



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de Vie
Département des Science de la Matière

MÉMOIRE DE MASTER

Département des Science de la Matière
Filière de physique
Spécialité : physique Energétique et énergie renouvelable

Réf. : ...

Présenté et soutenu par :
Zaim wahiba

Le : 24-06-2021

Etude de l'inhibiteur le Réglisse sur le comportement à la corrosion de l'acier XC42

Jury :

Marmi Saida	M.C.B	Université Med Khider-biskra	Président
Said Shahinez	M.C.A	Université Med Khider-biskra	Rapporteur
Ben sharef zahia	M.A.A	Université Med Khider-biskra	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m' avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pourvoir réaliser ce travail de recherche.

En guise de reconnaissance, je tiens à remercier, très sincèrement, mon encadreur madame **SIAD CHAHINEZ**, responsable de la formation Master , j'ai eu l'honneur et la chance de bénéficier de ses connaissances et compétences, de ses précieux conseils et de son suivi tout au long de notre parcours académique.

Et Je tiens à remercier les membres du jury pour leur lecture attentive de ce mémoire, ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer mon travail. Ainsi mes enseignants, espérant que vous allez voir, dans ce manuscrit, les fruits du dévouement avec lequel vous avez fait preuve durant les enseignements que vous nous avez prodigué.

J'adresse également des remerciement à tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie – université mohamed khider biskra .

De peur d'en avoir oublier, je souhaite remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de ce parcours universita

