

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 Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Génie des Procédés des Matériaux
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie des Procédés des Matériaux
Thème

**Utilisation d'un produit pharmaceutique pour limiter la corrosion du
cuivre dans un environnement acide**

Présenté Par :

- 1) Melle. **BELLAHA Raouane**
- 2) Melle. **BERRAHMOUN Noussaiba**

Devant le jury composé de :

Dr.	MERABTENE Meriem	M.C.B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr.	YOUNES Kawther	M.C.B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
Pr.	ATTAR Tarik	Prof	E.S.S.A (Tlemcen)	Encadrant
Dr.	BENHADRIA Naceur	M.C.A	E.S.S.A (Tlemcen)	Co-Encadrant

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

Ce travail a été effectué au sein du laboratoire TOXICOMED de l'Université ABOU-BAKR BELKAÏD- Tlemcen. Au terme de ce mémoire, nous tenons à remercier avant tout notre ALLAH, qui nous a donné la force, le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadrant Monsieur ATTAR Tarik enseignant à l'école supérieure en sciences appliquées d'avoir l'honneur de nous accepter pour l'encadrement.

J'exprime mes vifs remerciements et reconnaissances à Monsieur BENCHADLI Abbes doctorant au sein du laboratoire TOXICOMED, pour l'aide précieux et la patience dont il a fait preuve, lors du déroulement de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin, par leurs conseils, leurs suggestions et par leurs encouragements, à la réalisation de ce travail.

Nous remercions Madame la directrice du laboratoire TOXICOMED de l'Université de Tlemcen pour nous accepter de travailler dans leur laboratoire.

Nos remerciements s'adressent aux membres des jurys Mme YOUNES Kawther et Mme MERABTENE Merieme pour avoir accepté de juger ce travail.

Notre profonde gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail à : Mes très chers parents qui m'ont soutenu durant les moments les plus pénibles de ce long chemin et qui ont sacrifié toute leur vie afin de me voir devenir ce que je suis à présent.

À mes frères Rahim et Abdelhak

À mes sœurs Asma, Mounia et Sara

À ma nièce Alice et Mes neveux Massinissa

et Qusay

À mon binôme «NOUSSAIBA» et sa famille.

À tous les membres de ma famille.

***RAOUANE ***

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail spécialement à mes parents qui
m'aident dans tous mes pats de ma vie pour compléter mes études.*

À mes frères OUSSAMA et KUIDER

*À mon binôme «**RAOUANE**» et sa
famille.*

À Mes chères cousines

NAWEL, MIMI, ANFEL, AMINA et

AKILA

À tous les membres de ma famille.

***NOUSSAIBA ***

Liste de figures

Figure1. Pièce après immersion en absence d'inhibiteur	19
Figure2. Pièce après immersion en présence d'inhibiteur	19
Figure 3. Évolution de l'efficacité de l'inhibiteur Dermobacter en fonction de sa concentration dans H ₂ SO ₄ 0,5 M après un temps d'immersion de 1h.....	20
Figure 4. Variation de la vitesse de corrosion de cuivre en fonction de la température.....	21
Figure 5. Perte de poids en fonction du temps d'immersion sans et avec inhibiteur dans H ₂ SO ₄ 0,5 M à T = 303 K	22
Figure 6. Variation de l'efficacité d'inhibition du Dermobacter en fonction du temps d'immersion dans un milieu de H ₂ SO ₄ à 0,5 M, pour différentes concentrations....	23
Figure 7. Variation de Ln (W _{corr} /T) en fonction de l'inverse de la température en absence et en présence de l'inhibiteur Dermobacter	24
Figure 8. Isotherme de Langmuir pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H ₂ SO ₄	27
Figure 9. Isotherme de Temkin pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H ₂ SO ₄	28
Figure 10 Isotherme de Freundlich pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H ₂ SO ₄	28
Figure 11. Isotherme de Flory-Huggins pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H ₂ SO ₄	29
Figure 12 Isotherme de El-Awady pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H ₂ SO ₄	29
Figure 13 Isotherme de Frumkim pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H ₂ SO ₄	30

Liste de tableaux

Tableau 1. Propriétés d'acide sulfurique.....	17
Tableau 2. Les matériaux et les produits utilisés dans cette étude.....	17
Tableau 3. Résultats gravimétriques de la corrosion du cuivre dans une solution de H ₂ SO ₄ en présence de différentes concentrations d'inhibiteur à différentes températures.....	21
Tableau 4. Paramètres d'activation thermodynamique pour la corrosion du cuivre dans acide sulfurique sans et avec Dermobacter en utilisant des tracés d'Arrhenius et d'état de transition.....	25
Tableau 5. Valeurs de R ² pour les différentes isothermes d'adsorption considérées.....	30
Tableau 6. Paramètres thermodynamiques de l'adsorption de Dermobacter sur la surface de cuivre dans l'acide sulfurique à différentes températures.....	31

Sommaire

<u>Introduction générale</u> :	1
---	---

Chapitre I :

Étude bibliographique

<u>I.1. Généralité sur la corrosion</u>	2
I.1.1 Types de corrosion.....	2
I.1.2 Les formes de corrosion :	2
I.1.3 Facteurs de la corrosion	3
I.1.4 Méthode d'étude de la corrosion	4
I.1.5 Les avantages de la méthode gravimétrique	5
I.1.6 Moyens de lutte contre la corrosion	5
<u>I.2. Généralité sur l'inhibition de corrosion</u>	6
I.2.1 Définition	6
I.2.2 Propriétés des inhibiteurs :	6
I.2.3 Les inhibiteurs sous formes des médicaments :	8
<u>I.3. Généralité sur l'adsorption</u>	9
I.3.1 Définition	9
I.3.2 Types d'adsorption	9
I.3.3 Influence de la densité électronique sur l'adsorption	10
I.3.4 Influence de la concentration sur l'adsorption	10

Chapitre II :

Méthode et réactifs utilisé

<u>II.1. Généralité</u>	15
II.1.1 Le Cuivre.....	15
II.1.2 Définition de médicament Dermobacter	15
II.1.3 Le choix d'un inhibiteur	16
II.1.4 Domaines d'application des inhibiteurs.....	16

II.1.5 La relation entre la structure moléculaire de l'inhibiteur et l'efficacité inhibitrice	16
II.1.6 L'acide sulfurique	16
II.2. Les conditions expérimentales	17
II.2.1 Les matériaux et les produits utilisés	17
II.2.2 Procédure expérimentale	17
1 Préparation de la pièce	17
2 La méthode de perte de poids	18

Chapitre III :

Partie expérimentales et résultats

<u>III.1. Effet de la concentration et de la température sur l'Efficacité de l'Inhibition</u>	20
<u>III.2. Influence du temps d'immersion</u>	23
<u>III.3. Paramètres thermodynamiques d'activation</u>	23
<u>III.4. Isotherme d'adsorption</u>	26
<u>Conclusion générale</u>	33
<u>Références bibliographique</u>	34

Introduction

Introduction générale

La corrosion, phénomène complexe résultant de réactions chimiques ou électrochimiques entre un matériau métallique et son environnement, demeure une préoccupation majeure dans divers secteurs industriels. Ses effets néfastes se manifestent par des arrêts de production, le remplacement fréquent de pièces corrodées, des accidents et des risques de pollution, entraînant des conséquences économiques significatives [1].

L'utilisation généralisée des métaux dans l'industrie, pour des applications telles que les conduites de transport de produits chimiques ou les équipements de traitement, expose ces infrastructures à des risques de détérioration liés à la corrosion au fil du temps. Bien que le remplacement des métaux corrodés soit une solution couramment adoptée, sa mise en œuvre s'avère souvent coûteuse, incitant ainsi à rechercher des alternatives plus efficaces [2].

Parmi les stratégies de protection contre la corrosion, l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion occupe une place importante. Ces substances, ajoutées à faible concentration dans des milieux corrosifs, agissent en diminuant ou en empêchant la réaction du métal avec son environnement. Par le biais de phénomènes d'adsorption à la surface métallique, les inhibiteurs réduisent la vitesse de corrosion, offrant ainsi une protection efficace contre ce phénomène dévastateur [3].

L'efficacité des inhibiteurs de corrosion dépend de plusieurs paramètres, tels que la composition du milieu corrosif, le pH, la taille et la structure de l'inhibiteur, la température et la nature du métal exposé [4].

Dans ce contexte, notre étude vise à investiguer expérimentalement l'inhibition de la corrosion du cuivre par l'ajout de quantités bien étudiées d'un inhibiteur pharmaceutique périmé dans un milieu d'acide sulfurique de concentration 0,5 M, en utilisant la technique gravimétrique. Ce mémoire est structuré en trois chapitres : le premier chapitre aborde une revue bibliographique sur la corrosion, les inhibiteurs et le phénomène d'adsorption ; le deuxième chapitre présente les méthodes et réactifs utilisés, mettant en lumière les produits et les matériaux utilisés ; tandis que le troisième chapitre présente l'aspect expérimental ainsi que les résultats obtenus. Enfin, nous concluons cette étude par une synthèse générale des résultats et des perspectives futures.

Chapitre I :

Étude bibliographique

I.1. Généralité sur la corrosion

La corrosion est une dégradation du matériau ou de ses propriétés par réaction chimique avec l'environnement [5]. Elle peut affecter de nombreux matériaux, en particulier les aciers, qui constituent les matériaux de base dans la construction de nombreuses structures et sont fortement exposés à la corrosion, qu'ils soient au contact d'atmosphères humides, immergés en eau douce ou saline, implantés dans les sols, ou en présence de solutions plus ou moins agressives [6].

I.1.1 Types de corrosion

✚Corrosion chimique

C'est une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase liquide ou gazeuse. Lorsque le réactif est gazeux, la corrosion est dite sèche. Si le réactif est liquide, il est en général accompagné d'une corrosion électrochimique. L'attaque d'un métal par un autre métal liquide, par un sel fondu ou par une solution non aqueuse peut être considérée comme une corrosion chimique. Donc on peut dire que la corrosion chimique est l'attaque du métal par son environnement. Elle est généralement rencontrée dans les industries produisant ou utilisant les acides [7].

✚Corrosion biochimique (bactérienne)

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [8].

✚Corrosion électrochimique

C'est une réaction électrochimique entre la surface d'un matériau et un liquide électrolyte. Cette réaction est accompagnée de la formation de piles qui sont le siège de circulation de courant électrique. Ce type constitue 96% de cas de corrosion [9].

I.1.2 Les formes de corrosion [10-11]:

Corrosion uniforme : C'est le type le plus courant de corrosion, où la surface métallique se corrode de manière uniforme sur toute sa surface. Cela peut se produire en raison de réactions chimiques directes avec des agents corrosifs tels que l'oxygène ou l'humidité.

Corrosion galvanique : Elle se produit lorsque deux métaux différents sont en contact électrique et immergés dans un électrolyte. Dans ce cas, un métal agira comme l'anode (la partie qui se corrode) et l'autre comme la cathode (la partie protégée). Cela crée un flux de courant qui accélère la corrosion de l'anode.

Corrosion par piqûres : Elle se produit sous forme de petits trous ou piqûres dans la surface métallique, généralement à la suite d'une concentration locale d'agents corrosifs. Ces piqûres peuvent être profondes et causer des dommages graves.

Corrosion par fissuration sous contrainte : Elle se produit lorsque les contraintes mécaniques combinées à des agents corrosifs entraînent la fissuration du matériau métallique. Cela peut se produire dans des environnements où des contraintes sont appliquées sur le matériau, comme dans les pipelines ou les réservoirs sous pression.

