'inhibition de la corrosion des métaux par l'adsorption de composés organiques et inorganiques. Elle dépend de la charge du métal, de sa nature, de la structure chimique du produit organique et du type d'électrolyte [55].

Pendant cette étude, pour déterminer l'isotherme d'adsorption la plus importante, nous avons examiné différents types d'isothermes tels que Langmuir, Temkin et Frumkin. Nous avons choisi l'isotherme de Langmuir car elle présente un coefficient de corrélation très proche de l'unité par rapport aux autres isothermes.

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -RT \ln (5,55.K) \quad (\text{Eq.III.5})$$

ΔH_{ads}° : L'enthalpie d'adsorption de l'inhibiteur (kJ/mol).

ΔS_{ads}° : l'entropie d'adsorption de l'inhibiteur (J/mol.K).

ΔG_{ads}° : l'enthalpie libre d'adsorption de l'inhibiteur (kJ/mol).

K_{ads} : constante d'équilibre (L/mol).

Le tableau regroupe les valeurs des énergies d'adsorption (ΔG_{ads}° , ΔH_{ads}° et ΔS_{ads}°).

Tableau III- 5 : Énergies standards d'adsorption

T	K_{ads}° (L/mol)	ΔH_{ads}° (kJ/mol)	ΔS_{ads}° (J/mol.K)	ΔG_{ads}° (kJ/mol)
293	79,90	-67,49376	-0,122	-31,67
303	23,40		-0,124	-29,66
313	10,00		-0,124	-28,42
323	6,16		-0,122	-28,03

La haute valeur de la constante d'équilibre à basse température témoigne de la forte adsorption de PVP-I sur la surface de l'acier au carbone [56]. L'adsorption de cet inhibiteur sur la surface de l'acier dans la solution d'acide sulfurique est exothermique ($\Delta H_{ads}^{\circ} < 0$) [57]. La présence de valeurs négatives de ΔG_{ads}° témoigne de la spontanéité de l'adsorption de l'inhibiteur sur la surface métallique [53]. Dans la littérature, les valeurs de ΔG_{ads}° proches de -40 kJ mol^{-1} ou plus négatives suggèrent un transfert de charge entre les molécules organiques et la surface métallique, ce qui indique un mode d'adsorption chimique [55]. En revanche, celles proches de -20 kJ/mol ou moins négatives sont associées à des interactions électrostatiques entre les molécules chargées et le métal chargé, ce qui indique un mode d'adsorption physique (physisorption) [55]. Au cours de notre étude, nous avons obtenu des valeurs de ΔG_{ads}° varie entre -28 et -31 kJ/mol ce qui signifie que nous avons une adsorption mixte (chimique et physique). On peut en déduire que l'adsorption de PVP-I sur la surface de l'acier au carbone est physique à différentes températures. Le symbole négatif de l'entropie correspond à une diminution de celle-ci lors du processus d'adsorption.

III.C. ETUDE L'EFFICACITE DU PVP-I PAR LE PLAN D'EXPERIENCE :

Le plan d'expérience constitue une approche idéale pour exploiter des modèles hypothétiques afin de prédire la réponse avec le minimum d'essais et la plus grande précision possible. Les plans d'expérience ont commencé à se développer en 1925 grâce aux recherches de Fisher [60].

Le plan d'expérience a été élaboré dans le but d'obtenir des précisions pour des valeurs non testées selon trois cycles. La température, le temps d'immersion et la concentration d'inhibiteur ont été définis comme variables indépendantes, tandis que l'efficacité d'inhibition a été établie comme variable de réponse. Un total de 17 essais expérimentaux ont été réalisés pour obtenir les réponses des variables dépendantes indiquées dans le plan expérimental (Tableau III-6).