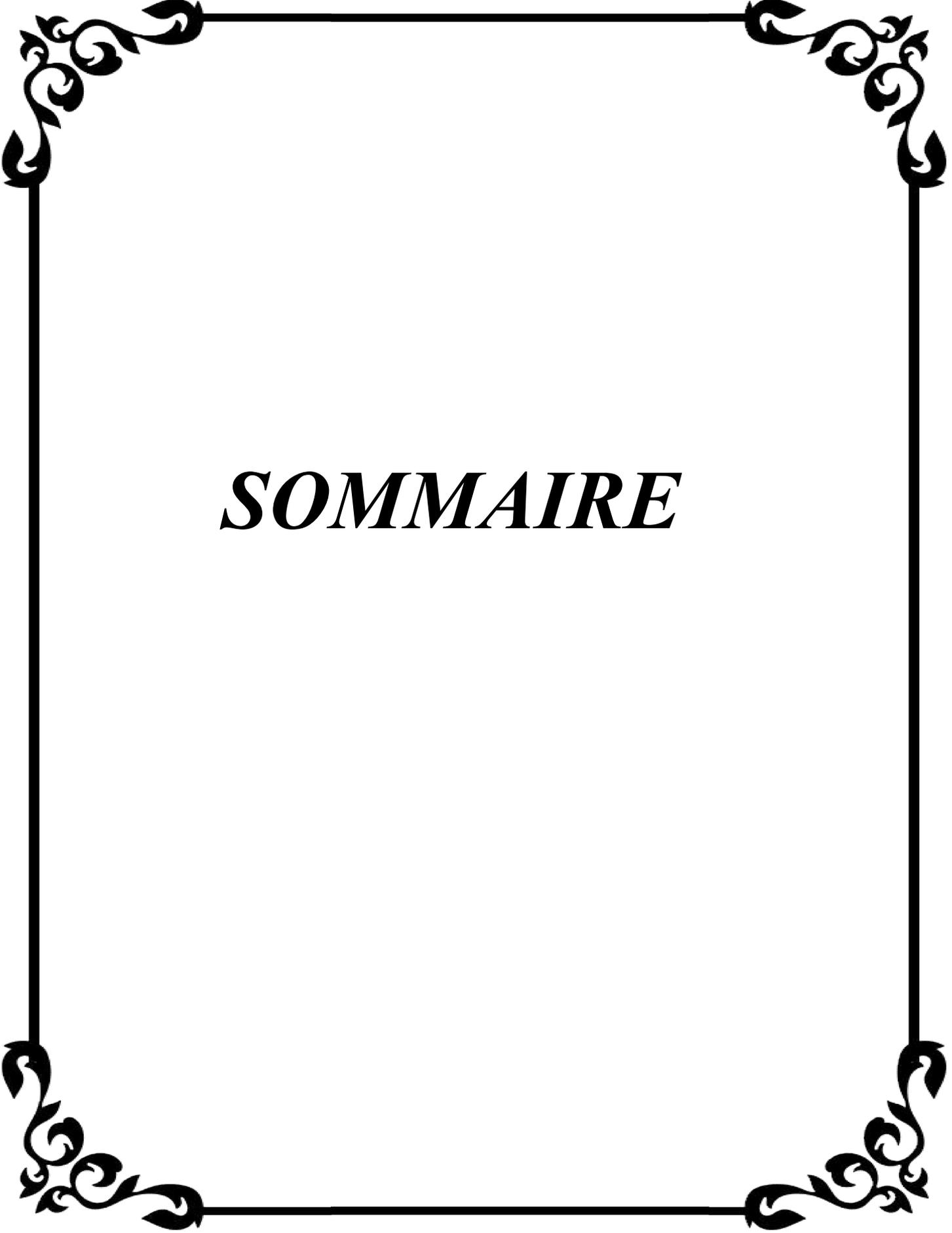
DEDICACES

Je dédie entièrement ce travail à mon père et à ma mère, mes piliers, mes exemples, mes premiers supporteurs et ma plus grande force. Merci pour votre présence, votre soutien, votre aide financière, et surtout votre amour, merci de n'avoir jamais douté de moi. Tout ce que j'espère, c'est que vous soyez fiers de moi aujourd'hui.

et à la meilleure des sœurs , qui font de mon univers une merveille, je leurs souhaite beaucoup de bonheur et de réussite.

Et tout cela grâce à mon mari, qui m'encourageait à tout moment.

Wahiba .z



SOMMAIRE

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Sommaire Pages

Introduction générale.....01

Chapitre I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1-1. Introduction03

1-1.2. Définition de la corrosion04

I-2. Les types de la corrosion.....04

I-2.1. Corrosion chimique 04

I-2.2. Corrosion biochimique 05

I-2.3. Corrosion électrochimique05

I-3. Classification des différents types de la corrosion..... 05

I-3.1. Corrosion généralisée ou uniforme05

I-3.2. Corrosion galvanique06

I-3.3. Corrosion par piqure06

I-3.4. Corrosion par crevasse07

I-4. Réaction de corrosion.....07

I-4.1. Les facteurs de la corrosion.....08

I-4.2. cinétique électrochimique.....09

a. la vitesse de corrosion09

b. Effet du pH.....09

c. Effet de température10

I-4.3.Méthodes d'étude de la corrosion	10
I-4.3.1.Méthodes non électrochimiques	10
a- Examen visuel et microscopique.....	11
b- Méthode pondéral, par perte de masse	11
I-4.3.2.Méthodes électrochimiques	11
I-5. Protection par des inhibiteurs de corrosion	12
I-5.1.Introduction	12
I- 5.2.Definition	13
I.5.3. Fonctions essentielles	13
I.5.4. Utilisations	14
I-5.5.Propriétés de l'inhibition	14
I-5.6. Les classes d'inhibiteurs	15
I-5.6.1. selon leur composition chimique	16
a- Les inhibiteur organique	16
b- Les inhibiteurs minéraux	17
I-5.6.2. selon leur mode d'action	17
a- Les inhibiteurs passivant	17
b- Les inhibiteurs d' adsorption	17
I-5.6.3.Classification par réaction partielle	17
a- Les inhibiteurs anodiques	17
b- Les inhibiteurs cathodiques	17
c- les inhibiteurs mixte.....	18
I-6.Mesure du potentiel de corrosion.....	18
I-6.1.Tracé des courbes stationnaires intensité – potentiel.....	18

I-6.2. Mesure de la résistance de polarisation linéaire.....	18
--	----

Chapitre II : METHODES ET PROCEDURES EXPERIMENTALES.

II-1. Introduction	21
II-2. Matériau ,Matériels et produits chimiques.....	21
II-2.1. Les produits chimiques	21
II-2.2. Matériau utilisé	21
a. Propriétés métallurgiques (Composition chimique.....	21
b. Propriétés mécanique	21
II-2.3. Matériels utilisés	22
II-3. Mode opératoire	22
II-3.1. Préparation des échantillons.....	22
II-3.1.a. Polissage mécanique	22
II-3.1.b. Mesure la masse et surface des échantillons.....	23
II-3.2. Préparation des solutions	24
II-3.2.1. Solutions électrolytiques	24
II-3.2.2. Solutions inhibitrice.....	25
II-3.2.3. Matériel et méthodes Pour l'extrait de réglisse	26
a. Méthode hydro distillation	26
II-4.1. Techniques de la masse perdue.....	27
II-4.1.a. Manipulation de la technique de masse perdue.....	27
II-5. Méthodes d'analyses	29

