

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE BLIDA 1

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Génie Chimique

Présenté par :

Boubekeur Asma

**Etude de comportement d'alliage d'aluminium dans
HCl 1M en absence et en présence d'un tensioactif
cationique préparé à base d'un produit pétrolier local**

Promotrice: HAMITOUCHE.H

Septembre 2014



DEDICACES

Je dédie modestement ce travail à:

Ma mère et mon père qui me sont très chers,

Mon marie,

Ma belle fille Cyrine,

Mes sœurs: Hanane, Widad, Soulef, Amel,

Mes frères: Farouk, Soufiane, Hamza,

Mes belles soeurs: Aicha, Samia

RESUME

L'objectif de ce travail est d'étudier l'inhibition de la corrosion de l'alliage d'aluminium A6082 dans HCl 1M par un sel d'ammonium quaternaire (TCPF) synthétisé à partir de produit pétrolier Algérien (PF), l'étude a été effectuée en utilisant la gravimétrie. L'influence de la concentration et de la température, temps d'immersion, l'acidité ont été examinées et le mode d'adsorption de cet inhibiteur sur la surface du métal est mis en évidence en lui assignant l'isotherme appropriée et en déterminant les grandeurs thermodynamiques correspondants. Les résultats obtenus montrent que ce tensioactif a un pouvoir inhibiteur appréciable et atteint une valeur évaluée à 78.96% pour 19.2mg/l à 25°C. En fin, l'addition d'halogénures augmente de façon synergique l'efficacité d'inhibition de TCPF dans l'ordre KCl<KBr<KI.

ABSTRACT

The objective of this work is to study the inhibition of corrosion of the aluminum alloy A6082 in HCl 1M with a quaternary ammonium salt (TCPF) synthesized from petroleum product Algerian (PF), the study was carried using the gravimetry. The influence of concentration and temperature, immersion time, acid were examined and the adsorption mode of this inhibitor on the surface of the metal is evidenced by assigning appropriate isothermal and determining the corresponding thermodynamic quantities. The results show that this surfactant with a significant inhibitory power and reaches an estimated value to 78.96% 19.2mg / l at 25 ° C. Finally, the addition of halides increased synergistically effective inhibition TCPF in order KCL <KBr <KI.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تثبيط تآكل الالومنيوم (6082) في وسط حمضي بحمض الكلوريد المولاري, بواسطة الملح الامنيوم الرباعية مقتطف من المنتجات البترولية الجزائرية وقد اجريت الدراسة باستخدام تقنية الفقدان الكتلي, تأثير تركيز و درجة الحرارة و الوقت الغمر و الحمض قد فحصوا, و معرفة طريقة الامتزاز تمت بتعيين خطوط تحرر الامتزاز المناسبة و حساب المقادير الترموديناميكية المرافقة. النتائج المحصل عليها تؤكد القدرة العالية لهذه المادة في تثبيط التآكل , حيث تحصلنا على نسبة تقدر ب: 78,96%. في نهاية , تجمع هاليدات زادت بصفة طاقية فعالية TCPF في تآزر التثبيط في صنف: KCL<KBr<KI .

SOMMAIRES

INTRODUCTION	10
Chapitre1 : ALLIAGE D'ALUMINIUM ET CORROSION	
1.1. Alliage d'aluminium	12
1.1.1. Les alliages de moulages	13
1.1.2. Les alliages de corroyages	13
1.2. Les alliages d'aluminium de la série 6000	14
1.3. Corrosion des alliages d'aluminium	15
1.3.1. Réactions électrochimiques de la corrosion de l'aluminium	15
1.3.2. Formes de corrosion de l'aluminium	15
1.3.3. Corrosion généralisé ou uniforme	15
1.3.4. Corrosion localisé	16
1.3.5. Les facteurs influant sur la corrosion des alliages d'aluminium	17
1.3.6. Les ions chlorurent	17
1.3.7. Le PH	18
1.3.8. Effet de la température	
Chapitre 2 : INHIBITEURS DE CORROSION ET THECHNIQUES D'EVALUATION	
2.1. Inhibiteur de corrosion	20
2.1.1. Classification des inhibiteurs de corrosion	20
2.1.1.1. Classement selon la nature des molécules de l'inhibiteur	21
2.1.1.2. Classement selon le mécanisme d'action électrochimique	22
2.1.1.3. Domaine d'application	22
2.1.1.4. Classement selon le mécanisme d'action interfacial	23
2.2. Inhibition en milieu acide	23
2.2.1. Types d'adsorption	24
2.2.2. Isothermes d'adsorption	24
2.3. Méthodes d'études des inhibiteurs de corrosion	27
2.3.1. Gravimétrie	27

2.3.2. Méthodes électrochimiques	27
2.3.2.1. Méthode stationnaire	27
2.3.2.2. Méthode transitoire	28
2.4. Examen de la surface par la microscopie électronique à balayage	28
Chapitre 3 : COMPORTEMENT DE L'ALLIAGE D'ALUMINIUM 6082 DANS HCl 1M EN PRESENCE DE SEL D'AMMONIUM QUATERNAIRE SYNTHETISE A PARTIR DE PRODUIT PETROLIER	
3.1. Conditions expérimentales	30
3.1.1. Matériau étudié	30
3.1.2. Préparation des plaques	30
3.1.3. Solution corrosive	30
3.1.4. Inhibiteur	31
3.1.5. Méthode utilisé	32
3.2. Résultats et discussions	33
3.2.1. Effet du temps d'immersion sur la vitesse de corrosion	32
3.2.2. Influence de la concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice	34
3.2.3. Isothermes d'adsorption	36
3.2.4. Influence de la température sur la vitesse de corrosion et le pouvoir inhibiteur	40
3.2.4.1. Détermination des énergies d'activation	41
3.2.5. Effet du temps d'immersion sur l'efficacité inhibitrice	43
3.2.6. Effet de l'acidité sur le pouvoir d'inhibiteur	44
3.2.7. Effet des additifs sur le pouvoir d'inhibiteur	44
3.3. Examen de la surface par MEB	45
CONCLUSION	46
REFERENCES	47

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif principal de présent travail est de déterminer l'efficacité inhibitrice de tensioactif cationique TCPF synthétisé a partir de produit pétrolier algérien à savoir : le platformat (PF), de la famille des sels d'ammonium quaternaires sur le tenue à la corrosion d'un alliage d'aluminium 6082 en milieu HCl 1M par la méthode gravimétrique. Cette technique associée une caractérisation de surface par microscopie électronique à balayage (MEB).

L'étude de l'inhibition de la corrosion d'un alliage d'aluminium 6082 par (TCPF), dans HCl 1M, à une température de 25°C, montre que le produit synthétisé possède un pouvoir protecteur intéressant, son pouvoir inhibiteur est de 78.91% après 2h d'immersion à 25°C.

Les résultats obtenus montrent que :

- L'efficacité inhibitrice augmente avec l'augmentation de la concentration mais diminué avec l'élévation de la température.
- Le TCPF agit par l'adsorption sur la surface métallique d'alliage d'aluminium 6082, l'adsorption de cet inhibiteur suit l'isotherme de Langmuir.
- La valeur d'énergie d'activation pour le processus de corrosion en l'absence d'inhibiteur est inferieur a celle en présence de TCPF, indiquent que les molécules de l'inhibiteur sont physiquement adsorbé sur la surface d'alliage d'aluminium.
- L'addition d'halogénures augmente de façon synergique l'efficacité d'inhibition de TCPF dans l'ordre $KCl < KBr < KI$.

Nous pouvons envisager quelques perspectives pour la poursuite de travail, telles que:

L'utilisation d'autres méthodes, telles que électrochimiques pour comprendre mieux les mécanismes réactionnels mis en jeu, étudier le pouvoir inhibiteur de notre produit dans autres milieux tels : H_2SO_4 .

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1. Couche d'oxyde naturel sur l'aluminium	12
Figure 1.2. a) Corrosion localisée et (b) Corrosion uniforme d'un métal	16
Figure 1.3. Diagramme d'équilibre potentiel – pH du système aluminium–eau à 25 °C.	19
Figure 3.1. Dispositif expérimental de la gravimétrie	31
Figure 3.2. . Evolution de la vitesse de corrosion de l'alliage en fonction du temps d'immersion, dans HCl 1M, à 25°C.	33
Figure 3.3. : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration du TCPF, a 25°C.	35
Figure 3.4. Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'aluminium dans HCl 1 M, en présence de TCPF à 25°C, après 2h d'immersion	37
Figure 3.5. Isotherme d'adsorption de Temkin de l'aluminium dans HCl 1M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion.	37
Figure 3.6. . Isotherme d'adsorption de Frumkin de l'aluminium dans HCl 1M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion	38
Figure 3.7. Isotherme d'adsorption de Freundlich de l'aluminium dans HCl 1M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion	38
Figure 3.8. Isotherme d'adsorption d'El wady de l'aluminium dans HCl 1 M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion	39
Figure 3.9. Isotherme d'adsorption de Flory-Huggins de l'aluminium dans HCl 1 M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion	39
Figure 3.10. Variation de logarithme de vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de température, en absence et en présence de TCPF.	43
Figure 3.11. Micrographie (MEB) de la surface de l'alliage d'aluminium A) avant attaque, B) après 2h d'immersion dans HCl 1M en absence d'inhibiteur C) après 2h d'immersion dans HCl 1M en présence de 19,2 mg/L de TCPF à 25°C.	47
Tableau 3.1. Composition chimique en pourcentage massique des différents éléments de l'alliage d'aluminiumA6082.	30

Tableau 3.2. Valeurs de vitesse de corrosion de l'alliage pour différents temps d'immersion, à 25°C.	33
Tableau 3.3. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice à différentes concentration, à 25°C.	35
Tableau 3.4. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice dans HCl 1M en présence de l'inhibiteur, à différentes températures	41
Tableau 3.5. Energie d'activation de dissolution de l'aluminium dans HCl 1M seul et en présence d'inhibiteur.	43
Tableau 3.6. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition à différents tems d'immersion, à 25°C.	44
Tableau 3.7. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition à différents concentrations en acide, à 25°C.	45
Tableau 3.8. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition de TCPF en présence des sels minéraux, à 25°C.	46

LISTES DES SYMBOLES ET ABREVIATION

Θ : Le taux de recouvrement

K : Le constant d'équilibre du processus d'adsorption

C_{inb} : La concentration d'inhibiteur dans l'électrolyte

I_{corr} : Courant de corrosion

E_{corr} : Potentiel de corrosion

R_p : Résistance de polarisation

SIE: La spectrométrie d'impédance électrochimique

MEB: La microscopie électronique à balayage

TCPF : Tensioactif à basse de platformat

V_{corr} : La vitesse de corrosion

t : Temps en heure

$E(\%)$: Efficacité de l'inhibiteur en pourcentage

ΔG_{ads} : Energie libre d'adsorption

R : Constante des gaz parfaits ($J. mol^{-1}.K^{-1}$)

T : Température absolue en K°

E_a : Energie d'activation du processus de dissolution du métal en ($KJ. mol^{-1}$)

CHAPITRE 1

ALLIAGE D'ALUMINIUM ET CORROSION

L'aluminium est l'élément le plus répandu dans la nature (8% de l'écorce terrestre), que l'on extrait du minerai de bauxite. C'est un métal blanc argenté, de masse volumique $2,7 \text{ g.cm}^{-3}$ et de masse atomique égale à $26,27 \text{ g/mol}$, il fond à 660°C . C'est un bon conducteur d'électricité et de chaleur, il résiste bien à la corrosion grâce à la fine couche d'oxyde de structure amorphe couvrant sa surface extérieure. L'aluminium est trivalent et a un caractère amphotère. Exposé à l'air, l'aluminium se recouvre instantanément d'une fine couche d'alumine transparente, continue, adhérente, auto cicatrisante et protégeant le métal contre l'oxydation. Le film d'oxyde est relativement stable dans les solutions aqueuses. La résistance de ce film diminue de manière drastique dans les solutions alcalines et acides.

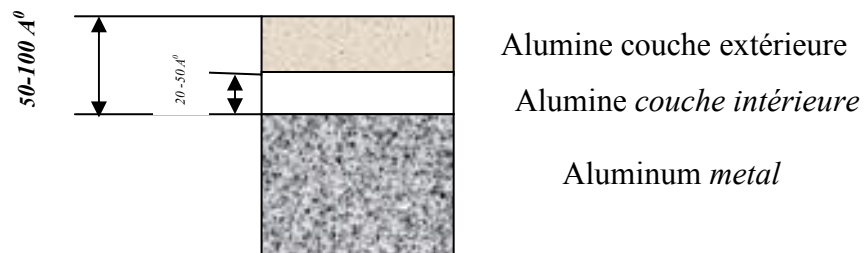


Figure 1.1 : Couche d'oxyde naturel sur l'aluminium

L'usage de l'aluminium pur est restreint à quelques applications. Tandis que ses alliages sont utilisés dans tous les domaines de l'industrie et de la vie quotidienne : construction aéronautique, automobile, ferroviaire et navale, bâtiment (façades, toitures, baies) ; dans l'industrie électrique (câbles et appareillages) ; emballage et décorationEtc.

1.1. Alliage d'aluminium

La nuance de l'alliage est déterminée selon les principaux éléments additionnés à l'aluminium. C'est éléments sont généralement le cuivre, le magnésium, le silicium, le zinc, le manganèse. On peut trouver, d'autres éléments qu'on retrouve sous forme de trace vu leur limite de solubilité dans l'aluminium sont : le chrome, le cadmium, le bismuth, le titane, le fer, le zirconium, le cobalt, le lithium, l'étain et les terres rares.