Tableau III-6 : Matrice des expériences réalisées

Exp No	Exp Name	Run Order	Incl/Excl	Concentration	Température	temps	%E
1	N1	17	Incl	0,00025	20	0,5	61,47
2	N2	4	Incl	0,001	20	0,5	80,58
3	N3	3	Incl	0,00025	50	0,5	11,78
4	N4	14	Incl	0,001	50	0,5	63,12
5	N5	10	Incl	0,00025	20	1,5	71,39
6	N6	13	Incl	0,001	20	1,5	90,58
7	N7	12	Incl	0,00025	50	1,5	20,14
8	N8	9	Incl	0,001	50	1,5	74,23
9	N9	11	Incl	0,00025	35	1	36,35
10	N10	8	Incl	0,001	35	1	70,01
11	N11	16	Incl	0,000625	20	1	75,36
12	N12	15	Incl	0,000625	50	1	41,78
13	N13	7	Incl	0,000625	35	0,5	51,11
14	N14	6	Incl	0,000625	35	1,5	63,28
15	N15	5	Incl	0,000625	35	1	57,17
16	N16	1	Incl	0,000625	35	1	57,55
17	N17	2	Incl	0,000625	35	1	57,96

L'équation polynomiale décrivant le processus en fonction des facteurs donnés est exprimée ci-dessous comme équation (III.6). En général, le signe négatif représente l'effet antagoniste des facteurs et le signe positif représente l'effet synergique des facteurs.

$$\%E = 59,9404 + 13,973x_1 + 13,597x_2 + 5,315x_3 + +0,141757x_1^2 - 0,65824x_2^2 - 0,498238x_3^2 - 2,47875x_1x_2 + 0,313751x_1x_3 - 0,256254x_2x_3 \quad (\text{Eq.III.6})$$

Le modèle quadratique obtenu a été ajusté aux données, et la réponse est représentée dans le résumé du graphique d'ajustement (Figure III-9), fournissant des informations sur la solidité et la robustesse du modèle, y compris la validité du modèle, la reproductibilité, R^2 et Q^2 .

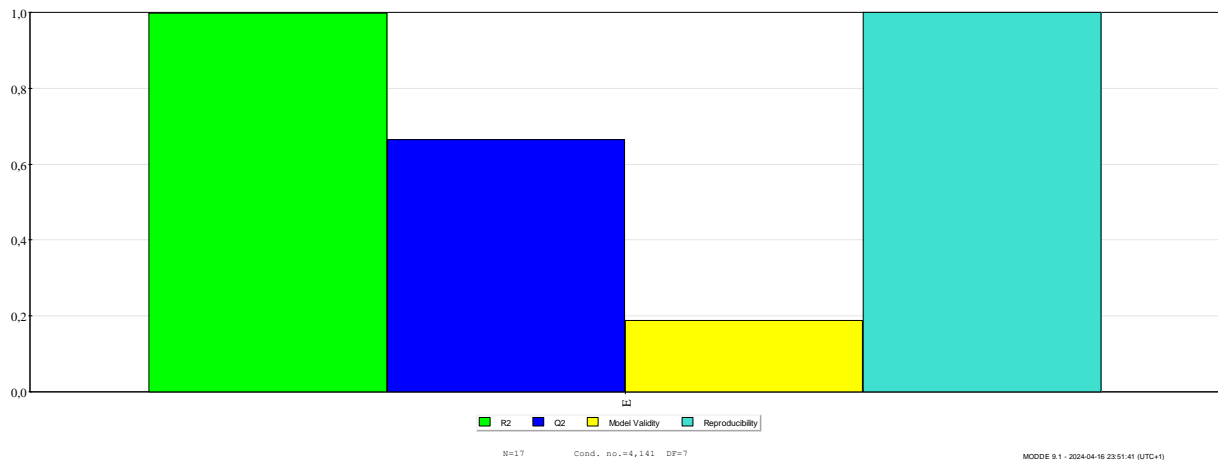


Figure III- 9 : Les histogrammes vérifiant la validité du modèle mathématique.

Le Tableau III-7 présente les paramètres statistiques obtenus par ANOVA. Le coefficient de détermination (R^2) indique la qualité d'ajustement du modèle, avec un R^2 de 0,997, ce qui suggère que seulement 0,3 % des variations globales restent non expliquées par le modèle.