II-5.1. Microscopie optique (MO).....	29
---------------------------------------	----

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III-1. Introduction	32
---------------------------	----

III-2.Présentation des résultats	32
--	----

III-2.1.Etude du comportement de l'acier doux en milieu 1 (0.05M Na ₂ SO ₄ + 2 %Réglisse)	32
--	----

a. Méthode de la masse perdue	32
-------------------------------------	----

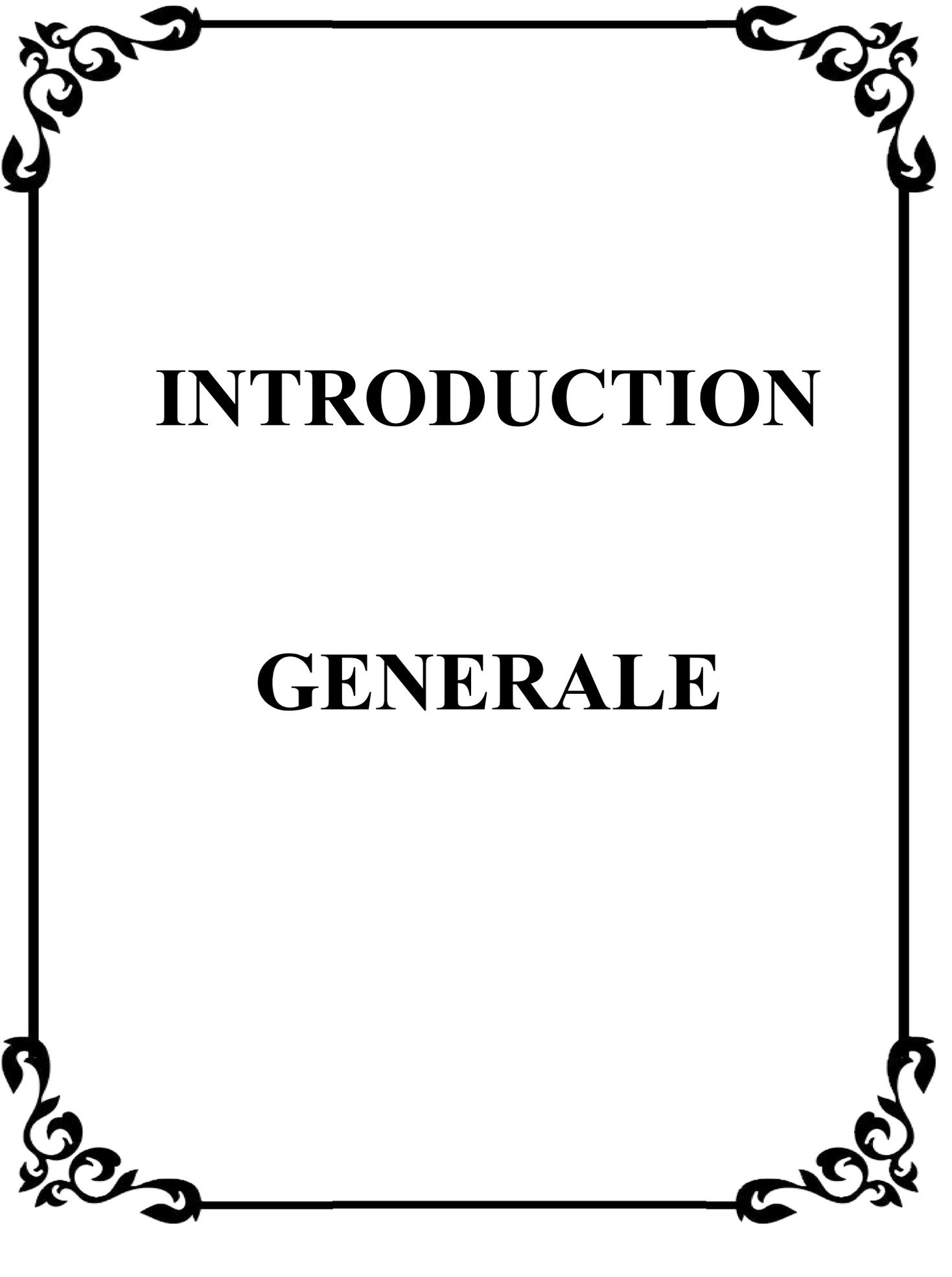
b. observation de la surface de l'acier doux par microscope optique (MO).....	36
---	----