Chaque nuance d'alliage impose un mode d'élaboration et de transformation spéciale, parmi lesquels on distingue deux modes d'élaboration. Les alliages de moulage et les alliages de corroyage, ces derniers peuvent être subdivisés en deux catégories, les alliages à durcissement structural et sans durcissements structural [1,2].

1.1.1. Les alliages de moulage

La fabrication des pièces est obtenue directement par la coulée du métal dans un moule. Les nuances d'alliage appartiennent au système : Al-Mn, Al-Cu, Al-Zn, Al-Mg, Al-Si.

1.1.2. Les alliages de corroyage

Sont coulée sous forme de plaques, ensuite, elles sont transformées en semi produits. Les plus distingués sont les alliages à durcissement structural et sans durcissement.

1.1.2.1. Les alliages à durcissement structural

Le durcissement structural pour cette classe d'alliage est obtenu par une gamme de traitement thermique comportant une mise en solution et une trempe suivie d'un revenu ou d'une détention artificielle. Ces alliages sont ceux des séries [2] :

Série **2000** : Aluminium-Cuivre

Série **4000** : Aluminium-Silicium

Série **6000** : Aluminium-Magnésium-Silicium

Série **7000** : Aluminium-Zinc-Magnésium

Les alliages de série 2000 se caractérisent par une résistance mécanique élevée après revenu, une bonne tenue à la chaleur, une résistance à la corrosion moins bonne que celles des alliages sans cuivre.

Les alliages de série 6000 sont de filage par excellence, ils présentent, par ailleurs, une résistance mécanique moyenne mais surtout une bonne résistance à la corrosion.

Les alliages de série 7000 possèdent une haute résistance mécanique, bonne résistance à la fatigue et à la corrosion.

Les alliages de la série des 4000 sont nettement moins utilisés que les alliages des autres séries. Les alliages aluminium silicium sont principalement des alliages de fonderie.

1.1.2.2. Les alliages sans durcissement structural

L'action combinée des éléments d'addition et du durcissement structural par écrouissage, de l'effet d'adoucissement de restauration et de recuit. Ces alliages sont ceux des séries [2] :

Série **1000** : Aluminium non allié

Série **3000** : Aluminium-manganèse

Série **5000** : Aluminium-magnésium

Série **8000** : Aluminium-plomb-lithium

L'aluminium non allié de la série 1000 se caractérise par une résistance mécanique relativement, une bonne tenue à la corrosion et une bonne aptitude au soudage.

Les alliages de série 3000 ont des propriétés voisines de celles de la série 1000 mais avec une résistance mécanique élevée.

Les alliages de série 5000 ont une mécanique moyenne, une bonne aptitude à la déformation et au soudage, une bonne tenue à la corrosion à basse températures. Leurs applications sont très variées : industrie chimique et cryogénique (cuves de stockage et de transport du gaz liquéfié).

Les alliages de série 8000 essentiellement la série 8090 a été développé afin de réduire la densité des structures d'avions. L'addition de 1% Li réduit la densité de l'alliage de 3% [2].

1.2. Les alliages d'aluminium de la série 6000 (Al-Mg-Si)

Les alliages d'aluminium de série 6000 se caractérisent par les éléments d'alliage, magnésium et silicium ajoutés avec des proportions bien définies et les éléments d'addition à des teneurs qui ne dépassent pas les proportions des éléments d'alliage. Ces alliages exhibent les caractéristiques suivantes [2] :

- Bonne aptitude à la transformation à chaud, laminage, extrusion et forgeage.

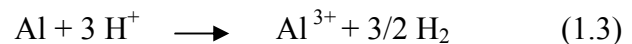
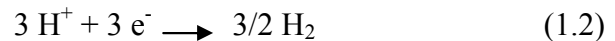
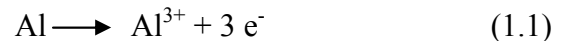
- Bonne résistance à la corrosion.
- Haut performance et propriétés mécaniques avec l'addition du silicium.
- Bonne aptitude au soudage à l'arc et abrasion.
- Bonne formabilité à froid.

1.3. Corrosion des alliages d'aluminium

Grace à la couche d'oxyde qui se forme en surface, les alliages d'aluminium résistent à la corrosion. Par contre dans les milieux corrosifs, les alliages d'aluminium sont sujets au phénomène de corrosion générale et de la corrosion localisé.

1.3.1. Réactions électrochimiques de la corrosion de l'aluminium

Globalement, la corrosion de l'aluminium en milieu aqueux acide est la somme de deux réactions électrochimiques d'oxydation et de réduction :



1.3.2. Formes de corrosion de l'aluminium

La corrosion peut se manifester sous plusieurs formes plus ou moins visibles à l'œil nu : corrosion généralisé ou uniforme, corrosion localisés (par piqures, corrosion sous contrainte.....), la prédominance d'une forme de corrosion dépendra d'un certain nombre de facteurs inhérents au métal, au milieu, et aux conditions d'emploi. Il y'a pas de forme de corrosion spécifique de l'aluminium et de ses alliages.

1.3.2.1. Corrosion généralisé ou uniforme

La corrosion uniforme se développe à travers de petites piqures, de petit diamètre de l'ordre de micromètre, elle résulte après une attaque uniforme et une décroissance continue de l'épaisseur de la couche d'oxyde a travers toute la surface du métal.

Dans le cas de l'aluminium et ses alliages, ce type de corrosion est observé dans des milieux acides ou alcalins. Dans ces milieux, la dissolution de la couche d'oxyde

naturel est assez élevée, comparativement à la formation de la couche d'oxyde ou l'hydroxyde d'aluminium [3].

1.3.2.2. Corrosion localisée

La corrosion localisée découle toujours de la corrosion uniforme, par couplage galvanique entre les zones hétérogènes. Il suffit alors d'une petite anode et d'une grande cathode pour générer des vitesses de pénétration locales très importantes. Ces hétérogénéités locales peuvent être préexistantes dans le métal ou dans le milieu corrosif. Contrairement à la corrosion uniforme [5], on distingue clairement les endroits anodiques et cathodiques (Voir figure 1.2).

Ce type de corrosion ne peut être mesuré par la perte de poids ou de la diminution de l'épaisseur. Pour se faire on doit réaliser des observations métallographiques, et des mesures électrochimiques.

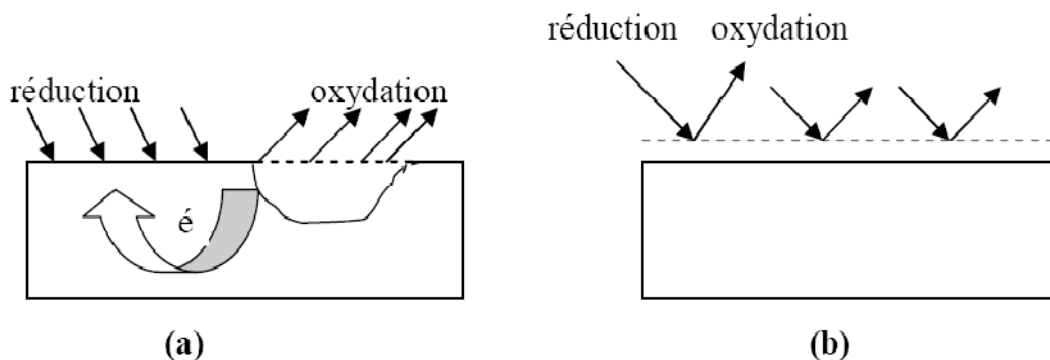


Figure 1.2. (a) Corrosion localisée et (b) Corrosion uniforme d'un métal.

Nous distinguons plusieurs types de corrosion localisée. Ainsi, les chercheurs ont subdivisé ce type de corrosion en huit catégories [6].

- **La corrosion galvanique** : appelée aussi corrosion bimétallique est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux métaux.
- **La corrosion caverneuse** : qui est observé l'ors qu'il ya infiltration d'une solution entre deux parties d'un assemblage.
- **La corrosion par piqure** : est produite par certain anions notamment le chlorure, elle introduit des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre à l'intérieur du matériau a partir d'une ouverture de faible surface.
- **La corrosion sélective** : est due à l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.

- **La corrosion inter granulaire** : est une attaque sélective aux joints de grains.
- **La corrosion érosion** : est due à l'action conjointe, d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de la matière, elle est souvent favorisée par l'écoulement rapide d'un fluide.
- **La corrosion sous contrainte** : est une fissuration du métal qui résulte de l'action comme d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique.
- **La corrosion fatigue** : est observée lorsque l'effet est alterné, par conséquent l'attaque est en général transe granulaire.

1.3.3. Les facteurs influant sur la corrosion des alliages d'aluminium

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

Ces facteurs sont de deux types : externe et interne, on parle de quelque facteur :

1.3.3.1. Les ions chlorurent

Les ions Cl^- sont omniprésents dans des milieux naturels et industriels ou les aciers inoxydables, les alliages de nickel, les alliages d'aluminium ou de titane sont largement utilisés.

Le processus de piquassions réside dans l'adsorption des chlorures sur la surface de l'oxyde.

En général les ions Cl^- ont tendance à déstabiliser le film passif recouvrant le métal localement ou totalement selon les circonstances, plusieurs mécanismes sont proposés :

1. Transport des ions chlorures à travers les sites vacants d'oxygéné ;
2. Transport des ions chlorures à travers les fibres d'hydroxyde d'aluminium ;
3. Amincissement ou dissolution de la couche d'oxyde ;

Le rayon de l'ion Cl^- $1,8\text{\AA}$ est grand comparativement à celui d'un site vacant d'oxygène qui est de $1,4\text{\AA}$. La porosité de l'hydroxyde d'aluminium forme des canaux à travers les quels Cl^- peut y migrer.

L'amincissement de l'oxyde par une dissolution locale provoquée par des piqûres métastables favorise l'accrochage des chlorures.

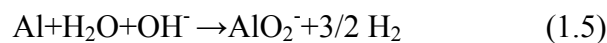
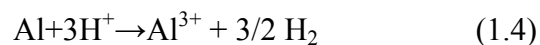
L'adsorption d'ions Cl^- à la surface du film passif sous champ électrique élevé et sa substitution aux molécules d'eau liées aux cations métallique dans le film s'appuient sur quelques résultats semi quantitatifs.

Une autre hypothèse concerne le fait qu'à un stade très précoce, les ions Cl^- peuvent accélérer la dissolution des cations à l'interface film-solution, avec formation d'un complexe (MCl_3) transitoire qui se dissout dans le milieu aqueux en libérant les anions Cl^- et les cations M^{3+} [7].

1.3.3.2. Le pH

Les diagrammes E-pH développés par Pourbaix [8], dont la méthode arbore la stabilité de l'alliage ou d'un métal pur en combinant l'activité de l'hydrogène (pH) et le potentiel d'équilibre (E°/V_{ENH}). A partir du diagramme d'équilibre E-pH de l'aluminium-eau à 25°C (figure 1.3), on distingue la région où l'aluminium est immunisé (-1,8 V/SHE).

Pour des valeurs de $4 < \text{pH} < 9$ il y a formation de l'hydroxyde d'aluminium pour des valeurs de potentiel supérieure à -1,8 V/SHE et pour des $\text{pH} < 4$, la dissolution de l'aluminium sous forme d'ions Al^{3+} selon la réaction (1.4) alors que pour des pH supérieurs à 8, il se dissout sous forme d'ions AlO_2^- selon la réaction (1.5) [9] :



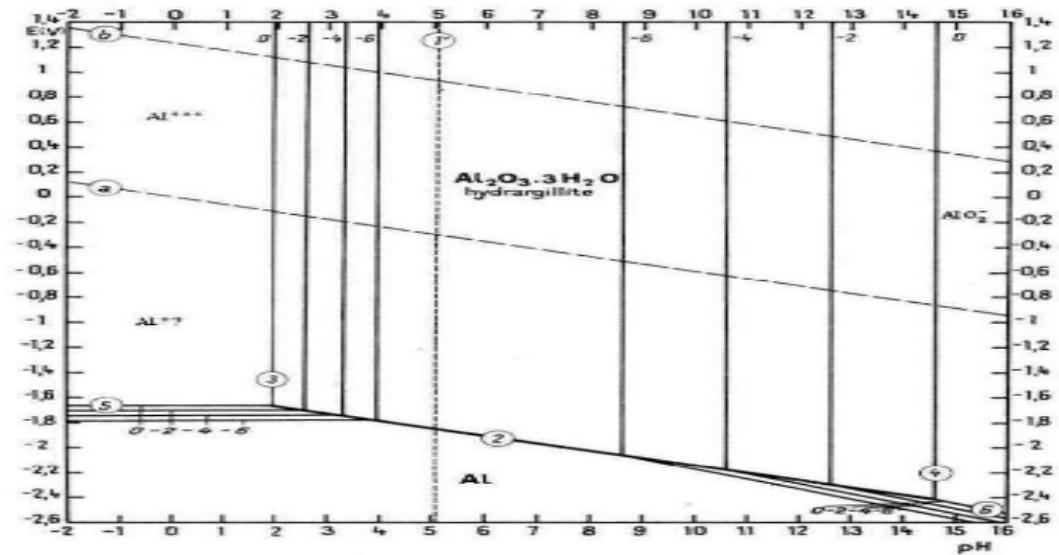


Figure 1.3. Diagramme d'équilibre potentiel – pH du système aluminium–eau à 25 °C.