Corrosion par érosion-corrosion : C'est une forme de corrosion accélérée qui se produit lorsqu'un matériau métallique est exposé à un environnement corrosif en même temps qu'il est soumis à une érosion physique due à des particules en suspension ou à un fluide en mouvement.

Corrosion inter granulaire : Elle se produit le long des frontières de grains cristallins dans un matériau métallique, généralement en raison de variations de composition chimique le long de ces frontières. Cela affaiblit les liaisons entre les grains et peut entraîner une dégradation significative des propriétés mécaniques du matériau.

Corrosion par cavitation : Elle se produit dans les environnements où des bulles de gaz se forment et implosent rapidement sur la surface métallique, créant des forces de choc locales qui peuvent éroder le matériau.

Chaque type de corrosion peut être influencé par divers facteurs, tels que la composition du matériau, la température, l'humidité, le pH de l'environnement et la présence d'impuretés. La prévention et la gestion de la corrosion sont essentielles dans de nombreux domaines industriels pour assurer la durabilité et la sécurité des structures métalliques.

I.1.3 Facteurs de la corrosion

Puisque la corrosion résulte des interactions chimiques et /ou physique entre le matériau et son environnement, il s'avère indispensable de mettre au point une méthodologie d'expertises

des incidents de corrosion rencontrés et de prendre en compte en plus des facteurs métallurgiques ou d'alliage du métal mis en cause [12] :

Facteurs métallurgiques : la structure et composition du métal, grosseur de grain, procédés d'élaboration, présences ou absences des impuretés, traitement thermique et mécanique.

Facteurs du temps : vieillissement, tensions mécaniques, modification des revêtements protecteurs.

Facteurs qui déterminants les conditions de réaction : le type d'inhibiteur, la forme de l'acier utilisé, processus d'assemblage, l'état de surface.

Facteur du milieu corrosif :

- Effet de température : Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion même les cinétiques de réactions et de transport ; car elle diminue la stabilité des métaux.
- Effet d'acidité : Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie l'équilibre des réactions chimiques et électrochimique, la corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu.
- Effet de salinité : La présence des ions chlorures en solution provoque une agressivité (solution s'accompagnent des effets complémentaires) du milieu électrolytique qui peut être l'origine de la corrosion localisée ; d'une part leurs concentrations locales induites une acidification du milieu même une influence sur la conductivité du milieu aqueux.
- Influence d'oxygène : La présence d'oxygène dissout dans l'électrolyte favorise et accélère la corrosion électrochimique, en plus et indispensable à la formation de rouille.

I.1.4 Méthode d'étude de la corrosion

Méthode gravimétrique

D'une façon générale, l'étude de la corrosion fait appelée en premier lieu aux méthodes directes, par excellence c'est la mesure de perte de masse. Cette méthode, qui est relativement simple, ne nécessite pas un appareillage important, elle consiste à mesurer la perte de masse (Δm) subit par un échantillon de surface (S) pendant un temps (t) d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante [13].

Méthodes électrochimiques

Elles permettent de déterminer par exemple le potentiel de corrosion d'un échantillon ou même d'une phase déterminée, et aussi de calculer l'intensité du courant responsable de la corrosion [14].

I.1.5 Les avantages de la méthode gravimétrique

Cette méthode présente les avantages suivants : Mesures directes de la vitesse de corrosion et par conséquent l'efficacité du produit testé ; Matériel simple ; Facilité de mise en œuvre ; Ne nécessite pas plusieurs hypothèses.

I.1.6 Moyens de lutte contre la corrosion

Nous ne citons ici que les principaux procédés applicables à l'anticorrosion [15].

Protection par revêtements

Revêtements non métalliques

- Peintures.
- Matières plastique

Revêtements métalliques

- Immersion dans un bain fondu.
- Electrolyse.
- Métallisation au pistolet.
- Métallisation sous vide.
- PVD (dépôt en phase vapeur).
- CVD (dépôt en phase chimique).

Protection électrochimique

- Protection anodique
- Protection cathodique.

Protection par inhibition

- Les inhibiteurs organiques.
- Les inhibiteurs inorganiques.
- Les inhibiteurs mixtes (organiques et inorganiques)

I.2. Généralité sur l'inhibition de corrosion

I.2.1 Définition

Selon la norme ISO8044 l'inhibiteur défini comme « Substance chimique ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité et qui entraîne une diminution de la vitesse de corrosion sans modifier de manière significative la concentration d'aucun agent corrosif contenu dans le milieu agressif » [16]. Un inhibiteur est un produit chimique qui est ajouté en faible quantité au milieu corrosif (généralement liquide, rarement milieu gazeux) et qui protège le métal contre la corrosion par recouvrement par une barrière isolante vis-à-vis du milieu agressif [16].

I.2.2 Propriétés des inhibiteurs :

Propriétés et classifications des inhibiteurs

- ❖ D'après cette définition, un inhibiteur de corrosion doit donc vérifier un certain nombre de propriétés fondamentales [17].
 - ✓ Abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier.
 - ✓ Être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants et aux températures d'utilisation.
 - ✓ Être efficace à faible concentration.
 - ✓ Être compatible avec les normes de non-toxicité.
- ❖ On peut classer les inhibiteurs par différentes façons :
 - **Selon la nature des molécules d'inhibiteurs**

➤ **Inhibiteurs organiques**

Ce sont des molécules organiques qui promises à un développement plus que certain en termes d'inhibition de corrosion ; ils possèdent au moins un centre actif susceptible d'échanger les électrons avec le métal tel que : l'azote, l'oxygène, le phosphate ou le soufre [17]. Les groupements fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal sont [18] : Amine (-NH₂); Mercapto (-SH); Hydroxyle (-OH); Carboxyle (-COOH).

⇒ Généralement, l'action inhibitrice de ces composé organique est indépendante aux processus anodiques et cathodiques de corrosion qui sont liées à la formation par adsorption d'une barrière plus au moins continue, mais d'épaisseur fine, qui empêche l'accès de la solution au métal [17].

➤ **Inhibiteur inorganique [17] :**

- Les molécules minéralisées ou inorganique sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité. Voir en milieu alcalin et plus rarement en milieu acide.
- Les produits se dissocient en solution et leurs produits assurent l'inhibition (anion ou cation).

Le nombre de molécules en usage à l'heure actuelle va en se limitant car la plupart des produits efficaces présentent en côté nocif pour l'environnement.

▪ **Selon le mécanisme d'action**

Mécanisme électrochimique

On différencie trois types d'inhibiteurs :

➤ **Inhibiteurs anodiques**

- Se causent un déplacement de potentiel de corrosion dans le domaine cathodique en réduisant la surface anodique.
- Ils sont très efficaces et même ils ont des propriétés indésirables [16-17].

➤ **Inhibiteurs cathodiques**

- Se ralentissent la réaction cathodique.
- Diminuent la densité de courant partiel cathodique et déplace le potentiel de corrosion dans le sens négatif [17].

➤ **Inhibiteurs mixtes**

- Diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion.
- Ils portent à la fois les propriétés d'inhibiteurs anodiques et cathodiques [17].

Mécanisme réactionnel

On peut façonner l'action d'inhibiteur par : [17]

⇒ L'interposition d'une barrière entre le métal et le milieu corrosif.

⇒ Par ajout des agents qui augmentent le pH près de la surface métallique et favorisent la passivation dans certains cas.

⇒ La formation de films superficiels par précipitation de sels minéraux ou de complexe organiques peu solubles.

▪ **Classification selon le domaine d'application [15]**

➤ Inhibiteur en milieu aqueux :

- Les inhibiteurs pour milieu acide sont employés entre autres pour éviter l'attaque électrochimique d'acier lors de décapage.

➤ Inhibiteurs en milieu neutre :

- Servent surtout pour la protection des circuits de refroidissement.

➤ Inhibiteurs en milieu organique :

Utilisées dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence puisque ces liquides contiennent souvent des traces d'eau et des espèces inorganiques qui peuvent provoquer une corrosion.

➤ Inhibiteurs pour phase gazeuse :

- Généralement, sont employés pour une protection temporaire de différent objets emballés (les machines, les composés électroniques) pendant le transport et le stockage.

- **Mécanisme d'inhibition en milieu acide**

Les inhibiteurs les plus utilisés sont des molécules de type organique, ils agissent d'abord par l'adsorption à la surface des métaux, avant intervenir dans les processus réactionnels de corrosion pour diminuer la vitesse [19].

I.2.3 Les inhibiteurs sous formes des médicaments :

Ces dernières années, l'utilisation de médicaments périmés comme inhibiteurs de corrosion pour différents métaux et alliages est apparue comme un défi novateur. Ces médicaments, de plus en plus répandus dans les foyers, les pharmacies, les hôpitaux et autres sources, offrent une opportunité de réutilisation en tant qu'inhibiteurs de corrosion. Notamment, la plupart de ces composés présentent une haute solubilité dans les solutions aqueuses et conservent leur stabilité dans divers environnements agressifs [20]. Des recherches ont indiqué qu'une part significative de médicaments, environ 90%, conservent leurs constituants actifs et leur stabilité au-delà de leurs dates de péremption [21-22]. Ces découvertes suggèrent que les

médicaments périmés peuvent être en toute sécurité réutilisés à des fins d'inhibition de corrosion. Leurs caractéristiques non toxiques et leur impact environnemental minimal les positionnent comme des candidats potentiels pour remplacer les inhibiteurs de corrosion chimiques traditionnels toxiques [23]. Les médicaments périmés ont même été reconnus comme faisant partie de la famille des inhibiteurs de corrosion verts. De plus, une enquête bibliographique exhaustive révèle qu'une large gamme de produits pharmaceutiques a été utilisée avec succès comme inhibiteurs de corrosion durables pour différents métaux et alliages. Ces produits pharmaceutiques englobent un groupe diversifié, comprenant le Phénobarbital [24], la Modiaquine [25], la Doxycycline [26], le Tenormin [27], l'Éthambutol [28], la Salazopyrine [29], l'Aténolol [30], la Ciprofloxacine [31], la Moxifloxacine, la Bétaméthasone [32], la Tétracycline et la Streptomycine [33], l'Ibuprofène et le Diclofénac [34], le Telmisartan [35], la Céphalothine [36], le Tramadol [37], le Céphapirine [38], le Céfixime et le Céfpirome [39], le Glimépiride [40], la Spironolactone [41], la Povidone Iodée [42], l'Amoxicilline [43-44], Bromhexine [45], Iodine-β-Cyclodextrin [46], Betamethasone [47], et plus encore.

I.3. Généralité sur l'adsorption

I.3.1 Définition

L'adsorption est le phénomène qui consiste en l'accumulation d'une substance à l'interface entre deux phases. Son origine dans les forces d'attraction intermoléculaires, de nature et d'intensité variées, qui sont responsables de cohésion des phases condensées, liquides ou solides [48]. L'adsorption est un phénomène exothermique. La chaleur d'adsorption Q_{ads} ($Q_{ads} = -\Delta H_{ads}$) dépend d'énergie des liaisons formées entre les atomes adsorbés et la surface. Les valeurs de ΔH_{ads} et ΔG_{ads} permet de distinguer le type d'adsorption

I.3.2 Types d'adsorption :

Adsorption physique (Physisorption)

L'adsorption physique met en jeu des liaisons faibles. Ce modèle d'adsorption conserve l'identité des molécules adsorbées. Trois types de forces sont à distinguer :

1. Les forces de dispersion (Van der Waals, London) qui sont toujours présentes, ne sont pas assez énergétiques pour assurer à l'intérieur une fixation suffisante à la surface du métal.
2. Les forces polaires, résultant de la présence de champ électrique.

