

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

Filière : Génie Mécanique

Option: Transport et Distribution des Hydrocarbure

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de:

MASTER

Thème

**Etude de la corrosion et la protection d'un
tubing de puits pétrole en milieu acide
sulfurique**

Présenté par:

Bendjaballah Mohamed Salah

Proposé et dirigé par:

Dr . Merzougui Abed ELkarim

Promotion : Juin 2017

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes parents en témoignage de tout mon amour.

A toute ma famille.

A tous mes collègues et amis

REMERCIEMENTS

D'abord nous remercions DIEU de nous avoir venu en aide pour que nous puissions aboutir à la réussite.

Tous le respect et les mots de remercies à notre encadreur D.r Merzougui Abed El karim, pour ses aides, ses conseils directifs, et son suivi durant la réalisation de cette étude.

Nous remercier vivement le président de jury D.r Hamza Bentrah Et l'examineur, D.r Meftah Kamel qui ont biens accepté de juger notre travail. Nous remercions aussi tous les responsables les personnels de notre département de Génie Mécanique, tous Les participants à notre formation.

Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues, et tous ceux qui nous ont aidé de prés ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Merci

LISTES DES FIGURES

- Figure I-1** : la pile de corrosion. (8)
- Figure I.2** : diagramme potentiel= $f(\text{Ph})$ du fer (activité des espèces ioniques en solution 10^{-6} mol/L) et présentation simplifiée des domaines d'immunité, passivité et corrosion en milieu aqueux. (8)
- Figure I-3.** Classement des inhibiteurs de corrosion. (13)
- Figure I-4.** Formation des couches barrières a) cathodiques et b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide. (15)
- Figure I-5** . Modes d'adsorption des inhibiteurs organiques sur une surface métallique : (1) Adsorption simple ; (2) Chélation de surface ; (3) Pontage de surface ; (4) Adsorption en multicouche. (19)
- Figure I-6** : Influence de la concentration de l'inhibiteur TBTB (triazolyl blue tetrazolium bromide) sur l'efficacité de l'inhibition Ew obtenue par la méthode de perte de masse en milieu 1 M HCl et 0.5 M H₂SO₄ à 30 °C. (20)
- Figure II.1** : Photographie du dispositif de mesures électrochimiques. (26)
- Figure II.2** : Microscope optique HUND T100-WETZLAR. (28)
- Figure III-1** sont les courbes de polarisation linéaire et logarithmique de N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M. (33)
- Figure III-2** : Photo macroscopique des échantillons immergés pendant 168 heures en solution H₂SO₄ 0.1M à 30 °C. (34)
- Figure III-3** : La morphologie de produit de corrosion de l'acier N80 par le microscope optique (x 100), (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) l'immersion de l'acier en solution H₂SO₄ 0.1M (168heurs). (36)
- Figure III-4** : La morphologie de la corrosion par piqûre par le microscope optique (x 100) de l'acier N80 après le teste d'immersion 168 h en milieu H₂SO₄ 0.1M à 30 C. (37)
- Figure III-5:** Courbes de polarisation linéaire (a) et logarithmique (b) de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M à 30°C, en absence et en présence de différentes concentrations de GA. (38)
- Figure III.6** : aspect macroscopique de produit de corrosion de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.5M en absence et présence 3 g/L de GA. (40)

Figure III. 7: la morphologie de produit de corrosion (168 heures) de l'acier N80 par le microscope optique x100, (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) l'acier avec produit de corrosion sans inhibiteur, (c) l'acier avec produit de corrosion avec inhibiteur. (40)

Figure III-8 : Vitesse de corrosion de l'acier N80 en milieu H₂SO₄. 1M aux différentes concentrations. (41)

Figure III-9 : Photographie par le microscope optique présente l'efficacité de GA après le teste d'immersion. (a) milieu H₂SO₄ 5% sans GA (96 heures), (b) milieu H₂SO₄ avec GA (168 heures). (42)

Figure III-10 : Isotherme d'adsorption de Temkin de la GA à la surface d'acier N80 en milieu H₂SO₄. 0.1M à 30°C (obtenue par la méthode de polarisation). (44)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Nuance et caractéristiques mécaniques des tubes tubing.....	(3)
Tableau I.2: Nuance et caractéristiques mécaniques des tubes tubing.....	(4)
Tableau II.1: Composition chimique de l'acier N80 en % massique.....	(25)
Tableau III-1: Paramètres de polarisation potentiodynamique de l'acier N80 en milieu H ₂ SO ₄ 1M contenant différentes concentrations de GA à 30°C.....	(32)
Tableau III-2: Paramètres de polarisation potentiodynamique de l'acier N80 en milieu H ₂ SO ₄ 1M contenant différentes concentrations de GA à 30°C.....	(39)
Tableau III-3: Paramètres de l'isotherme d'adsorption de Temkin de la GA à la surface d'acier N80 en milieu H ₂ SO ₄ 0.1M à 30 °C.....	(44)

Nomenclature

GA : Gomme Arabique

API: American Petroleum Institute

ECS: Électrode de référence au calomel saturé

η_{POL} : Efficacité inhibitrice ou taux d'inhibition (méthode courbe de polarisation)

CEN : Comité Européen de Normalisation

E : Le potentiel électrode/solution

E_{corr} : Potentiel de corrosion

E_{EQ} : Potentiel d'équilibre

$E_{initial}$: Potentiel initial

E_{final} : Potentiel final

E_{fin} : Potentiel final (méthode voltamétrie cyclique)

E_f : Potentiel de Flade

E_{pit} : Potentiel de piqûr

$E_{q=0}$: Le potentiel de charge nulle

\hat{i} : Intensité de courant

i : Densité de courant

i_0 : Densité de courant d'échange

I_{corr} : Densité de courant de corrosion (vitesse de corrosion)

I_{pass} : Densité de courant de passivation

$I_{corr(inh)}$: Densité du courant de corrosion en présence d'inhibiteur (Gomme Arabique)

b_a : Coefficient de Tafel anodique

b_c : Coefficient de Tafel cathodique

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

v' : Vitesse de balayage de potentiel (demi-cycle "retour")

v : Vitesse de balayage de potentiel (demi-cycle " aller")

K : Constant d'équilibre d'adsorption

N : le nombre d'oxydation

ρ : la masse volumique

F : le nombre de Faraday

M : la masse molaire

dv/dt : l'évolution du volume de métal dissous en fonction du temps.

θ : degré de recouvrement

C : Concentration

a : Constant d'interaction moléculaire

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I. Synthèse bibliographique	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Nuance et caractéristiques mécaniques des tubes tubing.....	3
I.3. Utilisation de l'acide sulfurique dans l'industrie pétrolière.....	4
I.4. La corrosion des aciers au carbone en milieu acide sulfurique	5
I.4.1. Réactions de corrosion.....	6
I.4.2. Diagramme de Pourbaix de l'acier	8
I.4.3. Procédure de l'acidification des puits de pétrole	9
I.4.4. Type de corrosion de tubing N80	10
I.4.4.1. La corrosion chimique	10
I.4.4.2. Corrosion biochimique:	10
I.4.4.3. Corrosion érosion, par frottement ou par cavitation:	11
I.5 La protection des aciers au carbone en milieu acide sulfurique par les inhibiteurs de corrosion	11
I.5.1 Propriétés essentielles d'un inhibiteur de corrosion.....	12
I.5.2 Les classes d'inhibiteurs.....	12
I.5.3 Les inhibiteurs cathodiques, anodiques et mixtes	13
I.5.4 Les inhibiteurs organiques en milieux acide sulfurique.....	14
I.5.4.1 Mécanisme d'inhibition.....	15
I.5.4.2 Modes d'adsorption.....	16
I.5.5.L'effet inhibitrice de la Gomme Arabique pour l'acier en milieux H ₂ SO ₄	19
I.6 Conclusion.....	21
Chapitre II. Technique d'étude et conditions expérimentales	23
II.1. Techniques d'étude	23
II.1.1. Techniques électrochimiques.....	23
II.2. Conditions expérimentales.....	24
II.2.1. Les électrodes de travail.....	24

II.2.2. Milieu électrolytique	25
II.2.3. L'inhibiteur de corrosion : la Gomme Arabique (GA).....	26
II.2.4. Mesures électrochimiques	26
II.2.3.1. Les courbes intensité-potentiel (courbes de polarisation)	27
II.2.5. Microscopie optique.....	27
Chapitre III. Résultats et discussion	29
III.1. Partie 1 : Etude de la cinétique de corrosion de l'acier N80 en milieu H ₂ SO ₄ 0.1M.....	30
III-1 Caractérisation de la corrosion de l'acier N80 en milieu H ₂ SO ₄ 0.1M	30
III-2 Partie 2 : Evaluation d'un traitement inhibiteur contre la corrosion dans différent milieux	35
III-2-1 Caractérisation de l'action inhibitrice de GA	35
Conclusion générale	45
Références bibliographiques.....	47

Introduction générale

Au Brésil, la préoccupation pour la corrosion par l'acide sulfurique a augmenté dans l'industrie du gaz et pétrole en raison de la politique récente concernant la transformation des gaz H_2S et SO_x produits pendant l'extraction de pétrole et le raffinage dans l'acide sulfurique concentré. Cette politique est adoptée pour réduire l'impact négatif du dégagement de ces gaz dans l'atmosphère parce que la combustion des carburants est une cause majeure du réchauffement climatique en raison de la production des gaz à effet de serre.

Durant les dernières décennies, les chromates (agents cancérigènes) étaient les plus couramment utilisés comme des inhibiteurs de corrosion. Cependant, elles posent problème à cause de leur toxicité potentielle élevée. Il faut noter que la non-toxicité est le point faible des molécules inhibitrices actuellement utilisées. En effet, un certain nombre d'entre elles sont sur le point d'être interdites et c'est pour cela que les recherches tendent à proposer des molécules moins dangereuses pour l'environnement.

Les polymères peuvent être un meilleur choix car ils possèdent des molécules à longue chaîne et présentent une grande efficacité de l'inhibition à très faible concentration.

Gomme Arabique (GA) a été sélectionnée pour la présente étude. La plante est facilement biodégradable; facilement accessible à partir des sources renouvelables. GA est principalement utilisée dans l'industrie alimentaire en tant que stabilisant.

Les travaux présentés dans ce mémoire portent sur l'étude de l'efficacité inhibitrice de la Gomme Arabique sur l'acier N80 (tubing) en milieu acide sulfurique par l'analyse de surface et les méthodes électrochimiques. Ainsi, le but est tout d'abord de mieux comprendre le mécanisme de corrosion de l'acier N80 en milieu acide, pour ensuite évaluer les propriétés inhibitrices de l'inhibiteur. La structure de ce mémoire traduit cette démarche.

Le chapitre I : la première partie est consacrée à la synthèse bibliographique sur le mécanisme de corrosion des aciers au carbone par les acides et les facteurs influençant.

Le chapitre II : la deuxième partie est consacrée à la synthèse bibliographique sur les propriétés inhibitrices des inhibiteurs organiques, facteurs influençant et mode d'inhibition.

Le chapitre III expose succinctement l'ensemble des techniques expérimentales employées dans le cadre de cette étude ainsi que les conditions expérimentales adoptées.

L'ensemble des résultats est regroupé en deux parties dans le chapitre III.

Le chapitre III : la première partie est relative étude de la corrosion de l'acier N80 en milieu acide sulfurique .Pour cela, une série d'essai électrochimique et des analyses de surface ont été réalisées. A partir des résultats électrochimiques ,la vitesse de corrosion a été déterminée.

Puis.

Le chapitre III :La deuxième partie est consacrée à l'optimisation des concentration de GA pour lutte contre la corrosion en milieu acide sulfurique .Il débute par l'analyse du mode d'action de GA .Pour cela ,L'influence de sa concentration a été étudiée. Pour confirmer les résultats électrochimiques, des analyses de surface ont été effectuées.

Chapitre I.

Synthèse bibliographique

Chapitre I. Synthèse bibliographique

I.1. Introduction

L'importance considérable de la corrosion dans la vie quotidienne (domestique ou industrielle) n'est plus à démontrer. En effet, ce phénomène touche pratiquement toutes les réalisations de l'ingénieur, des plus grandes au plus petites : production de l'énergie, construction, transport, secteur médical, l'électronique, etc. Dans les pays industrialisés les conséquences de la corrosion ne résident pas seulement dans le coût économique (gaspillage de matière première, énergie et temps) mais également dans les accidents que peut provoquer (sécurité public en jeu) ainsi que le mauvais impact sur l'environnement.

Le nom « corrosion » vient du latin « corroder » qui signifie ronger ou attaquer. En effet, la corrosion est une dégradation du matériau ou de ses propriétés (physicochimiques, mécaniques, etc.) par interaction chimique avec le milieu environnant.

Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible car il détruit le matériau et réduit ses propriétés, le rendant inutilisable pour une application prévue. Mais d'un autre point de vue la corrosion est un phénomène bien venu, voir souhaité, car elle détruit et élimine un nombre d'objets abandonnés dans la nature. Certains procédés industriels font également appel à la corrosion (anodisation de l'aluminium, polissage électrochimique, etc.)

I.2. Nuance et caractéristiques mécaniques des tubes tubing

Ce tube en acier N80 est fondamentalement doté des mêmes paramètres que le tube de forage pétrolier N80. Par ailleurs, le filetage de notre produit peut être divisé en filetage Buttress, filetage rond long, filetage rond court, filetage VAM et autres.

Spécifications

Matériel	Nuance d'acier N80
Diamètre externe	4 1/2"-20", (114.3-508mm)
Epaisseur de paroi	5.12-16.13mm
Forme de filetage	Tube de cuvelage à filetage Buttress, tube de cuvelage à filetage rond long, tube de cuvelage à filetage rond court
Fonction	Peut protéger les tubes de production

Tableau I.1 Nuance et caractéristiques mécaniques des tubes tubing.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Notre tube en acier N80 est doté de la même nuance d'acier que les types J55 et K55. Ils appartiennent tous au groupe des nuances d'acier basses. Notre produit est disponible en modèles N80-1 et N80-Q. Si nos clients n'ont pas de demandes, il n'y a pas de détection de défaut pour le produit de type N80-1. Le tableau suivant vous présente les distinctions entre les deux modèles, selon leur apparence.

Contraste

Nuance d'acier	Classification	Marquage du corps de tube	Couleur de raccord	
N80	1	Un rouge	Raccord entier	Bande de couleur
N80	Q	Un rouge, un vert brillant	Rouge	Sans
			Rouge	Vert

Tableau I.2 Nuance et caractéristiques mécaniques des tubes tubing.