1.3.3. 3. Effet de la température

La corrosion fait intervenir différentes réactions chimiques et surtout électrochimiques, leurs vitesses dépendent de la température puisque les processus élémentaires sont activés thermiquement. Dans la pratique industrielle, on considère souvent que la vitesse de corrosion est doublée lorsque la température s'élève de 10 à 20°C. Dans tout les cas, globalement plus la température est élevée plus la vitesse de corrosion est importante. Il s'agit d'une première approximation qui ne prend pas en compte en particulier la transition active ou passive des métaux passivables.

Dans le cas de diffusion rencontrée en présence d'oxygène dissous dans l'eau, plus la température est élevée plus la diffusion est rapide, d'où la vitesse de corrosion est importante et marquée par des énergies d'activation supérieures [4].

Dans un récipient, laissant l'oxygène s'échapper, la vitesse de corrosion augmente avec la température jusqu'à 80°C et chute ensuite à une valeur nettement plus faible. Cette diminution est liée à la solubilité de l'oxygène. Alors que, dans un système clos, l'oxygène ne peut pas s'échapper et la vitesse de corrosion continue à augmenter avec la température jusqu'à ce que tout l'oxygène soit consommé [4].

Les références :

[1] : M, Djeghaba, N. Hachani «influence de l'acide acétique sur la qualité de l'anodisation de l'aluminium et de ses alliages».mémoire de magister. M S'Ila. (2002-2003)

[2] :C.Vargel, *Le comportement de l'aluminium et de ses alliages*, Edition Dunod Technique .Paris, 1979.

[3] :M, Reboul, *Technique de l'ingénieur, corrosion des alliages d'aluminium. Cor 325.*

[4] :C.Vargel, *corrosion de l'aluminium*, Edition .Dunod ; 1999.

[5] : D. Londolt. *Corrosion et chimie de surface des matériaux .Edition presses polytechniques et universitaires Romandes, 1993.*

[6]:M. Fontana, *Corrosion Engineering*. MC.Grawhill international Edition. New York, 1987.

[7] :M.IFIRES «Etude du comportement électrochimique de l'alliage AA6061 dans le milieu Na Cl en présence d'inhibiteur de corrosion», mémoire de magistère, USDB(2012).

[8] : E. Deltombe, M. Pourbaix, *Comportement électrochimique de l'aluminium, diagramme d'équilibre tension/ pH du système Al-H₂O à 25°C, Rapport technique n°42, Cebelcor, décembre (1956).*

[9] : M. Pourbaix, *Atlas d'équilibres électrochimiques à 25°C*, Ed. Gauthier Villars (1963).

CHAPITRE 2

INHIBITEURS DE CORROSION ET TECHNIQUES D'ÉVALUATION

D'une façon générale, les moyens de protection utilisés actuellement sont nombreux, très différents et parfois complémentaires, ils sont classés selon les catégories suivantes :

- ✚ La protection électrochimique, cathodique ou anodique,
- ✚ Application des revêtements,
- ✚ Les inhibiteurs de corrosion.

2.1. Inhibiteur de corrosion

En matière de protection, les inhibiteurs constituent un moyen original pour lutter contre la corrosion. La définition d'un inhibiteur de corrosion, retenue par la National Association of Corrosion Engineers (NACE) est la suivante : un inhibiteur est «une substance qui retarde la corrosion l'ors qu'elle est ajoutée, à un environnement agressif, en faible concentration» [10, 12,18].

Un inhibiteur de corrosion doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques du milieu dans lequel il est introduit. Il doit être stable à la température d'utilisation, efficace à faible concentration, compatible avec les normes de non-toxicité et peu onéreux. Comme il peut être utilisé en vue d'une protection permanente ou temporaire [11,13 ,14].

2.1.1. Classification des inhibiteurs:

Il existe plusieurs possibilités de classer les inhibiteurs, celles-ci se distinguent les unes des autres de diverses manières [16] :

2.1.1.1. Classement selon la nature des molécules de l'inhibiteur :

a) Inhibiteurs organiques

Les molécules organiques sont promises à un développement plus que certain en termes d'inhibiteurs de corrosion. Leur utilisation est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. Les

inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière [15].

Ils possèdent au moins un centre actif susceptible d'échange des électrons avec le métal, tel que l'azote (amines, ammoniums quaternaires, amides, triazoles...), l'oxygène (alcools, acétylénique, carboxylates, oxadiazoles...), le soufre (dérivés de lathiourée, mercaptans, sulfoxydes, thiazoles...) ou le phosphore (phosphonates).

Les molécules surfactives inhibitrices sont constituées généralement d'une partie non polaire hydrophobe relativement volumineuse, formant généralement une longue chaîne hydrocarbonée pouvant contenir des noyaux aromatique et des liaisons multiples, et une partie polaire hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels (-NH₂, -OH, -SH, -PO₃H₂). La molécule se lie éventuellement à la surface du métal par son groupement fonctionnel, alors que sa partie non polaire, plus volumineuse, bloque partiellement la surface active. Ces inhibiteurs de corrosion agissent par adsorption sur la surface des métaux avant même d'intervenir dans les processus réactionnels de corrosion pour en diminuer la vitesse.

Les inhibiteurs organiques de nature surfactive sont considérés comme étant les plus efficaces et les plus répandue .Ils sont avantageés par leur structure intéressante, leur production facile, leur cout modéré et leur toxicité faible [15].

b) Inhibiteurs minéraux

Les inhibiteurs minéraux sont utilisés le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin, et plus rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et ce sont leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions ou cations). Les cations inhibiteurs sont essentiellement Ca²⁺ et Zn²⁺ ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyde (OH⁻). Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type XO₄ⁿ⁻ tels les chromates, molybdates, phosphates, silicates,... [17].

Les inhibiteurs minéraux sont de moins en moins utilisé en raison de leur emploi se limite à certains systèmes en circuit fermé [17].

2.1.1.2. Classement selon le mécanisme d'action électrochimique

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique, on différencie les inhibiteurs selon leur influence sur la vitesse des réactions électrochimiques partielles, on peut distinguer [17]:

- Les inhibiteurs anodiques diminuant la densité de courant partiel anodique et déplaçant le potentiel de corrosion dans le sens positif.
- Les inhibiteurs cathodiques diminuant la densité de courant partiel cathodique et déplaçant le potentiel de corrosion dans le sens négatif.
- Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles, mais modifient peu le potentiel de corrosion.

L'inhibiteur de corrosion forme une couche barrière sur la surface métallique, qui modifie les réactions électrochimiques en bloquant soit les sites anodiques (siège de l'oxydation du métal) soit les sites cathodiques (siège de la réduction de l'oxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide), voire les deux.

2.1.1.3. Domaine d'application

Les inhibiteurs sont souvent classés également selon leur domaine d'application [3] :

- En milieu aqueux, les inhibiteurs pour milieu acide sont employés, entre autres, pour éviter une attaque électrochimique de l'acier lors du décapage. Dans l'industrie pétrolière on les ajoute aux fluides de forage. Les inhibiteurs pour milieux neutres servent surtout à protéger des circuits de refroidissement.
- En milieu organique, de grandes quantités d'inhibiteurs de corrosion sont utilisées dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence; ces liquides contiennent souvent des traces d'eau et des espèces ioniques qui peuvent provoquer une corrosion. Les inhibiteurs utilisés pour peintures sont essentiellement des pigments inorganiques ou des tannins.
- Enfin, les inhibiteurs pour les phases gazeuses sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le

transport et le stockage: instrument de précision, composants électroniques, machines, etc. Il s'agit le plus souvent de composés organiques ayant une pression de vapeur élevée, notamment certaines amines.

2.1.1.4. Classement selon le mécanisme d'action interfaciale

C'est le quatrième manière de classement des inhibiteurs, qui différencie ceux-ci à partir de leur mode de fixation sur la surface métallique. Les inhibiteurs d'adsorption, c'est-à-dire ceux qui agissent en formant des films de molécules adsorbées à la surface du métal, sont plutôt utilisés en milieu acide, alors que les inhibiteurs formant des films tridimensionnels de produits de réaction sont spécifiques des milieux neutres ou alcalins [19].

2.2. Inhibition en milieu acide

L'utilisation principale des inhibiteurs dans les solutions acides se situe dans les procédés industriels de décapage et de nettoyage des métaux [23 ,24].

Dans les milieux acides, les inhibiteurs les plus fréquemment utilisés sont des molécules de type organique. Ces inhibiteurs agissent d'abord par adsorption à la surface des métaux, avant même d'intervenir dans le processus réactionnel de corrosion pour en diminuer la vitesse [20]. De plus, ces inhibiteurs exigent un groupe polaire par lequel la molécule peut s'attacher à la surface métallique. Ceux-ci incluent les groupes organiques (N, amine, S et OH). La taille, l'orientation et la forme de la molécule sont des paramètres déterminants dans l'inhibition de la corrosion [20,25]. L'adsorption de la molécule organique se produit parce que l'énergie d'interaction entre la surface du métal et celle-ci est plus grande que l'énergie d'interaction entre le métal et les molécules d'eau. L'adsorption peut être mise en évidence par moyens d'investigation tels que la microscopie et l'analyse de surface, l'étude des isothermes d'adsorption.

La liaison entre l'espèce adsorbée et surface métallique peut être essentiellement de deux types : électrostatique ou chimique. Il faut ajouter la possibilité de complexes de coordination de surface.

2.2.1. Types d'adsorption :

Cette adsorption peut être physique ou chimique [21.22.26].

a) La physisorption :

La physisorption ou encore appelée adsorption physique conserve l'identité aux molécules adsorbées : trois types de forces sont à distinguer :

- Les forces de dispersion de London (van der waals), toujours présentes.
- Les forces polaires, résultant de la présence de champ électrique.
- Les forces hydrogène dues aux groupements hydroxyle ou amine.

b) La chimisorption :

Au contraire, consiste en la mise en commun d'électrons entre la partie polaire de la molécule et la surface métallique, ce qui engendre la formation de liaisons chimique bien plus stables car basées sur des énergies de liaison plus importantes. Les électrons proviennent en grande majorité des doublets non liants des molécules

Inhibitrice tels que O, N, S, P, etc. (grande électronégativité). L'adsorption chimique s'accompagne d'une profonde modification de la répartition des charges électroniques des molécules adsorbées. La chimisorption est souvent un mécanisme irréversible.

2.2.2. Isothermes d'adsorption :

Les isothermes d'adsorption sont très importantes dans la détermination du mécanisme des réactions organo-électrochimiques. Les plus connus sont les isothermes de : Langmuir, Frumkin, Temkin, Freundlich, Flory-Huggins, El awardy...etc.

Parmi les isothermes les plus rencontrées dans l'inhibition acide par les composés organiques on a :

a) Isotherme de Langmuir

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

$$\frac{\theta}{1-\theta} = k C_{\text{inb}} \quad (2.1)$$

Les hypothèses de ce modèle sont les suivantes [27] :

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

b) Isotherme de Temkin

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

$$\exp(-2a\theta) = K C_{\text{inb}} \quad (2.2)$$

L'isotherme de Temkin peut être représentée par la variation du taux de recouvrement Θ en fonction de $\ln C_{\text{inb}}$. Cette variation doit être linéaire.

Les constantes chimiques de vitesse sont fonction de Θ , il ya attraction ou répulsion entre espèce adsorbées à la surface. Ou a est une constante d'interaction entre particules adsorbées, K désigne le coefficient d'adsorption et C_{inb} la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte.

c) Isotherme de Frumkin

L'isotherme de Frumkin est représentée après réarrangement par l'expression suivante :

$$\ln[\theta/C(\theta - 1)] = \ln K + 2a\theta \quad (2.3)$$

Le paramètre a possède les dimensions suivantes : J/mol par mol/cm³, il exprime la manière dont un recouvrement accru modifie l'énergie d'adsorption de l'espèce. Si a est positif, les interactions entre deux espèces à la surface sont attractives, si a est négatif, les interactions sont répulsives, si $a \rightarrow 0$, l'isotherme de Frumkin se rapproche de l'isotherme de Langmuir.

d) Isotherme de Freundlich

L'isotherme de Freundlich est représentée par l'équation suivante : $\Theta = KC^{1/n}$

Après réarrangement donne l'expression suivante :

$$\ln \Theta = \ln K + 1/n \ln C_{\text{inb}} \quad (2.4)$$

L'isotherme de Freundlich peut représentée par la variation linéaire de $\ln \theta$ en fonction de $\ln C_{\text{inb}}$ et n la constante qui prend en compte de l'énergie de liaison.

e) Isotherme d'El Awardy

Cette isotherme est représentée par l'équation suivante :

$$\left(\frac{\theta}{1-\theta}\right) = k C_{\text{inb}} \quad (2.5)$$

Après le réarrangement voici cette équation :

$$\ln (\Theta / 1-\Theta) = \ln K + \ln C_{\text{inb}}$$

On trace linéairement $\ln (\Theta/1-\Theta)$ en fonction de $\ln C_{\text{inb}}$, et k la constante d'équilibre d'adsorption. Ce modèle utilisé pour étudier la force d'adsorption de la molécule adsorbée sur la surface d'aluminium et possibilité de formation de multimoléculaire couche d'adsorption.

f) Isotherme de Flory-Huggins

L'isotherme de Flory-Huggins est représentée par l'équation suivante :

$$\frac{\theta}{(1-\theta)^n} = K C_{\text{inb}} \quad (2.6)$$

Après réarrangement on trouve cette relation :

$$\ln (\theta / C_{\text{inb}}) = \ln k + n \ln (1-\theta) ;$$

Cette variation doit être aussi linéaire : $(\ln (\theta/C_{\text{inb}}) = f(\ln (1-\theta)))$, et la valeur de n représente le nombre de sites d'adsorption.