3. Les liaisons hydrogènes dues aux groupements hydroxyle ou aminé.

La physisorption est caractérisée par [49]:

- ✓ L'absence de contact direct entre l'inhibiteur et la surface métallique.
- ✓ Une liaison inhibiteur-métal assurée par l'interaction électrostatique entre les centres actifs de l'inhibiteur et la surface du métal électriquement chargé
- ✓ Une énergie d'activation du processus faible, le processus est indépendant de la température.
- ✓ Une adsorption ne dépend pas de la nature du métal, mais elle dépend seulement de la charge portée par le métal.

Adsorption chimique

L'adsorption chimique se caractérise par une chaleur d'adsorption plus élevée allant de 40 jusqu'au 100 kJ/mol donnant lieu à l'établissement des liaisons fortes. Elle nécessite parfois une énergie d'activation et en générale une seule couche d'atomes est adsorbée. Les interactions entre les molécules d'inhibiteurs et le métal se fait par l'intermédiaire de transfert de charge ou un partage d'électrons entre les molécules d'inhibiteurs et les orbitales « d » insaturés de la surface du métal. Ceci permet de former des liaisons de coordinations ou des liaisons covalentes. Le transfert des électrons sera favorisé par la présence de liaisons multiples, d'hétéroatomes et par la présence de substituant doués d'effet donneur [50].

I.3.3 Influence de la densité électronique sur l'adsorption :

L'inhibition en milieu acide implique généralement une chimisorption de l'inhibiteur. Plus les atomes ont tendance à former des liaisons avec le métal en donnant des électrons, plus les inhibiteurs sont efficaces [51].

I.3.4 Influence de la concentration sur l'adsorption :

On exprime généralement la quantité adsorbée d'une espèce i par le recouvrement de la surface, qui représente la fraction de sites occupés par la surface :

$$\theta = \frac{N_i}{N_0}$$

N_i : représente le nombre des sites occupés par l'espèce adsorbée.

N_0 : le nombre total des sites par unité de surface.

Les isothermes d'adsorption

Les études des isothermes d'adsorption fournissent un mécanisme descriptif pour comprendre comment les inhibiteurs organiques s'adsorbent sur les surfaces métalliques. Le modèle d'isotherme d'adsorption le plus approprié, qui caractérise avec précision l'adsorption du médicament expiré sur le cuivre dans un milieu d'acide sulfurique, a été déterminé en ajustant divers modèles d'isothermes d'adsorption, y compris Langmuir, Freundlich, Frumkin, Tempkin, Flory-Huggins et El Awady, exprimés sous les formes suivantes :

L'isotherme d'adsorption de Langmuir est représentée par l'équation [52]:

$$C/\theta = 1/K_{ads} + C \quad (1)$$

Où θ est la fraction de la surface couverte par l'inhibiteur, K est la constante d'adsorption, et C est la concentration de l'inhibiteur.

Le modèle d'isotherme d'adsorption de Langmuir repose sur plusieurs postulats utilisés dans l'inhibition de la corrosion :

- L'adsorption se produit de manière uniforme sur la surface métallique.
- Chaque site d'adsorption peut accueillir au maximum une molécule d'inhibiteur (formation d'une couche monomoléculaire).
- Il n'y a pas d'interactions latérales significatives entre les molécules adsorbées.
- L'énergie d'adsorption est constante et indépendante de la couverture de surface.
- L'adsorption et la désorption de l'inhibiteur sont en équilibre dynamique.

L'isotherme d'adsorption de Freundlich [53]:

$$\log(\theta) = n \log C + \log K_{ads} \quad (2)$$

Où C représente la concentration de l'inhibiteur, K_{ads} est la constante d'adsorption-désorption, θ désigne le degré de couverture de la surface par l'inhibiteur, et n est la constante positive connue sous le nom d'exposant de Freundlich.

Le modèle d'isotherme d'adsorption de Freundlich repose sur plusieurs postulats utilisés dans l'inhibition de la corrosion :

- L'adsorption se fait sur une surface hétérogène où les sites d'adsorption ont des énergies différentes.

- L'intensité de l'adsorption diminue exponentiellement avec l'augmentation de la couverture de surface.
- La capacité d'adsorption est proportionnelle à la concentration des espèces adsorbées en solution.
- Il n'y a pas d'interaction latérale entre les molécules adsorbées.
- L'adsorption est réversible, et l'équilibre est atteint lorsque le taux d'adsorption est égal au taux de désorption

Le modèle d'isotherme d'adsorption de Frumkin [54]:

$$\log[C(\theta/1-\theta)] = 2\alpha\theta + 2.303\log K_{ads} \quad (3)$$

Où :

θ est la fraction de la surface couverte par l'inhibiteur,

K est la constante d'adsorption,

C est la concentration de l'inhibiteur en solution,

a est un paramètre décrivant l'interaction entre les molécules adsorbées.

Le modèle d'isotherme d'adsorption de Frumkin [54] repose sur plusieurs postulats utilisés dans l'inhibition de la corrosion :

- Interaction entre les molécules adsorbées : Le modèle de Frumkin prend en compte les interactions entre les molécules adsorbées sur la surface du métal. Ces interactions peuvent être attractives ou répulsives et influencent la manière dont les molécules s'organisent à la surface.
- Énergie d'adsorption : Le modèle suppose que l'énergie d'adsorption des molécules inhibitrices varie en fonction de la couverture de la surface. Cette variation est due aux interactions latérales entre les molécules adsorbées.
- Couverture de surface : La couverture de la surface par les molécules inhibitrices n'est pas uniforme et peut être influencée par la concentration des inhibiteurs et la nature du milieu corrosif.
- Équilibre d'adsorption : Le modèle établit un équilibre dynamique entre les molécules adsorbées et celles en solution, dépendant de la concentration et de la température.
- Formation de films protecteurs : Les inhibiteurs de corrosion forment des films protecteurs à la surface du métal en adsorbant physiquement (physisorption) ou chimiquement (chimisorption), réduisant ainsi la vitesse de corrosion.

Le modèle d'isotherme d'adsorption de Temkin [55] :

L'équation de l'isotherme de Temkin est donnée par :

$$\theta = \ln C + K_{ads} \quad (4)$$

Où :

θ est la fraction de surface couverte par l'inhibiteur,

K est la constante d'équilibre d'adsorption,

C est la concentration de l'inhibiteur.

Le modèle d'isotherme d'adsorption de Temkin est souvent utilisé pour décrire l'adsorption de molécules inhibitrices sur la surface d'un métal. Ce modèle repose sur les postulats suivants :

- Interactions adsorbant-adsorbé : Les interactions entre les molécules adsorbées sont prises en compte, ce qui signifie que l'énergie d'adsorption diminue linéairement avec la couverture de surface.
- Uniformité des sites d'adsorption : Les sites d'adsorption sont considérés comme uniformes en énergie, mais les interactions adsorbant-adsorbé créent une distribution des énergies d'adsorption.
- Couverture partielle de la surface : Le modèle s'applique principalement aux conditions de couverture partielle de la surface, ce qui permet de mieux comprendre les mécanismes d'adsorption à des concentrations intermédiaires d'inhibiteurs.

L'isotherme d'adsorption de Flory-Huggins est exprimée par l'équation [56] :

$$\log(\theta / C) = b \log(1 - \theta) + \log K_{ads} \quad (5)$$

Où θ est la fraction de surface couverte par l'inhibiteur, K est la constante d'adsorption, C est la concentration de l'inhibiteur en solution, et b est le nombre de sites d'adsorption recouverts par chaque molécule d'inhibiteur.

- Homogénéité de la Surface : La surface du métal est supposée homogène, c'est-à-dire que tous les sites d'adsorption sont équivalents et accessibles à l'inhibiteur.
- Adsorption Monocouche : L'inhibiteur forme une seule couche sur la surface du métal, sans formation de multicouches.
- Interaction entre Molécules Adsorbées : Les interactions entre les molécules adsorbées ne sont pas négligées, et l'équation de Flory-Huggins tient compte des interactions latérales entre les molécules adsorbées.

- Réversibilité de l'Adsorption : Le processus d'adsorption est réversible, permettant à l'inhibiteur de se détacher de la surface et de retourner en solution.
- Compatibilité avec la Thermodynamique : L'isotherme respecte les principes thermodynamiques, en particulier les lois de conservation de l'énergie et de l'entropie.

L'isotherme d'adsorption de El-Awady est formulé comme suit [57]

$$\log(\theta/1-\theta) = y \log(C) + y \log K_{ads} \quad (6)$$

Où θ est la fraction de la surface couverte par l'inhibiteur, C est la concentration de l'inhibiteur, K est la constante d'adsorption, et y est le facteur d'exposant qui représente le nombre de sites d'adsorption.

Postulats utilisés dans l'inhibition de la corrosion selon le modèle de l'isotherme d'adsorption de El-Awady :

- Homogénéité de la Surface : La surface du métal est homogène, ce qui signifie que chaque site d'adsorption est équivalent en énergie et en capacité d'adsorption.
- Adsorption Monomoléculaire : L'adsorption se produit en une seule couche, c'est-à-dire qu'une fois qu'une molécule inhibitrice est adsorbée sur un site, aucun autre inhibiteur ne peut adsorber sur le même site.
- Absence d'Interactions Latérales : Les molécules adsorbées n'interagissent pas les unes avec les autres une fois qu'elles sont adsorbées sur la surface du métal.
- Réversibilité de l'Adsorption : Le processus d'adsorption est réversible, permettant un équilibre dynamique entre les molécules adsorbées et celles en solution.
- Influence de la Température : La température peut affecter le processus d'adsorption, influençant ainsi la constante d'adsorption K et le facteur d'exposant y .

Chapitre II :

Méthode et réactifs utilisé

II.1. Généralité

II.1.1 Le Cuivre

Le cuivre est un métal naturellement présent, réputé pour son excellente conductivité électrique et thermique, bien que sa résistance mécanique soit relativement faible. Sa malléabilité et sa ductilité facilitent sa mise en forme, bien que sa soudabilité laisse à désirer. Le cuivre est couramment utilisé dans les applications nécessitant une conductivité électrique élevée, comme les câbles électriques, les composants électroniques, ainsi que les tuyaux et tubes de plomberie. Il est également prisé pour la fabrication de pièces décoratives et artistiques, et il est utilisé pour ses propriétés résistantes à la corrosion.

II.1.2 Définition de médicament Dermobacter

Le médicament Dermobacter est un produit pharmaceutique utilisé dans le traitement des affections cutanées, telles que les infections bactériennes de la peau. Il contient généralement un ou plusieurs agents antibactériens destinés à éliminer ou à prévenir la croissance des bactéries responsables de ces infections. En fonction de sa formulation spécifique, il peut être disponible sous forme de crème, de gel, de lotion ou d'autres formes topiques. Son utilisation est généralement prescrite par un médecin ou un dermatologue après évaluation de la condition cutanée du patient.

Dans notre étude, nous avons innové en utilisant pour la première fois le Dermobacter comme inhibiteur de la corrosion métallique. Cette décision découle de l'observation précédente de l'impact significatif des composants du Dermobacter, notamment le chlorure de benzalkonium et le digluconate de chlorhexidine, sur la capacité inhibitrice contre la corrosion, comme mentionné dans les études antérieures. Le Dermobacter appartient à la famille des ammoniums quaternaires pour le chlorure de benzalkonium et à la famille des biguanides pour le digluconate de chlorhexidine [58-59].

Ces composants sont largement reconnus pour leur efficacité en tant qu'agents antimicrobiens et sont couramment utilisés dans la pharmacopée comme antiseptiques topiques.

II.1.3 Le choix d'un inhibiteur :

Les propriétés physicochimiques sont les plus importants pour choisir un inhibiteur efficace [60] :

- La stabilité thermique est importants surtout dans le domaine de traitement des puits.
- Il doit être efficace à faible concentration.
- Il doit être stable en présence des autres constituants du milieu comme les oxydants.
- Réduire la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter les propriétés.
- Être soluble et dispersible dans le milieu.