Notre société est un fournisseur de tube en acier pour cuvelage avec une gamme d'épaisseur de paroi de 5,12 à 16,13 et une gamme de diamètre externe de 114,3 à 508mm. Ce tube de cuvelage en acier est fait d'un acier de nuance N80, ayant une grande résistance à la pression. Aussi, il peut être utilisé durant le processus de forage de puits de pétrole et peut supporter la paroi d'un puits après l'achèvement de celui-ci, afin d'assurer une opération normale dans tout le puits. Le filetage de notre produits et ses raccords sont spécialement traités, avec une surface lisse sans défauts qui pourraient influencer la résistance et l'herméticité de la connexion.

En tant que producteur et fournisseur spécialiste de tube en acier N80 en Chine, nous fournissons également le tubage en acier pour pétrole J55, le tubage pétrole et gaz P110, le tuyau d'acier sans soudure pour chaudière, etc. [1]

I.3. Utilisation de l'acide sulfurique dans l'industrie pétrolière

Près de 90 % de la production totale de soufre sert à la fabrication de l'acide sulfurique qui occupe la première place parmi l'ensemble de la production des produits chimiques. Les principales utilisations d'acide sulfurique sont [2 ,3] :

- L'industrie des engrais (fabrication de l'acide phosphorique), pour l'élaboration de phosphates destinés à l'alimentation animale ou humaine.
- Fabrication du dioxyde de titane selon le procédé sulfurique. TiO₂ est le principal pigment

Chapitre I : Synthèse bibliographique

blanc utilise dans les peintures.

- L'industrie du textile synthétique, fabrication du caprolactame du polyamide.
- Alkylation pour la production d'essence sans plomb.
- Pour le séchage et la purification des gaz.
- Fabrication du papier par trempage buvard dans l'acide concentré.
- Dans les batteries au plomb pour les voitures et autres véhicules.
- Fabrication du fluorure d'hydrogène.
- Fabrication de l'acide Caro, un agent oxydant puissant utilisé en nettoyage.
- Catalyse de réaction d'estérification grâce à l'ion oxonium.
- Raffinage de pétrole.
- Traitement des eaux sert à faire diminuer le pH du sol et traitement des minerais. etc.
- Synthèse de composés chimiques (colorants, explosifs, détergents, divers sels, autres acides...) ; des hydratations des alcools, pour donner des alcènes, sulfonation, etc. :
- L'acide sulfurique a été (et est encore) utilisé par certains tortionnaires pour brûler leurs victimes.
- Dilué d'un volume pour dix d'eau, cet acide est couramment utilisé dans le décapage des métaux précieux en bijouterie après brasage.
- Industrie du traitement de surface des matériaux, notamment composition essentielle du bain d'anodisation.
- Enfin, il est très avide d'eau, il peut donc être utilisé dans des dessiccateurs ou comme

I.4. La corrosion des aciers au carbone en milieu acide sulfurique

Les aciers au carbone sont utilisés depuis plus d'un siècle dans les chaudières et les

générateurs de vapeur. Grâce à cette longue expérience et à de nombreuses études de corrosion, on connaît aujourd'hui relativement bien le comportement de ces aciers dans acide sulfurique et plus généralement dans les milieux aqueux à haute température.

Les aciers au carbone peuvent subir dans l'eau divers types de corrosion. Le fer n'étant thermodynamiquement pas stable dans acide sulfurique, la corrosion généralisée est fatale ; l'oxydation du fer conduit à la formation d'une couche d'oxyde plus ou moins protectrice, dont l'entretien s'accompagne d'une perte de métal uniforme. La corrosion érosion est une forme particulière de corrosion généralisée, couplant les processus chimiques d'oxydation-dissolution et le transfert de masse : le transfert de masse ne permet pas au métal de se passiver. La corrosion sous contrainte est possible dans les conditions oxydantes (acide sulfurique non désaérée). Même faible, la corrosion généralisée est gênante car elle s'accompagne de la formation de dépôts qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur la bonne marche des installations. Pratiquement, les principaux problèmes rencontrés sur les aciers au carbone du circuit secondaire des REP proviennent surtout de la corrosion-érosion (amincissement rapide des tuyauteries).

Complétant une récente étude bibliographique consacrée à la corrosion-érosion [4], le présent document résume l'état des connaissances sur la corrosion généralisée du fer et des aciers au carboné dans l'eau à haute température. Cette note de synthèse, demandée par le SEPTEN à l'intention du BCCN, est destinée à constituer un des chapitres du dossier "Matériaux Circuit Secondaire Principal" du palier N4 [5].

La première partie de la note décrit le phénomène et les principaux aspects du mécanisme de la corrosion généralisée du fer et des aciers au carbone dans acide sulfurique à haute température. La deuxième partie examine l'influence de divers facteurs sur la corrosion

I.4.1. Réactions de corrosion

Les réactions électrochimiques permettent les Sur certaines zones de l'interface métal - électrolyte, **le métal s'oxyde** sous la forme d'ions chargés positivement (ou cations) qui passent en solution dans le liquide ou sous forme de composés solides tels que des oxydes qui restent sur le métal.

La réaction d'oxydation du métal (réaction anodique) peut s'écrire sous la forme suivante:

Chapitre I : Synthèse bibliographique



où M représente le métal, M^{2+} est le cation métallique à la valence z.

Cette réaction d'oxydation libère des électrons qui doivent être consommés pour assurer la neutralité électrique. C'est pourquoi une ou plusieurs réactions de réduction d'espèces chimiques oxydantes (réactions cathodiques) présentes dans la phase aqueuse ont nécessairement lieu simultanément à l'interface. Les réactions cathodiques les plus courantes sont les réductions de

L'oxygène dissous, des ions H_3O^+ ou de l'eau :



Ce processus constitue une pile de corrosion dans laquelle le courant dit anodique va du métal vers la phase aqueuse aux endroits où il se corrode (zones anodiques) et le courant dit cathodique entre dans le métal aux endroits où le ou les espèces oxydantes se réduisent (zones cathodiques). En l'absence de courant électrique extérieur les courants anodique et cathodique sont égaux et de sens opposés.

Les produits des réactions (1) et (2) sont des ions qui peuvent rester en solution ou réagir pour donner un précipité (produit de corrosion) selon la réaction :



Transferts de charge au niveau de l'interface entre le métal (électrode) et l'électrolyte. Dans le cas des aciers ordinaires, on forme ainsi de la rouille. Dans certains cas (aciers inoxydables par exemple) il se forme une couche d'oxyde protectrice de très faible épaisseur (quelques nanomètres) : on parle alors de "passivité" et la vitesse de corrosion résiduelle est très faible. Certains métaux ou alliages tels que ceux d'aluminium ou de titane du fait de leur grand pouvoir réducteur s'oxydent rapidement et se recouvrent d'une couche d'oxyde protectrice.

Par ailleurs, les atomes d'hydrogène formés sur les zones cathodiques ont tendance à se recombinaison en hydrogène gazeux diatomique :



Cependant, une partie de cet hydrogène atomique peut pénétrer dans la phase métallique (notamment dans les aciers au carbone) et conduire à différentes formes de fragilisation par l'hydrogène (notamment en cas de surprotection cathodique). [6]

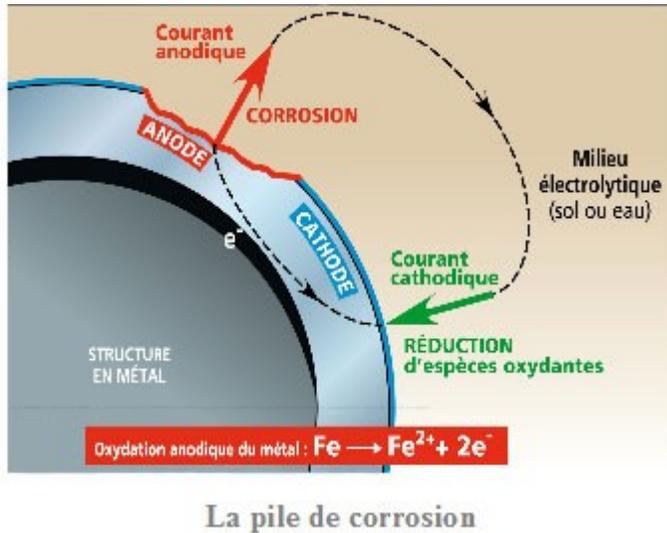


Figure I-1 : la pile de corrosion

I.4.2. Diagramme de Pourbaix de l'acier

Les diagrammes de Pourbaix, aussi appelés diagrammes potentiel-[pH], indiquent sur un plan E-pH les domaines d'existence ou de prédominance d'un élément. Ils sont construits à partir de données thermodynamiques. Figure I.3 donne l'exemple d'un diagramme simplifié de Pourbaix du fer[7].

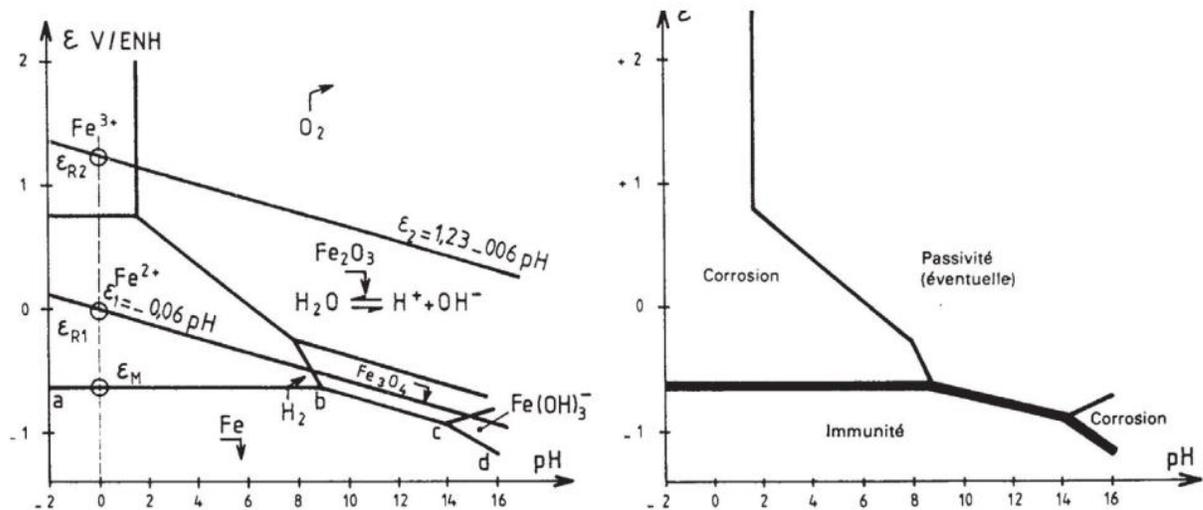


Figure I.2 : diagramme potentiel=f(Ph) du fer (activité des espèces ioniques en solution 10⁻⁶ mol/L) et représentation simplifiée des domaines d'immunité, passivité et corrosion en milieu aqueux [7].

Selon le diagramme de la Figure I.3, le fer peut se trouver dans trois états thermodynamiques suivant son potentiel et le pH de la solution dans laquelle il est immergé :

- **Passivation** : zone de **protection** du métal par la formation **d'oxydes** ou **d'hydroxydes** à sa surface (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) ;
- **Corrosion** : zone d' **attaque** du métal avec formation d' ions (Fe^{3+} , Fe^{2+}). On distingue la corrosion en milieu acide ou en milieu basique ;
- **Immunité** : zone de **stabilité thermodynamique** fer (Fe).

I.4.3. Procédure de l'acidification des puits de pétrole

La procédure classique d'un traitement acide d'un puits se déroule en quatre étapes (Kalfayan, 2000) :

a) Le « pickling » consiste à faire un nettoyage doux de l'équipement d'injection, généralement dans un bain d'acide chlorhydrique à 5% et d'agents anticorrosion, ou d'acide faible.

b) Le « preflush » sert à nettoyer les dépôts à la surface du puits en injectant de l'acide chlorhydrique à 3-5% accompagné de solvant aromatique.

c) La stimulation acide proprement dite nécessite entre 0.1 et 4 m³ d'acide par mètre de puits traité. On utilise en général, de l'acide chlorhydrique à 15%. On peut utiliser de l'acide à 28% uniquement pour des roches très perméables, car il y a un risque d'émulsion, de formation de boue ou bien sous certaines conditions de précipitations insolubles.

d) L' « overflush » a pour but d'éloigner l'acide des perforations. Pour cela, on utilise généralement de l'eau. Dans le cas de puits de gaz on peut également utiliser de l'azote.

Il est parfois nécessaire de retarder l'attaque de l'acide sur la roche ou de limiter les flux latéraux dans les wormholes afin d'en augmenter la longueur. Pour cela, plusieurs techniques existent :

- La réaction peut être retardée physiquement en augmentant la diffusion de l'acide vers la surface des pores. Pour cela, l'acide est injecté sous forme de mousse, d'émulsion ou bien de gel.
- On injecte des surfactants avec l'acide afin de recouvrir la surface des pores, bloquant

ainsi temporairement leur dissolution.

- L'ajout d'acide organique ou de produit de réaction organique permet également de retarder l'attaque acide. Par exemple, en présence d'anhydride (CaSO₂) on injecte du chlorure de calcium (CaCl₂) afin de diminuer sa solubilité dans l'acide chlorhydrique.
- On peut ajouter également du CO₂ qui refroidit l'HCl et change l'équilibre de la réaction[8]

I.4.4. Type de corrosion de tubing N80

I.4.4.1. La corrosion chimique

C'est la réaction entre le métal et une phase gazeuse ou liquide. Si cette corrosion se produit à haute température elle est alors appelée « corrosion sèche » ou corrosion à haute température. Au cours de la corrosion chimique, l'oxydation du métal et la réduction de l'oxydant se fait en une seule action, c'est-à-dire les atomes du métal forment directement des liaisons chimiques avec l'oxydant qui arrache les électrons de valence des atomes métalliques [9].

I.4.4.2. Corrosion biochimique:

C'est l'attaque bactérienne des métaux en particulier dans les canalisations enterrées. Le mécanisme de ce mode de corrosion peut être de plusieurs types.

- a. Chimique par production de substances corrosives telles que CO₂, H₂S, H₂SO₄, NH₃ ou d'un acide organique, le cas le plus répandu est celui rencontré dans les canalisations enterrées et qui résulte la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal.
- b. Certaines bactéries peuvent réduire les sulfates par l'intermédiaire d'hydrogène.