2. 3. Méthodes d'études des inhibiteurs de corrosion :

2.3.1. Gravimétrie

C'est l'une des méthodes les plus ancienne et directe pour évaluer la vitesse d'un processus de corrosion. Elle présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de poids Δm ($m_i - m_f$) subie par un échantillon de surface S , pendant un temps t d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante, en absence et en présence d'un inhibiteur.

2.3.2. Méthodes électrochimiques

Les essais électrochimiques apportent d'intéressantes informations quant au mécanisme d'action de l'inhibiteur, et dans la mesure où elles sont correctement interprétées, sur la vitesse des processus de corrosion à l'instant où est faite la mesure, ce qui rend de toute façon nécessaire une étude en fonction du temps.

Les méthodes électrochimiques peuvent être classées en deux catégories :

- Méthodes stationnaires
- Méthodes transitoires

2.3.2.1. Méthode stationnaire

a) Suivi de l'évolution de potentiel de corrosion en fonction du temps

La mesure de ce potentiel est indispensable avant chaque mesure électrochimique, son évolution dans le temps fournit des informations préliminaires sur la nature des processus en cours, à l'interface métal/électrolyte : corrosion, passivation, etc., et traduit la cinétique d'évolution du matériau vers un état stationnaire.

b) Méthode de Tafel :

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion (I_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}), les pentes de Tafel. Elle utilise les portions de courbe de polarisation éloignées du potentiel de corrosion [13].

c) Méthode de la résistance de polarisation(R_p) :

Cette méthode présente l'avantage de faire intervenir la courbe de polarisation au voisinage immédiat du potentiel de corrosion du métal dans la région où cette courbe est linéaire

L'intérêt essentiel de la méthode réside dans le fait qu'elle permet de faire rapidement un grand nombre de mesures et de considérer l'interface métal/solution au voisinage immédiat du potentiel de corrosion, ce qui évite toute modification de l'état de surface au cours de la détermination de la résistance de polarisation, en réduisant ainsi les phénomènes de transport et en négligeant les chutes ohmiques. Cependant, cette technique ne permet pas de différencier les phénomènes réactionnels mis en jeu lors de l'inhibition de la corrosion.

2.3.2.2. Méthodes transitoires : la spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE)

La spectrométrie d'impédance électrochimique(SIE) est une technique qui permet d'analyser plus finement les différents phénomènes électrochimiques qui se produisent à la surface du métal. Il semble qu'elle soit la méthode la plus adaptée à l'étude d'un système électrochimique en fonction du temps.

Dans le domaine de la corrosion. La SIE permet l'évolution du taux d'inhibition, la caractérisation des différents phénomènes de corrosion (dissolution, passivation, piquration, etc.), l'étude des mécanismes réactionnels à l'interface électrochimique et l'identification des étapes élémentaires intervenant dans le processus global qui se produisent à l'interface métal/ solution [28].

2.4. Examen de surface par la microscopie électronique à balayage

La microscopie électronique à balayage (MEB) est la technique la plus utilisée en matière de topographie à l'échelle microscopique, Son avantage considérable par rapport à la microscopie optique réside dans le fait que l'image ne souffre pas d'une profondeur de champ limitée. Autrement dit, le pouvoir séparateur d'un microscope optique est limité par la longueur d'onde de la lumière visible.

Le principe de MEB consiste à explorer la surface de l'échantillon par lignes successives et à transmettre le signal du détecteur à un écran cathodique dont le balayage est exactement synchronisé avec celui du faisceau incident. Les

microscopes à balayage utilisent un faisceau très fin qui balaie point par point la surface de l'échantillon. Le matériau analysé doit être conducteur afin d'éviter des phénomènes de charge dus aux électrons : la métallisation peut s'effectuer par exemple au carbone ou encore à l'or [32].

CHAPITRE 3

COMPORTEMENT DE L'ALLIAGE D'ALUMINIUM 6082 DANS HCl 1M EN PRESENCE DE SEL D'AMMONIUM QUATERNAIRE SYNTHETISE A PARTIR DE PRODUIT PETROLIER

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'étude gravimétrique de l'inhibition de la corrosion de l'alliage d'aluminium 6082 dans une solution HCl 1M, en employant le sel d'ammonium quaternaire TCPF, élaboré au moyen de platformat.

3.1. Conditions expérimentales

3.1.1. Matériau étudié

Le matériau utilisé comme électrode de travail dans cette étude est l'alliage d'aluminium 6082 dont la composition chimique et massique est donnée dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Composition chimique en pourcentage massique des différents éléments de l'alliage d'aluminium A6082.

Elément	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	V
% massique	99.4126	0.094	0.4	0.0091	0.01	0.022	0.0021	0.0033	0.015	0.025	0.0069

3.1.2 Préparation des plaques

Pour éliminer les pellicules d'oxyde ainsi que les différents dépôts qui se forment sur la surface des plaques, afin que celles-ci soient lisses, planes et plus uniformes, on procède avant tout essai gravimétrique ou électrochimique au polissage.

Parmi les différentes méthodes de polissage nous avons utilisé le polissage mécanique à l'aide du papier abrasif à différents degrés de granulation (220, 280, 400, 600, 1200) suivi d'un lavage à l'eau distillée afin d'éliminer les produits d'abrasion. Ensuite, on sèche les plaques bien avant l'utilisation.

3.1.3. Solution corrosive

La solution agressive qui est notre milieu de corrosion est constituée d'une solution molaire d'acide chlorhydrique 1M préparée à partir d'une solution commerciale d'acide chlorhydrique (37%) en utilisant de l'eau distillé.

3.1.4. Inhibiteur

L'inhibiteur testé dans cette étude, est un sel d'ammonium quaternaire synthétisé TCPF à partir de platformat, ce dernier est un produit pétrolier Algérien.

3.1.5. Méthode utilisée

Afin de déterminer l'efficacité d'inhibition de la corrosion acide de notre alliage par TCPF, la gravimétrie a été employée. Pour les mesures gravimétriques, nous avons pris des échantillons de dimensions (1cm*1.5cm*0.9), qui ont été soumis aux opérations de prétraitement : un polissage mécanique, dégraissage, rinçage. Les plaques métallique, fixées avec des pinces en plastique, sont introduites dans des béchers de 80 ml contenant une solution de HCl 1M, sans et avec TCPF dans différentes conditions opératoires. La valeur de l'efficacité inhibitrice donnée est la moyenne de trois essais effectués dans les mêmes conditions. Le schéma du montage utilisé est illustré sur la figure 3.1.



Figure 3.1. Dispositif expérimental de la gravimétrie

La vitesse moyenne de corrosion (V_{corr}) de l'alliage d'aluminium en absence et en présence d'inhibiteur est déterminée par la formule suivante:

$$V_{corr} = \frac{m_i - m_f}{S \cdot t} \quad (mg/cm^2 h) \quad (3.1)$$

Avec

m_i : masse initiale

m_f : masse finale

S : surface totale

t : temps d'immersion

L'efficacité inhibitrice $E(\%)$ de composé synthétisé est calculée en utilisant l'expression 3.2:

$$E\% = \left[1 - \frac{V_{corr}}{V_{corr}^0} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

Dans laquelle V_{corr} et V_{corr}^0 représentent les vitesses moyennes de corrosion de matériau étudié respectivement en présence et en l'absence d'inhibiteur.

3.2. Résultats et discussions

3.2.1. Effet du temps d'immersion sur la vitesse de corrosion :

Le tableau 3.2, regroupe les valeurs de vitesse de corrosion de notre alliage pour différents temps d'immersion dans HCl 1M, à 25°C. L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion est représentée par la figure 3.2. L'analyse de tableau 3.1 et la figure 3.2, montre clairement que la vitesse de corrosion change peu dans l'intervalle de temps (2-6h). Ce qui nous a permis de choisir dans la suite de notre étude un temps d'immersion de 2h.

Tableau 3.2. Valeurs de vitesse de corrosion de l'alliage pour différents temps d'immersion, à 25°C.

N° d'essai	Temps (h)	ST (cm ²)	mi(g)	mf(g)	Δm (mg)	V _{corr} (mg/cm ² .h)	V _{corr} (moy) (mg/cm ² .h)
1	1	8.22	4.1757	4.1672	8.5	1.03	1.035
2		8.61	5.1701	5.1611	9	1.04	
3		9.58	5.4764	5.4660	10.4	1.08	
1	2	11.34	6.2998	6.2626	37.2	1.64	1.66
2		7.966	4.0790	4.0524	26.6	1.66	
3		8.46	4.8035	4.7754	28.1	1.66	
1	3	8.46	2.3112	2.2659	45.3	1.78	1.675
2		13	7.9932	7.9280	65.2	1.67	
3		13.5	7.9125	7.8441	68.4	1.68	
1	4	9.3	4.6510	4.5871	63.9	1.71	1.73
2		8.65	5.0405	4.9797	60.8	1.75	
3		8.2	4.5063	4.4494	56.9	1.73	
1	5	9.522	4.8196	4.7364	83.2	1.74	1.75
2		9.20	5.0139	4.9334	80.5	1.75	
3		9.42	5.7053	5.6223	83	1.76	
1	6	9.522	4.8196	4.7199	99.7	1.74	1.66
2		11.6	4.4876	4.3723	115.3	1.65	
3		9.2	5.4414	5.3491	92.3	1.67	
1	24	8.2454	4.2372	4.0182	219	1.10	1.11
2		7.98	4.5077	4.2923	215.4	1.12	
3		10.47	6.0862	5.7958	290.4	1.15	
1	48	9.06	4.8839	4.6037	280.2	0.64	0.64
2		13.97	8.8113	8.4089	402.4	0.60	
3		13.36	8.4313	8.0145	416.8	0.64	

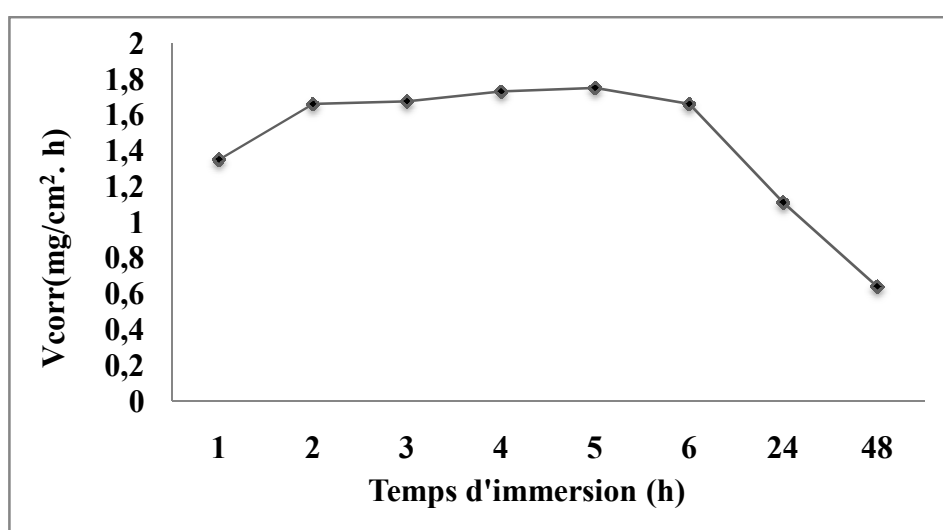


Figure 3.2. Evolution de la vitesse de corrosion de l'alliage d'aluminium en fonction du temps d'immersion, dans HCl 1M, à 25°C.

3.2.2. Influence de la concentration de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice

Tableau 3.2, regroupe les valeurs de vitesse de corrosion (V_{corr}) de notre matériau, et l'efficacité inhibitrice $E(\%)$ déterminés par gravimétrie pour une durée d'immersion de 2 heures, à 25°C, en présence de notre produit à différentes concentrations .

L'analyse des résultats du tableau 3. 2 montres que la vitesse de corrosion de notre alliage diminue tandis que l'efficacité inhibitrice augmente en fonction de la concentration injectée.

La variation de l'efficacité inhibitrice de produit synthétisé en fonction de la concentration est illustrée sur la figure 3.3. L'examen de cette courbe nous montre clairement que ce composé possède des propriétés inhibitrices de la corrosion de l'aluminium très remarquables dans le milieu considéré, Notamment il existe une concentration critique pour laquelle l'efficacité de l'inhibiteur atteint une valeur maximale, au-delà, elle reste pratiquement inchangée, En effet, pour une quantité de 19,2 mg/L, le TCPF présente une efficacité d'environ 79 %. Il s'agit d'une inhibition engendrée par l'adsorption des molécules du TCSL sur la surface de l'aluminium, qui bloque les sites de dissolution du métal, en formant vraisemblablement un film protecteur [29].

Tableau 3.3. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice à différentes concentration, à 25°C.