II.1.4 Domaines d'application des inhibiteurs :

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines conventionnels d'utilisation [61] :

- Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux des procédés industriels, eaux de chaudières...).
- L'industrie du pétrole (forage, extraction, raffinage, stockage et transport).

L'industrie des peintures sur métaux où les inhibiteurs de corrosion sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux.

II.1.5 La relation entre la structure moléculaire de l'inhibiteur et l'efficacité inhibitrice :

Il y a un nombre important des inhibiteurs de substances organiques et aussi des molécules aromatiques et des macromolécules sous forme des chaînes. D'une façon générale les inhibiteurs s'adsorbent sur les sites actifs de surface de cuivre pour bloquer ses sites et permettre de retarder la corrosion de cuivre [48].

L'efficacité inhibitrice dépend de deux facteurs :

- La structure moléculaire de l'inhibiteur.
- La concentration de l'inhibiteur.

II.1.6 L'acide sulfurique :

L'acide sulfurique est un liquide corrosif, incolore et inodore, qui possède une odeur très forte et irritante lorsqu'il est concentré. Il est hautement soluble dans l'eau. Cependant, il est extrêmement toxique par inhalation, provoquant des lésions graves des voies respiratoires et des poumons. Au contact avec la peau, il peut causer de graves brûlures et des lésions cutanées profondes. De plus, en cas de projection dans les yeux, il peut entraîner des lésions oculaires sévères, pouvant aller jusqu'à la perte de vision. En raison de sa nature corrosive et de sa forte

réactivité, l'acide sulfurique doit être manipulé avec une extrême prudence et des équipements de protection appropriés doivent être utilisés lors de sa manipulation.

Tableau 1. Propriétés d'acide sulfurique

Forme	Liquide
Couleur	Incolore à légèrement jaune
Odeur	Inodore à faible concentration, piquante à forte concentration
PH	(à 20 °C) < 1
Viscosité dynamique	10 °C (pour une concentration de 98.3%)
Point de fusion	-3 °C (pour une concentration de 100%)
Point de solidification	Environ 1.84 g/cm ³ (à 20 °C pour une solution 98%)
Densité	(à 20 °C) 1,16 g/cm ³
Solubilité dans Eau	Complètement soluble, réaction exothermique.

II.2. Les conditions expérimentales

II.2.1 Les matériaux et les produits utilisés :

Tableau 2. Les matériaux et les produits utilisés dans cette étude.

Les matériaux	Les produits
Matériaux de test : Pièces en cuivre Outils de préparation et de mesure : Papiers abrasifs ; Pied à coulisse ; Balance analytique ; Pince Matériel de verrerie : Bêchers ; Flacons étiquetés ; Éprouvette ; Fioles jaugées Équipement de laboratoire : Séchoir ; Bain-marie	L'acétone ; l'acide sulfurique ; Dermobacter ; l'eau distillée.

II.2.2 Procédure expérimentale :

1 Préparation de la pièce

Une solution essai acide sulfurique à 0,5 mol/L a été préparée en diluant d'acide sulfurique de qualité analytique à 98 % avec d'eau distillée double pour obtenir un volume final de 50 mL. La surface d'échantillon de cuivre a été prétraitée en le polissant avec différents abrasifs (allant de 600 à 1200), suivi un lavage à eau distillée double puis à acétone. Après séchage, les échantillons ont été pesés avant immersion dans la solution essai fraîchement préparée. Ensuite, les échantillons de cuivre ont été récupérés, nettoyés et repesés.

Les mesures de poids ont été effectuées aide une balance analytique avant et après exposition, et enregistrées au plus près à cinq décimales. Le médicament périmé utilisé dans cette recherche est le Dermobacter.

2 La méthode de perte de poids

Un des principaux avantages de la méthode de perte de poids est sa simplicité et sa facilité de mise en œuvre. Elle ne nécessite ni équipement sophistiqué ni expertise spécialisée, ce qui la rend accessible aux chercheurs de diverses disciplines. De plus, elle fournit une mesure directe et concrète des dommages dus à la corrosion, la rendant particulièrement adaptée aux études comparatives et aux applications pratiques.

Cette méthode est utilisée pour évaluer le taux de corrosion un échantillon métallique en mesurant la perte de masse au cours une exposition à un environnement corrosif. Dans une procédure typique, un spécimen métallique propre et pré-pesé est immergé ou exposé au milieu corrosif, et après un temps prédéterminé, échantillon est retiré, nettoyé et repesé. La différence de poids avant et après exposition est utilisée pour calculer le taux de corrosion et l'efficacité d'inhibition.

Le changement de poids des échantillons avant et après immersion dans la solution acide, avec ou sans inhibiteur, a été mesuré à aide une balance numérique. Toutes les mesures ont été effectuées en triplicata, et la valeur moyenne de perte de poids a été enregistrée. Efficacité inhibition (IE), le taux de corrosion (W) la couverture de surface (θ) a été calculée selon les formules suivantes [62].

$$EI(\%) = 100 \times (W_{corr} - W_{inh})/W_{corr}$$

$$W = \Delta m / (S \times t)$$

$$\theta = EI/100$$

Dans les équations ci-dessus, Δm représente la perte de poids en grammes (g), S désigne la surface totale de échantillon en centimètres carrés (cm²), t représente le temps;exposition en heures (h), W_{corr} et W_{inh} sont les taux de corrosion des échantillons ddu cuivre en absence et en présence de;inhibiteur, respectivement, mesurés en grammes par centimètre carré par heure (g/cm.h).



Figure1. Pièce après immersion en absence d'inhibiteur



Figure2. Pièce après immersion en présence d'inhibiteur

Chapitre III :

Partie expérimentale et résultats

III.1. Effet de la concentration et de la température sur l'Efficacité de l'Inhibition

L'élévation de la température entraîne de nombreuses modifications complexes telles que la décomposition, la désorption de l'inhibiteur et la gravure rapide de la surface métallique, ce qui a attiré l'attention de nombreuses études sur ce sujet. La température peut modifier les interactions entre le cuivre et l'acide sulfurique en l'absence et en présence des inhibiteurs.

La performance de Dermobacter en tant qu'inhibiteur de corrosion a été étudiée en surveillant la perte de poids au cours du processus. Les mesures de perte de poids ont été déterminées dans une solution de H_2SO_4 0,5 M, avec et sans différentes concentrations de Dermobacter (de 0,25 à 1 %, V/V) pendant un temps d'immersion d'une heure. Les figures 3 et 4 montrent la variation de la concentration et de la température de Dermobacter avec l'efficacité inhibitrice (IE) et la vitesse de corrosion, respectivement.

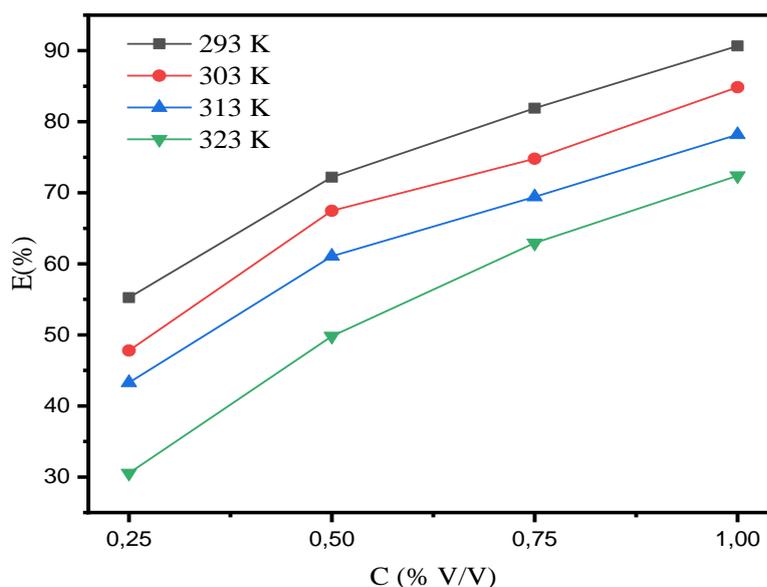


Figure 3. Évolution de l'efficacité de l'inhibiteur Dermobacter en fonction de sa concentration dans H_2SO_4 0,5 M après un temps d'immersion de 1h.

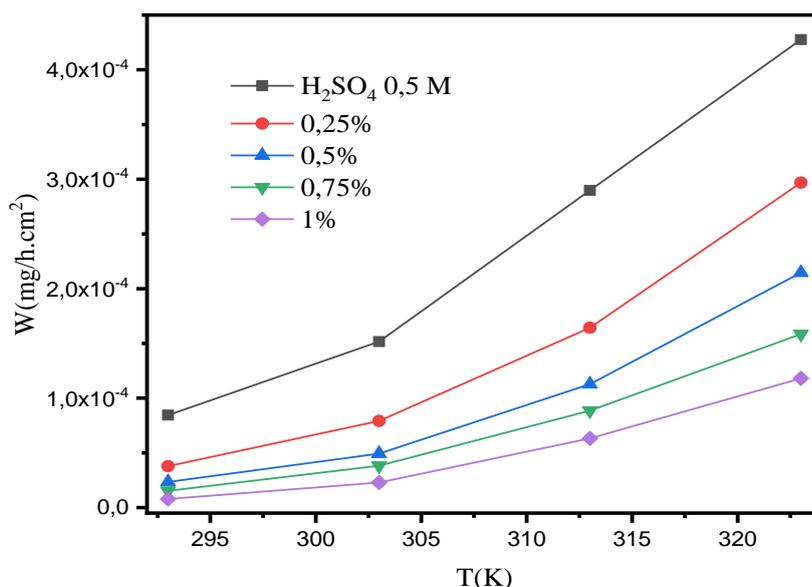


Figure 4. Variation de la vitesse de corrosion de cuivre en fonction de la température.

L'IE augmente avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur en raison de la disponibilité d'un grand nombre de sites d'adsorption apportés par les nombreuses molécules de Dermobacter. L'IE maximale de 90,67 % a été obtenue à la concentration optimale de 1 % V/V à 298 K. L'IE obtenue à la concentration optimale était de 90,67 % à 293 K et de 72,39 % à 323 K, les températures minimale et maximale, respectivement.

Tableau 3. Résultats gravimétriques de la corrosion du cuivre dans une solution de H₂SO₄ en présence de différentes concentrations d'inhibiteur à différentes températures.

C (% V/V)	293 K	303 K	313 K	323 K
0.25%	55,24	47,79	43,28	30,54
0.5%	72,21	67,47	61,07	49,81
0.75%	81,91	74,79	69,43	62,93
1%	90,67	84,85	78,19	72,39

La diminution de l'IE de l'inhibiteur à des températures plus élevées a montré l'instabilité de Dermobacter lorsqu'il est soumis à des températures plus élevées. À des températures plus élevées, Dermobacter est désorbé de la surface du cuivre. Il peut également être observé dans

la figure 4 que lorsque la température augmente, la vitesse de corrosion augmente aussi. D'après les résultats obtenus de cette étude, il a été constaté que Dermobacter fonctionne correctement à des températures plus basses, mais présente des capacités d'inhibition faibles à des températures plus élevées (voir aussi Tableau 3).

III.2. Influence du temps d'immersion

Afin d'évaluer l'effet du temps sur le taux de corrosion du cuivre dans un milieu acide, le taux de corrosion a été étudié séparément à 1 h, 2 h, 3 h, et 4 h en utilisant 1 % de Dermobacter à 303 K.