III-2.2.Etude du comportement de l'acier doux en milieu 2 (0.05M..... Na ₂ SO ₄ + 0.5 % Réglisse)	36
--	----

a. Méthode de la masse perdue.....	36
------------------------------------	----

b. Effet de la concentration de l'inhibiteur sur le PH du milieu 0.05 M Na ₂ SO ₄	39
--	----

c.observation de la surface de l'acier doux par microscope optique.....	40
---	----



INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

La corrosion d'un métal correspond à une destruction lente, progressive et spontanée des métaux et de leurs alliages. Est l'altération des métaux provoquée par l'action du milieu environnant et consiste plus précisément en un processus spontané d'interface de nature chimique ou électrochimique. Ces phénomènes d'altération engendrent une dégradation rapide des ouvrages métalliques. Les conséquences sont importantes dans divers domaines et en particulier dans l'industrie : arrêt de production, remplacement des pièces corrodées, accidents et risques de pollutions sont des événements fréquents avec parfois de lourdes incidences économiques. Ils dépendent du métal envisagé mais aussi très largement de l'environnement dans lequel il est placé (humidité, pH, concentration des ions et gaz présents, présence de bactéries, température,...) [1]

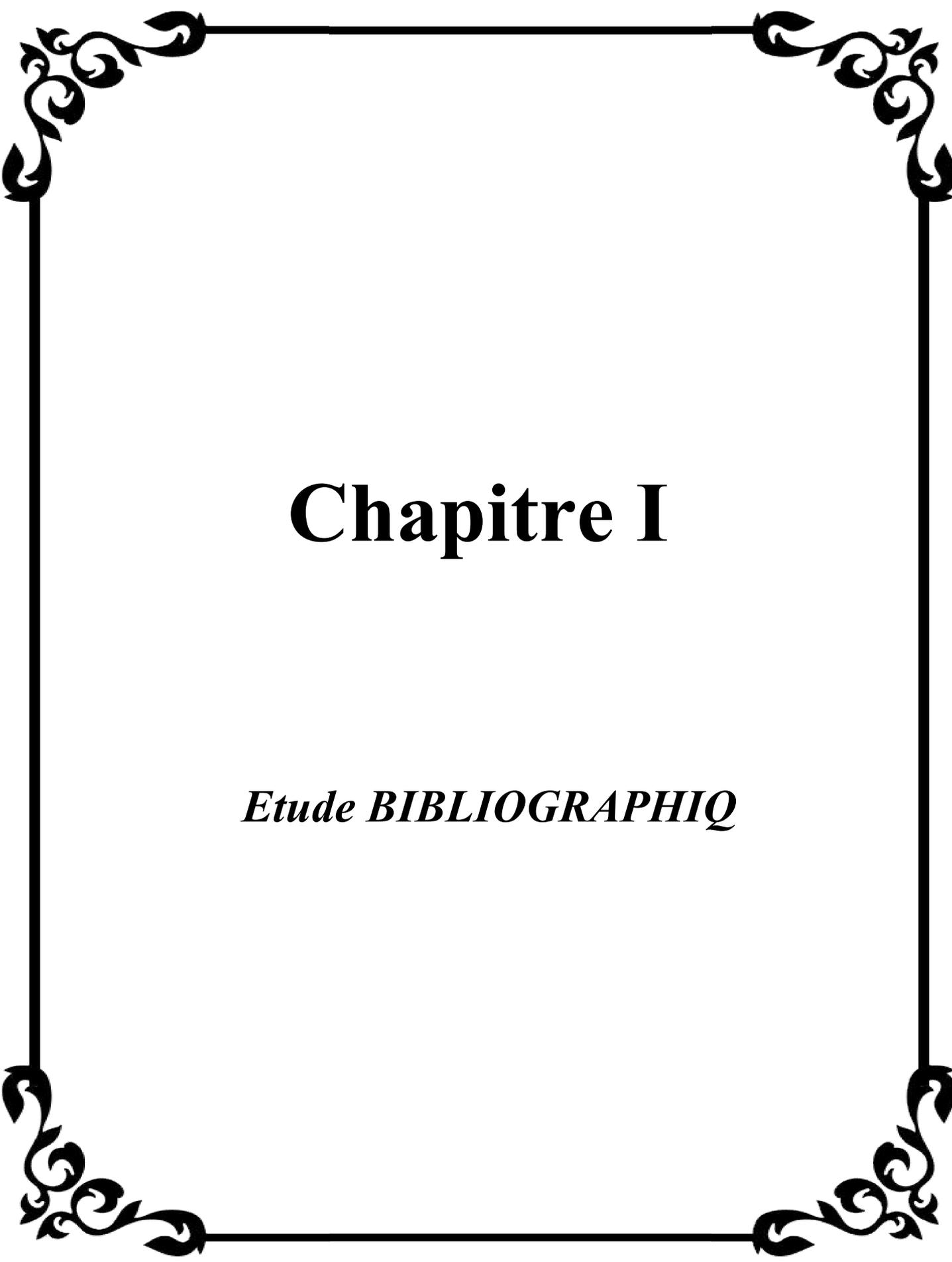
les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion des matériaux. Il peut être destiné soit à une protection permanente de la pièce (l'installation requiert alors une attention scrupuleuse), soit à une protection provisoire (notamment lorsque la pièce est particulièrement sensible à la corrosion ou lorsqu'elle est exposée à un milieu très agressif). Les molécules inhibitrices peuvent agir suivant différents mécanismes, leur conférant ainsi des performances d'inhibition fonction du milieu d'étude. [2]