L'hydrogène provient par exemple des régions cathodiques, il y a donc une dépolarisation des cathodes et formation accélérée de Fe²⁺ aux anodes.



- c. Dans certains cas, on peut observer sur les canalisations des dépôts adhérents Résultant de l'attaque, non pas du métal lui-même, mais celle de certains Composants du milieu ambiant par des bactéries. En résultat il forme des piqûres sur le métal, à l'endroit où s'est produit le dépôt, suivant un processus de corrosion par différence de concentration en oxygène [9].

I.4.4.3. Corrosion érosion, par frottement ou par cavitation:

Dans ce cas les produits de corrosion forment un dépôt adhérent et continu à la surface de métal, généralement il diminue la vitesse de la corrosion. Cette couche peut être supprimée en certains points par abrasion du métal provoqué par le mouvement du liquide lui-même ou bien à celui des particules solides qu'il contient, il y a une accélération de la corrosion. Dans le cas de la corrosion par frottement lorsque deux surfaces métalliques sont en contact et qu'elles se déplacent l'une par rapport à l'autre, leurs surfaces peuvent se détériorer rapidement et devenir impropres aux mouvements ultérieurs. Pour que la corrosion par frottement puisse apparaître, il faut simultanément:

- l'existence d'une pression de contact entre les deux métaux .
- la présence de vibrations .
- l'existence d'un glissement entre les deux surfaces .
- La présence d'oxygène.

La corrosion par cavitation est due à la présence des bulles de vapeurs qui se forment dans une canalisation, ou au voisinage d'une pièce tournante par suite de l'augmentation locale de la vitesse du liquide où la pression statique devient inférieure à la tension de vapeur du liquide, il en résulte un violent martèlement de la surface métallique et une destruction locale du film de corrosion protecteur, la corrosion peut donc se développer à nouveau[9].

I.5 La protection des aciers au carbone en milieu acide sulfurique par les inhibiteurs de corrosion

Les pertes par corrosion, représentent une composante importante du pourcentage des pertes technologiques dans diverses industries impliquant un nettoyage acide [10].

En termes de protection, les inhibiteurs constituent un moyen pratique et économique pour lutter contre la corrosion [11].

Cependant, la mise au point d'inhibiteurs de corrosion non toxiques et biodégradables devient un enjeu primordial. Les extraits de plantes sont devenus importants comme source d'inhibition écologiquement acceptable, facilement disponible et utilisable pour une vaste gamme de prévention de la corrosion [12].

L'objectif de ce travail consiste à étudier l'action inhibitrice d'une substance verte et naturelle à base de plante, sur le comportement à la corrosion de l'acier au carbone X 70 largement utilisé

dans la construction des pipelines, dans HCl 1M, en utilisant différentes techniques électrochimiques. Les résultats obtenus montrent que l'inhibiteur est doté d'un pouvoir inhibiteur appréciable, et le caractère dominant dans notre cas traduit une cinétique de transfert de charge.

I.5.1 Propriétés essentielles d'un inhibiteur de corrosion

D'une manière générale un inhibiteur doit :

- abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans en affecter les caractéristiques physico-chimiques, en particulier la résistance mécanique (par exemple, risque de fragilisation par l'hydrogène en milieu acide) .
- être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants .
- être stable aux températures d'utilisation.
- être efficace à faible concentration .
- être compatible avec les normes de non-toxicité .
- Être peu onéreux [13].

I.5.2 Les classes d'inhibiteurs

Il existe plusieurs façons de classer les inhibiteurs de corrosion. Généralement, ils sont classés en fonction de leur domaine d'application, de la formulation des produits (inhibiteur organique, inhibiteur inorganique), de la réaction électrochimique inhibée (inhibiteur cathodique, inhibiteur anodique ou mixte), ou du mécanisme réactionnel mis en jeu (adsorption et/ou formation d'un film) [14-17]. Néanmoins, cette classification n'est pas tout à fait adéquate car un même inhibiteur peut présenter à la fois des caractéristiques propres à chaque groupe de classement.

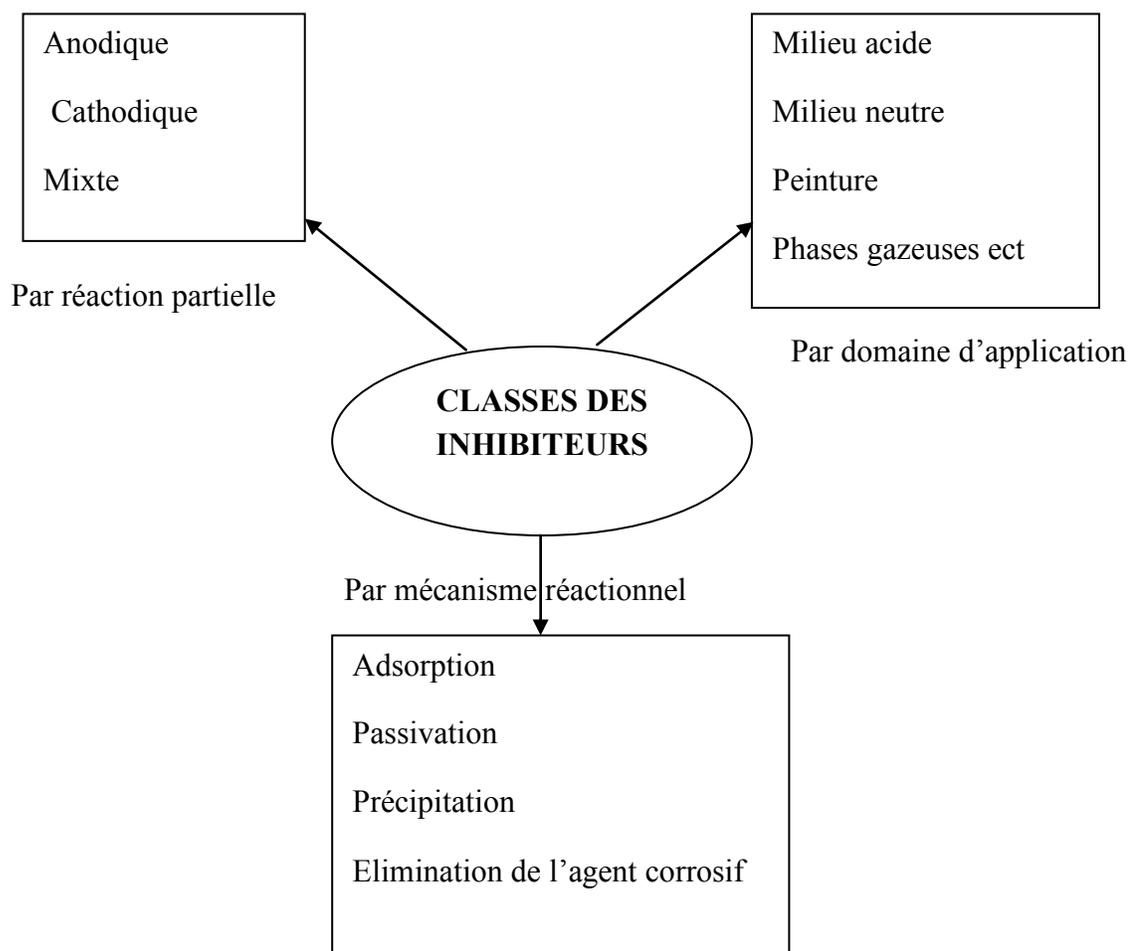


Figure I-3. Classement des inhibiteurs de corrosion.

I.5.3 Les inhibiteurs cathodiques, anodiques et mixtes

Anodique :

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

Cathodiques :

Les inhibiteurs cathodiques, en revanche, diminuent la densité de courant de réduction du solvant et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens négatif. Du fait de leur mode d'action, les inhibiteurs cathodiques sont considérés comme plus sûrs que les inhibiteurs anodiques car ils ne risquent pas de favoriser la corrosion localisée. -mixtes :

Les inhibiteurs mixtes

diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion [18]. Les inhibiteurs de corrosion qui augmentent la résistance ohmique de l'électrolyte sont considérés, dans certains cas, comme inhibiteurs filmant (anodique et cathodique). La résistance de la solution augmente suite à la formation d'un film à la surface du métal. Lorsque le film est déposé sélectivement sur la surface anodique, le potentiel de corrosion se déplace vers des valeurs positives. Dans le cas où le film est déposé à la surface cathodique, le potentiel de corrosion balance vers des valeurs négatives.

I.5.4 Les inhibiteurs organiques en milieux acide sulfurique

Les molécules organiques sont promises à un développement plus que certain en termes d'inhibiteurs de corrosion: leur utilisation est actuellement préférée à celle des molécules organiques sont promises à un développement plus que certain en termes d'inhibiteurs de corrosion : leur utilisation est actuellement préférée à celle des inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. L'action inhibitrice de ces composés organiques, qui est généralement indépendante des processus anodiques et cathodiques de corrosion est liée à la formation par adsorption d'une barrière plus ou moins continue, mais d'épaisseur finie, qui empêche l'accès de la solution au métal.

Ce mécanisme d'action sera développé plus en détail par la suite.

Il existe de très nombreux composés organiques susceptibles d'être utilisés comme inhibiteurs. À partir d'une molécule "mère" possédant une certaine efficacité, il est toujours possible de synthétiser des composés de plus en plus complexes dans le but par exemple d'améliorer l'efficacité inhibitrice ou encore certaines propriétés physiques (solubilité en milieu aqueux ou non aqueux, pouvoir mouillant, température d'ébullition...). Par ailleurs, la commercialisation d'un produit dépend en grande partie de son prix de revient : la préférence est donnée à des sous-produits de l'industrie pétrolière [19].

Ces composés doivent généralement être solubles à la fois dans la phase aqueuse et dans la phase organique. Cela explique en partie l'utilisation de molécules aromatiques et de macromolécules à chaînes linéaires ou branchées qui possèdent une partie non polaire (hydrophobe) relativement volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et

d'hydrogène, et une partie polaire (hydrophile) constituée d'au moins un centre actif susceptible d'échanger des électrons avec le métal, tel l'azote, l'oxygène ou le soufre.

I.5.4.1 Mécanisme d'inhibition

I.5.4.1.1 Mécanisme d'action électrochimique

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique, on peut distinguer les inhibiteurs anodique, cathodique ou mixte (regroupant alors les deux premières propriétés). L'inhibiteur de corrosion forme une couche barrière sur la surface métallique (figure 1.2) 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 du dioxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide), voire les deux [20]

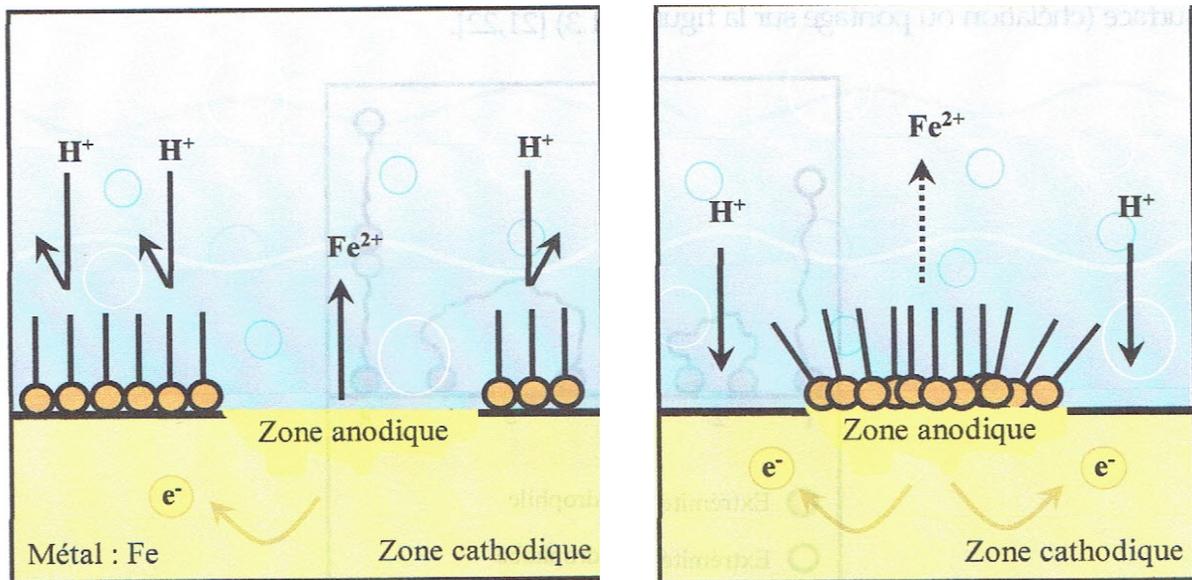


Figure I-4. Formation des couches barrières a) cathodiques et b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide.

Les inhibiteurs anodiques agissent par formation d'une couche passive et doivent être utilisés avec précaution car ils peuvent rendre perforante une corrosion au départ Généralisée [21]. En effet, si le film protecteur est altéré par une rayure ou par une dissolution, ou si la quantité d'inhibiteur est insuffisante pour restaurer le film, la partie exposée se corrode par piqûration. En matière de corrosion localisée, la corrosion par piqûre est une forme particulièrement insidieuse : l'attaque se limite à des trous, très localisés et pouvant progresser très rapidement en profondeur tout en conservant le reste de la

surface indemne. Le mode d'action des inhibiteurs cathodiques est quant à lui basé la plupart du temps, sur une précipitation à la surface cathodique d'un sel ou d'un hydroxyde [21].

De ce fait, ces inhibiteurs sont plus sûrs que les inhibiteurs anodiques, car ils ne risquent pas de favoriser de corrosion localisée, même en cas de sous-dosage.

I.5.4.1.2 Mécanisme d'action interracial

Ce troisième mode de classement des inhibiteurs, les différencie à partir de leur mode de fixation sur la surface métallique : [22]. Les inhibiteurs d'adsorption ou "d'interface" et les inhibiteurs dits "d'interphase". Les premiers sont plutôt observés en milieu acide et agissent en formant des films bidimensionnels de molécules par adsorption à la surface du métal alors que les seconds sont spécifiques des milieux neutres ou alcalins et forment des films tridimensionnels qui intégrant les produits de dissolution du substrat [23-24].