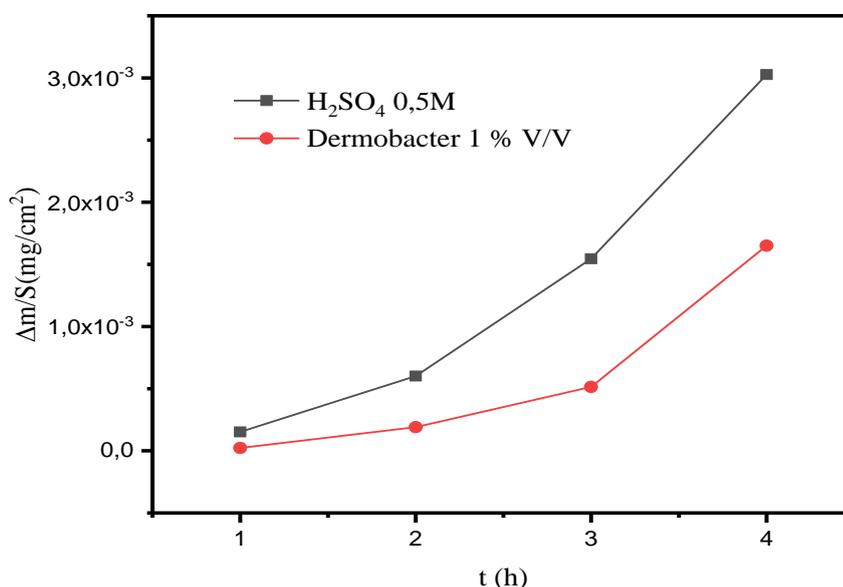


Figure 5. Perte de poids en fonction du temps d'immersion sans et avec inhibiteur dans H_2SO_4 0,5 M à $T = 303$ K

La figure 5 montre un changement significatif de la perte de poids par unité de surface de l'échantillon de cuivre pendant une immersion prolongée dans la solution corrosive avec et sans inhibiteur. Cela indique un taux de corrosion accéléré accompagné d'une diminution de l'efficacité de l'inhibition (figure 6). Tout au long de l'expérience, l'échantillon immergé dans la solution acide a montré une perte de poids significativement plus élevée par rapport à l'échantillon correspondant en présence de l'inhibiteur, pour toutes les durées d'immersion. La différence de perte de poids, due à la présence de l'inhibiteur, peut être attribuée à la formation de couches adsorptions. Ces couches agissent comme une barrière protectrice, protégeant les ions métalliques réactifs des milieux corrosifs. Au fur et à mesure que le temps d'immersion

augmentait, une diminution notable à la fois de la perte de poids et de l'efficacité de l'inhibition devenait apparente (de 90,67 % à 1 h jusqu'à 45,48 % à 4 h d'immersion). Ce phénomène peut probablement être attribué à deux facteurs potentiels. Premièrement, les molécules de l'inhibiteur pourraient se désorber simultanément de la surface de l'échantillon, entraînant une dissolution ultérieure dans la zone exposée. Deuxièmement, la taille, l'orientation et l'interaction des molécules de l'inhibiteur pourraient donner lieu à des défauts spécifiques au sein de la couche d'inhibiteur [63].

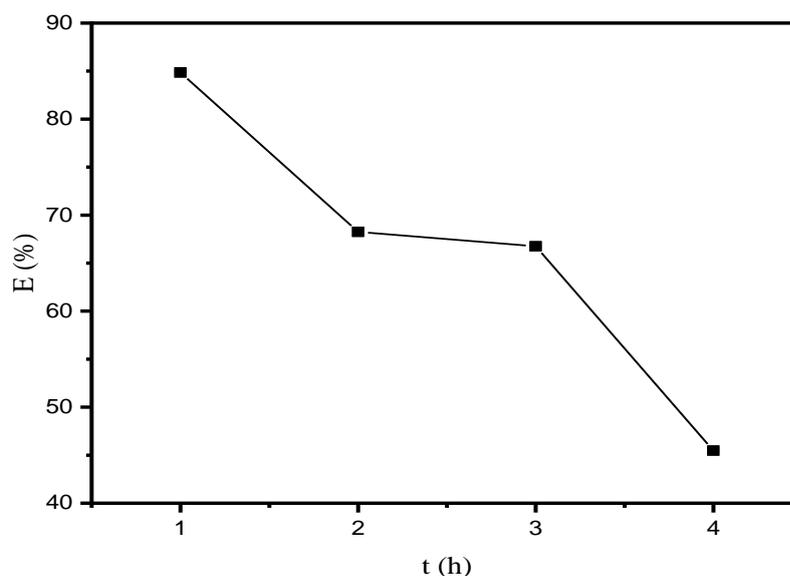


Figure 6. Variation de l'efficacité d'inhibition du Dermobacter en fonction du temps d'immersion dans un milieu de H_2SO_4 à 0,5 M, pour différentes concentrations.

III.3. Paramètres thermodynamiques d'activation

Le mécanisme inhibiteur de l'inhibiteur étudié peut être élucidé en examinant les paramètres thermodynamiques et d'activation. L'impact de la température sur l'effet inhibiteur peut être clairement expliqué à l'aide de l'équation d'Arrhenius. Cette équation est représentée comme suit [64].

$$W_{\text{corr}} = A \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

E_a : énergie d'activation en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

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

T : température absolue (en K)

A : Le facteur pré-exponentiel,

W_{corr} : vitesse de la corrosion.

Le tracé du logarithme naturel de la vitesse de corrosion (\ln) en fonction de $1/T$ dans l'équation ci-dessus donne une pente à partir de laquelle l'énergie d'activation a été estimée. L'enthalpie d'activation (ΔH_a) et l'entropie d'activation (ΔS_a) peuvent être déterminées en analysant la pente ($-\Delta H_a/R$) et l'ordonnée à l'origine [$\ln(R/Nh) + (\Delta S_a/R)$] du tracé de $\ln(W/T)$ en fonction de $1/T$ (Figure 7). Cette analyse utilise l'équation suivante pour l'état de transition :

$$\ln(W/T) = [\ln(R/Nh) + (\Delta S_a/R)] - \Delta H_a/RT$$

Où h représente la constante de Planck, N représente le nombre d'Avogadro, ΔS_a signifie l'entropie d'activation et ΔH_a indique l'enthalpie d'activation.

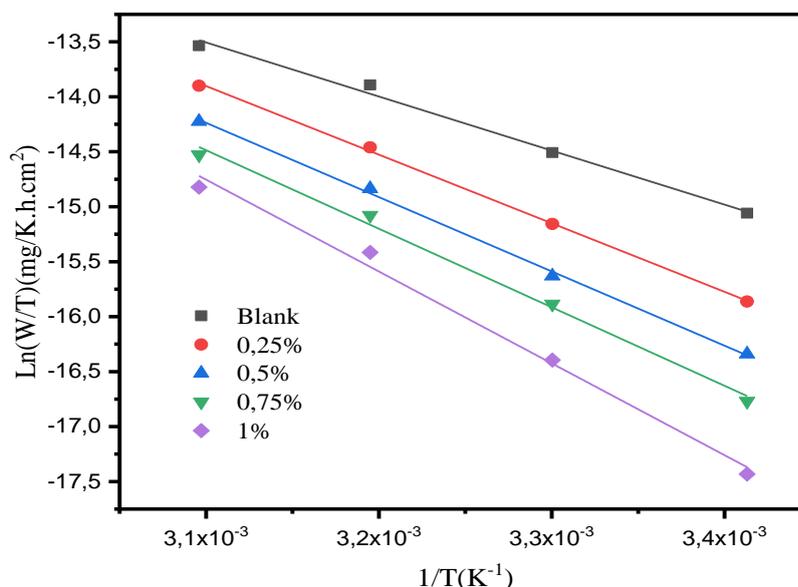


Figure 7. Variation de $\ln(W_{\text{corr}}/T)$ en fonction de l'inverse de la température en absence et en présence de l'inhibiteur Dermobacter

Selon la figure 7 Les paramètres cinétiques et thermodynamiques du processus de dissolution sont importants de comprendre le mécanisme d'inhibition. D'après cette figure, on remarque que les courbes de $\ln(W)$ en fonction de $(1/T)$ sont linéaire et suit la loi d'Arrhenius.

Radovici a proposé une classification des inhibiteurs basée sur la comparaison des énergies d'activation obtenues en l'absence et en présence de l'inhibiteur. Il a distingué trois catégories [65].

*/ $E_{a\text{ inh}} > E_a$

L'inhibiteur s'adsorbe sur la surface du métal par des liaisons électrostatiques faibles et sensibles à la température. Ces types de liaisons ne peuvent pas résister contre la corrosion à des températures élevées.

*/ $E_{a\text{ inh}} < E_a$

Dans ce cas l'inhibiteur a le pouvoir de résister à l'augmentation de la température. Les molécules d'inhibiteur s'accrochent à la surface du cuivre par des liaisons fortes (chimisorption), ce qui rend ces inhibiteurs très efficaces.

*/ $E_{a\text{ inh}} = E_a$

Cette catégorie ne montre pas d'évolution du pouvoir protecteur avec la température. Très peu de composés appartiennent à cette dernière catégorie. Le tableau 4 rassemble les valeurs du facteur pré-exponentiel et des énergies d'activation de dissolution du cuivre.

Tableau 4. Paramètres d'activation thermodynamique pour la corrosion du cuivre dans acide sulfurique sans et avec Dermobacter en utilisant des tracés d'Arrhenius et d'état de transition.

C (%, V/V)	R ²	E _a (kJ/mol)	R ²	ΔH _a (kJ/mol)	ΔH _a =E _a -R T (kJ/mol)	ΔS _a (J/mol.K)	ΔG _a (kJ/mol)
Blank	0,991	43,43	0,989	40,88	40,87	-183,09	97,26
0,25	0,998	54,43	0,998	51,87	51,86	-152,30	98,77
0,5	0,998	58,74	0,997	56,19	56,18	-141,71	99,83
0,75	0,992	61,95	0,991	59,39	59,39	-133,85	100,61
1	0,988	72,02	0,987	69,46	69,46	-104,85	101,75

Les données présentées dans le tableau ci-dessus indiquent que l'énergie d'activation (E_a) de la solution inhibée dans cette étude augmente avec des concentrations plus élevées de l'inhibiteur, ce qui suggère un mécanisme d'adsorption physique.

Les valeurs de l'enthalpie d'activation ΔH_a en présence de l'inhibiteur sont supérieures à celles de la solution acide seule, ce qui indique une protection contre la corrosion [31]. Les signes positifs des enthalpies ΔH_a montrent la nature endothermique du processus de dissolution du métal.

Les valeurs de ΔH_a obtenues sont en bon accord avec les ΔH_a calculées à partir de l'équation $\Delta H_a = E_a - RT$ à la température expérimentale moyenne ($T = 308$ K). Ce résultat suggère que le processus de corrosion suit un mécanisme de réaction unimoléculaire impliquant l'évolution de gaz hydrogène [66].

Les valeurs de ΔS_a sont plus élevées en présence de l'inhibiteur que celles des solutions témoins. Ce comportement peut être attribué à l'augmentation du désordre lors du passage des réactifs au complexe activé.

Les valeurs d'entropie (ΔS_a) étaient négatives à la fois en absence et en présence d'inhibiteurs, ce qui implique qu'une diminution du désordre s'est produite en passant du réactif au produit. Le changement de l'énergie de Gibbs peut être déduit à 308 K par l'équation suivante :

$$\Delta G_a = \Delta H_a - T\Delta S_a$$

L'énergie libre de Gibbs (pour la corrosion) augmente avec l'ajout de l'inhibiteur dans l'acide sulfurique de 97,26 à 101,75 kJ/mo. Le fait que $\Delta G_a > 0$ signifie une réaction de corrosion non spontanée et cette valeur augmente avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur. De plus, les valeurs plus élevées de ΔG_a du processus en présence d'un inhibiteur par rapport à son absence sont attribuées à sa physisorption, tandis que le contraire est vrai pour les chimisorptions.