Tableau III-7 : Les résultats de Q^2 et R^2

	R^2	R^2 Adj.	Q^2	SDY	RSD	N	Model Validity	Reproducibility
E	0,99713	0,99344	0,663707	20,7294	1,67895	17	0,188348	0,999637
N = 17	Cond. no. =4,141							
Comp. =2								

Les effets interactifs des variables de processus sur l'efficacité d'inhibition (%) ont été étudiés en construisant un graphique de contours en fonction de deux variables indépendantes, température et concentration d'inhibiteur, pour une immersion de 2 heures. Le graphique de contours pour l'efficacité d'inhibition est présenté dans la Figure III-10. Cette figure montre que l'efficacité d'inhibition diminue avec l'augmentation de la température pour une concentration d'inhibiteur donnée. Cela pourrait être dû à une adsorption physique de l'inhibiteur à la surface de l'acier au carbone.

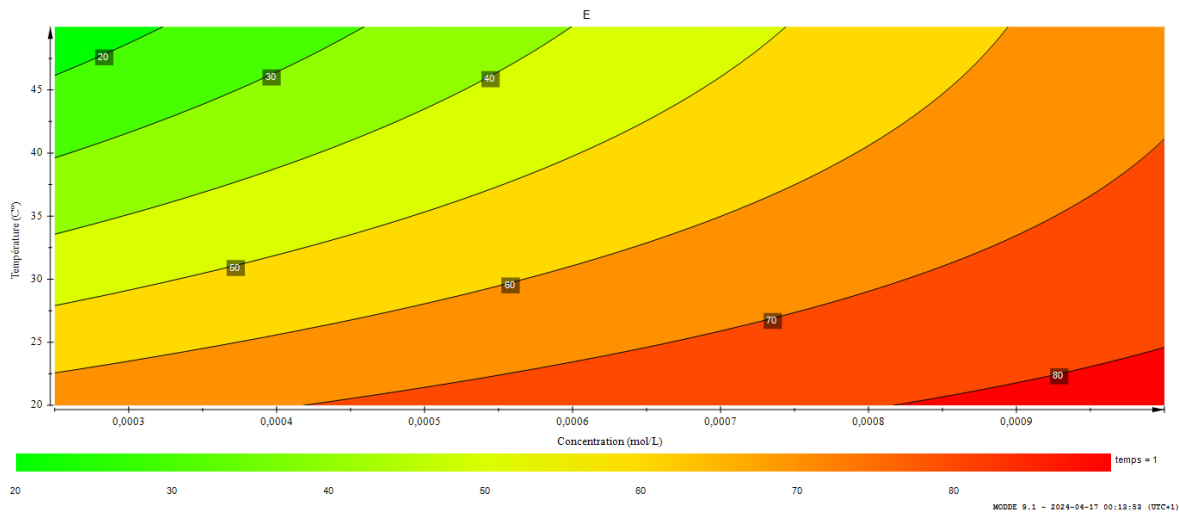


Figure III-10 : Contour de la concentration et de la température de l'efficacité d'inhibition de la corrosion de PVP -I.