Dans le présent travail, nous sommes intéressés à l'étude qui consiste à l'amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers XC42 par utilisation des inhibiteurs

en milieu 0,05M Na₂SO₄ et à déterminer l'efficacité inhibitrice de composé en l'occurrence les extraits de réglisse qui présentent l'avantage de ne pas être toxiques .

Ce travail est divisé en trois parties essentielles comportant ainsi:

- Une étude théorique qui consiste à des généralités sur la corrosion des métaux et les notions essentielles de protections par des inhibiteurs de corrosion.
- Dans la deuxième partie, on a présenté les matériaux utilisés et les procédures expérimentales.
- La dernière partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus et les analyses qui en sont dégagés.
- Une conclusion générale résume les principaux résultats entrepris



Chapitre I

Etude BIBLIOGRAPHIQ

I-1. Introduction :

La corrosion est le phénomène suivant lequel les métaux ont tendance, sous l'action d'agents atmosphériques ou de réactifs chimiques, à retourner à leur état original d'oxyde, carbonate, plus stable par rapport au milieu considéré, et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés. Le problème de la corrosion a pris de nos jours une importance considérable, étant donnée l'utilisation de plus grande des métaux et alliages dans la vie moderne. L'étude de la corrosion se situe à croisée de divers domaines : Electrochimie, physique du solide, métallurgie, chimie, physique, thermodynamique... outre son intérêt scientifique interdisciplinaire, elle répond à un enjeu industriel important [3].

I-1.2. Définition de la corrosion :

La corrosion est le phénomène d'interaction entre un métal ou alliage métallique et son environnement et qui entraîne une détérioration des propriétés utiles du métal permettant ainsi un retour à la situation stable de sulfure, d'oxyde [4] qui était la sienne avant les opérations d'élaboration et d'extraction. Les composés non métalliques ne sont pas inclus dans la présente définition, les plastiques peuvent être gonfler ou craquer, le bois peut se fondre ou s'ouvrir, le granit peut s'éroder et le ciment portland peut se lessiver mais le terme corrosion est ici limité à l'attaque chimique des métaux[4].

I-2. Les types de la corrosion :

Selon la nature de l'environnement et son comportement qui autour le métal, on peut détermine le type de corrosion :

I-2.1. Corrosion chimique (sèche) :

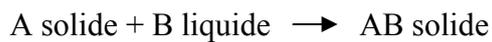
La corrosion chimique est l'attaque directe du métal par son environnement. Ce type de corrosion se développe dans une solution non électrolyte ou sur action des gazeux (d' O_2 , H_2S et CO_2). Lorsque le réactif est gazeux ou cette corrosion se produit à haute température, elle est alors appelée : Corrosion sèche ou corrosion à haute température [10,11]. La réaction qui se produit est de la forme : A solide + B gaz \rightarrow AB solide

I-2. 2. Corrosion biochimique (bactérienne) :

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobies qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [12].