Ces derniers ne se contentent ainsi pas d'être adsorbés aux interfaces métal/oxyde et oxyde/électrolyte, mais sont également incorporés dans les couches barrières (en formant des complexes par exemple) ; conduisant à des réseaux homogènes et denses présentant de fait une faible porosité et une bonne stabilité. Il existe cependant des exceptions à ces règles de comportement et par exemple, certaines molécules organiques agissent par simple adsorption à la surface du métal (cas des amines filmantes pour la protection de l'acier [25] en milieu aqueux de pH neutre.

I.5.4.2 Modes d'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface universel car toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant atomes et molécules se trouvant à proximité.

Deux types d'adsorption peuvent être distingués : la physisorption (formation de liaisons faibles) et la chimisorption. A ces deux types de liaisons entre l'espèce adsorbée et la surface métallique, il faut ajouter la possibilité de liaisons par l'intermédiaire d'électrons de la molécule d'inhibiteur, ainsi que la formation possible de complexes organométalliques de surface.

L'adsorption physique ou physisorption conserve l'identité aux molécules adsorbées ;

Chapitre I : Synthèse bibliographique

trois types de forces sont à distinguer :

- Les forces de dispersion (Van der Waals) toujours présentes, ne sont pas assez énergétiques pour assurer à l'inhibiteur une fixation suffisante à la surface du métal .
- Les liaisons hydrogène dues aux groupements hydroxyle ou amine .
- Les forces polaires, résultant de la présence de champ électrique (forces électrostatiques).

Les caractéristiques de la liaison électrostatique dépendent de la charge de la surface (qui est directement liée au potentiel de charge nulle du métal) et de celle de l'inhibiteur.

Ce dernier peut en effet exister sous forme moléculaire ou sous forme ionique dans le milieu corrosif. La forme ionique peut résulter de la dissociation de la molécule ou de sa protonation. L'adsorption électrostatique des molécules non dissociées dépend de leur polarisabilité (moment dipolaire), une molécule non polaire ne pouvant s'adsorber électrostatiquement. L'adsorption d'ions (en général des anions) sur une surface métallique, modifie la charge de celle-ci et peut faciliter l'adsorption d'ions inhibiteurs (en général des cations).

Ce mécanisme explique certains phénomènes de synergie observés lorsque plusieurs inhibiteurs sont utilisés conjointement. Rosenfeld a ainsi montré dans une étude de l'inhibition de la corrosion du fer en milieu acide sulfurique par des cations ammoniums quaternaires, que l'adsorption de ces derniers était facilitée par celle d'ions Cl^- .

Une caractéristique importante de l'adsorption physique est sa quasiréversibilité.

En effet, les espèces adsorbées physiquement, se condensent rapidement sur le métal mais sont facilement enlevées de la surface (désorption), par exemple par élévation de la température ou par lavage énergétique de la surface.

La chimisorption est elle spécifique pour certains métaux et n'est pas tout à fait réversible. C'est aussi le cas le plus favorable pour l'inhibition. Ce type d'adsorption 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 chimiques bien plus stables car basées sur des énergies de liaison plus importantes. Les électrons proviennent en grande majorité des

Chapitre I : Synthèse bibliographique

doublets non liants du centre actif de la molécule inhibitrice (hétéroatomes O, N, S, P). Ce centre se comportera par exemple comme un donneur d'électrons vis-à-vis d'un atome métallique de la surface. Le paramètre important est alors la densité électronique autour du centre qui peut contribuer à renforcer l'effet donneur d'électrons de ce centre actif, donc à renforcer la liaison de covalence entre l'atome donneur et l'atome métallique. Pour la même raison, on explique que les amines cycliques sont en règle générale de meilleurs inhibiteurs que les amines aliphatiques.

Une représentation schématique des modes d'adsorption des inhibiteurs organiques sur une surface métallique est donnée par la figure 1.5.

Les composés organiques insaturés (à double ou triple liaison) sont porteurs d'électrons capables de créer des liaisons avec les atomes métalliques. Ces liaisons se feront préférentiellement avec une surface métallique chargée positivement.

La présence d'une liaison insaturée peut donc être très favorable à l'efficacité inhibitrice d'une molécule organique en milieu acide, puisque celle-ci peut alors s'adsorber indifféremment sur une surface chargée positivement (électrons π) ou négativement (cation).

Les complexes de surface se forment eux à partir de composés organiques bi ou trifonctionnels (diamines, diphosphines, amino-alcools), les différents centres actifs s'adsorbant avec cyclisation de la molécule sur un ou plusieurs atomes métalliques de la surface (chélation ou pontage sur la figure 1.5) [26,27]

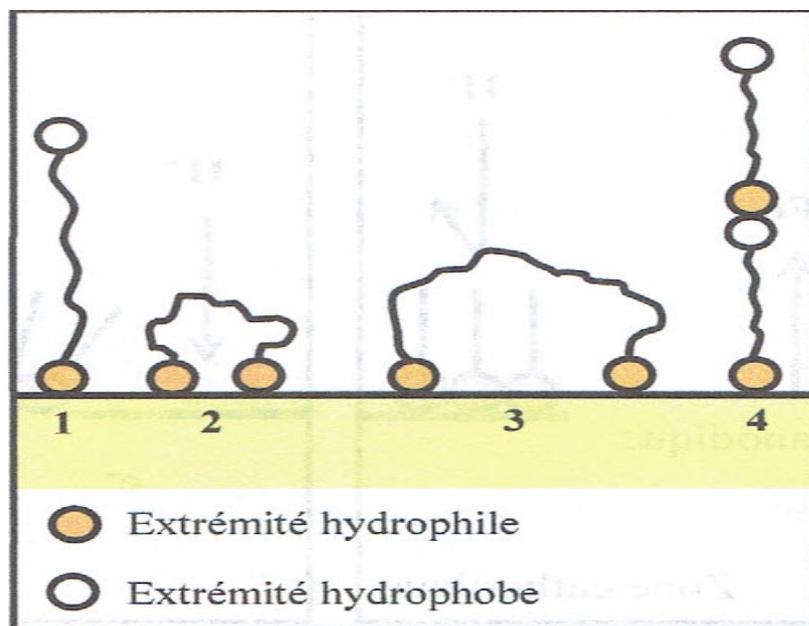


Figure I-5 . Modes d'adsorption des inhibiteurs organiques sur une surface métallique : (1) Adsorption simple ; (2) Chélation de surface ; (3) Pontage de surface ; (4) Adsorption en multicouche.

I.5.5.L'effet inhibitrice de la Gomme Arabique pour l'acier en milieu H_2SO_4

I.5.5.1 Effet de la température

Avec l'augmentation de la température, la vitesse de corrosion des métaux augmente et l'efficacité de la plupart des inhibiteurs diminue à cause de la diminution du recouvrement de la surface de métal par les inhibiteurs adsorbés. Mais, en présence de certains inhibiteurs, par exemple, *sulfure de dibenzyle*, le *dibenzyl-sulfoxyde*, l'*aniline* et la *gélatine*, la vitesse de corrosion est réduite [28]. Une courbe de type Arrhenius ($\log(\text{vitesse de corrosion})$ en fonction de $1/T$) est souvent linéaire en présence d'inhibiteurs, comme dans le système désinhibé.

I.5.5.2 . Effet de la concentration d'inhibiteur

Avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur dissous, l'efficacité de l'inhibiteur augmente et la vitesse de corrosion diminue car l'adsorption de l'inhibiteur augmente également. Si l'adsorption de l'inhibiteur atteint le degré de saturation, la vitesse de corrosion atteint sa valeur minimum et ne change pas avec des nouvelles augmentations de la concentration en inhibiteur (figure I-6) [28].

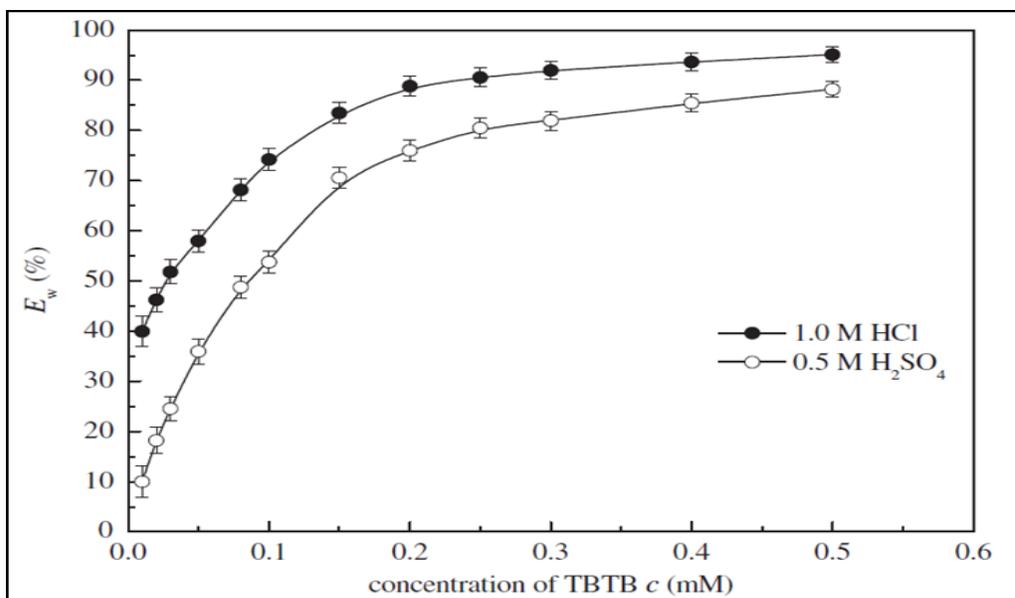


Figure I-6 : Influence de la concentration de l'inhibiteur TBTB (triazolyl blue tetrazolium bromide) sur l'efficacité de l'inhibition E_w obtenue par la méthode de perte de masse en milieu 1 M HCl et 0.5 M H₂SO₄ à 30 C° [28].

I.5.5.3 . Vitesse d'écoulement

La performance d'inhibiteurs est généralement affectée par une forte agitation. La vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de la vitesse d'écoulement.

Une relation linéaire a été observée entre la vitesse du fluide et la vitesse de corrosion de l'acier au carbone en milieu HCl en présence des inhibiteurs commerciaux [28].

I.5.5.4 . Les cations métalliques

Plusieurs cations métalliques sont considérés comme des oxydants. Ils augmentent la vitesse de corrosion du métal lorsque leur concentration dépasse une concentration critique.

I.5.5.5 La nature de métal

L'action des inhibiteurs est sélective et dépend de la nature de métal à protéger, sa composition et son traitement métallurgique. Un inhibiteur qui est très efficace pour un métal peut ne pas être satisfaisant pour un autre. De nombreux inhibiteurs pour les métaux ferreux sont inefficaces pour les métaux non ferreux comme le zinc et l'aluminium. Toutefois, certains inhibiteurs ou leurs mélanges protègent plus d'un métal [28].

I.5.5.6. Electrolytes

La nature de l'électrolyte a un effet considérable sur la protection des inhibiteurs. Par exemple, la *quinoléine* et les *amines* retardent la vitesse de corrosion des aciers en milieu acide chlorhydrique beaucoup plus fortement que dans l'acide [28].

I.5.5.7. Le pH

De nombreux inhibiteurs deviennent satisfaisants à un pH inférieur ou supérieur à pH optimum. Par exemple, le *benzoate de sodium* n'est pas efficace dans des électrolytes avec pH inférieur à 5,5 [28].

I.6 Conclusion

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Ils présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu onéreuse, pour peu que le ou les produits utilisés soient d'un coût modéré. Les nombreuses études consacrées, depuis une cinquantaine d'années, à ces composés, ont abouti à proposer des produits ou des mélanges de produits précis correspondant à des systèmes de corrosion (couples métal-milieu corrosif) donnés. Chaque cas de corrosion reste cependant un cas particulier, et il est nécessaire de connaître les données de base de fonctionnement de ces inhibiteurs, leurs limites d'utilisation, leur toxicité particulière, pour pouvoir les utiliser avec une marge suffisante de sécurité.

Chapitre II

Technique d'étude et conditions expérimentales

Chapitre II. Technique d'étude et conditions expérimentales

II.1. Techniques d'étude

Pour étudier les phénomènes de corrosion en différents milieux corrosifs et les propriétés d'inhibiteur (Gomme Arabique), trois types de méthodes ont été retenus :

- Les méthodes électrochimiques (courbes de polarisation) permettent tout d'abord d'avoir une meilleure connaissance du mécanisme de corrosion en différents milieux corrosif, et d'évaluer l'efficacité et le mécanisme d'action de l'inhibiteur étudié.
- Les analyses de surface (DRX, MO) ont été utilisées pour déterminer l'état de l'électrode de travail et la nature de la couche qui se forme à sa surface. Ainsi, confirmer l'efficacité de l'inhibiteur étudié.

II.1.1. Techniques électrochimiques

Les méthodes électrochimiques sont basées sur la caractérisation des réactions d'oxydoréductions qui sont le siège d'un échange d'électrons entre l'oxydant et le réducteur. On obtient par cette mesure une caractérisation de la modification de l'interface métal/milieu. L'aspect plus quantitatif (tracé de courbes de polarisation) permet, quant à lui, d'accéder à des valeurs de paramètres physiques décrivant l'état du système (courant de corrosion, taux d'inhibition, résistance de polarisation).

II.1.1.1. Courbes de polarisation

Une réaction électrochimique sur une électrode est gouvernée par la surtension η appliquée, qui est l'écart entre le potentiel électrode/solution E et le potentiel d'équilibre de la réaction E_{EQ} . L'intensité du courant à travers ce matériau est une fonction du potentiel E , représentée par une courbe $i = f(E)$, ou $\log i = f(E)$, qui est la somme des courants des réactions électrochimiques se produisant à la surface de l'électrode sa détermination en milieu corrosif permet entre autre l'étude des phénomènes de corrosion. Les courbes de polarisation sont déterminées en appliquant un potentiel entre une électrode de travail et une électrode de référence. Un courant stationnaire s'établit après un certain temps (quelques minutes à quelques heures).

Il est mesuré entre l'électrode de travail et une contre-électrode (ou électrode auxiliaire). D'un point de vue cinétique, deux modes de contrôle sont distingués selon l'étape réactionnelle limitante [29].

Chapitre II : Techniques d'étude et conditions expérimentales

- Le transport de charges à l'interface métal/électrolyte (activation).
- Le transport de masse de l'espèce électroactive ou des produits de réaction.