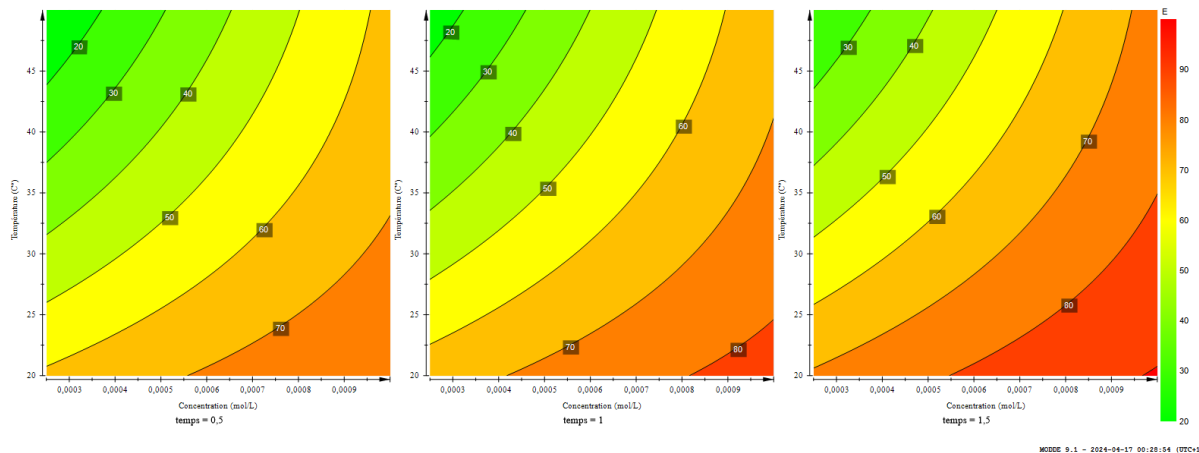
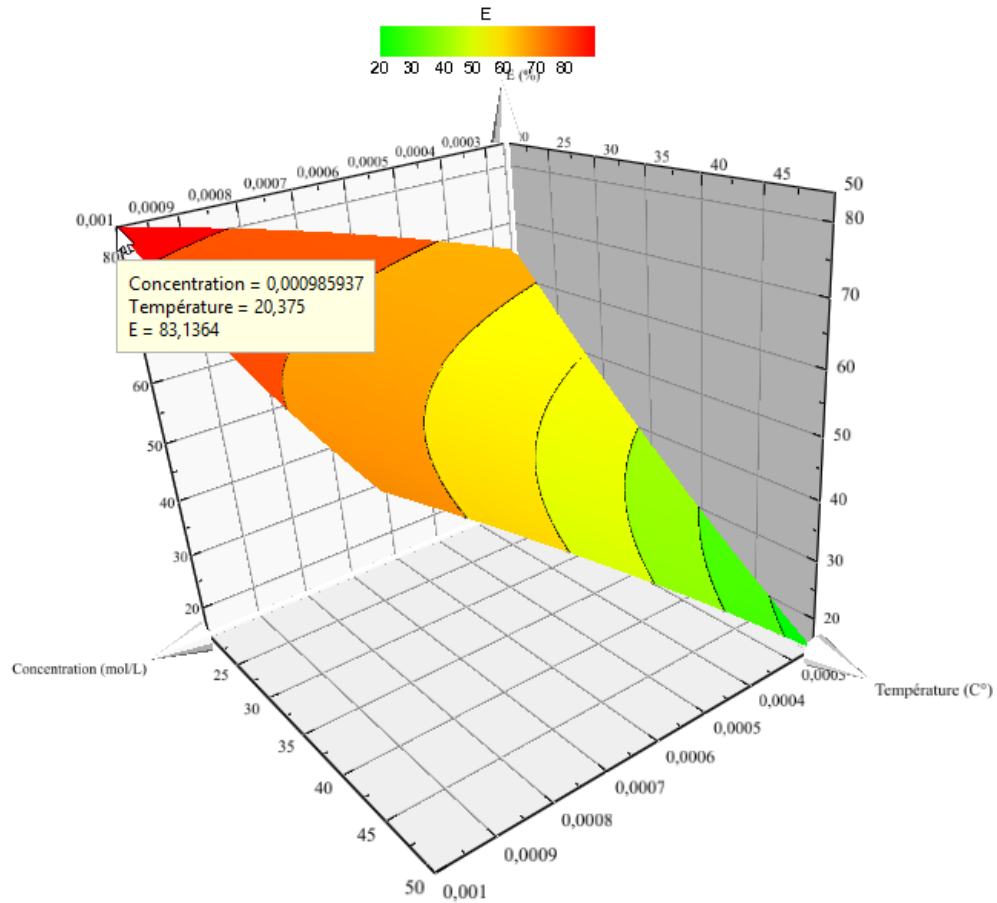


Figure III-11 : Courbes de surface de réponse en 2D et 3D des effets de la température et de la concentration d'inhibiteur sur l'efficacité de l'inhibition.

La Figure III-11 illustre l'effet d'interaction à travers un graphique de contours impliquant la température, la concentration de l'inhibiteur et le temps d'immersion sur l'efficacité d'inhibition de la corrosion. Elle confirme que l'efficacité de la corrosion augmente modérément à mesure que la concentration de PVP-I augmente du niveau minimum au niveau maximum. Pour toute quantité PVP-I dans le système, l'efficacité augmente avec un temps d'immersion allant jusqu'à 2 heures. L'efficacité d'inhibition de la corrosion atteint son maximum à la température la plus basse de 20°C et à la concentration la plus élevée de PVP-I.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les inhibiteurs de corrosion sont utilisés comme une méthode de prévention de la corrosion. Ils sont adaptés à un large éventail d'applications et ont l'avantage d'être simples à manipuler.