Concentration (mg/L)	N° d'essai	ST (cm ²)	mi(g)	mf(g)	Δm(mg)	V _{corr} (mg/cm ² .h)	V _{corr} (moy) (mg/cm ² .h)	E (%)
0	1	11.34	6.2998	6.2626	37.2	1.64	1.66	/
	2	7.966	4.0790	4.0524	26.6	1.66		
	3	8.46	4.8035	4.7754	28.1	1.66		
3,84	1	9.41	5.7965	5.7832	13.3	0.70	0.72	56.62
	2	8.09	4.6483	4.6363	12	0.74		
	3	8.84	5.0675	5.0547	12.8	0.72		
7,68	1	9	4.8305	4.8206	9.9	0.55	0.573	65.48
	2	9.16	5.4941	5.4835	10.6	0.57		
	3	8.6	5.0404	5.0299	10.5	0.60		
11,52	1	8.25	4.9820	4.9740	8	0.48	0.487	70.66
	2	12.28	6.1906	6.1785	12.10	0.49		
	3	8.04	4.3095	4.3015	8	0.49		
15,36	1	8.96	5.4315	5.4230	8.5	0.47	0.47	71.68
	2	11.87	5.6141	5.6029	11.2	0.47		
	3	10.77	4.9919	4.9816	10.3	0.47		
19,2	1	7.18	4.1181	4.1131	5	0.34	0.35	78.91
	2	8.5	4.9287	4.9227	6	0.35		
	3	9.82	4.0344	4.0272	7.2	0.36		
23,04	1	12.33	6.3659	6.3573	8.6	0.34	0.35	78.91
	2	11.82	5.7085	5.7002	8.2	0.35		
	3	12.84	6.3006	6.2913	9.3	0.36		
24,96	1	11.54	7.0871	7.0792	7.9	0.34	0.35	78.91
	2	9.45	4.9106	4.9038	6.8	0.35		
	3	8.65	4.5820	4.5756	6.4	0.36		

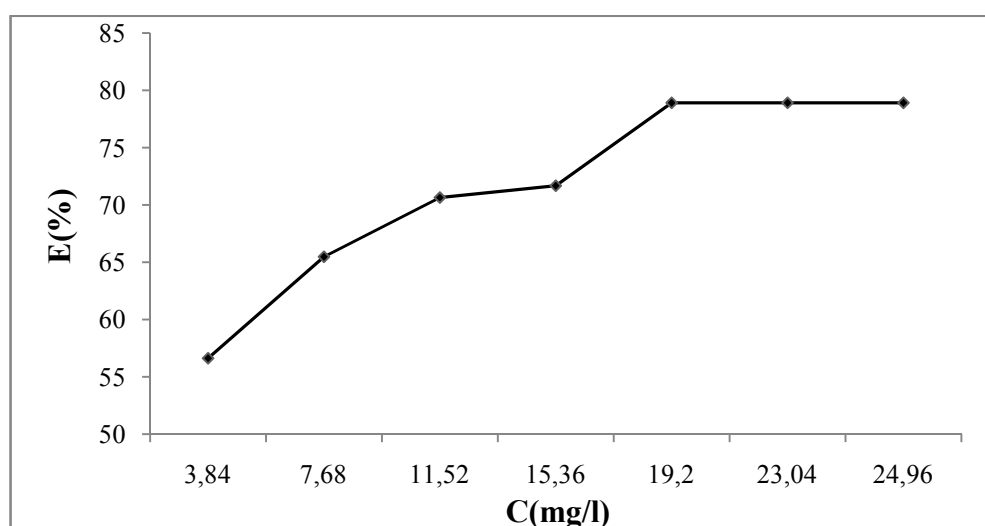


Figure 3.3 : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration du TCPF, à 25°C.

3.2.3. Les isothermes adsorptions de TCPF sur la surface d'alliage de l'aluminium :

L'inhibition de la corrosion des métaux par les composés organiques est expliquée par leur adsorption sur la surface métallique. Les isothermes d'adsorption sont alors un complément important susceptible de déterminer le mécanisme électrochimique qui conduit à l'adsorption de ces composés organiques sur la surface. Afin d'obtenir l'isotherme, le taux de recouvrement de la surface métallique en fonction de la concentration en inhibiteur doit être obtenu. Ce taux de recouvrement de la surface métallique (θ) a été calculé par l'équation (3.3).

$$\theta = \frac{E(\%)}{100} \quad (3.3)$$

Pour identifier le type d'adsorption correspondant à notre étude, différents types d'isotherme ont été testés : Langmuir, Temkin, Frumkin, Freundlich, Elwardy et Flor-Huggins. Les figures 3.4-3.9 représentent, les isothermes d'adsorption tracées pour la température de 25 °C à partir des valeurs de θ obtenues de la gravimétrie (l'équation de chaque isotherme est donnée dans le chapitre 2).

L'analyse de ces figures montre que, la variation du rapport C_{inh}/θ en fonction de la concentration en inhibiteur est linéaire. Ce qui indique que l'adsorption de TCPF sur la surface de notre alliage en milieu HCl 1M obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Par conséquent, l'inhibition de la corrosion est due à la formation d'une mono couche à la surface métallique, limitant l'accès de l'électrolyte. Les coefficients de corrélation (R^2) sont tous proches de 1, confirmant la validité du modèle choisi.

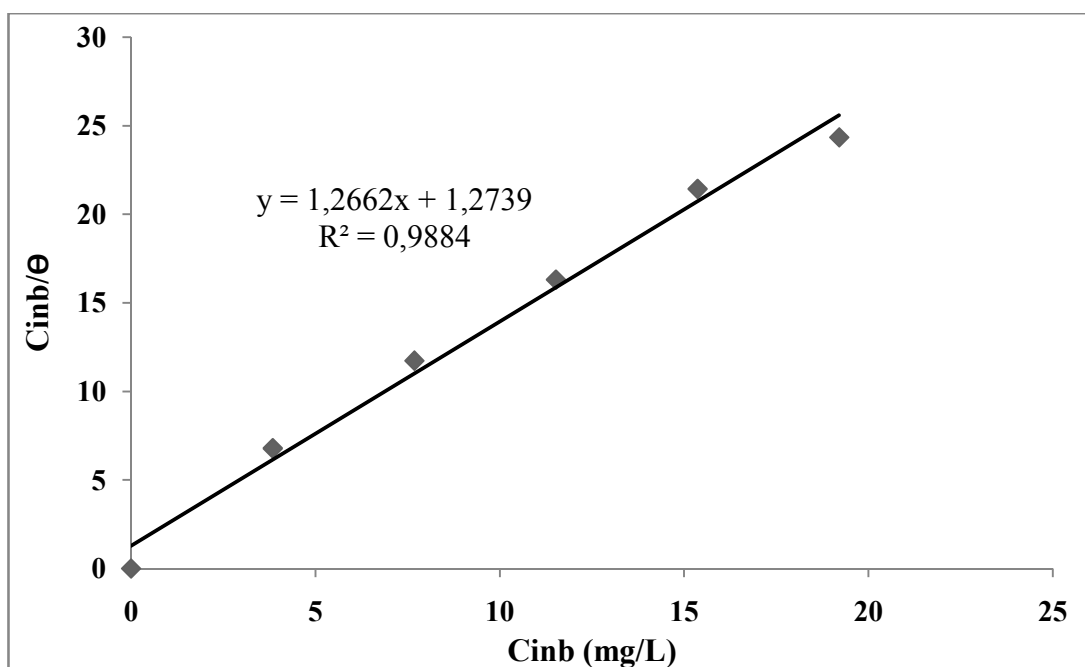


Figure 3.4. Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'aluminium dans HCl 1 M, en présence de TCPF à 25°C, après 2h d'immersion.

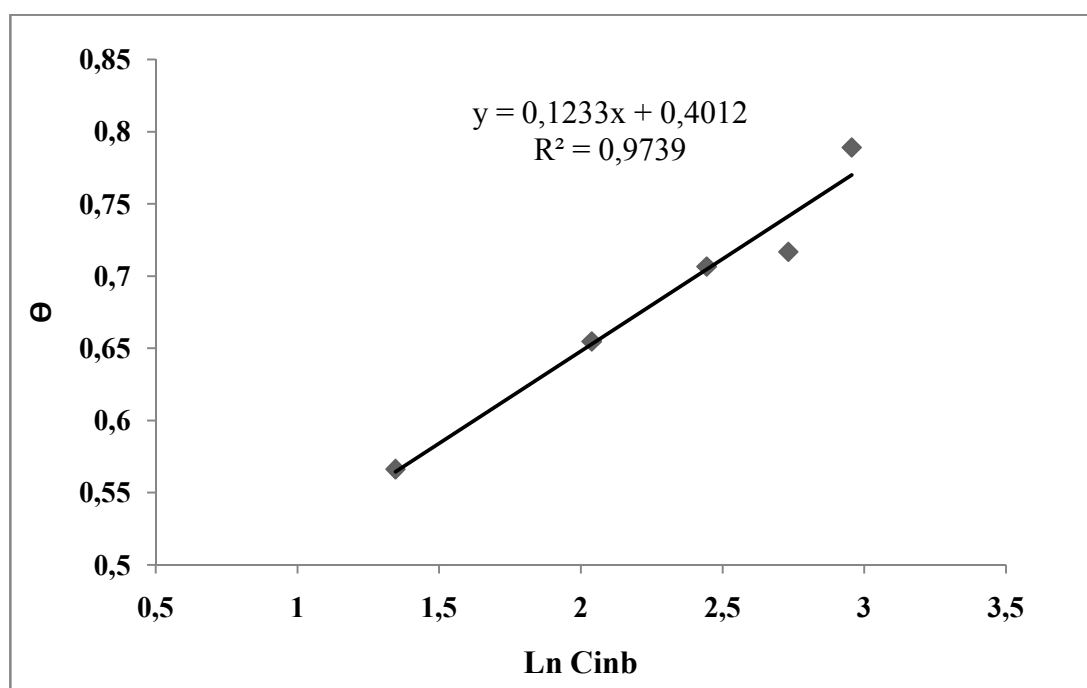


Figure 3.5. Isotherme d'adsorption de Temkin de l'aluminium dans HCl 1M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion.

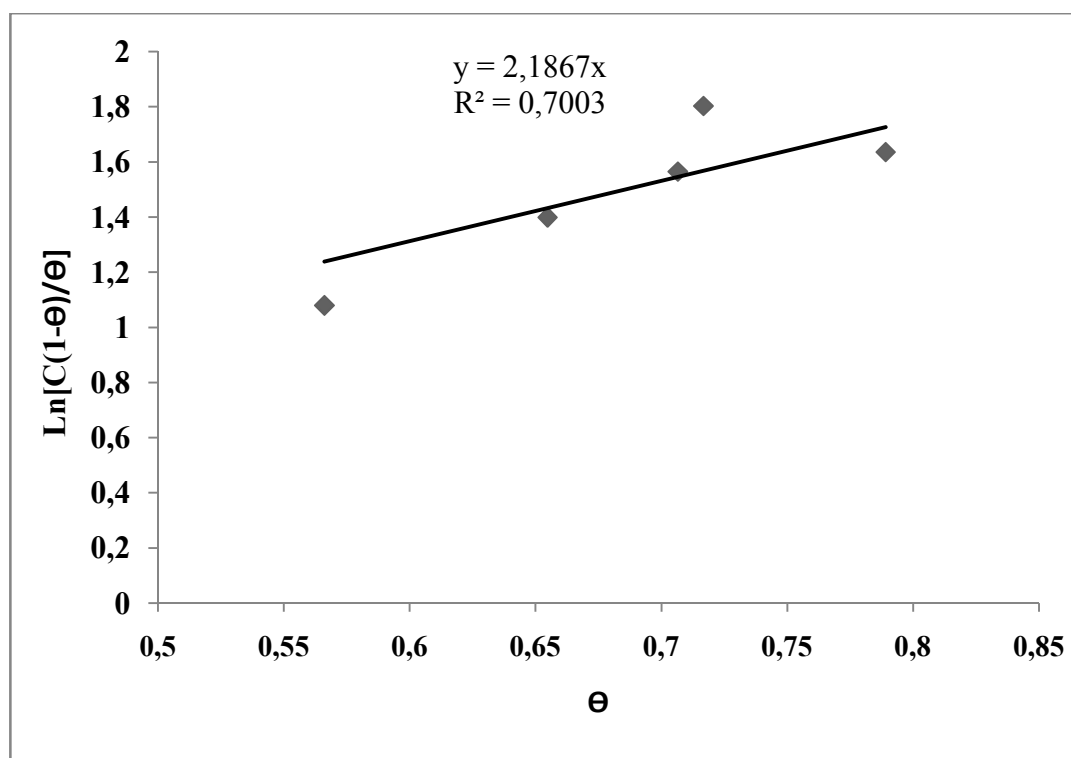


Figure 3.6. Isotherme d'adsorption de Frumkin de l'aluminium dans HCl 1M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion.

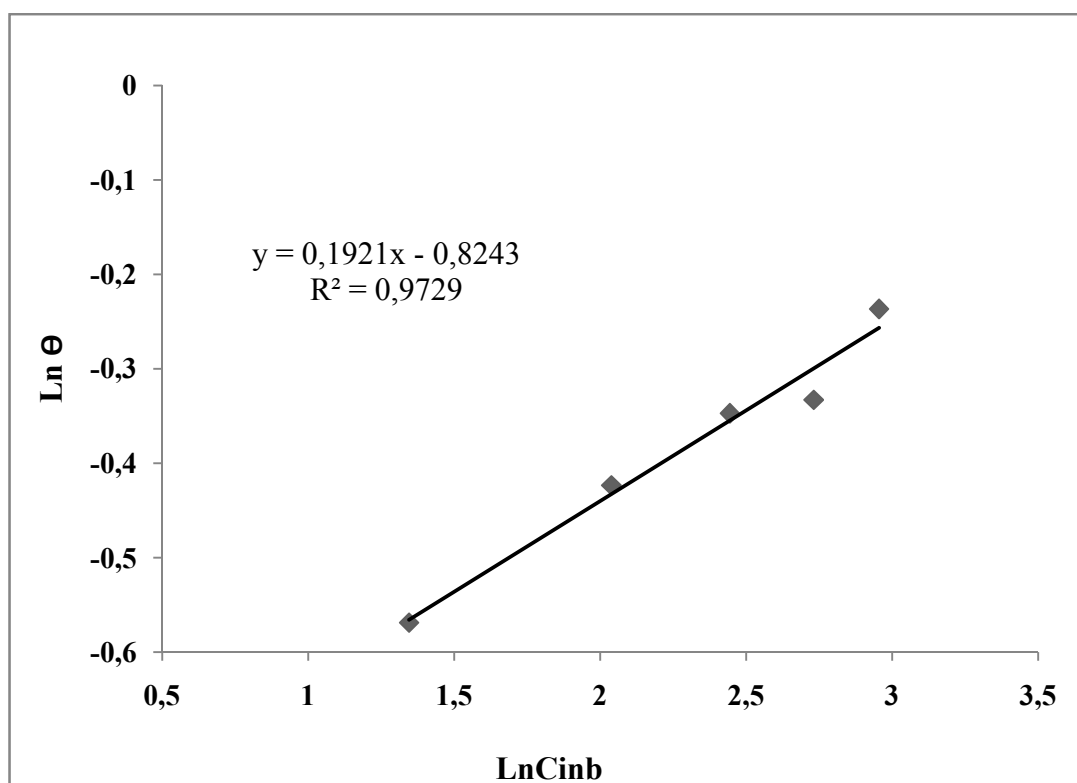


Figure 3.7. Isotherme d'adsorption de Freundlich de l'aluminium dans HCl 1M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion.