III.4. Isotherme d'adsorption

L'isotherme d'adsorption explique l'interaction entre les molécules d'inhibiteur et la surface du métal. L'inhibition de la corrosion des métaux par les inhibiteurs est expliquée par leur adsorption, qui peut être de deux types principaux : l'adsorption physique (formation de liaisons faibles) et la chimisorption (formation de liaisons fortes). Cette adsorption dépend de la charge et de la nature du métal, de la structure chimique de l'inhibiteur et du type d'électrolyte. La détermination du type d'isotherme nécessite le calcul du taux de recouvrement (θ).

Le taux de recouvrement θ est calculé à partir de la relation suivante [67] :

$$\theta = (1 - W_{inh}/W_{corr})$$

Où W_{corr} et W_{corr} sont les vitesses de corrosion en présence et en absence de l'inhibiteur.

Au cours de cette étude, et afin de déterminer l'isotherme d'adsorption la plus significative, différents types d'isothermes ont été testés, notamment : Langmuir, Temkin, Freundlich, Flory-Huggins, El-Awady et Frumkin (Figures 8-13).

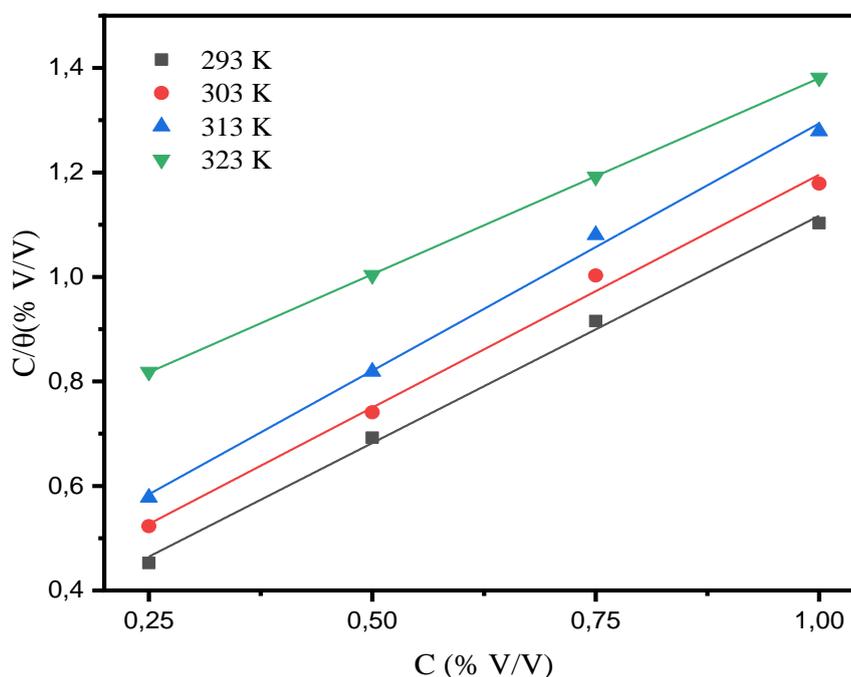


Figure 8. Isotherme de Langmuir pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H_2SO_4 .

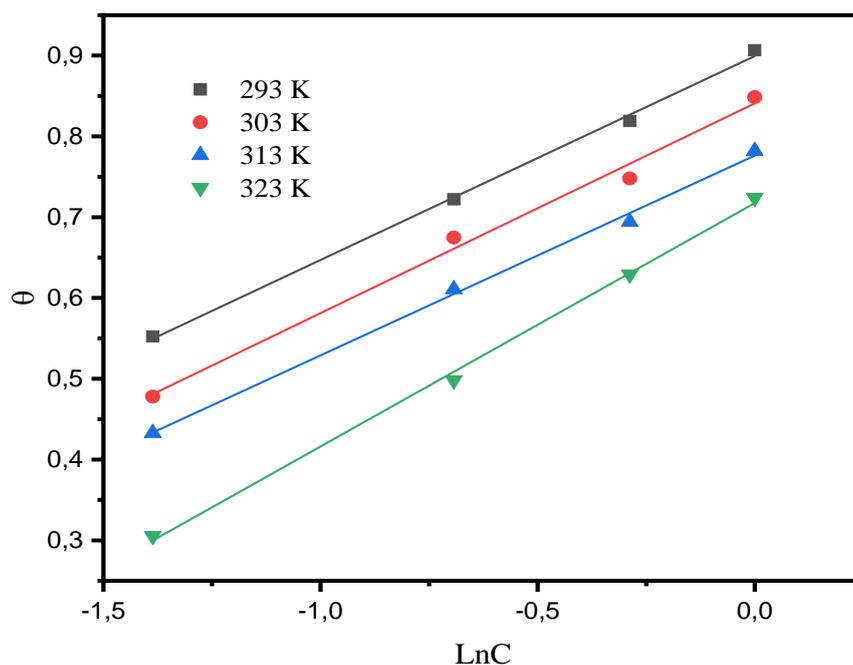


Figure 9. Isotherme de Temkin pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H₂SO₄.

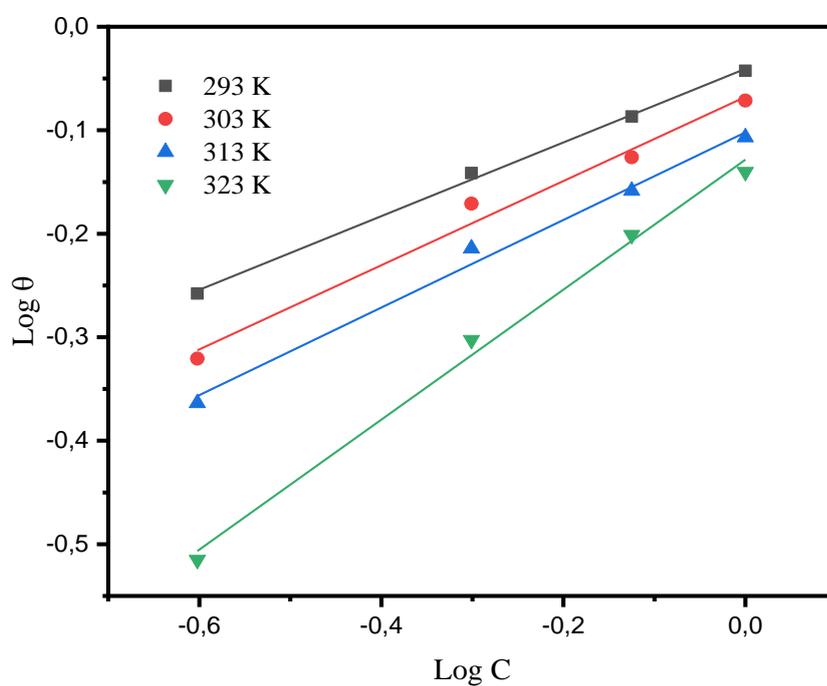


Figure 10 Isotherme de Freundlich pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H₂SO₄.

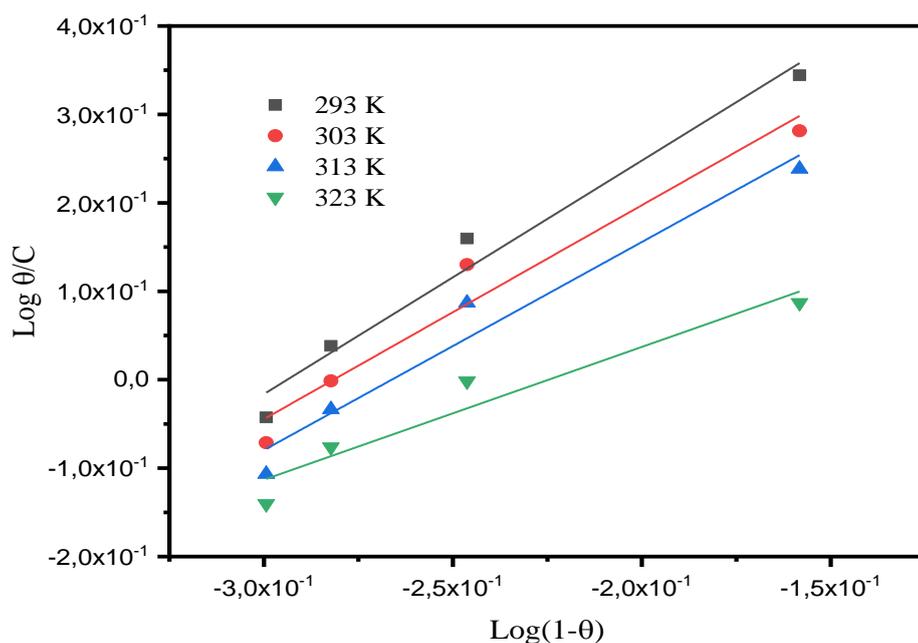


Figure 11. Isotherme de Flory-Huggins pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H₂SO₄.

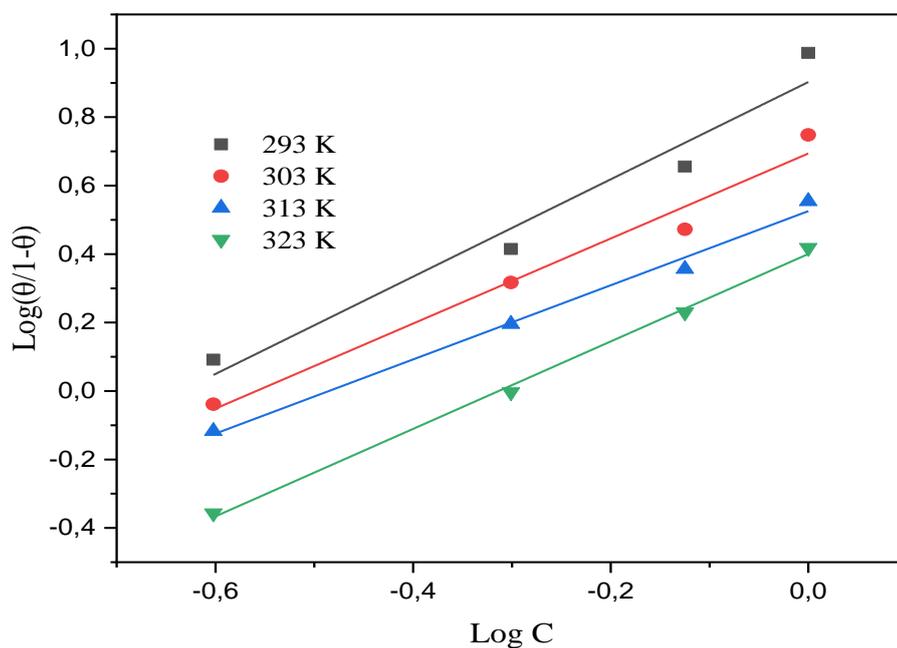


Figure 12 Isotherme de El-Awady pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H₂SO₄.