I-2.3. Corrosion électrochimique (humide) :

Si le réactif est liquide, il est en général, accompagné d'une corrosion électrochimique produite essentiellement par l'oxydation d'un métal sous forme d'ions ou d'oxydes et réduite l'agent corrosif existant dans la solution électrolyte. Par ailleurs, elle se produit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique) [10,13]. Pour une corrosion électrochimique on a :



I-3. Classification des différents types de la corrosion

I-3.1. Corrosion généralisée ou uniforme :

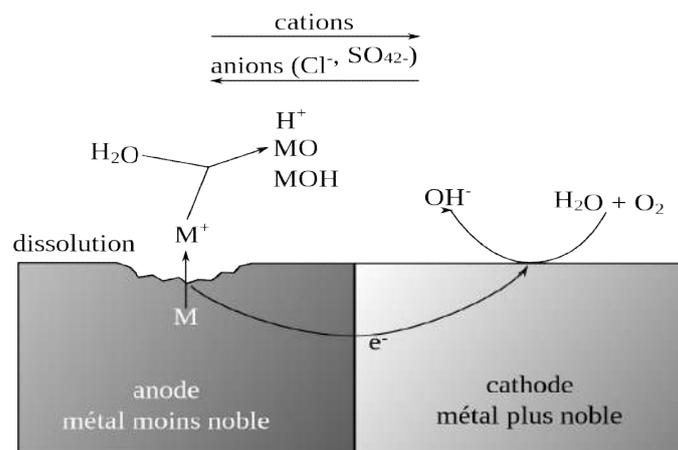
La corrosion uniforme ou généralisée se manifeste avec la même vitesse en tous les points du métal entraînant une diminution régulière de l'épaisseur de celui-ci ou simplement un changement de coloration (ternissement). [14]



Figure(I.1): la corrosion uniforme

I-3.2. Corrosion galvanique :

Il s'agit de l'attaque préférentielle de la phase la moins noble d'un alliage comportant deux phases ou de la corrosion pouvant exister entre au moins deux matériaux métalliques placés dans le même environnement. Il y a formation d'une pile. En cas de couplage, plus les métaux en présence sont éloignés sur l'échelle galvanique, plus la pile formée dispose d'énergie pour provoquer les transformations. Les phénomènes de corrosion sont amplifiés à la fois dans la cinétique de dégradation et dans la génération d'ions dans le milieu biologique. La partie la moins noble est l'anode et la plus noble est la cathode. Le rapport de surface anode/cathode joue un rôle très important. Il faut retenir que, plus l'anode est de petite taille, plus la vitesse de dissolution est élevée. Ce fait a une grande importance dans la pratique clinique en odontologie, en particulier lors du choix des alliages utilisés pour les réalisations prothétiques. [22]



Figure(I.2) : Corrosion galvanique

I-3.3. Corrosion par piqure :

Dans certaines conditions d'environnement, les métaux et alliages protégés par un film passif peuvent subir une attaque par piqûration, lorsqu'il se produit une rupture localisée du film. Ces piqûres se localisent en certains points de la surface métallique, elles développent de façon insidieuse et s'auto propagent : au fond de la cavité créée, l'hydrolyse des ions métalliques dissous entraîne une augmentation du degré d'acidité, ce qui entretient le phénomène de corrosion [14]

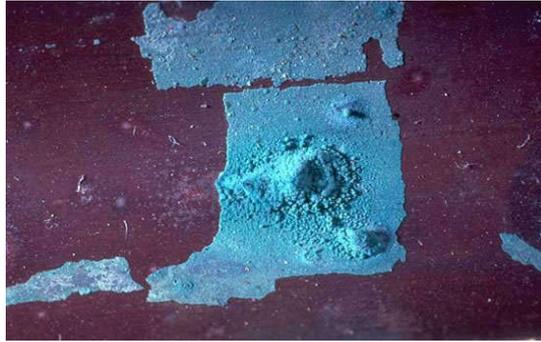
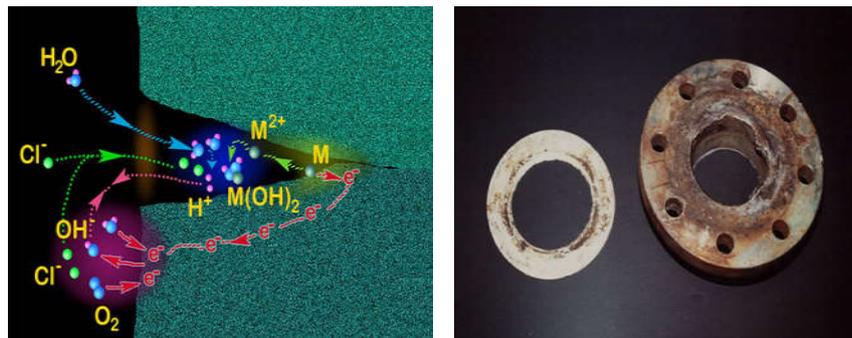