On a effectué une étude de l'efficacité inhibitrice de la povidone iodée sur l'acier dans un milieu d'acide sulfurique 0,5 M. Plusieurs paramètres ont été analysés, tels que le temps, la température et la concentration en inhibiteur.

L'analyse de l'impact inhibiteur de la poly (N-vinylpyrrolidone) iodée sur l'acier dans un milieu H_2SO_4 0,5 M a démontré une efficacité significative. Effectivement, il est apparu que :

- L'augmentation de la concentration de l'inhibiteur (concentration de la povidone iodée) dans la solution entraîne une augmentation de son efficacité, ce qui entraîne une diminution de la vitesse de corrosion et une meilleure protection de l'acier.
- Les mesures de perte de masse Δm ont été utilisées pour évaluer l'effet inhibiteur du PVP-I dans le milieu H_2SO_4 sur la corrosion de l'acier. Il a été constaté que plus le temps d'immersion augmente, plus la perte de masse augmente. Cela signifie que l'augmentation est plus significative dans l'acide seul qu'en présence d'un inhibiteur à la concentration optimale.
- L'influence de la température dans l'environnement réduit l'efficacité de notre inhibiteur, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse de corrosion.
- La concentration idéale d'inhibiteur PVP-I est de 10^{-3} M, dans une température de 293 K.
- Le taux d'efficacité maximal est de 97,19 % à une température de 20°C, pour une concentration de 10^{-3} M en PVP-I et pour une durée de 5h d'immersion.
- Le phénomène d'activation témoigne d'une réduction de la perturbation qui se produit lors de la création du complexe métal/espèces adsorbées.
- La tendance de l'activation étudiée est de nature physisorption, endothermique, et l'activation ΔG_a° est non-spontanée.
- Selon l'isotherme de Langmuir, $\Delta H_{\text{ads}}^\circ$ illustre la nature exothermique de l'adsorption de cet inhibiteur sur la surface de l'acier dans la solution d'acide sulfurique. $\Delta G_{\text{ads}}^\circ$ témoigne de la spontanéité du processus d'adsorption, qui est de nature physique.
- Un plan d'expérience a été mis en place pour anticiper les performances en fonction des paramètres étudiés en modifiant les concentrations et les températures.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCE BEBLIOGRAPHIQUES

- [1] E. Bardal ; corrosion and protection ; Springer, 5, (2004).
- [2] RAHAL, Chahla ; MASMOUDI, Mohamed, ABDELHEDI, Ridha. Olive leaf extract as Natural corrosion inhibitor for pure Copper in 0.5 M NaCl solution : A study by voltammetry around OCP. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2016, vol. 769, pp. 53-61.
- [3] H. H. Uhlig ; Corrosion and Corrosion Control ; Wiley, New York. (1971). 11.
- [4] T. Attar, L. Larabi and Y. Harek, Adsorption, 323 (2014) 1.22182
- [5] A. Zaabar, R. Aitout, L. Makhloufi, K. Belhamel, B. Saidani, Inhibition of acid corrosion of mild steel by aqueous nettle extracts , Pigment & Resin Technology 43 (2014) 127-138.
- [6] NESTOR, Perez. ELECTROCHEMISTRY AND CORROSION SCIENCE. Kluwer Academic Publishers, New York. 2004. disponible sur : <http://ebooks.kluweronline.com>.
- [7]: P. Roberge; Hand book of corrosion engineering; Mc Graw-HILL. (2000). 7.
- [8] A.M. Abdel-Gaber, et al, Inhibitive action of some plant extracts on the corrosion of steel (5) in acidic media Corrosion Science, Volume 48, Issue 9, (September 2006),PP.2765-2779.
- [9] FRANKEL, Edwin N. et MEYER, Anne S. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, vol. 80, no 13, pp. 1925-1941.
- [10] A. Frignani, M. Tasinari, Proc 7th Eur. Symp. Corr. Inh. 895, Ferrara, (1990).
- [11] A. Frignani, M. Tasinari, G. Trabanelli, 1st International Symposium on E.I.S.,Bombannes, CS, 12, (1989).
- [12] BÉRANGER, Gérard et CROLET, Jean-Louis. Corrosion en milieu aqueux des métaux et alliages. Ed. Techniques Ingénieur, 1998.
- [13] COUDREUSE, Lionel ; CHÊNE, Jacques et BRASS, Anne-Marie. Fragilisation des aciers par l'hydrogène : étude et prévention. Ed. Techniques Ingénieur, 2008.
- [14] A. BENSABAHA, Etude d'inhibition de la corrosion du fer en milieu acide par l'extrait de periploca, .0202, جامعة غرداية.
- [15] H.F. DIDI Adnane, Etude de Corrosion Bactérienne champ Hassi Messaoude.
- [16] H. Elbakouri, Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide orthophosphorique par un antibiotique organique, thèse de doctorat, université de Maroc, (2000).
- [17] M. Benarioua, Etude de l'Inhibition de la Corrosion d'un Acier Doux en Milieu Acide par l'Emploi d'Inhibiteurs à Base de Plantes, Université de Batna, (2019).
- [18] F. Abdelli and H. Abdelli, Méthodes d'évaluation de la corrosion Analyse chronologique.