Les courbes de polarisation des réactions contrôlées par l'activation suivent une loi de *Butler-Volmer* [30].

$$i = i_0 \exp\left(\frac{\eta}{b_a}\right) - i_0 \exp\left(\frac{\eta}{b_c}\right) \quad \text{Equ.II.1}$$

où i est la densité de courant; i_0 , la densité de courant d'échange, η la surtension à l'électrode (E-E corr). Leur tracé en échelle logarithmique laisse apparaître, loin de l'équilibre, l'existence de deux branches linéaires, dites droites de Tafel, qui signifient que la réaction liée à la polarisation appliquée est prédominante. Les pentes des droites, ou coefficients de Tafel a et c , et la densité de courant d'échange i_0 , lié aux vitesses des réactions partielles anodique et cathodique à l'équilibre, sont représentatives du mécanisme réactionnel et de la vitesse de dissolution du métal.

Les courbes de polarisation des réactions contrôlées par la diffusion satisfont à la loi de Tafel pour de faibles surtensions mais présentent une saturation du courant pour des surtensions fortes pour lesquelles la diffusion d'une espèce devient limitante. Le flux de diffusion de cette espèce à l'interface électrode/solution fixe alors la vitesse de réaction et donc l'intensité du courant [31].

II.2. Conditions expérimentales

II.2.1. Les électrodes de travail

Nomenclature : La désignation des nuances d'aciers est un moyen ou système conventionnel de nommer, d'identifier, de représenter voire de classer celles-ci. Ils sont élaborés par des entités ou organisations intervenant dans la normalisation, par **Exemple** : *Comité Européen de Normalisation (CEN)*, *Organisation Internationale de Normalisation (ISO)*, ou par des organisations professionnelles ou associations de certification, par exemple : *American Iron and Steel Institute (AISI)* ou *American Petroleum Institute (API)*. L'acier au carbone est un acier dont le principal composant d'alliage est le carbone, entre 0,12 et 2,0 %, les autres éléments d'alliages étant en quantité très faible.

La norme *American Iron and Steel Institute* définit que : L'acier est considéré comme de l'acier au carbone lorsqu'aucune teneur minimale n'est spécifiée ou exigée pour, le chrome

Chapitre II : Techniques d'étude et conditions expérimentales

(Cr), le cobalt (Co), le niobium (Nb), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le titane (Ti), le tungstène (W), le vanadium (V) ou le zirconium (Zr) ou tout autre élément ajouté pour obtenir l'effet d'alliage désiré, lorsque la teneur maximale prescrite pour n'importe lequel des éléments suivants ne dépasse pas les pourcentages indiqués, soit 1,65 % pour le manganèse (Mn), 0,60 % pour le silicium (Si), 0,60 % pour le cuivre (Cu)[91]. Notons, que les normes AISI, AFNOR, API, CEN, ISO ne sont pas les seules pour désigner les aciers, en effet, suivant chaque pays les nomenclatures diffèrent.

Le matériau utilisé comme électrode de travail est un acier au carbone N80 dont la composition chimique est donnée dans le tableau II-1.

L'acier N 80 est un acier au carbone désigné par sa limite élastique (80).

- API 5L signifie : pipeline.
- N80 signifie : le grade de l'acier. Les autres grades sont, par exemple, A, B, X42, N90.
- Le chiffre 80 signifie : 80000 psi, c'est la limite élastique de l'acier en psi « *pound per square inch* » (livre par pouce carré).

Tableau II.1 : Composition chimique de l'acier N80 en % massique

%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	V	Ti	Cu
N80	0.24	0.22	1.19	0.013	0.004	0.036	0.021	0.028	0.006	0.017	0.011	0.019

Les électrodes de travail destinées à l'analyse électrochimique sont constituées d'un barreau cylindrique en acier N80 de diamètre 1,4 cm prélevées sur un tube pour le transport du pétrole. Chaque échantillon prend sa place dans un porte échantillon où la section polaire de l'électrode. Chaque échantillon destiné à l'examen par le microscope optique, diffraction des rayons X et l'analyse électrochimique est poli aux papiers abrasifs P120, P180, P340, P600 et P800, rincé à l'eau distillée, et dégraissé à l'acétone.

II.2.2. Milieu électrolytique

La finalité industrielle de l'étude a orienté le choix de l'électrolyte vers une solution aqueuse : Acide chlorhydrique de concentration 5%. Les solutions agressives de H₂SO₄ ont été préparées par dilution de l'acide H₂SO₄ 95% avec de l'eau distillée.

II.2.3. L'inhibiteur de corrosion : la Gomme Arabique (GA)

Gomme Arabique en poudre, exsudée par Acacia Sénégal (arbres), a été sélectionnée pour la présente étude.

II.2.4. Mesures électrochimiques

Les essais électrochimiques ont été réalisés à l'aide d'un potentiostat Radiometer PGP201 avec un logiciel Volta Master 4, dans une cellule classique (en verre pyrex d'une contenance de 300 ml) à trois électrodes, une électrode de travail (acier N80), une électrode de référence au calomel saturé (ECS) couplée à un capillaire fin (capillaire de Luggin) dont l'extrémité est placée près de l'électrode de travail afin de minimiser la contribution ohmique, et une contre-électrode inerte chimiquement (en platine). Avant chaque expérience, la cellule a été nettoyée à l'éthanol, rincée à l'eau distillée et séchée avec du papier absorbant. Le système a été connecté à un ordinateur. Avant la mesure, l'électrode de travail est plongée dans la solution d'essai au potentiel en circuit ouvert pendant 30 minutes pour atteindre un état stable. Notons qu'un bain thermostaté a été utilisé pour maintenir la température de la solution à la valeur désirée (Figure II.1). Pour tracer les courbes, traiter et analyser les mesures électrochimiques, tous les résultats sont transférés du logiciel Volta Master 4 à ORIGIN 6.0 (logiciel de traitement et d'analyse de données scientifiques).



Figure II.1 : Photographie du dispositif de mesures électrochimiques

II.2.3.1. Les courbes intensité-potentiel (courbes de polarisation)

Les branches anodiques et cathodiques ont été obtenues consécutivement de -700 mV/ECS à -300 mV/ECS à la vitesse de balayage de 0.3 mV/sec. La densité du courant de corrosion I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}$) a été calculée à partir de l'équation de Stern-Geary [32]

$$I_{corr} = \left(\frac{|b_a| \times |b_c|}{2.3 \times (|b_a| + |b_c|) R_p} \right) \quad \text{Equ II.2}$$

où b_a et b_c sont les coefficients de Tafel anodiques et cathodiques respectivement et R_p est la résistance de polarisation ($\Omega \text{ cm}^2$). En raison de la présence d'un degré de non-linéarité des pentes de Tafel, les coefficients de Tafel ont été calculés à partir de la pente des points après 50 mV/ECS de potentiel de corrosion E_{corr} . Les valeurs de l'efficacité inhibitrice, par la méthode de polarisation η_{POL} ont été calculées en utilisant l'équation suivante :

$$\eta_{POL} \% = \left(\frac{I_{corr} - I_{corr}(\text{inh})}{I_{corr}} \right) \times 100 \quad \text{Equ II.3}$$

où I_{corr} et $I_{corr}(\text{inh})$ représentent les valeurs de la densité du courant de corrosion sans et avec inhibiteur (GA) respectivement.

II.2.5. Microscopie optique

Les observations de la structure métallographique à l'état de réception et des piqûres qui apparaissent après les tests d'immersion ont été effectuées avec un microscope optique de type HUND T100-WETZLAR (Figure II.2).



Figure II.2: Microscope optique HUND T100-WETZLAR

Chapitre III. Résultats et discussion

III.1. Partie 1 : Etude de la cinétique de corrosion de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M

Cette partie est consacrée à l'évaluation de la corrosion de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M. Pour cela, une série d'essais électrochimiques et d'analyses de surface ont été réalisées. A partir des essais électrochimiques la vitesse de corrosion a été déterminée

III-1 Caractérisation de la corrosion de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M

III-1-1 Essais électrochimiques de l'acier N80

➤ Courbes de polarisation de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1 M

La courbe de polarisation anodique de l'acier N80 (Figure III-1) comporte donc un seul domaine de potentiel. Le domaine actif: situé après E_{corr}, dans ce domaine il y a une dissolution active de l'acier selon l'équation Equ III-1



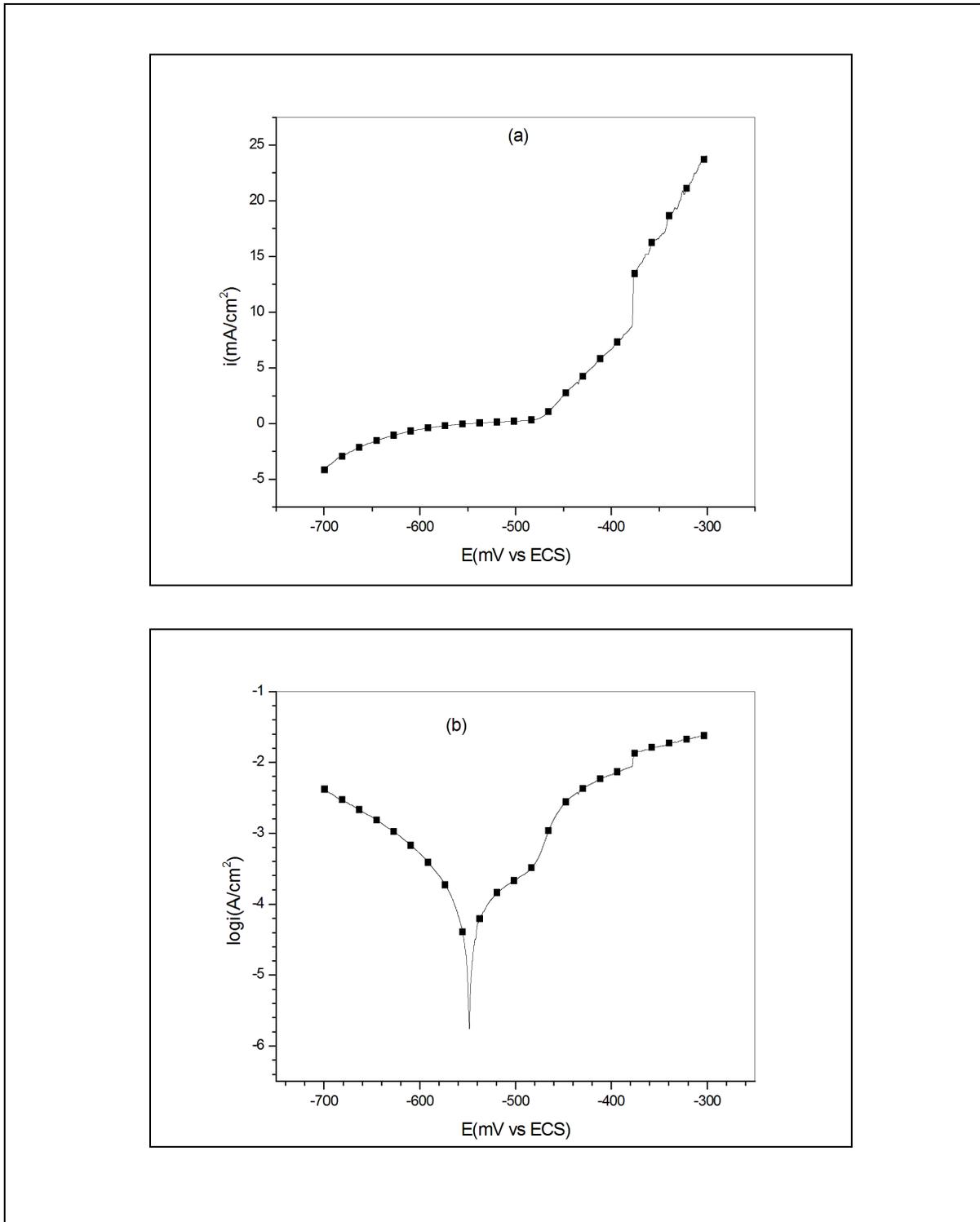
Les électrons libérés par la dissolution active sont repris par les protons du milieu pour former des molécules de gaz hydrogène selon l'équation Equ I-2.



Le tableau III-1 : regroupe les valeurs des paramètres électrochimiques déterminées à partir des courbes de polarisation de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M

Tableau III-1 : Paramètres de polarisation potentiodynamique de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M contenant différentes concentrations de GA à 30°C

Milieu	E _{corr} (mV)	I _{corr} (μA/ cm ²)	ba (mV/dec)	-bc (mV/dec)
H ₂ SO ₄ (0.1M)	-549.6	288	88.9	109.0



La figure III-1 sont les courbes de polarisation linéaire et logarithmique de N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M.

La cinétique de corrosion est entièrement fixée par les réactions de transfert de charge.

III-1-1-2 Analyse de la surface de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M

Les résultats montrent que les produits de corrosion se composent essentiellement d'hématite (Fe₂O₃) (Figure III-2). représente un aspect macroscopique des échantillons en acier N80 immergés pendant 168 heures en solution H₂SO₄ 0.1M.