Figure (I.3) : corrosion par piqûre

I-3.4. Corrosion par crevasse :

Le processus de la corrosion caverneuse est proche de celui par piqûre. Il est généralement associé à la présence de petits volumes de solution stagnante dans des trous, sous des dépôts et dans des joints ou crevasses. Cette solution s'appauvrit en oxygène et s'acidifie [20].



Figure(I.4) : Corrosion par crevasse

I-4. Réaction de corrosion :

La corrosion générale résultait de l'existence simultanée de deux réactions électrochimiques uniformément réparties sur la surface du matériau : qui correspond à l'oxydation du métal (formation d'un oxyde, passage en solution), et la réaction cathodique qui correspond à la réduction de l'oxydant présent dans le milieu (H^+ , O_2 dissous...) [21].

- ✓ une réaction d'oxydation : $\rightarrow M^n + n e^-$ (réaction anodique)
- ✓ une réaction de réduction : $Ox + n e^- \rightarrow Red$ (réaction cathodique).

I-4.1. Facteurs de corrosion :

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 et sont résumés dans le tableau2: [9].

Tableaux (I.1) : Facteur de corrosion. [9]

Facteurs relatifs au milieu définissant le mode d'attaque	<ul style="list-style-type: none"> • Concentration du réactif. • Teneur en Oxygène, en impuretés en gaz dissous (NH₃, H₂S, ...) • Acidité du milieu, salinité, résistivité. • Température, pression. • Présence de bactérie.
Facteurs Métallurgiques	<ul style="list-style-type: none"> • composition d'alliage, hétérogénéités cristallines • Procédés d'élaboration • Impuretés dans l'alliage, inclusions. • Traitements thermiques, mécaniques • Additions protectrices.
Facteurs définissant les conditions d'emploi	<ul style="list-style-type: none"> • Etat de surface, défauts de fabrication. Formes • Sollicitations mécaniques. • Emploi d'inhibiteurs • Procédés d'assemblage (couples galvaniques, etc.) • Croûte d'oxydes superficiels • Force électromotrice extérieure (électrolyse).

facteurs dépendants du	<ul style="list-style-type: none">• Vieillessement• Tensions mécaniques internes ou externes.• Température- modalité d'accès de l'oxygène o gaz dissout• Modification des revêtements protecteurs.• Apparition d'un dépôt (calciue ou autre).
------------------------	---

I-4.2.cinétique électrochimique

a. La vitesse de corrosion :

Dans le cas des réacyion électrochimiques, qui mettent en jeu un transfert de charges, on exprimera la vitesse de corrosion en terme :

$$V(\text{mol/m}^2.\text{S}) = \frac{i}{nF}$$

Avec:

- ✓ V :la vitesse de réaction (mol/m².S).
- ✓ i :la densité de courant de transfert de charge(A/ m²).
- ✓ n :valence du métal (son nombre d'oxydation).
- ✓ F : constante de faraday(96500 C/mol).

associés à l'ionisation de chaque atome de métal et F est la constante de Faraday (96500 C.mol⁻¹) [1].

b. Effet du pH :

En milieu aqueux, la corrosion des aciers au carbone dépend du pH (figure I-6) [5]. Aux pH bas, il y a réduction de protonts et la corrosion est d'autant plus élevée que le milieu est acide.

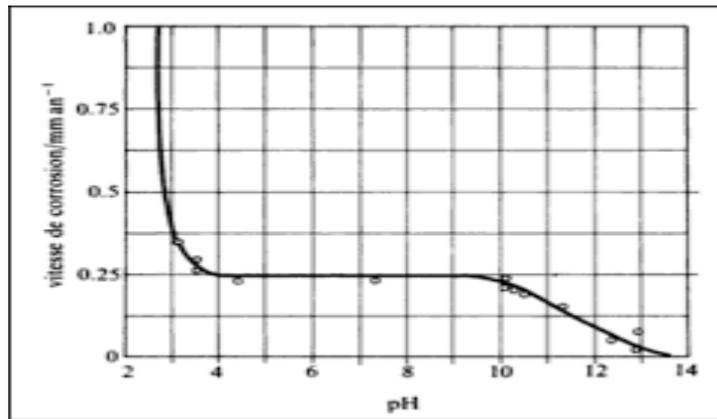


Figure (I.5): Variation de la vitesse de corrosion de l'acier en milieu aqueux en fonction du pH [5].