- [16] A. oulabbas, Effets des inhibiteurs verts sur la corrosion des aciers ordinaires dans deux milieux acides, 2019. Université Badji Mokhtar - Annaba ,
- [17] S.ZAMFIR, R. VIDU et V.BRÎNZOI, «Corrosion des matériaux,» *Maison d'édition didactique et pédagogique, Romania,*, 1994.
- [18] J. KHALED et M. AL-QAHTANI, «The inhibitive effect of some tetrazole derivatives towards Al corrosion in acid solution, Chemical, electrochemical and theoretical studies,» *Materials Chemistry and Physics*, vol. 113, n° 11, pp. 150-158, 2009.
- [19] P. BOMMERSBACH, «Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous influencé de la température et de conditions hydrodynamiques, caractérisation par techniques électrochimiques,» *INSA de LYON, Thèse génie des matériaux*, p. 154, 2005.
- [20] A.M. Abdel-Gaber, et al, Inhibitive action of some plant extracts on the corrosion of steel (5) in acidic media *Corrosion Science*, Volume 48, Issue 9, (September 2006), PP.2765-2779.
- [21] HELIE, Max. Corrosion of metallic materials. Dry corrosion, aqueous corrosion and corrosion by liquid metal, methods of protection. 2015.
- [22] FIAUD, Christian. Inhibiteurs de corrosion. Techniques de l'ingénieur. Matériaux métalliques, 1990, no M160, p. M160. 1-M160. 16.
- [23] S. LACHACHI, ETUDE DE L'EFFICACITE INHIBITRICE DE CORROSION DANS L'ACIDE SULFURIQUE PAR LA POVIDONE IODEE, 19-04-2021.
- [24] S. Bouakkaz, R. Zerdoumi, K. Oulmi, D. Mellahi and G.M. Andreadis, *Portugaliae Electrochimica Acta*, 35 (2017) 211.
- [25] L. Chaal Etude de la corrosion d'un acier au carbone et de son inhibition par un composé réducteur de frottement hydrodynamiques, dans le milieu NaCl à 3% » Thèse de Magister, université de Bejaia (2001).
- [26] M.L.Gough, Developments in High Performance Environmentally Friendly Corrosion Inhibitors for the Oil Field , *Corrosion* 99, vol 104, Nace International, Houston, TX , (1999).
- [27] I. F. Constantin, Étude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement, Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, (2011).
- [28] L. Chaal Etude de la corrosion d'un acier au carbone et de son inhibition par un composé réducteur de frottement hydrodynamique, dans le milieu NaCl à 3%, Thèse de Magister, université de Bejaia (2001).
- [29] D. Zhao, J. Feng, Q. Huo, N. Melosh, G. H. Frederickson, B.F. Chmelka and G.D. Stucky, *Science*. 279, 548 (1998).
- [30] Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail, (1992).