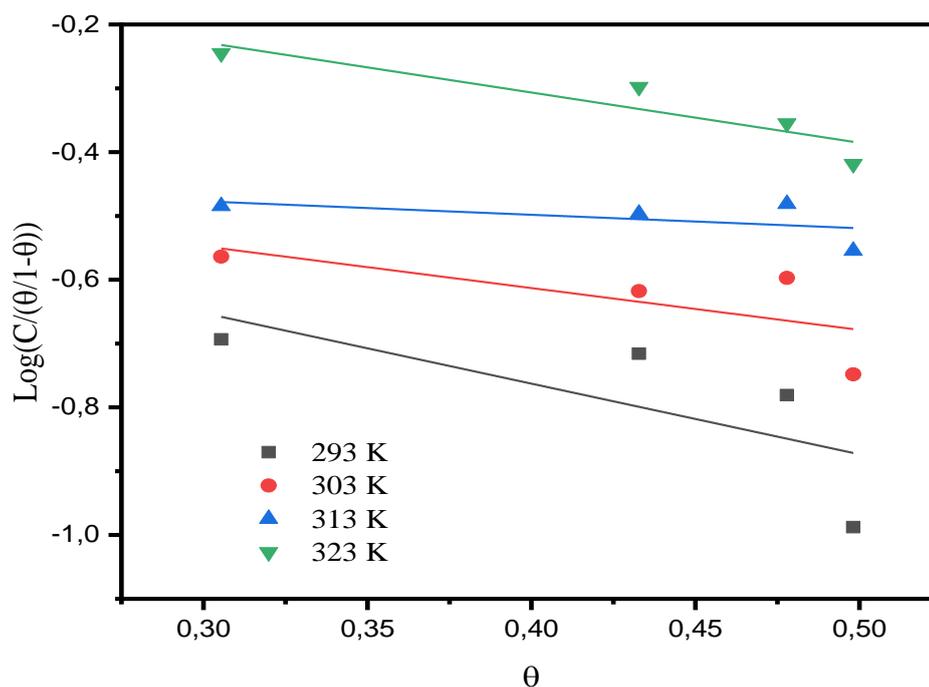


Figure 13 Isotherme de Frumkin pour l'adsorption de la Dermobacter sur la surface de cuivre dans 0,5 M de H₂SO₄.

Les valeurs de R² associées à chaque modèle d'isotherme présenté dans le Tableau 7 ont été utilisées pour identifier le modèle le plus approprié.

Tableau 5. Valeurs de R² pour les différentes isothermes d'adsorption considérées

T (K)	R ²					
	Langmuir	Temkin	Freundlich	Flory-Huggins	El-Awady	Frumkin
293	0,995	0,997	0,996	0,961	0,938	0,266
303	0,992	0,987	0,977	0,936	0,964	0,239
313	0,995	0,995	0,987	0,941	0,987	-0,070
323	0,999	0,997	0,991	0,895	0,995	0,752

Bien que les données du Tableau 5 aient montré des ajustements avec les isothermes de Freundlich, Langmuir, Frumkin, Temkin, Flory-Huggins et El-Awady, les isothermes de

Langmuir, Temkin et de Freundlich ont présenté les valeurs de R^2 les plus élevées. Cette observation suggère que ces trois isothermes fournissent la description la plus précise du mécanisme d'adsorption du médicament sur le cuivre dans un milieu d'acide sulfurique. Par conséquent, l'isotherme de Langmuir est considéré comme appropriés pour évaluer les paramètres d'adsorption.

La constante d'équilibre du processus d'adsorption (K_{ads}) a été calculée à partir de l'interception de l'axe C/θ . Le changement d'énergie libre standard d'adsorption (ΔG_{ads}) et la constante d'adsorption (K_{ads}) sont reliés par l'expression suivante :

$$\Delta G_{ads} = -RT \ln(55.5 K_{ads})$$

Où R est la constante des gaz ($J/mol \cdot K$) et T est la température absolue (K). La valeur constante de 55,5 représente la concentration de l'eau dans la solution (mol/L).

Tous les paramètres thermodynamiques d'adsorption obtenus à partir de l'isotherme de Langmuir sont regroupés dans le tableau 6.

Tableau 6. Paramètres thermodynamiques de l'adsorption de Dermobacter sur la surface de cuivre dans l'acide sulfurique à différentes températures.

T (K)	R^2	K_{ads}	$\Delta H_{ads}(kJ/mol)$	$\Delta S_{ads}(kJ/mol K)$	$\Delta G_{ads}(kJ/mol)$
293	0,995	4,04314	-28,30	-50,84	-13,18
303	0,992	3,28535		-50,13	-13,11
313	0,995	2,87743		-48,24	-13,20
323	0,999	1,5878		-50,40	-12,02

Les valeurs de K_{ads} sont positives, ce qui signifie que le processus d'adsorption est bien favorisé sur la surface métallique. La valeur de (ΔH°_{ads}) est la pente calculée à partir de la droite tracée entre ΔG°_{ads} et la température ($R^2=1$). Ce paramètre fournit des informations cruciales sur le mécanisme d'adsorption de l'inhibiteur. Une adsorption endothermique ($\Delta H^{\circ}_{ads} > 0$) est spécifiquement associée à la chimisorption. Dans notre étude, une valeur négative de ΔH°_{ads} (-28,30 kJ/mol) indique que l'inhibiteur est physiquement adsorbé à la surface du cuivre. Une entropie d'adsorption négative entraîne une réduction de la dégradation de la surface métallique, tandis qu'une valeur positive indique un accroissement du désordre du système. Lorsque les énergies libres d'adsorption sont proches ou inférieures à -40 kJ/mol, des liaisons covalentes

stables se forment, ce qui suggère une chimisorption. En revanche, des valeurs absolues de $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$ calculées inférieures à -20 kJ/mol indiquent une adsorption physique. Des valeurs proches ou supérieures à -20 kJ/mol sont liées à des interactions électrostatiques, suggérant une physisorption. Les valeurs négatives de l'énergie libre standard d'adsorption $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$ (\approx -13 kJ/mol) confirment la spontanéité de l'adsorption des molécules inhibitrices sur la surface métallique.

Conclusion

Conclusion générale

Les inhibiteurs de corrosion sont un moyen efficace de prévention contre la corrosion. Ils couvrent un large domaine d'utilisation et présentent l'avantage d'être faciles à utiliser. L'objectif de cette étude était d'évaluer le pouvoir inhibiteur de Dermobacter en milieu H_2SO_4 0,5 M. L'influence de la concentration, du temps d'immersion et de la température sur le processus de corrosion, en présence et en absence de Dermobacter, a été étudiée. L'analyse de l'effet anticorrosif de cet inhibiteur nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Dermobacter est un bon inhibiteur de corrosion en milieu acide sulfurique.
- L'augmentation de l'efficacité inhibitrice avec l'augmentation de la concentration montre une forte interaction de l'inhibiteur avec la surface du cuivre. Une couche protectrice se forme, protégeant le cuivre contre la corrosion.
- L'effet de la température dans le milieu fait diminuer l'efficacité de notre inhibiteur, ce qui implique une augmentation de la vitesse de corrosion.
- L'inhibiteur Dermobacter est adsorbé à la surface du métal et suit les isothermes de trois modèles (Langmuir, Temkin et Freundlich), le modèle de Langmuir étant le plus adéquat.
- L'adsorption suit un mécanisme de physisorption, comme le montrent les énergies d'adsorption et d'activation, ainsi que la diminution de l'efficacité avec l'augmentation de la température.

Pour les perspectives, des études futures pourraient se concentrer sur une comparaison avec d'autres médicaments, ainsi que sur l'évaluation de son efficacité par des méthodes d'analyse complémentaires telles que l'électrochimie, l'impédance et la polarisation.

Références bibliographiques

- [1] Ghebrioua, M. and R. Younes (2018). Influence des post-traitements sur le comportement mécanique et électrochimique d'un dépôt en acier inoxydable, Université A/Mira Bejaia
- [2] Zerzour, I. E. and N. Gherraf (2020). "Etude de l'effet inhibiteur de corrosion des extraits des plantes *Lactuca virosa* L. et *Verbascum thapsus* L. sur l'acier X60 dans un milieu acide H₂SO₄ 2M."
- [3] Benzargoun, M. and N. touban (2020). Etude de L'effet inhibiteur sur l'extrait de plante *Calotropis Procera* (Krnaka) la corrosion de L'acier X70 en milieu acide HCl 1M, Université Ghardia
- [4] Attar, T., L. Larabi, and Y. Harek, (2014) Inhibition effect of potassium iodide on the corrosion of carbon steel (XC 38) in acidic medium. *Adsorption*, 323(3.39625): p. 1.22182
- [5] Grosogeat, B. and P. Colon (2009). "La corrosion." Société Francophone de Biomatériaux Dentaires.
- [6] Ben Taleb, F. Z. Comportement de l'acier galvanisé dans les solutions : Eau de robinet (Biskra); 3.5% NaCl et 3.21% NH₄Cl.
- [7] Chinogurei, C. (2018). "Propriétés inhibitrices de l'huile de cade sur la corrosion de l'aluminium."
- [8] Abekhti, N., A. Bendahir, et al. (2019). Corrosion dans les installations pétrolières de surface causes, effets et remèdes, Université Ahmed Draia-ADRAR.
- [9] S. Marouf, F. Lakehal and A. Tabchouche (2018). Etude de l'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone par 1.2 diaminophenyl et 1.2 diaminopropane. Université kasdi merbah Ouargla
- [10] Z, Ahmad. Principles of corrosion engineering and corrosion control. Elsevier science, p 151, 2006.
- [11] M .Bouteldja. Contribution à l'étude de l'utilisation des inhibiteurs dans la lutte contre la corrosion. Université Kasdi Merbah Ouargla, p 3-8-28,2016.
- [12] B. Mezhoud. Synthèse des inhibiteurs contre la corrosion des aciers. Université Mentouri-Constantine, p 6-7,2011
- [13] MARMI, H. (2017). Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [14] Attar Tarik. (2006). Étude gravimétrique de l'inhibition de corrosion du fer pur et de quelques aciers par l'iodure de potassium dans H₂SO₄ 0,5 M. Université de Tlemcen
- [15] Daraf Mourad, R. S. "Étude électrochimique de l'efficacité inhibitrice des huiles sur la corrosion de l'aluminium
- [16] S. Audisio, G. Béranger. Anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages industriels. presses polytechniques et universitaires romandes, p 213. 2010
- [17] Saber, D. "Inhibition de la corrosion de l'acier au carbone par l'utilisation des halogènes."
- [18] Haimer, S. "La synthèse d'un inhibiteur de corrosion et l'étude de son effet sur l'acier X42 dans un milieu aqueux."

- [19] H. Zerrouki, H. Miliani. Etude du pouvoir inhibiteur des acides aspartique et glutamique contre la corrosion acide d'un acier doux. P 11 *Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana* 2019.
- [20] Benachour, Abderrahmane S, Athmani S, Gülfeza K. A study on the inhibition effect of expired Amoxicillin on mild steel corrosion in 1N HCl. *Materials Research Express*. 2019; 6:4.
- [21] Yang L, Zhang H, Paul Fawcett J, Mikov M, Tucker I. G. Effect of bile salts on the transport of morphine-6- glucuronide in rat brain endothelial cells. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2011; 100(4):1516-24.
- [22] Lyon RC, Taylor JS, Porter DA, Prasanna HR and Hussain AS. Stability profiles of drug products extended beyond labeled expiration dates. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2006; 95(7):1549-1560.
- [23] Duca D A, Dan M L, Vaszilcsin N. Expired Domestic Drug - Paracetamol - as Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Acid Media. *Materials Science and Engineering: A*. 2018; 416 : 012043.
- [24] Singh A, Pramanik T, Kumar A, Gupta, Phenobarbital M. A new and effective corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl solution. *Asian Journal of Chemistry*. 2013; 25:9808–9812.
- [25] Akpan IA, Offiong NO. Amodiaquine drug as a corrosion inhibitor for mild steel in 0.1M HCl solution. *Chemistry of Metals Alloys*. 2014; 7:149–153.
- [26] Rotaru I, Varvara S, Gaina L, Muresan L M. Antibacterial drugs as corrosion inhibitors for bronze surfaces in acidic solutions. *Applied Surface Science*. 2014; 321:188–196.
- [27] Fouda AS, Rashwan SM, Kamel MM. Tenormin drug as a corrosion inhibitor for 304 stainless steel in hydrochloric acid solutions. *Der Pharma Chemica*. 2015; 7:22–33.
- [28] Kumar A, Bashir S. Ethambutol: A new and effective corrosion inhibitor of mild steel in acidic medium. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2016; 89:1158–1163.
- [29] Fouda AS, Elewady GY, Abdallah YM, Hussien GM. Anticorrosion potential of salazopyrin drug for copper in nitric acid solution. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. 2016; 7:267–281. Available from:
- [30] Karthik G, Sundaravadivelu M. Studies on the inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid solution by atenolol drug. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2016; 25:183–191.
- [31] Khan M. Z. H, Aziz M. A, Hasan M. R, Al-Mamun M. R. The role of drug as corrosion inhibitor for mild steel surface characterization by SEM, AFM, and FTIR. *Anti-Corrosion Methods and Materials*. 2016; 63:308–315.
- [32] Gece G, Bilgiç S. A quantum chemical insight into corrosion inhibition effects of moxifloxacin and betamethasone drugs. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*. 2018; 7:25.
- [33] Yavari Z, Darijani M, Dehdab M. Comparative theoretical and experimental studies on corrosion inhibition of aluminum in acidic media by the antibiotics drugs. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science*. 2018; 42:1957–1967.