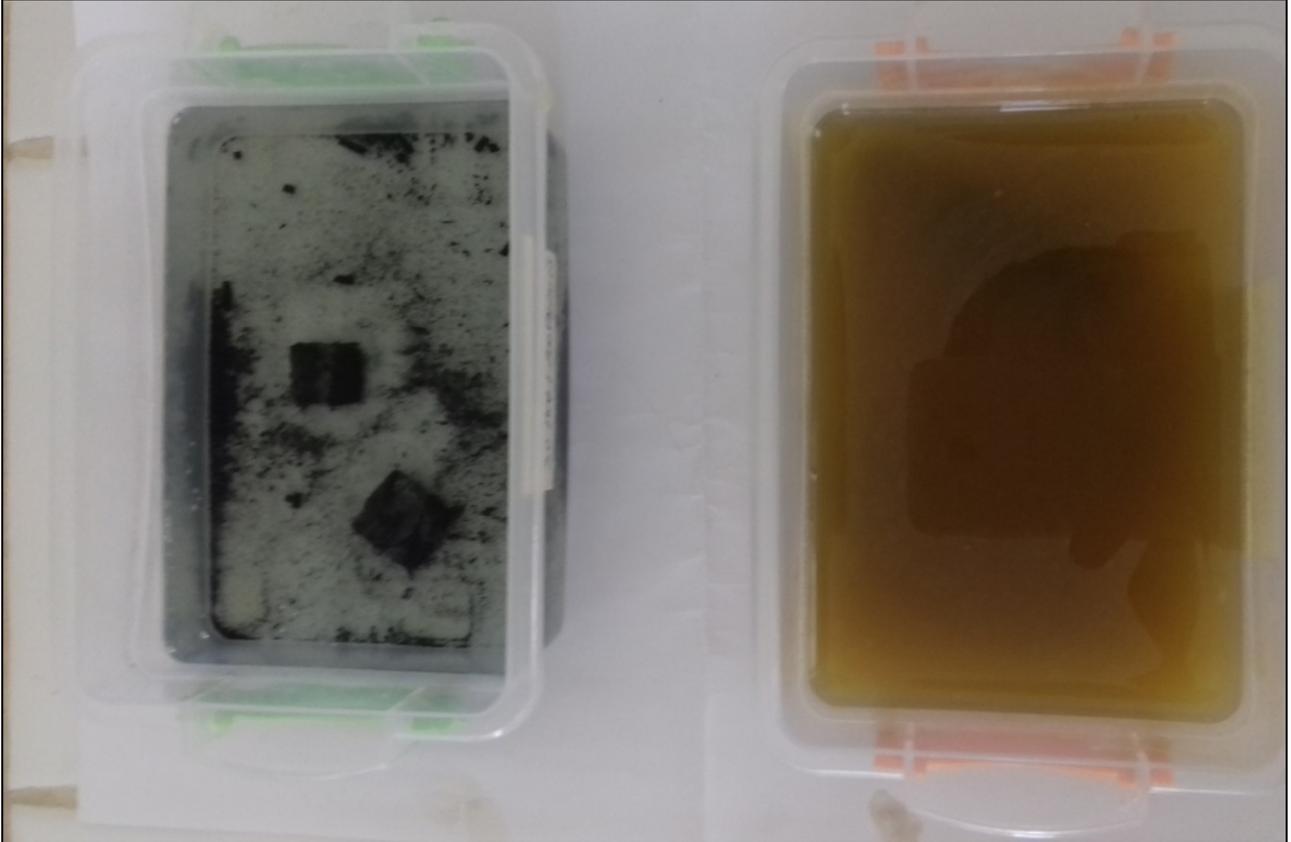
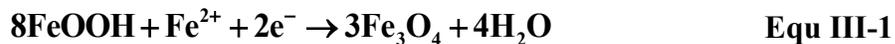


Figure III-2 : Photo macroscopique des échantillons immergés pendant 168 heures en solution H₂SO₄ 0.1M à 30 °C.

L'origine d'hématite est FeOOH. Dans le cas d'absence d'oxygène, le FeOOH se transforme à la magnétite suivant la réaction [33] :



et dans le cas de présence d'oxygène, le FeOOH se transforme à l'hématite suivant la réaction :



Chapitre III : Résultats et discussion

Les deux réactions expliquent l'ordre de la double couche de produit de corrosion, couche interne de magnétite (absence d'oxygène) et couche externe hématite (présence d'oxygène).

L'oxyhydroxyde de fer III (FeOOH) est formé suivant la réaction :



Equ III-3

Les surfaces des échantillons immergés ont été examinées au moyen d'un microscope optique qui a permis d'exposer le contraste lumineux. La figure III-4 présente la morphologie de produit de corrosion en milieu H_2SO_4 0.1M. La couleur brun rouge de la surface d'acier, figure III-3 (b), c'est la couleur de l'hématite. Les zones lumineuses de Figure III-3 (b), mais restent moins lumineuses que la Figure III-3 (a), représentent la corrosion généralisée, par contre les zones sombres représentent probablement la corrosion par piqûre. Pour évaluer la corrosion par piqûre de l'acier après le teste d'immersion, Il était nécessaire d'enlever ou diminuer la couche de produit de corrosion pour accéder à l'acier nu .Les produits de corrosion ont été éliminés par un polissage de la surface par un pipier grade 2000 pendant 60 secondes.

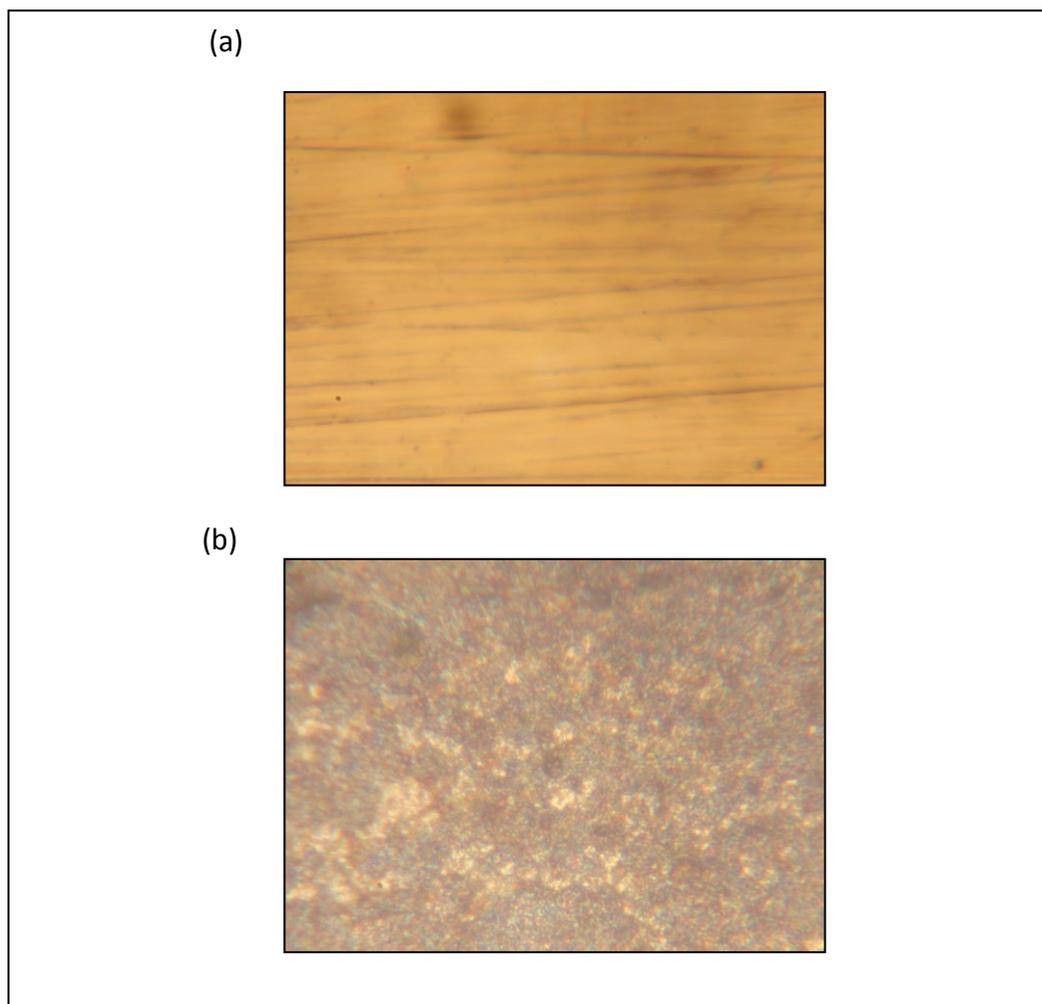


Figure III-3 : La morphologie de produit de corrosion de l'acier N80 par le microscope optique (x 100), (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) l'immersion de l'acier en solution H_2SO_4 0.1M (168heurs).

La Figure III-4 présente la morphologie microscopique des piqûres de l'acier N80 en milieu H_2SO_4 0.1M.

La corrosion se produit localement formant des piqûres (zones sombres) à la surface d'acier (zones lumineuses), ces piqûres ont pu se développer rapidement avec le temps d'immersion.

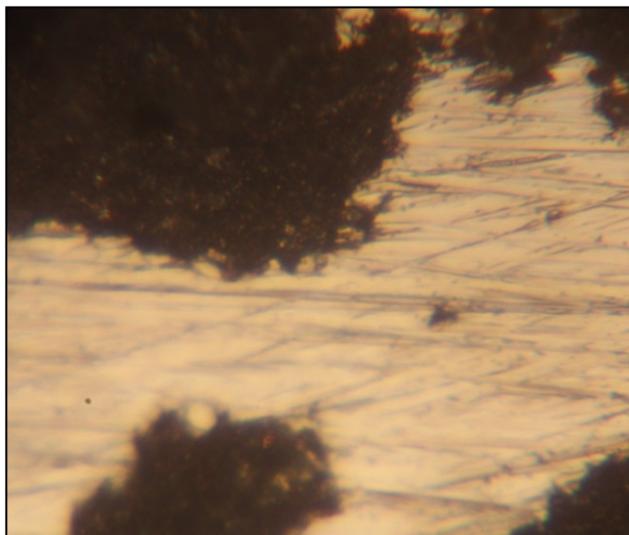


Figure III-4 : La morphologie de la corrosion par piqûre par le microscope optique (x 100) de l'acier N80 après le teste d'immersion 168 h en milieu H_2SO_4 0.1M à 30 C°.

III-2 Partie 2 : Evaluation d'un traitement inhibiteur contre la corrosion dans différent milieux

Cette partie est consacrée à l'évaluation d'un traitement contre la corrosion de l'acier N80 en milieu H_2SO_4 0.1M.

Les concentrations de l'inhibiteur ont été optimisées afin d'obtenir un inhibiteur qui puisse assurer à moindre coût une bonne protection vis-à-vis de la corrosion en milieu H_2SO_4 0.1M. Aussi, l'isotherme d'adsorption a été étudiée.

III-2-1 Caractérisation de l'action inhibitrice de GA

III-2-1-1 Influence de concentration de GA

Les courbes de polarisation linéaire et logarithmique de l'acier N80 en milieu H_2SO_4 0.1M à 30 C°, en absence et en présence de GA à différentes concentrations, sont présentées dans la Figure III-5.

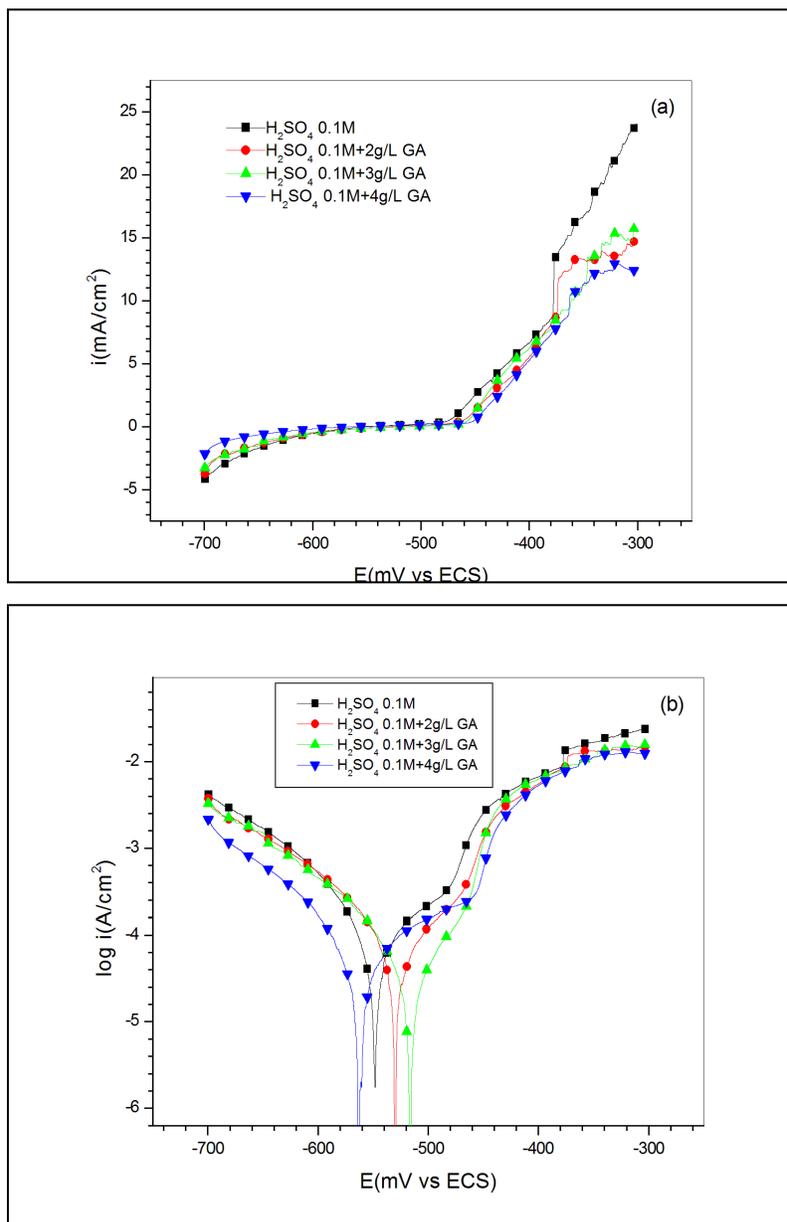


Figure III-5: Courbes de polarisation linéaire (a) et logarithmique (b) de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M à 30°C, en absence et en présence de différentes concentrations de GA

Chapitre III : Résultats et discussion

Les valeurs du potentiel de corrosion sont légèrement déplacées. En général, si le déplacement de E_{corr} est supérieur à 85 mV par rapport à E_{corr} en solution non inhibée, le type d'inhibiteur peut être considéré comme anodique ou cathodique [34-35]. Dans notre étude, le maximum déplacement est 32mV, ce qui indique que la GA agit comme un inhibiteur mixte.

Les densités des courants partiels anodiques et cathodiques sont diminuées, c'est-à-dire diminution de la vitesse de corrosion. Ce déplacement des branches anodiques et cathodiques vers des valeurs plus basses est une conséquence de l'inhibition des réactions anodiques et cathodiques de l'acier N80 par la GA.

A partir des données de tableau III.3, en présence de 0.1 g /L GA, la valeur de vitesse de corrosion a diminué de 288 à 178 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Ce comportement est dû au fait que la quantité de l'inhibiteur adsorbée et le recouvrement de la surface d'acier N80 ont augmenté avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur. Il convient de noter que lorsque la concentration de GA est égale à 0.1 g/L, la valeur de résistance de polarisation a atteint certaine valeur et ne change pas de façon marquée.

C (g/L)	E_{corr} (mVvs.SCE)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	-bc (mV/dec)	ba (mV/dec)	η_{pol} (%)
0	-531.5	288	76.3	109.0	-
1	-531.6	135	76.3	119.7	23
2	-517.6	222	51.7	107.8	35
3	-563.6	187	96.5	116.7	53

Tableau III-2 : Paramètres de polarisation potentiodynamique de l'acier N80 en milieu H_2SO_4 0.1M contenant différentes concentrations de GA à 30°C.