- [34] A. Benahmed, M.Ranger, J.C. Leroux, Pharm Res, 18, (2001).
- [35] X. J. Lou, N. J.Panaro, P. Wilding, P. Fortina, L. J. Kricka, Biotechniques, 36, (2004).
- [36] L. Meng, X. Lu X, Y. Liu, L. Zhang, Y. Liang, Chem Biodivers 4,163, (2007).
- [37] J. R. Sun, Z. K. Hong, L. X. Yang, Z. H. Tang, X. S. Chen, Polymer, 45, (2004).
- [38] D. Bogdal, P. Penczek, J. Pielichowski, A. Prociak, Adv.Polym.Sci,163, (2003).
- [39] L. Zhang, Y.Liang, L.Meng, X.Lu ,Y.Liu. Chem .Biodivers, 4, (2007).
- [40] K. Demirelli, M.Coskun, I.Erol. Eur Polym.J., 36, 83, (2000).
- [41] I. Bartolozzi, R. Solaro, E. Schacht, E. Chiellini , European Polymer Journal, 34, (1972).
- [42] B. Feret, Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, (1992).
- [43] L. Larabi, Y. Harek. Effect of Iodide Ions on Corrosion Inhibition of Mild Steel in 0.5 M H₂SO₄ by Poly(4-Vinylpyridine). Portugaliae Electrochimica Acta 22, 227, (2004).
- [44] L. Larabi, Y .Harek , M. Taisnel , et A. Mansri Senergetic influence of poly(poly4-vinylpyridine)and potassium iodide on inhibition of corrosion of mild steel in 1M HCl. journal of Applied Electrochemistry 34, 833, (2004).
- [45] Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail, (1992).
- [46] S. BRIOUA, Mémoire de Magister, Etude du comportement de l'acier au carbone X52 par la mesure de la résistance de polarisation « influence des paramètres expérimentaux », Université Skikda, (2003).
- [47] I. Ichchou. Étude électrochimique de l'inhibition classique ou par des monocouches autoassemblées d'un dérivé de la thiourée, vis-à-vis de la corrosion en milieu acide de l'acier au carbone XC38.Université Tlemcen, 55, (2011).
- [48] M.A. Quraishi, A. Singh, V.K. Singh, D.K. Yadav, A.K. Singh, Green approach to corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid and sulphuric acid solutions by the extract of *Murraya koenigii* leaves, Mater. Chem. Phys. 122(1) (2010) 114-122.
- [49] G. Hodaifa, J.M. Ochando-Pulido, S.B.D. Alami, S. Rodriguez-Vives, A. Martinez-Ferez, Kinetic and thermodynamic parameters of iron adsorption onto olive stones, Ind. Crop. Prod. 49 (2013) 526-534.
- [50] M.A. Deyab, S.S.A. El-Rehim, Effect of succinic acid on carbon steel corrosion in produced water of crude oil, J Taiwan Inst. Chem. Eng (2013).
- [51] F.M. Donahue, K. Nobe, J. Electrochem. Soc., 112, 886 (1965).
- [52] G. Banerjee, S.N. Malhotra, Corrosion, 48, 10 (1992).
- [53]T. Attar, L. Larabi, Y. Harek. Corrosion inhibition of cold rolled steel in 0.5 M H₂SO₄ by potassium iodide. Der Pharma Chemica, 6, 181-186, (2014).