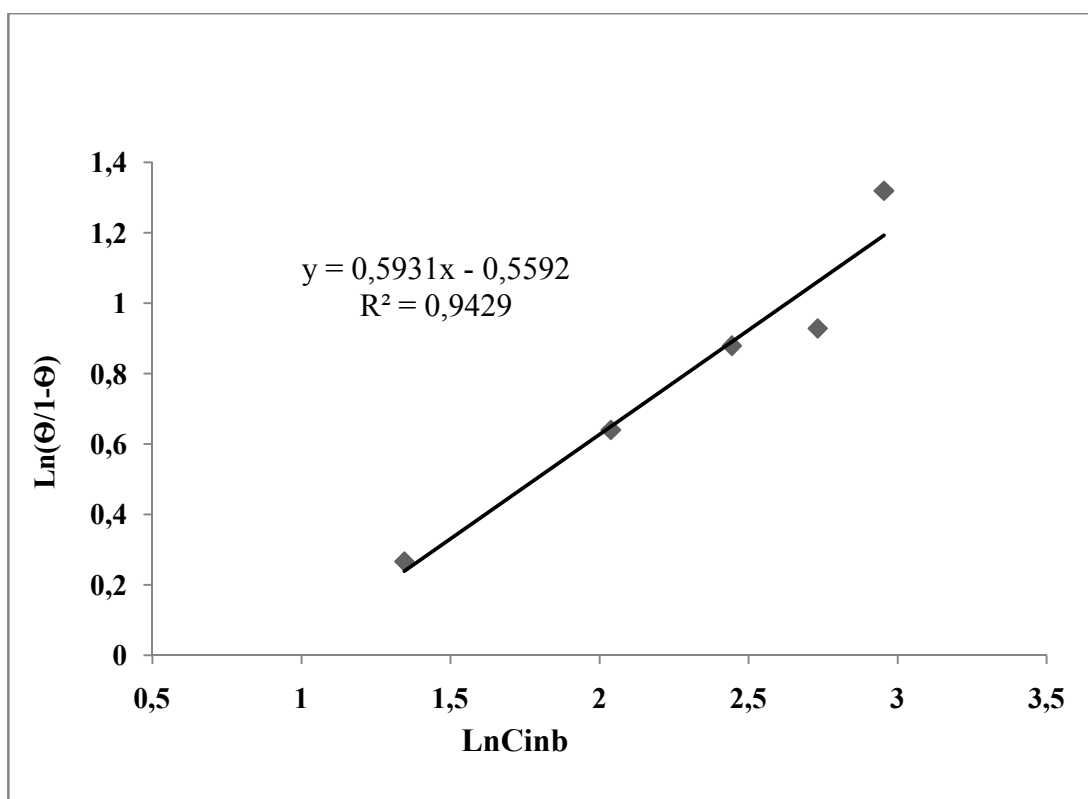


Figure 3.8 : Isotherme d'adsorption d'El wady de l'aluminium dans HCl 1 M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion.

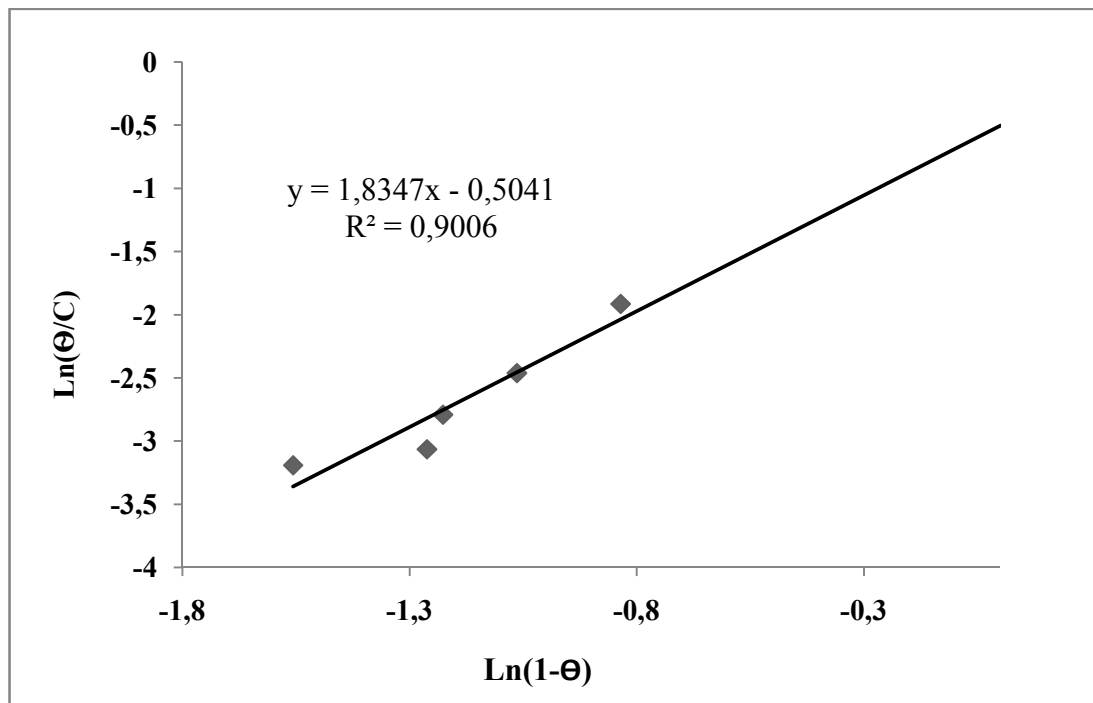


Figure 3.9. Isotherme d'adsorption de Flory-Huggins de l'aluminium dans HCl 1 M, en présence d'inhibiteur synthétisé à 25°C, après 2h d'immersion.

En effet, avec la valeur de la constante d'équilibre d'adsorption tirée par l'équation de l'isotherme d'adsorption de Langmuir, on peut déterminer l'énergie libre standard d'adsorption (ΔG°_{ads}) par l'équation suivante :

$$K_{ads} = \frac{1}{55.5} \exp\left(\frac{-\Delta G_{ads}}{RT}\right) \quad (3.4)$$

La valeur 55.5 est la concentration de l'eau en solution (mol/L).

La valeur de ΔG_{ads} trouvée à 25°C est -14,87 kJ /mol. La valeur négative de ΔG°_{ads} indique la spontanéité des processus d'adsorption et de la stabilité de la couche adsorbée sur la surface métallique.

3.2.4. Influence de la température sur la vitesse de corrosion et le pouvoir inhibiteur

Pour mieux comprendre le comportement d'un matériau dans un milieu agressif et la nature de l'interaction métal/inhibiteur dans ce milieu, il est indispensable d'étudier l'effet de la température, étant donné que la température est l'un des facteurs susceptible de modifier le comportement d'un matériau dans le milieu corrosif, et de modifier aussi la nature de l'interaction métal/inhibiteur. Pour cela, nous avons fait des études à différentes température, allant de 25°C à 65°C pendant une durée d'immersion 2 h dans l'acide chlorhydrique de concentration égale à 1 M, afin de déterminer la vitesse d'attaque de notre échantillon en fonction de la température. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Les valeurs de la vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice en fonction de la température pour la concentration optimale en TCPF (19,2 mg/L) sont données dans le tableau 3.4. La lecture de ce tableau montre que l'augmentation de la température provoque un accroissement des valeurs de V_{corr} dans tout le domaine de température étudié. L'évolution de vitesse de corrosion dans la solution corrosive seule (HCl 1M) présente une croissance régulière et rapide, confirmant une dissolution métallique croissante avec l'augmentation de la température. L'augmentation de la vitesse de corrosion avec la température en présence de l'inhibiteur est largement plus faible que dans le témoin.

La diminution de l'efficacité inhibitrice de notre produit en fonction de temps, explique sa désorption de la surface métallique à des températures élevées.

Tableau 3.4. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice dans HCl 1M en présence de l'inhibiteur, à différentes températures.

T (K)	C (mg/L)	N° d'essai	ST (cm ²)	mi(g)	mf(g)	Δm (mg)	V _{corr} (mg/cm ² .h)	V _{corr(moy)} (mg/cm ² .h)	E(%)
298	0	1	11.34	6.2998	6.2626	37.2	1.64	1.66	/
		2	7.966	4.0790	4.0524	26.6	1.66		
		3	8.46	4.8035	4.7754	28.1	1.66		
	19.2	1	7.18	4.1181	4.1131	5	0.34	0.35	78.91
		2	8.5	4.9287	4.9227	6	0.35		
		3	9.82	4.0344	4.0272	7.2	0.36		
308	0	1	9.365	5.1703	5.0996	70.5	3.76	3.77	/
		2	9.66	5.2386	5.1656	73	3.77		
		3	7.575	3.7161	3.6587	57.4	3.78		
	19.2	1	8.96	4.7567	4.7396	17.3	0.96	0.97	74.27
		2	9.82	5.3181	5.2989	19.2	0.97		
		3	8.298	4.0371	4.0208	16.3	0.98		
318	0	1	6.66	5.5465	5.4200	126.5	9.49	9.74	/
		2	11.235	6.4806	6.2621	218.5	9.72		
		3	6.20	3.6545	3.5333	121.2	9.76		
	19.2	1	10.326	5.4254	5.3560	69.4	3.36	3.37	65.40
		2	9.95	5.3049	5.2418	67.1	3.37		
		3	10.28	6.0572	5.9877	69.5	3.38		
328	0	1	7.194	3.3886	3.1284	260.2	18.08	18.21	/
		2	8.955	4.3443	4.0158	328.5	18.34		
		3	7.150	4.9872	4.7147	272.5	19.05		
	19.2	1	11.18	6.3058	6.0693	216.5	9.68	9.69	46.78
		2	11.476	6.6675	6.4450	222.5	9.69		
		3	6.3396	2.9928	2.8698	123	9.70		
338	0	1	5.82	2.5371	2.1583	378.8	32.54	32.56	/
		2	5.68	2.7849	2.3387	370	32.57		
		3	4.88	2.1104	1.7260	318	32.58		
	19.2	1	8.5	4.2571	3.9243	332.8	19.57	19.58	39.86
		2	8.0041	3.7024	3.7024	313.5	19.58		
		3	6.8893	3.4943	3.2243	270	19.59		

3.2.4.1. Détermination des énergies d'activation

L'étude de l'influence de la température sur le taux d'inhibition de la corrosion de l'alliage d'aluminium, nous permet la détermination des énergies d'activation E_a du processus de corrosion et par conséquent, nous renseigner sur le mécanisme d'inhibition.

L'effet de la température sur l'efficacité inhibitrice révèle différentes interprétations dans la littérature.

Selon l'action de la température, Radovici [30] classe les inhibiteurs en trois groupes :

- ✚ Inhibiteurs, dont le taux d'inhibition diminue avec l'augmentation de la température. La valeur de l'énergie d'activation E_a obtenue est plus grande que celle obtenue en absence de l'inhibiteur.
- ✚ Inhibiteurs, dont l'efficacité ne change pas avec la variation de la température. La valeur d'activation E_a ne change pas en présence ou en absence de l'inhibiteur.
- ✚ Inhibiteurs, dont l'efficacité inhibitrice augmente avec l'élévation de la température. La valeur d'activation E_a obtenue est inférieure à celle que obtenue en absence de l'inhibiteur.

Le 1^{er} groupe des inhibiteurs est souvent interprété par la formation d'un film s'adsorbé de caractère physique (liaison de nature électrostatique, faible). Par contre dans le cas du 3^{ème} groupe des inhibiteurs ; l'adsorption chimique des molécules organiques à la surface de métal par des liaisons fortes est obtenue.

La dépendance de type Arrhenius observée entre la vitesse de corrosion et la température, nous a permis de calculer la valeur de l'énergie d'activation du processus de corrosion, à différentes températures, en l'absence et en présence de l'inhibiteur, selon la relation [19] :

$$\ln V_{corr} = \ln A - E_a/RT \quad (3.5)$$

Où V_{corr} est la vitesse de corrosion (mg/cm².h); A une constante (facteur pré exponentiel), E_a l'énergie d'activation (kJ/mol); R la constante des gaz parfaits (J/mol.K) et T la température (K).