- [34] Fajobi MA, Fayomi OSI, Akande IG, Odunlami OA. Inhibitive performance of ibuprofen drug on mild steel in 0.5 M of H₂SO₄ acid. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*. 2019; 5:79.
- [35] Hebbar N, Praveen B. M, Prasanna B. M, Deepa A. Electrochemical and adsorption studies of telmisartan for mild steel in acidic medium. *Journal of Bio- and TriboCorrosion*. 2019; 5:40.
- [36] Aldana-González J, Espinoza-Vázquez A, RomeroRomo M, Uruchurtu-Chavarin J, Palomar-Pardavé M. Electrochemical evaluation of cephalothin as corrosion inhibitor for API 5L X52 steel immersed in an acid medium. *Arabian Journal of Chemistry*. 2019; 12:3244–3253.
- [37] Abdallah M, Gad EAM, Sobhi M, Al-Fahemi JH, Alfakeer MM. Performance of tramadol drug as a safe inhibitor for aluminum corrosion in 1.0 M HCl solution and understanding mechanism of inhibition using DFT. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2019; 28:173–181.
- [38] El-Haddad MN, Fouda AS, Hassan AF. Data from chemical, electrochemical and quantum chemical studies for interaction between Cephapirin drug as an eco-friendly corrosion inhibitor and carbon steel surface in acidic medium. *Chemical Data Collections*. 2019; 22:100251.
- [39] Feng L. Two novel drugs as bio-functional inhibitors for copper performing excellent anticorrosion and antibacterial properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2020; 190:110898.
- [40] Iroha NB, Ukpe RA. Investigation of the inhibition of the corrosion of carbon steel in solution of HCl by glimepiride. *Communication in Physical Sciences*. 2020; 5:246–256.
- [41] Maduelosi NJ, Iroha NB. Insight into the adsorption and inhibitive effect of spironolactone drug on C38 carbon steel corrosion in hydrochloric acid environment. *Journal of Bioand Tribo-Corrosion*. 2021; 7:6.
- [42] Benchadli A, Attar T, Choukchou-Braham E. Inhibition of Carbon Steel Corrosion in Perchloric Acid Solution by Povidone Iodine. *Physical Chemistry Research*. 2019; 7(4):837-848.
- [43] Emrani V, Zandi M, Asadollahzadeh H. The Inhibitory Effect of Amoxicillin on Aluminum Corrosion in a Gel Electrolyte. *International Journal of Electrochemical Science*. 2022; 17:2.
- [44] Alamry KA, Khan A, Aslam J, Hussein MA, Aslam R. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by the expired Ampicillin drug. *Scientific Reports*. 2023; 13(1):6724.
- [45] N. Benhadria, T. Attar, A. Benchadli, E. Choukchou Braham. The study of expired pharmaceutical drug as corrosion inhibitor for carbon steel in acidic media using the design of experiment. *Revue Roumaine de Chimie.*, 2023, 68(10-12), 515–525.
- [46] T. Attar, A. Benchadli, A. Benkhaled, E. Choukchou Braham. Iodine-β-Cyclodextrin: An Effective Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Sulfuric Acid Solution - Experimental Design and Investigating Thermodynamic Parameters. *JOTCSA*. 2024, 11(1):161-70.
- [47] T. Attar, A. Benchadli. Studying the Effectiveness of an Expired Betamethasone Drug in Sulfuric Acid Solutions to Examine the Corrosive Behavior of Copper Using Weight Loss and Experimental Design. *JOTCSA*. 2024, 11(1):291-302.

- [48] IMENE Seghiour, I. and m.-a. Zenasni (2020). "Étude gravimétrique de l'inhibition de corrosion de l'acier XC 38 par la povidone iodée en milieu HCl 1M". Université de Temouchent
- [49] A. Fiala in Etude de l'inhibition de la corrosion de cuivre en milieu acide par des composés de type dithioacetal de cetene, Vol. Université Mentouri Constantine 2018
- [50] Lachachi, S. (2020). "Étude de l'efficacité inhibitrice de corrosion dans l'acide sulfurique par la povidone iodée." Université de Tlemcen
- [51] Attar Tarik. (2006). Étude gravimétrique de l'inhibition de corrosion du fer pur et de quelques aciers par l'iodure de potassium dans H₂SO₄ 0,5 M. Université de Tlemcen
- [52] Benchadli A, Attar T, Messaoudi B, Choukhou-Braham E. Polyvinylpyrrolidone as a Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in a Perchloric Acid Solution: Effect of Structural Size. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*. 2021;49(1):59-69
- [53] Ogunleye OO, Arinkoola AO, Eletta OA, Agbede OO, Osho YA, Morakinyo AF, Hamed JO. Green corrosion inhibition and adsorption characteristics of *Luffa cylindrica* leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment. *Heliyon*. 2020 Jan 17;6(1):e03205.
- [54] Nwabanne J.T, Okafor V.N. Adsorption and thermodynamics study of the inhibition of corrosion of mild steel in H₂SO₄ medium using *Vernonia amygdalina*. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2012;11:885-890.
- [55] Alinnor I.J, Ejikeme P.M. Corrosion inhibition of aluminum in acidic medium by different extracts of *Ocimum gratissimum*. *Journal of the American Chemical Society*. 2012; 2:122-135.
- [56] Ebenso E.E, Alamu H, Umoren S.A, Obot I.B. Inhibition of mild steel corrosion in sulphuric acid using alizarin yellow dye and synergistic iodide additive. *International Journal of Electrochemical Science*. 2008;3(12):1325-1339.
- [57] Chauhan L.R, Gunasekaran G. Corrosion inhibition of mild steel by plant extract in dilute HCl medium. *Corrosion Science*.2007;49:1143-1161.
- [58] FDA. (2016). Over-the-Counter (OTC) Topical Antiseptic Products: Hand Sanitizers and Antibacterial Soaps. U.S. Food & Drug Administration.
- [59] McDonnell, G., & Russell, A. D. (1999). Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), 147-179. DOI.
- [60] G. Labbé, P. Mahul, J. Morel, R. Jospe, A. Dumont, C. Auboyer. Intoxication à l'iode après irrigations sous-cutanées de povidone iodée Iodine intoxication aftersubcutaneous irrigations of povidoneiodine. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 2002. 58–60.
- [61] Partie, A. (2006). "Lutte contre la corrosion par l'utilisation d'inhibiteurs." habilitation à diriger des recherches.
- [62] T. Attar, A. Benkhaled, A. Benchadli, and E. Choukhou-Braham, *Rev mater éner renouvel.*, 2022, 6,1-7.

- [63] T. Attar, A. Benkhaled, A. Benchadli, E. Choukchou Braham. Enhancing Corrosion Resistance of Carbon Steel in Sulfuric Acid Using β -cyclodextrin as an Inhibition. French-Ukrainian Journal of Chemistry, 2023, 11(2), 8-18.
- [64] T. Attar, A. Benchadli, E. Choukchou-Braham. Corrosion inhibition of carbon steel in perchloric acid by potassium iodide. International Journal of Advanced Chemistry, 2019, 35- 41.
- [65] W. Boukhedena. Étude de l'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu acide par des composés de type dithioacétal de cétène. Université Mentouri -1-Constantine, 2018.
- [66] Attar T, Benchadli A, Messaoudi B, Choukchou-Braham E. Corrosion Inhibition, Adsorption and Thermodynamic Properties of Poly (Sodium 4-Styrenesulfonate) on Carbon Steel in Phosphoric Acid Medium. French-Ukrainian Journal of Chemistry. 2022;10(1):70-83
- [67] A. Benchadli, T. Attar, E. Choukchou-braham. Inhibition of carbon steel corrosion in perchloric acid solution by povidone iodine. Physical Chemistry Research, 7(2019)837-848

ملخص

التآكل هو مشكلة كبيرة في الصناعة، مما يؤدي إلى تكاليف عالية ومخاطر على السلامة. من بين طرق الحماية، تُعتبر مثبطات التآكل مواد فعالة تُضاف بتركيزات منخفضة لتقليل معدل تآكل المعادن. تدرس دراستنا فعالية مثبط باستخدام تقنية القياس الوزني. تركيز 0.5 م يحتوي على H_2SO_4 صيدلاني منتهي الصلاحية، ديرموبيكتر، في وسط تظهر النتائج أن ديرموبيكتر هو مثبط جيد، حيث يشكل طبقة واقية على النحاس. ومع ذلك، فإن فعاليته تنخفض مع زيادة درجة الحرارة. تتبع امتزاز ديرموبيكتر أشكال التوازن لانجمير، تيمكين، وفرويندليش، مما يشير إلى آلية الامتزاز الفيزيائي. يمكن أن تركز الأبحاث المستقبلية على مقارنة هذا المثبط بأدوية أخرى واستخدام طرق تحليل تكملية.

Résumé

La corrosion est une problématique majeure dans l'industrie, entraînant des coûts élevés et des risques de sécurité. Parmi les méthodes de protection, les inhibiteurs de corrosion sont des substances efficaces ajoutées en faible concentration pour réduire la vitesse de corrosion des métaux. Notre étude explore l'efficacité d'un inhibiteur pharmaceutique périmé, Dermobacter, dans un milieu de H_2SO_4 à 0,5 M en utilisant la technique gravimétrique. Les résultats montrent que Dermobacter est un bon inhibiteur, formant une couche protectrice sur le cuivre. Cependant, son efficacité diminue avec l'augmentation de la température. L'adsorption de Dermobacter suit les isothermes de Langmuir, Temkin et Freundlich, indiquant un mécanisme de physisorption. Des recherches futures pourraient comparer cet inhibiteur à d'autres médicaments et utiliser des méthodes d'analyse complémentaires.

Abstract

Corrosion is a major issue in the industry, leading to high costs and safety risks. Among protection methods, corrosion inhibitors are effective substances added in low concentrations to reduce the corrosion rate of metals. Our study explores the effectiveness of an expired pharmaceutical inhibitor, Dermobacter, in a 0.5 M H_2SO_4 medium using the gravimetric technique. The results show that Dermobacter is a good inhibitor, forming a protective layer on copper. However, its effectiveness decreases with increasing temperature. The adsorption of Dermobacter follows the Langmuir, Temkin, and Freundlich isotherms, indicating a physisorption mechanism. Future research could compare this inhibitor to other medications and use complementary analysis methods.