- [54] M. Solomon, S. Umoren, I. Udosoro, A. Udoh, Inhibitive and adsorption behaviour of carboxymethyl cellulose on mild steel corrosion in sulphuric acid solution, *Corrosion science* 52(4) (2010) 1317-1325.
- [55] A. Benchadli, T. Attar, E. Choukchou-braham. Inhibition of carbon steel corrosion in perchloric acid solution by povidone iodine. *Physical Chemistry Research*, 7, 837-848, (2019).
- [56] T. Attar, A. Benchadli, B. Messaoudi, N. Benhadria, E. Choukchou-Braham, Experimental and Theoretical Studies of Eosin Y Dye as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Perchloric Acid Solution. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 15(2), 454-464, (2020).
- [57] I. Ichchou. Étude électrochimique de l'inhibition classique ou par des monocouches autoassemblées d'un dérivé de la thiourée, vis-à-vis de la corrosion en milieu acide de l'acier au carbone XC38. *Université Tlemcen*, 55, (2011).
- [58] Popova, A., et al. "AC and DC study of the temperature effect on mild steel corrosion in acid media in the presence of benzimidazole derivatives." *Corrosion science* 45.1 (2003): 33-58
- [59] I. Seghioeur, M.A. Zenasni, Etude Gravimétrique De L'inhibition De Corrosion De L'acier Xc 38 Par La Povidone Iodée En Milieu Hcl 1m. *Centre Universitaire Belhadj Bouchaib Ain Temouchent*, 39, (2020).
- [60] Ronald Aylmer Fisher, *Statistical Method for research workers*, Oliver and Boyd, Ed. Edinburgh, (1925).
- [61] T. Dzhurakulov, A.B. Kuchkarov, F.K. Kurbanov, K.A. Agzamov, *Tr. Tashk. Politekh. Inst.*, 90, 51, (1972).
- [62] X. Li, S. Deng, H. Fu, Inhibition of the corrosion of steel in HCl, H₂SO₄ solutions by bamboo leaf extract, *Corros. Sci.* 62 (2012) 163-175.

Résumé

Le but de cette étude est d'étudier la capacité de l'acier à résister à la corrosion dans un milieu acide sulfurique de 0,5 M, et sa protection par l'utilisation de la povidone iodée comme un inhibiteur de corrosion, en utilisant la méthode gravimétrique. On a examiné différents paramètres tels que la concentration, la température et le temps d'immersion. La concentration optimale est de 10^{-3} M de l'inhibiteur à la température 293 K pour une durée de 2 h et l'efficacité est de 85,85 %. L'isotherme de Langmuir a révélé que l'adsorption du PVP-I sur la surface de l'acier est exothermique, tandis que ΔG_{ads}° a signalé la spontanéité du processus, qui est de nature physique. On a développé un plan d'expérience afin d'évaluer l'efficacité de l'inhibiteur PVP-I pour les essais non effectués.

Mots clés : l'acier, Corrosion, Inhibiteur, PVP-I, Efficacité.

ملخص

كان الهدف من هذه الدراسة هو تحليل قدرة فولاذ على مقاومة التآكل في وسط حمض الكبريتيك بمقدار 0,5 م، وحمايته باستخدام PVP-I كمثبط للتآكل، باستخدام طريقة الجاذبية. تم فحص معاملات مختلفة مثل التكتيف ودرجة الحرارة والوقت. كان التركيز المثالي PVP-I هو 10^{-3} مول عند درجة حرارة 20 درجة مئوية لمدة ساعة واحدة، بكفاءة 97,19% في مدة 5 ساعات. كشفت معلمات التنشيط الديناميكي الحراري عن ميل نحو الامتصاص الفيزيائي وعملية ماصة للحرارة. وكشف متساوي Langmuir عن أن امتزاز PVP-I على سطح الفولاذ طارد للحرارة، في حين ΔG_{ads}° أبلغ عن عفوية العملية التي تنسم بطبيعة فيزيائية. تم تطوير تصميم تجريبي لتقييم فعالية مثبط PVP-I للاختبارات غير المنفذة.

الكلمات المفتاحية: التآكل، المانع، PVP-I، الكفاءة، الفولاذ.

ABSTRACT

The purpose of this work is to investigate, using the gravimetric method, the corrosion resistance of steel in a 0.5 M sulfuric acid medium and how the corrosion inhibitor povidone iodine protects it. Numerous factors, including time, temperature, and concentration, were investigated. The ideal PVP-I concentration is 10^{-3} M for a one-hour duration at 20°C, with an efficiency of 97,19 % in 5 hours . Both an endothermic process and a physisorption tendency were evident in the thermodynamic activation parameters. The adsorption of PVP-I to the steel surface was shown to be exothermic by the Langmuir isotherm, and the spontaneous character of the physical process was revealed by the G_{ads}° . The effectiveness of the PVP-I inhibitor in unperformed tests has been determined through the development of an experimental design.