La figure 3.10 illustre la variation du logarithme de la vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de la température absolue. Cette variation du $\ln V_{corr} = f(1/T)$ est une droite sans et en présence de la concentration optimale en TCPF (19,2 mg/L). A partir de la relation d'Arrhenius, nous pouvons donc calculer les énergies d'activation dans HCl 1M et en présence de la concentration optimale en TCPF (19,2 mg/L).

Le tableau 3.5 rassemble les valeurs de E_a sans et avec TCPF à sa concentration optimale. En effet, la valeur d' E_a en présence de l'inhibiteur est supérieure à la valeur d' E_a obtenue pour la solution corrosive seule. Ce qui traduit que l'inhibiteur étudié s'adsorbe sur la surface métallique par des liaisons de nature électrostatiques (physisorbé à la surface de l'électrode).

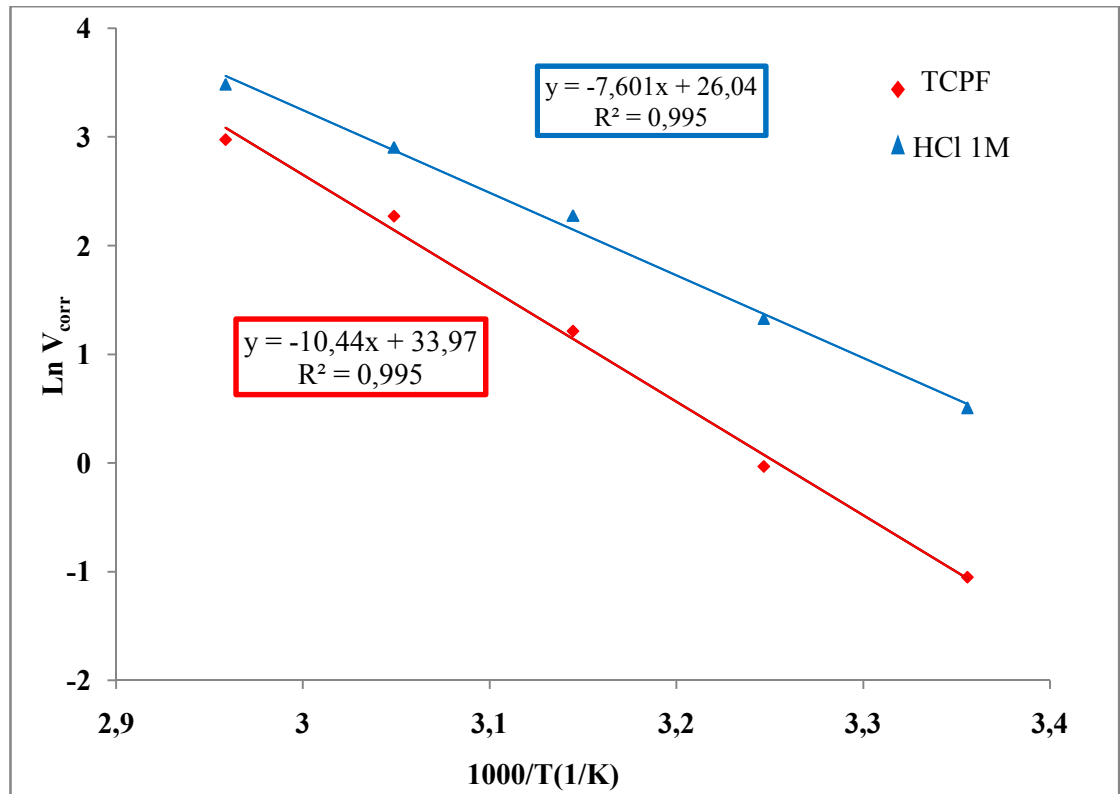


Figure 3.10. Variation de logarithme de vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de température, en absence et en présence de TCPF.

Tableau 3.5. Energie d'activation de dissolution de l'aluminium dans HCl 1M seul et en présence d'inhibiteur.

Milieu	E_a (kJ.mol ⁻¹)
HCl 1M	63.20
HCl 1M +TCPF	86.82

3.2.5. Effet du temps d'immersion sur l'efficacité inhibitrice

Le suivi de l'évolution de l'efficacité inhibitrice de notre produit en sa concentration optimale à différents temps d'immersion dans le milieu agressif permet d'avoir des informations importantes sur la stabilité de la couche protectrice formée sur la surface. Les valeurs de la vitesse de corrosion et l'efficacité en milieu HCl 1M + 19,2 mg/L de TCPF après (1h, 2h, 4h, 6h, 24h, 48h) d'immersion sont présentés dans le tableau 3.6. De ce tableau on peut constater que l'activité inhibitrice dépend du temps d'immersion.

Tableau 3.6. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition à différents temps d'immersion, à 25°C.

N° d'essai	Temps (h)	ST (cm ²)	mi(g)	mf(g)	Δm (mg)	V _{corr} (mg/cm ² .h)	V _{corr} (moy) (mg/cm ² .h)	E(%)
1	1	11.306	7.1149	7.1091	5.8	0.25	0.25	81.72
2		10.97	6.9554	6.9501	5.3	0.24		
3		7.96	4.3075	4.3034	4.1	0.25		
1	2	7.18	4.1181	4.1131	5	0.34	0.35	78.91
2		8.5	4.9287	4.9227	6	0.35		
3		9.82	4.0344	4.0272	7.2	0.36		
1	4	7.78	4.1084	4.0934	15	0.48	0.50	71.09
2		9.22	5.2611	5.2424	18.7	0.50		
3		9.05	5.2588	5.2397	19.1	0.52		
1	6	9.36	5.3788	5.3430	35.8	0.63	0.635	61.74
2		10.65	6.6320	6.5906	41.4	0.64		
3		7.38	3.8121	3.7800	32.10	0.72		
1	24	10.2	6.4697	6.2895	180.2	0.73	0.71	36.03
2		9.0016	4.9480	4.7931	154.9	0.71		
3		8.662	4.7999	4.6552	144.7	0.69		
1	48	8.3836	4.9867	4.7963	190.4	0.47	0.475	25.78
2		8.60	4.8522	4.6530	199.2	0.48		
3		6.773	3.8357	3.6941	141.6	0.43		

3.2.6. Effet de l'acidité sur le pouvoir d'inhibiteur

La nature du milieu agressif peut être influencée les propriétés du métal. Une série de concentrations en acide HCl (0.5M, 1.5M, 2M, 2.5M, 3M) a été testé pour voir l'effet de la concentration de l'acide sur le pouvoir inhibiteur de notre produit à sa concentration optimale, à 25°C. Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau 3.7. L'analyse de ce tableau, indique que dans le milieu agressif HCl 1.5 M, TCPF est plus efficace.

3.2.7. Effet des additifs sur le pouvoir inhibiteur

L'inhibition de la corrosion peut être améliorée par la présence de plusieurs inhibiteurs dans le milieu corrosif. Cet effet est nommé effet de synergie. L'utilisation des halogènes a été reconnue depuis longtemps Cette partie est consacrée à l'évaluation de l'efficacité inhibitrice de notre produit synthétisé à sa concentration optimale dans le milieu corrosif HCl 1M en présence de sels minéraux KCl, KBr et KI. La concentration de chaque sel est 0.05M [31].

Tableau 3.7. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition à différents concentrations en acide, à 25°C.

[HCl] (M)	C (mg/l)	N°Essai	ST (cm ²)	mi(g)	mf(g)	V _{cor} (mg/cm ² .h)	V _{cor} (moy) (mg/cm ² .h)	E%
0.5	0	1	7.47	4.0021	3.9996	0.16	0.16	/
		2	8.13	4.7075	4.7048	0.16		
		3	7.79	6.3309	6.3282	0.17		
	19.2	1	9.1532	5.3544	5.3522	0.12	0.12	25
		2	8.7847	5.0165	5.0142	0.13		
		3	9.66	5.7208	5.7184	0.12		
1	0	1	11.34	6.2998	6.2626	37.2	1.66	/
		2	7.966	4.0790	4.0524	26.6		
		3	8.46	4.8035	4.7754	28.1		
	19.2	1	7.18	4.1181	4.1131	0.34	0.35	78.91
		2	8.5	4.9287	4.9227	0.35		
		3	9.82	4.0344	4.0272	0.36		
1.5	0	1	9.51	5.2508	4.8947	18.72	18.84	/
		2	8.9442	5.2656	4.9263	18.96		
		3	11.35	6.1259	5.6980	18.85		
	19.2	1	7.916	4.5650	4.5164	3.06	3.16	83.22
		2	10.17	6.1029	6.0362	3.27		
		3	7.4416	4.0176	3.9530	4.34		
2	0	1	9.4232	5.6128	4.9652	34.36	34.51	/
		2	10.95	7.0422	6.2830	34.66		
		3	11.58	7.7100	6.9256	33.86		
	19.2	1	10.157	6.2080	5.8920	15.55	15.54	54.96
		2	2	5.6118	5.3130	15.53		
		3	9.6168	4.1468	3.9070	16.12		
2.5	0	1	9.051	5.3699	4.4248	52.20	51.16	/
		2	9.49	5.7381	4.7636	51.33		
		3	9.226	5.4987	4.5576	51.00		
	19.2	1	10.92	7.3044	6.1476	38.81	39.32	23.14
		2	11.26	6.9953	6.5089	35.32		
		3	8.0013	4.6111	3.9737	39.83		
3	0	1	10.82	6.6496	5.5062	52.83	52.89	/
		2	11.39	7.1537	5.9247	53.95		
		3	9.58	5.6966	4.6815	52.98		
	19.2	1	9.912	5.5726	4.7320	42.40	42.53	19.58
		2	10.49	6.5249	5.6234	42.96		
		3	10.40	6.0776	5.1988	42.25		

Le tableau 3.8, regroupe les valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition de TCPF en présence des sels minéraux, à 25°C. Selon les résultats trouvés, Il s'avère que l'ajout des sels minéraux influe directement sur le comportement de notre inhibiteur.

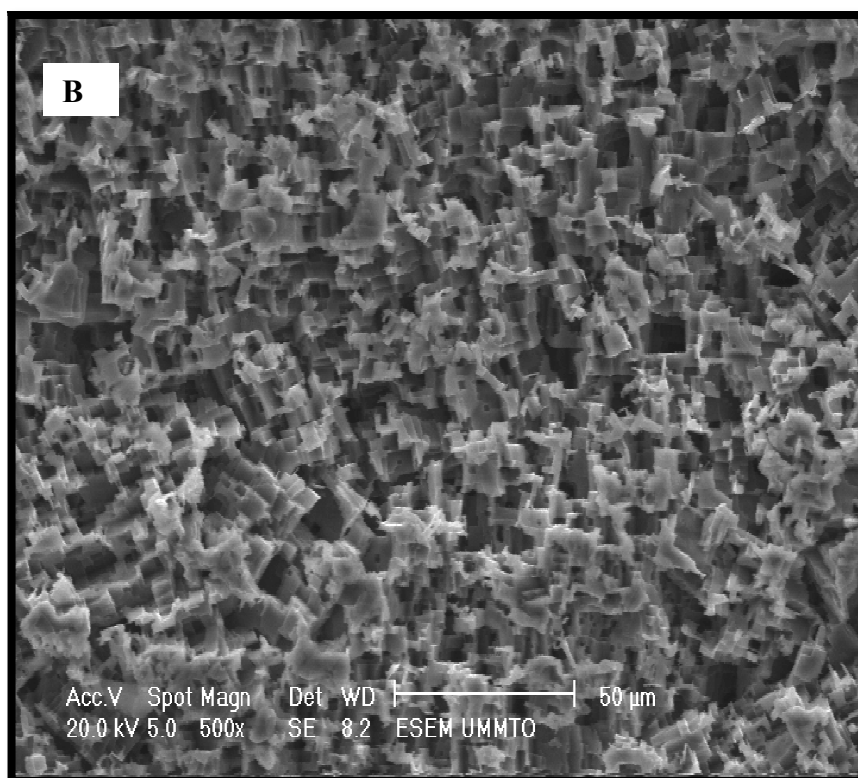
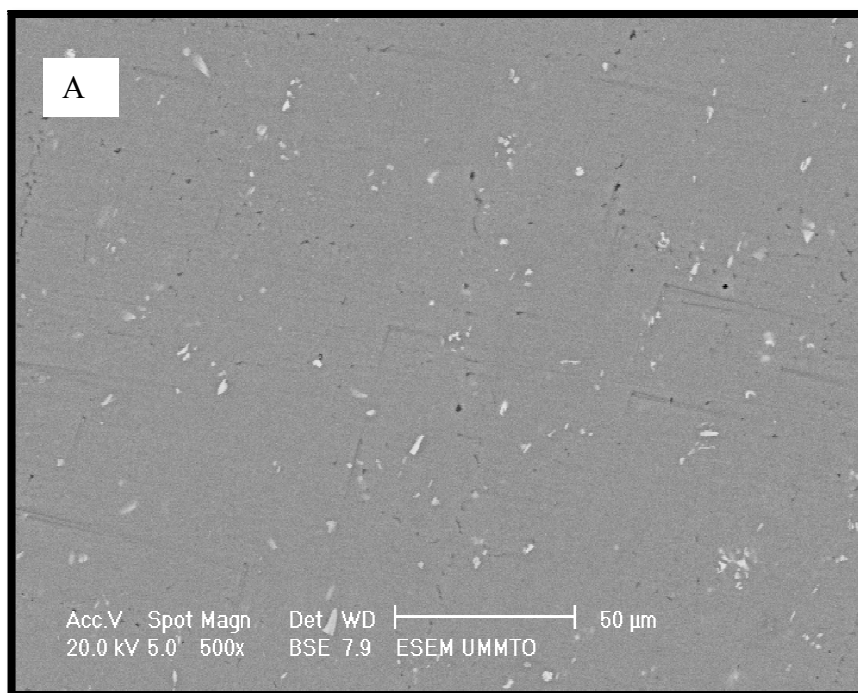
Tableau 3.8. Valeurs de vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition de TCPF en présence des sels minéraux, à 25°C.