➤ **Analyse de la surface de l'acier en présence de la gomme arabique dans un milieu acide H₂SO₄ 0.1M**

On a immergé des échantillons dans un bain de solution H₂SO₄ 0.5M pendant une durée 168 heures

La figure III.6 présente un aspect macroscopique des produits de corrosion sur la surface de l'acier N80.

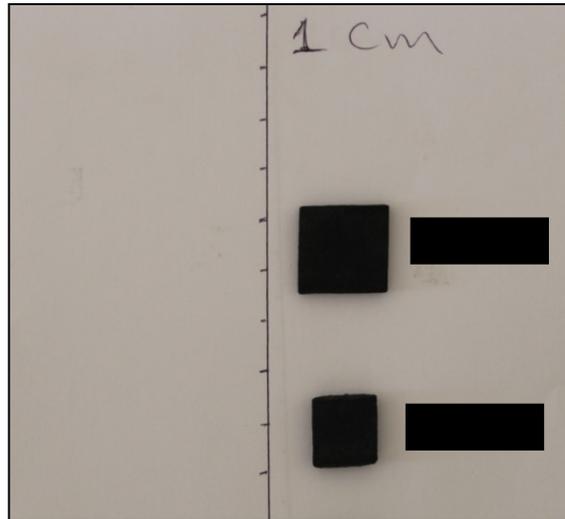


Figure III.6 : aspect macroscopique de produit de corrosion de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.5M en absence et présence 3 g/L de GA

Les surfaces des échantillons immergés ont été examinées au moyen d'un microscope optique qui a permis d'exposer le contraste lumineux. La figure III.7 présente la morphologie de produit de corrosion en milieu H₂SO₄ 0.1M

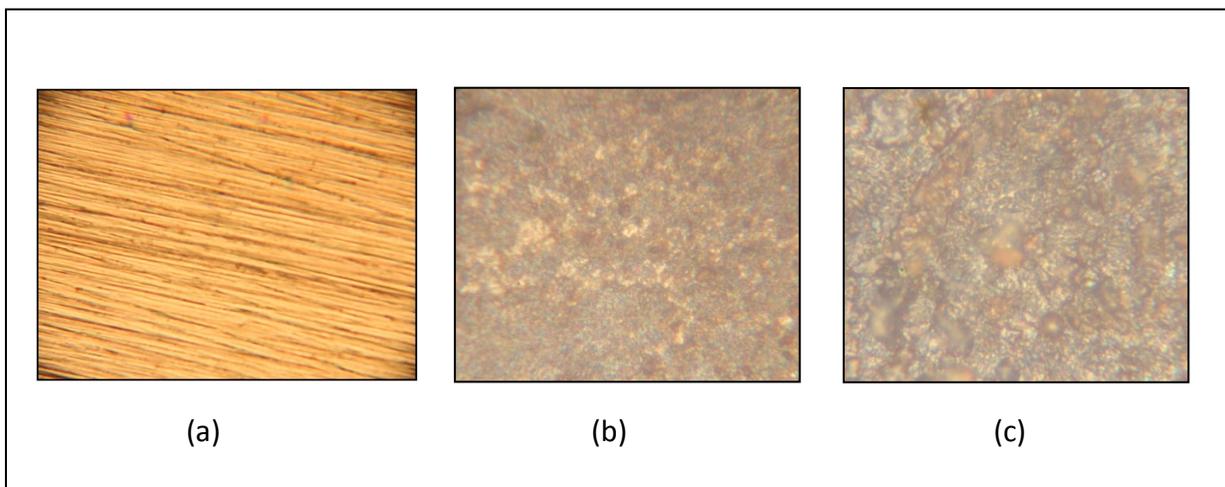


Figure III. 7: la morphologie de produit de corrosion (168 heures) de l'acier N80 par le microscope optique x100, (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) l'acier avec produit de corrosion sans inhibiteur, (c) l'acier avec produit de corrosion avec inhibiteur

Chapitre III : Résultats et discussion

La couleur brun rouge de la surface d'acier, figure III.7 (b), c'est la couleur de l'hématite.

Les zones lumineuses de Figure III.7 (b), mais restent moins lumineuses que la Figure III.7 (a), représentent la corrosion généralisée, par contre les zones sombres représentent probablement la corrosion par piqûre.

Pour évaluer la corrosion par piqûre de l'acier après le teste d'immersion, Il était nécessaire d'enlever ou diminuer la couche de produit de corrosion pour accéder à l'acier nu Figure III.8 . Les produits de corrosion ont été éliminés par un polissage de la surface par un papier grade 1200 pendant 60 secondes.

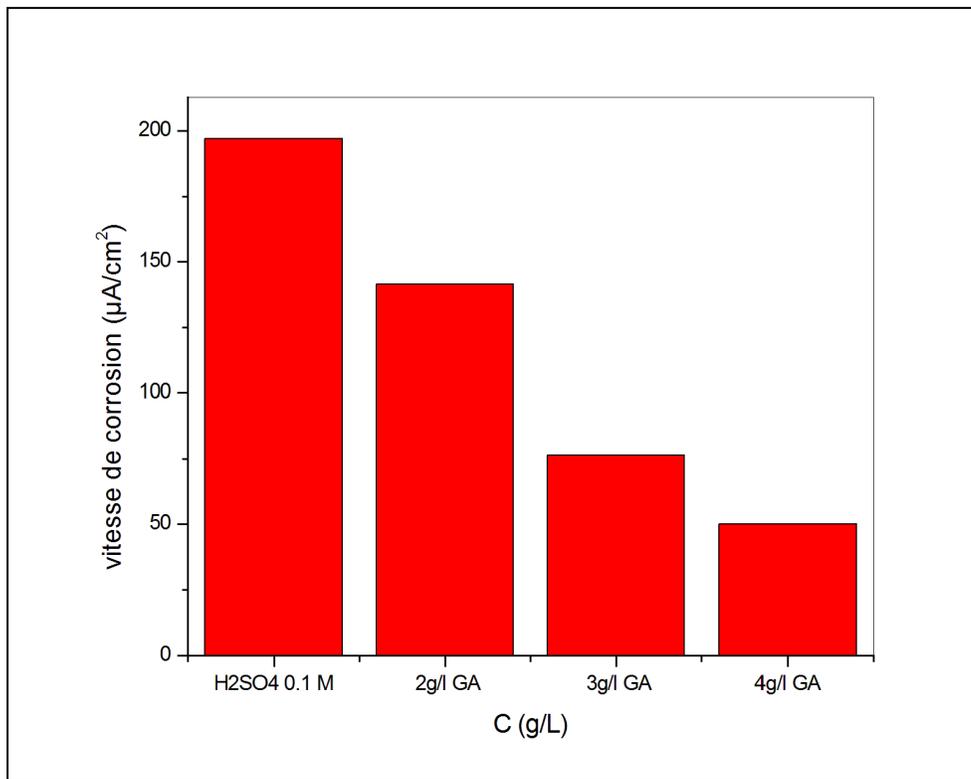


Figure III-8 : Vitesse de corrosion de l'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M aux différentes concentrations

Pour évaluer l'efficacité de la concentration 1 g/l GA, un teste d'immersion des échantillons d'acier N80 en milieu H₂SO₄ 0.1M, avec et sans inhibiteur GA, a été réalisé, avant l'examen aux rayons X (Figure III-8).

En milieu H₂S₄O₄ 0.1M sans GA, le pic le plus intense est représente la double couche de l'hématite et magnétite. En présence de GA, ce pic a disparu complètement, ce qui indique que

la couche de produit de corrosion ne s'est pas formée (figure III-8).

La figure III-9 présente l'influence de la GA sur la corrosion par piqûres de l'acier N80 en milieu H_2SO_4 0.1 M. Il est clair qu'en présence de GA, les piqûres ont disparu. Après 168 heures, la surface de l'acier en milieu inhibé (1g/L GA) reste presque intacte.

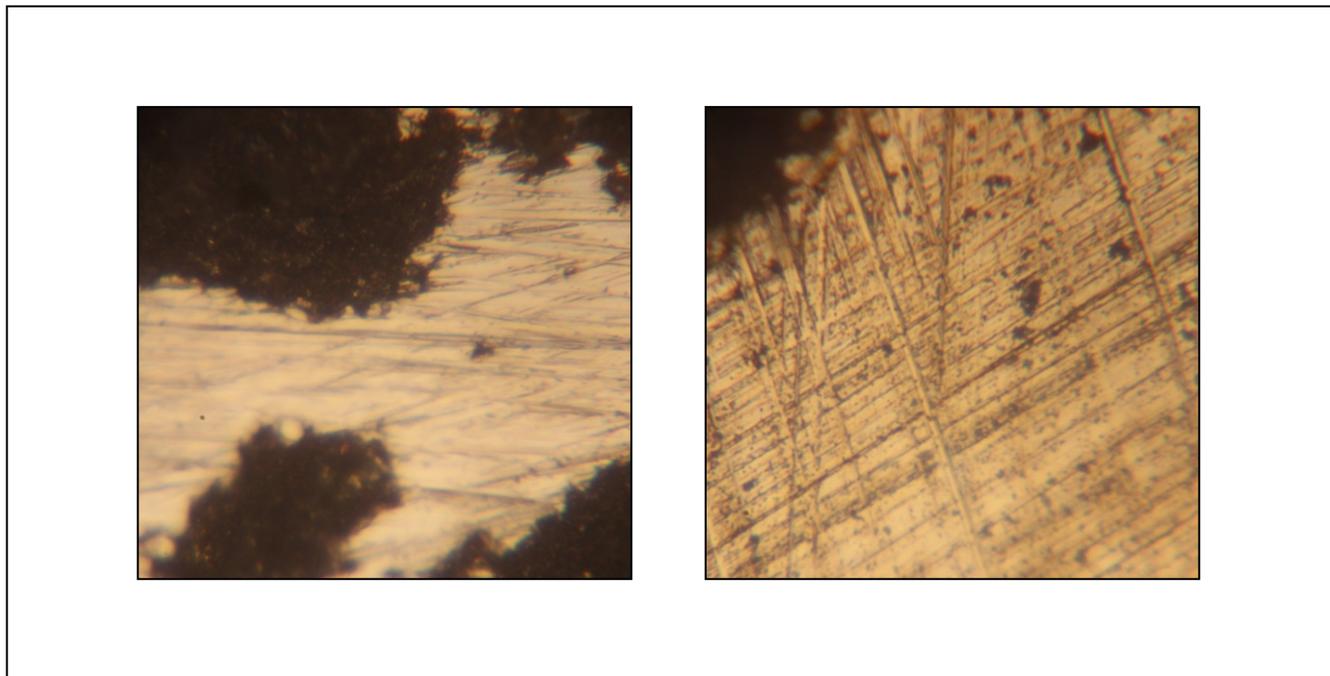


Figure III-9 : Photographie par le microscope optique présente l'efficacité de GA après le teste d'immersion. (a) milieu H_2SO_4 5% sans GA (96 heures), (b) milieu H_2SO_4 avec GA (168 heures)

III-2-1-2 Isotherme d'adsorption et l'énergie libre standard d'adsorption

L'étude de l'isotherme d'adsorption fournit des informations essentielles concernant l'interaction entre la molécule d'inhibiteur et la surface de métal [36]. La compréhension de l'isotherme qui décrit le comportement d'adsorption de la GA est une partie importante de ce travail. Dans la présente étude, plusieurs isothermes d'adsorption ont été évaluées, et l'isotherme d'adsorption de Langmuir a été trouvée pour donner la meilleure description du comportement d'adsorption de l'inhibiteur étudié en milieu H_2SO_4 0.1M

Une corrélation entre le recouvrement de la surface (θ) et la concentration de l'inhibiteur (C) dans l'électrolyte peut être représentée par l'isotherme d'adsorption de Temkin.

$$-2a \theta = \ln K C$$

$$\text{Equ III.5 [37].}$$

Chapitre III : Résultats et discussion

La constante d'équilibre d'adsorption K est liée à l'énergie libre standard d'adsorption ($\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$) suivant l'équation :

$$K = e^{\left(\frac{\text{Intercept}}{\text{pente}}\right)} \quad \text{Equ III.6}$$

$$\theta = -\frac{1}{2a} \ln k - \frac{1}{2a} \ln C \quad \text{Equ III.7}$$

Intercepte= -0.04037

Pente = 0.3938

$K = 0.9025 \text{ L /g}$

$\Delta G_{\text{ads}}^{\circ} = 9.859 \text{ k joul /mol}$

Chapitre III : Résultats et discussion

En traçant θ en fonction de $\ln C$, une ligne droite a été obtenue, comme on les voit sur la figure III-10. Avec une pente très proche de 1 signifie que la GA est adsorbé à la surface de l'acier N80 en milieu $H_2SO_4 0.1M$ selon l'isotherme d'adsorption de Langmuir. De l'interception (-.04037 g/L), la valeur K a été calculée pour le processus d'adsorption. Les coefficients de régression linéaire sont présentés dans le tableau III-3.