Concentration de l'additif (M)	Concentration de TCPF (mg/L)	N° d'essai	ST (cm ²)	mi(g)	mf(g)	V _{corr} (mg/cm ² .h)	V _{corr} (moy) (mg/cm ² .h)	E (%)
0	0	1	11.34	6.2998	6.2626	1.64	1.66	/
		2	7.966	4.0790	4.0524	1.66		
		3	8.46	4.8035	4.7754	1.66		
0.05M KCl	0	1	10.45	6.7161	6.6861	1.43	1.475	11.14
		2	9.51	5.6639	5.6359	1.47		
		3	9.66	5.7898	5.7611	1.48		
0.05M KBr	0	1	10.2	6.5528	6.5317	1.03	1.045	37.04
		2	14.79	9.8805	9.8539	0.90		
		3	8.483	4.7569	4.7368	1.06		
0.05M KI	0	1	9.19	5.6762	5.6701	0.33	0.335	79.81
		2	11.11	7.1604	7.1528	0.34		
		3	9.85	5.7816	5.7736	0.40		
0.1M KI	0	1	9.31	5.5696	5.5658	0.20	0.205	87.65
		2	9.28	5.3989	5.3950	0.21		
		3	9.20	5.3807	5.3760	0.25		
0.05M KCl	19,2	1	9.968	6.2781	6.2712	0.34	0.335	79.81
		2	10.04	6.3425	6.3362	0.31		
		3	12.30	7.8693	7.8610	0.33		
0.05M KBr	19,2	1	9.77	6.5978	6.5920	0.29	0.29	82.53
		2	8.68	6.5637	6.5586	0.29		
		3	9.88	6.1234	6.1175	0.29		
0.05M KI	19,2	1	9.95	5.5954	5.5919	0.17	0.17	89.75
		2	11.04	6.9594	6.9556	0.17		
		3	9.112	5.8578	5.8550	0.15		
0.1M KI	19,2	1	9.693	5.6281	6.6252	0.09	0.09	94.57
		2	9.312	5.4498	5.4481	0.09		
		3	8.74	4.6349	4.6331	0.10		

La présence des sels minéraux a nettement améliorée le taux de l'efficacité inhibitrice de la corrosion relativement à TCPF seul, par un effet synergique. En fait, l'effet de synergie est défini comme étant le renforcement de l'action inhibitrice de la corrosion d'un composé habituellement utilisé en forte concentration par ajout d'un autre composé en faible concentration. Pour la même concentration des halogénures, L'effet synergique augmente dans l'ordre Cl < Br < I, ce qui suggère que les rayons et électronégativité des halogénures jouent un rôle important dans le processus d'adsorption.

3.3. Examen de la surface par MEB :

Nos observations au MEB ont porté sur des échantillons d'aluminium avant attaque (Figure 3.11 A), après 2h d'immersion à 25°C dans HCl 1M seul (Figure 3.11 B), après 2h d'immersion à 25°C dans HCl en présence de 19,2 mg/L de TCPF (Figure 3.11 C)



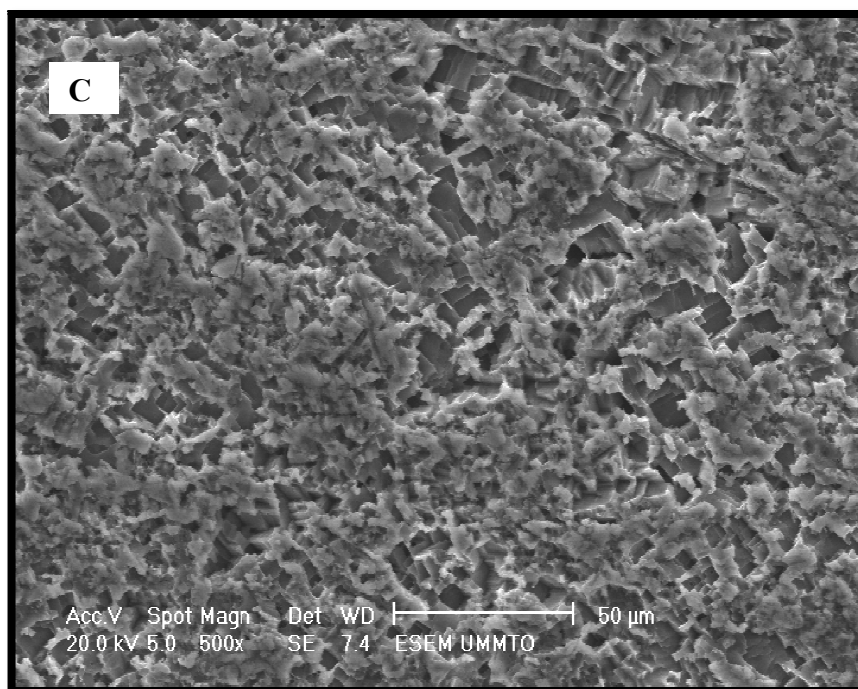


Figure 3.11. Micrographie (MEB) de la surface de l'alliage d'aluminium A) avant attaque, B) après 2h d'immersion dans HCl 1M en absence d'inhibiteur C) après 2h d'immersion dans HCl 1M en présence de 19,2 mg/L de TCPF à 25°C.

Nous avons effectué une observation des échantillons par comparaison de l'état de surface entre l'échantillon qui n'a subi aucune attaque et ceux traités. L'examen des clichés (MEB) nous a permis en particulier la mise en évidence de la formation d'un film protecteur à la surface de l'aluminium en présence du composé organique. En effet, nous remarquons sur l'image de la surface de l'aluminium après 2h d'immersion à 25°C dans HCl 1M seul (figure 3.11 B) que cette dernière est attaquée, ceci montre clairement que l'aluminium a subi une corrosion en absence de l'inhibiteur. Par contre, en présence de notre produit (Figure 3.11 C), nous constatons sur l'image que la surface est recouverte d'un produit traduisant la présence d'un produit organique.

INTRODUCTION

La corrosion désigne une destruction totale ou partielle d'un matériau sous l'action chimique, biochimique ou électrochimique du milieu environnant. Elle détruit le matériau ou elle réduit ses propriétés en le rendant inutilisable pour une application prévue [1].

On estime que la corrosion détruit tous les métaux ainsi que les polymères et les céramiques. La corrosion est donc un phénomène nuisible et aussi un facteur permanent de destruction des installations industrielles. Les dégâts causés par la corrosion entraînent dans le monde, des pertes qui se chiffrent chaque années à des milliards de dollars : USA : 5.5M.\$; Allemagne : 1.9M DM...etc.

Les phénomènes de corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs qui interviennent non pas séparément mais en relations plus ou moins complexes les un avec les autres : l'environnement et ses caractéristiques chimiques, la nature et la structure du matériau...etc.

L'aluminium est un métal très actif qui doit sa résistance à la corrosion à la formation d'une couche d'alumine (Al_2O_3) protectrice. Compte tenu de l'importance de ses applications, il est nécessaire de le protéger contre la corrosion. Pour prévenir ce phénomène, plusieurs techniques peuvent être utilisées [3].

En termes de protection, les inhibiteurs constituent un moyen pratique et économique pour lutter contre la corrosion. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu afin de réduire au maximum la vitesse de corrosion des matériaux. Les composés organiques de nature tensioactive sont largement utilisés dans l'inhibition de la corrosion acide de l'aluminium. Les sels d'ammonium quaternaires sont des tensioactifs cationiques possèdent d'extraordinaires performances inhibitrices de la corrosion acide de l'aluminium. L'inhibition de la corrosion au moyen de ces composés résulte de leur adsorption à la surface du métal, assurée par les ions ammonium chargés positivement en regard de la surface du métal chargée négativement [5].

Notre travail consiste à étudier le comportement d'un alliage d'aluminium (A6082) vis-à-vis de la corrosion dans un milieu acide (HCl 1M) en absence et en présence d'un sel d'ammonium quaternaire (TCPF), synthétisé au moyen d'un produit pétrolier à savoir (PF), par la méthode gravimétrique. Cette étude est comporte deux parties:

La première partie est théorique. Elle comporte deux chapitres : le premier présente des généralités sur la corrosion de l'aluminium et ces propriétés physico-chimiques. Le deuxième chapitre

est consacré aux différents types de protection, plus particulièrement les inhibiteurs de corrosion, il se termine par une partie consacrée aux différentes méthodes d'étude des inhibiteurs.

La deuxième partie est expérimentale, concerne l'aspect expérimental et l'étude de l'activité inhibitrice du tensioactif synthétisé (TCPF) vis-à-vis de la corrosion d'un alliage d'aluminium A6082 en milieu acide chlorhydrique 1M en fonction des différents paramètres. Nous terminons ce travail par une conclusion générale ainsi que les perspectives envisageables pour la poursuite de cette étude.

Les références :

- [1] : M. Djeghaba, N. Hachani «influence de l'acide acétique sur la qualité de l'anodisation de l'aluminium et de ses alliages», mémoire de magister. M S'Ila. (2002-2003)
- [2] : C. Vargel, Le comportement de l'aluminium et de ses alliages, Edition Dunod Technique .Paris, 1979.
- [3] : M. Reboul, Technique de l'ingénieur, corrosion des alliages d'aluminium. Cor 325.
- [4] : C. Vargel, corrosion de l'aluminium, Edition .Dunod ; 1999.
- [5]: D. Londolt. Corrosion et chimie de surface des matériaux .Edition presses polytechniques et universitaires Romandes, 1993.
- [6]:M. Fontana, Corrosion Engineering. MC. Grawhill international
Edition. New York, 1987.
- [7] :M.IFIREs «Etude du comportement électrochimique de l'alliage AA6061 dans le milieu Na Cl en présence d'inhibiteur de corrosion», mémoire de magistère, USDB(2012).
- [8] : E. Deltombe, M. Pourbaix, Comportement électrochimique de l'aluminium, diagramme d'équilibre tension/ pH du système Al-H₂O à 25°C, Rapport technique n°42, Cebelcor, décembre (1956).
- [9] : M. Pourbaix, Atlas d'équilibres électrochimiques à 25°C, Ed. Gauthier Villars (1963).
- [10]:N. Hackerman, G. M. Schmid, J. Electrochem. Soc, 109,243(1962)
- [11]:N. Hackerman, E.S. Snavely, J.S.Payen, J. Electrochem. Soc, 113, 243 (1962).
- [12]: Nace Glossary of Corrosion Terms. Materials Protection, 4(1965)79.
- [13]: M. Lebrini, these de doctorat, Univ. Lille1 (France), (2005).
- [14]: E.Heitz, Proc.4th Europ. Sympo. Corr. Inhib, Ferrara, Italy, V, Suppl. N. G, p. 432 (1975).
- [15]:C.Fiaud, C. Lemaitre. Perbére. Inhibiteurs de corrosion. Corrosion et Anticorrosion (pratique industrielle), Hermès Science Publications, Paris, (2002).
- [16]: I. L. Rozenfeld, Corrosion Inhibitors, Mc Graw-Hill (1981).

- [17]: G. H. Nancollas, Corrosion, 39, 3, 77(1983).
- [18]: E. Schaschl, Methods for evaluation and testing of corrosion inhibitors. In: Ed. By C. C. Nathan, Houston, NACE Corrosion Inhibitors, USA, National Association of Corrosion Engineers, P. 28-41.
- [19]: N.Tsuji, K. Nozawa, corrosion. Science, 42,1523 (2000).
- [20]: F. Bentiss, these HDR, Univ. Lille 1 (France), (2006).
- [21]: W. J .Lorenz In: Dechema monographs 101, Verlag chimie, Weinheim 185 (1986).
- [22]: F.B. Growcock et J. H .Jasinski, J. Electrochimie. Soc, 136, 2310 (1989).
- [23] : A.Kozłowska, H. Kryszczyńska, E. Radomska et S. Włodarczyk, Powłoki Onchr, 14,8(1986).
- [24] : T. Das, Metalloberfläche, 41, 465(1987).
- [25]: S. L. Granese ET B. M. Rosales, 10th Int. Cong. On Met. Corr, Madras, India, 3, 2733 (1987).
- [26]: J.G.N.Thomas, 5th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann. Univ. Ferrara, Italie, 453(1980).
- [27]: H.Hamitouche «étude de l'efficacité inhibitrice de quelque tensioactifs, synthétisés à partir de coupe pétrolières algériennes, dans la lutte contre la corrosion interne des pipelines», mémoire de magistère, USDB(2005).
- [28] :P. Boummersbach, Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, France, (2005).
- [29]: B. Obot, N.O. Obi-Egbedi, N.W. Odozi, Acenaphtho [1, 2-b] quinoxaline as a novel corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄, Corrosion Science 52, 923–926, (2010)
- [30]: O.Radovici, Proceedings of the 2nd European Symposium of corrosion inhibitors, Université Ferrara (Italie), 1965.
- [31]: «Synergistic effect of halide ions on the corrosion inhibition of aluminum in H₂SO₄ using 2-acetylphenothiazine»E.E. E benso Materials Chemistry and Physics 79 (2003) 58–70
- [32]:R.MEHIBEL, Thèse de Magistère, Université de Skikda. (2008)