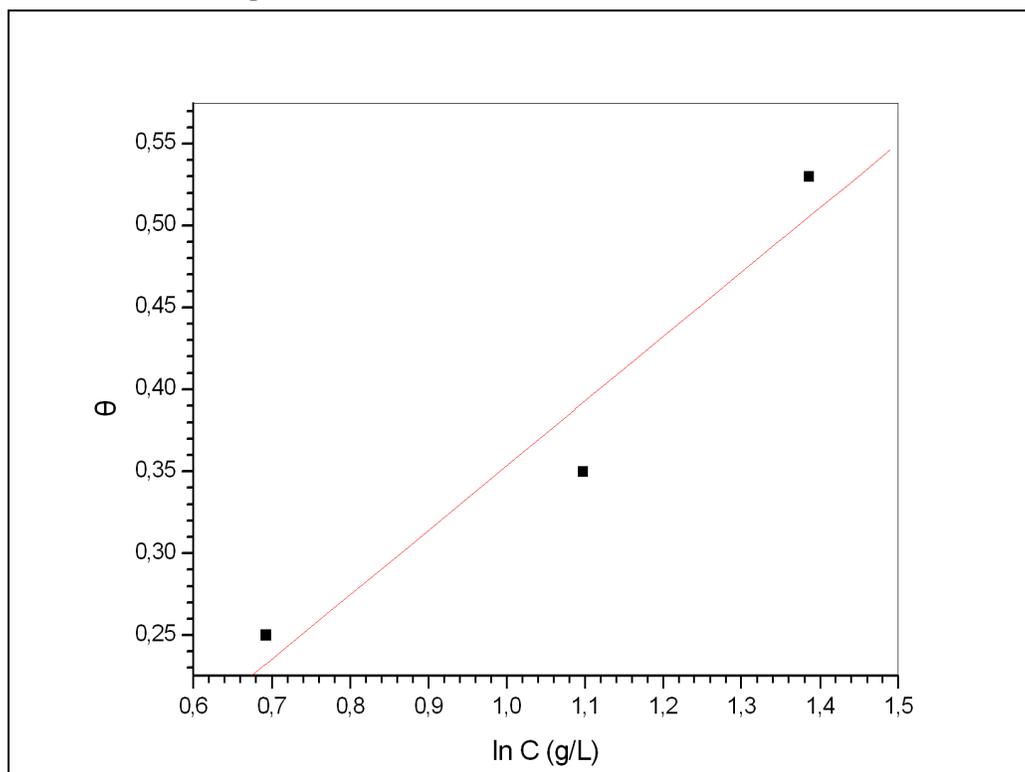


Figure III-10 : Isotherme d'adsorption de Temkin de la GA à la surface d'acier N80 en milieu $H_2SO_4 0.1M$ à $30^\circ C$ (obtenue par la méthode de polarisation).

Tableau III-3 : Paramètres de l'isotherme d'adsorption de Temkin de la GA à la surface d'acier N80 en milieu $H_2SO_4 0.1M$ à $30^\circ C$.

milieu	Coefficient de corrélation linéaire	pente	K (l/g)	ΔG_{ads}° (kJ/ mol)
H_2SO_4	0,996	0.3938	0.9025	9.859

Généralement, les valeurs de $\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$ jusqu'à -20 kJ/mol sont compatibles avec interaction électrostatique entre les molécules chargées des inhibiteurs et le métal chargé (qui indique adsorption physique) tandis que celles plus négatif de -40 kJ/mol implique le partage de charge ou le transfert des composants des inhibiteurs vers la surface métallique pour former une liaison de coordination (qui indique chimisorption) [37-38]

Dans cette étude, la valeur de $\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$ est égale à -9.859kJ/mol en milieu H_2SO_4 0.1M, ce qui indique que l'adsorption de la GA à la surface d'acier N80 est une adsorption physique. Des résultats similaires ont également été signalés avec l'extrait d'oleogum resin de *Ferula assa-foetida* et *Dorema ammoniacum* pour l'acier en milieu H_2SO_4 [39].

III-2-1-3 Explication de l'inhibition de GA

L'activité interfaciale de la gomme arabique est attribuée à sa nature amphiphile. Les fractions polysaccharidiques sont très solubles dans l'eau, contenant un groupe fonctionnel hydroxyle (-OH), et un groupe fonctionnel carboxyle (-COOH). La fraction riche en protéine est responsable de son comportement hydrophobe.

En solution acide, le composé carbonyle (C = O) peut être protoné et la molécule existe sous la forme de polycation. Cependant, dans une solution H_2SO_4 , la charge de la surface du métal peut être déterminée à partir de la valeur de $E_{\text{corr}} - E_{q=0}$. $E_{q=0}$ c'est le potentiel de charge nulle.

Le $E_{q=0}$ de fer est égale à -530 mV/ECS en milieu HCl. Dans cette étude, le E_{corr} obtenu en milieu H_2SO_4 5% est égal à -484 mV/ECS. Donc, la surface de l'acier N80 chargée positivement en milieu H_2SO_4 , parce que $E_{\text{corr}} - E_{q=0} > 0$. Les anions de Cl^- serait spécifiquement

adsorbés à la surface de l'acier, ce qui conduit à charger la surface de l'acier négativement. La formation des espèces protonées chargées positivement facilite l'adsorption du composé à la surface du métal par l'interaction électrostatique entre la molécule de GA et la surface de l'acier au carbone (physisorption).

Donc, GA a une partie hydrophobe (plus volumineuse) et une partie hydrophile, tandis

Chapitre III : Résultats et discussion

que la partie hydrophile peut être attirée à la surface du métal grâce à une proportion élevée des groupes fonctionnels hydroxyle et carboxyle, la partie hydrophobe a tendance à ramollir et gonfler le revêtement qui aide à isoler la surface du métal.

Conclusion générale

Le but principal de ce mémoire est d'évaluer les propriétés inhibitrices d'un composé naturel, proposé pour utiliser comme inhibiteur de corrosion dans l'industrie pétrolière, qui n'a aucun impact négatif sur l'environnement et la santé humaine. Pour cela, l'efficacité inhibitrice de la gomme Arabique a été déterminée principalement par des mesures électrochimiques. Ce produit a été choisi car il est caractérisé par : non toxicité, biodégradabilité pas cher, facilement disponible à partir des sources renouvelables.

Le premier objectif de ce travail est tout d'abord de mieux connaître la corrosion de l'acier N80 en milieu acide sulfurique pour ensuite évaluer les propriétés inhibitrices de la Gomme Arabique.

Les essais électrochimiques ont montré que :

- La cinétique de corrosion est entièrement fixée par les réactions de transfert de charge
- La courbe de polarisation anodique de l'acier N80 comporte seulement le domaine actif

L'examen par la microscopie optique montre que la couleur brune rouge de la surface d'acier, en milieu H_2SO_4 , après 168 heures, est la couleur de l'hématite. Après l'immersion de 168 heures en milieu H_2SO_4 0.1 M, on peut remarquer la corrosion par piqure sur la surface de l'acier N80.

Puis, les propriétés inhibitrices de la Gomme Arabique ont été étudiées par des mesures électrochimiques et d'analyses de surface.

Une observation macroscopique après 168 heures d'immersion a montré la bonne efficacité inhibitrice de la gomme arabique pour l'acier N80 en milieu H_2SO_4 0.1 M.

Les essais électrochimiques ont montré que :

- La gomme arabique ne change pas le contrôle de transfert de charge de l'acier N80.
- A la température 30 °C, en présence de 4g/L GA, l'efficacité inhibitrice de la Gomme

Conclusion générale

Arabique est égale à 53% en milieu H_2SO_4 0.1 M.

- L'isotherme de Temkin a été trouvée pour décrire le type de l'isotherme d'adsorption de la Gomme Arabique à la surface de l'acier N80
- L'énergie libre standard d'adsorption a indiqué que l'adsorption de la Gomme Arabique à la surface de l'acier N80 est une adsorption physique.

Références bibliographiques

- [1] : <http://steeltubings.fr/2-3-n80-steel-casing-tube.html> (page consultée le 16/12/2016)
- [2]: Paul Baud, Traité de chimie industrielle, grande industrie chimique, tome I.
- [3] :Jean Valéry Martin, purification d'acide sulfurique résiduaire par précipitation de métaux lourds, thèse en vue de l'obtention du doctorat en chimie analytique, 1999
- [4] : Bouchacourt M., Rapport EMA HT-45/COM 1520-A du 26 janvier 1993.
- [5] : Pichon C, Note RE.93.L442 du 14 décembre 1993 ; Note RE 94 FC 092 du 21 février 1994.
- [6] : <http://www.protectioncathodique.net/la-corrosion-aqueuse.php>
- [7] : B. Normand, Prévention et lutte contre la corrosion : une approche scientifique et technique. 2004: Presses polytechniques et universitaires romandes
- [8] : École doctorale : Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace
Spécialité : Sciences de la Terre et des Planètes Solides Par M. Charles-Edouard COHEN
Titre de la thèse Modélisation et simulation de la stimulation acide des puits carbonatés
Soutenue le 3 décembre 2007
- [9] : S. Bensaada, Corrosion, page 6-7. Université el oued Faculté des science et de technologie Département de génie des procédé
- [10] : P.Mourya, S.Banerjee, M.M. Singh, Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by Tagetes erecta (Marigold flower) extract as a green inhibitor, Corrosion Science 85 (2014) 352–363.
- [11] : A. Ongun Yüce, B.Dogru Mert, G.Kardas, B.Yazici, Electrochemical and quantum chemical studies of 2-amino-4-methyl-thiazole as corrosion inhibitor for mild steel in HCl

Références bibliographiques

- solution, Corrosion Science 83 (2014) 310–316.
- [12] : Mendham, Denney, Barnes, Thomas, Analyse Chimique Quantitative DeVogel, 6th ed, de boeck, Belgium, 2006.
- [13] :K. Rahmouni, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie CURIE. Paris VI. Déc (2005).
- [14] : A. Popova, E. Sokolova, S. Raicheva, M. Christov, Corros. Sci., 45, 33 (2003).
- [15] : F. Bentiss, M. Lebrini, M. Lagrenee, Corros. Sci., 47, 2915 (2005).
- [16] :J. Marsh, Advanced Organic Chemistry, 3^e Edition, Wiley Eastern, New Delhi, (1988).
- [17] : S. Martinez, I. Stern, Appl. Surf. Sci., 199, 83 (2002).
- [18] : D. Landolt. Corrosion et chimie de surfaces des métaux. Presses polytechniques etUniversitaires Romandes, Lausanne, Vol. 12 (1997).
- [19] : P.E. Laibinis, G.M. Whitesides, J. Am. Chem. Soc., 114 (1992) 9022.
- [20] Y. Yamamoto, H. Nishihara et K. Aramaki, J. Electrochem. Soc., 140 (1993) 436.
- [21] : M. Itoh, H. Nishihara H. et K. Aramaki, J. Electrochem. Soc., 141 (1994) 2018.
- [22] : <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1932/langmuir-bio.html>.
- [23] : G.K. Jennings, P.E. Laibinis, Colloids Surf. A, 116 (1996) 105.

Références bibliographiques

- [24] : W.J. Lorenz, F. Mansfeld, *Procedures of the 6th European Symposium on Corrosion Inhibitors*, Ferrara, Italy, (1985) 23
- [25] : M. Volmer-Uebing, B. Reynders, M. Stratmann, *Werkst. Korros.*, 42 (1991) 19.
- [26] : K. Nozawa, H. Nishihara, K. Aramaki, *Corros. Sci.*, 39 (1997) 1625.
- [27] : G. Grundmeier, C. Reinartz, M. Rohwerder et al., *Electrochim. Acta*, 43 (1998) 165.
- [28] : B. Sanyal, Organic compounds as corrosion inhibitors in different environments. *Progress in Organic Coatings*, (1981). 9: p. 165-236.
- [29] : A.J. Bard, R. Faulkner, *Electrochimie – Principes, méthodes et applications*. 1983, Paris: Masson.
- [30] : Landolt, D. *Traité des Matériaux*, Vol.12. corrosion et chimie du surface des métaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romande (2003). P 3 –4–490
- [31] : P. Sandrine, Comportement à la corrosion galvanique de matériaux composites à matrice d'alliage d'aluminium renforcée par des fibres de carbone haut-module, École doctorale des sciences chimiques. Doctorat 2001, UNIVERSITÉ BORDEAUX
- [32] : K. Gu, L. Lv, Z. Lu, H. Yang, F. Mao, J. Tang, Electrochemical corrosion and impedance study of SAE1045 steel under gel-like environment. *Corrosion Science*, (2013). 74: p. 408-413.
- [33] : X. Zhang, K. Xiao, C. Dong, J. Wu, X. Li, Y. Huang, In situ Raman spectroscopy study of corrosion products on the surface of carbon steel in solution containing Cl⁻ and. *Engineering Failure Analysis*, (2011). 18(8): p. 1981-1989.
- [34] : X. Li, S. Deng, H. Fu, Synergism between red tetrazolium and uracil on the corrosion of

Références bibliographiques

- cold rolled steel in H₂SO₄ solution. *Corrosion Science*, (2009). 51(6): p. 1344-1355.
- [35] : E. S. Ferreira, C. Giacomelli, F. C. Giacomelli, A. Spinelli, Evaluation of the inhibitor effect of l-ascorbic acid on the corrosion of mild steel. *Materials Chemistry and Physics*, (2004). 83(1): p. 129-134.
- [36] : UAE Rhazya Stricta Decne extractas a corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution
Ayssar Nahlé, Ibrahim Almaidood and Ibrahim Abdel-Rahman
Department of Chemistry, College of Sciences, University of Sharjah, Sharjah, UAE
- [37] : E. S. Ferreira, C. Giacomelli, F. C. Giacomelli, A. Spinelli, Evaluation of the inhibitor effect of l-ascorbic acid on the corrosion of mild steel. *Materials Chemistry and Physics*, (2004). 83(1): p. 129-134.
- [38] : O. Olivares, N. V. Likhanova, B. Gómez, J. Navarrete, M. E. Llanos-Serrano, E. Arce, J. M. Hallen, Electrochemical and XPS studies of decylamides of α -amino acids adsorption on carbon steel in acidic environment. *Applied Surface Science*, (2006). 252(8): p. 2894-2909.
- [39] : W.-H. Li, Q. He, S.-T. Zhang, C.-L. Pei, B.-R. Hou, Some new triazole derivatives as inhibitors for mild steel corrosion in acidic medium. *Journal of Applied Electrochemistry*, (2008). 38(3): p. 289-295.

ملخص

التآكل كان دائما مشكل رئيسي تعاني منه جل الصناعات و خاصة الصناعة البترولية. قمنا باستخدام الصمغ العربي كمتبط في وسط حمض الكبريتيك بالنسبة لحديد أنابيب الآبار البترولية . استعملنا في هذه الدراسة تقنية الاستقطاب و الفحص تحت المجهر الضوئي. النتائج أثبتت أن الصمغ العربي يمكن استعماله كوسيلة فعالة لكبح عملية التآكل الكلمات المفتاحية :

التآكل ; حديد أنابيب الآبار البترولية ; تقنية الاستقطاب ; الصمغ العربي

Résumé

La corrosion a toujours été un problème industriel majeur, en particulier en ce qui concerne l'industrie pétrolière. On a utilisé la Gomme Arabique comme inhibiteur de corrosion en milieu acide sulfurique pour l'acier de tubing N80. La méthode de polarisation potentiodynamique et l'examen par le microscope optique sont adoptés pour cette étude. Les résultats montrent que la Gomme Arabique peut être utilisé comme un moyen efficace pour la lutte contre la corrosion.

Mots clés :

Corrosion ; acier N80 ; Gomme Arabique ; polarisation