c. Effet de température :

La température peut affecter sur la corrosion de plusieurs façons. Si la vitesse de corrosion est dirigée complètement par le processus élémentaire de l'oxydation du métal, La vitesse de corrosion augmente de façon exponentielle avec l'augmentation de la température. Cette relation se traduit par l'expression d'Arrhenius [5]:

$$I_{\text{corr}} = A \exp(-E_a / RT)$$

Où

I_{corr} est la vitesse de corrosion,

A est le facteur pré-exponentiel,

E_a est l'énergie d'activation,

R est la constante universelle des gaz parfaits et T est la température absolue.

I-4.3. Méthodes d'étude de la corrosion

I-4.3.1. Méthodes non électrochimiques

Parmi les méthodes non électrochimiques, on distingue :

a- Examen visuel et microscopique

b- Méthode pondéral, par perte de masse :

La méthode perte de masse consiste à évaluer le taux de corrosion d'un échantillon plongé dans un milieu corrosif. Le taux de corrosion est calculé à partir de la formule :

$$\mathbf{Taux} = \frac{m}{S.t} \cdot 365$$

T :Taux de corrosion d'un échantillon en (g/cm² .an).

S : surface soumise au test en (cm²).

t :Temps de l'expérience en (jours).

m :différence de masse en (g) .

m : = m_i - m_f (i : avant le test , f : après le test) [4].

L'efficacité inhibitrice est mesurée par la relation suivante :

$$\mathbf{EI\%} = \frac{V_{corr} - V_{inh}}{V_{corr}} \times \mathbf{100}$$

Avec **V_{corr}** et **V_{inh}** sont les vitesses de corrosion de l'échantillon après immersion dans la solution respectivement sans et avec inhibiteur [26].

I-4.3.2.Méthodes électrochimiques :

Les méthodes électrochimiques utilisées permettant l'étude du phénomène de corrosion selon les courbes de polarisation :

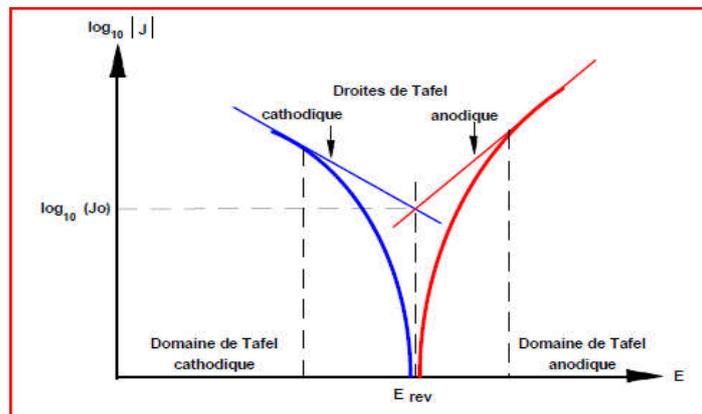
La courbe de polarisation de l'interface métal-solution est une caractéristique fondamentale de la cinétique électrochimique, mais ne rend compte que de l'étape la plus lente du processus global à l'interface électrochimique. Pour déterminer une courbe de polarisation potentiostatique, on applique à l'aide d'un potentiostat, différents potentiels entre l'électrode de travail et une électrode de référence. On mesure le courant

stationnaire qui s'établit après un certain temps dans le circuit électrique entre cette électrode de travail et une contre-électrode.

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact de l'électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion (I_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}), les pentes de Tafel, les résistances de polarisations (R_p), les courants limites de diffusion. Elle donne des mesures rapides et sa mise en œuvre est relativement simple.

La détermination de la vitesse de corrosion à partir des courbes de polarisation est étroitement liée à la cinétique régissant le processus électrochimique.

Pour déterminer expérimentalement les paramètres électrochimiques (I_{corr} , E_{corr}) une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable, car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de la densité de courant et le potentiel (Figure 8) . [30]



Figure(I.6): Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel

I-5. Protection par des inhibiteurs de corrosion

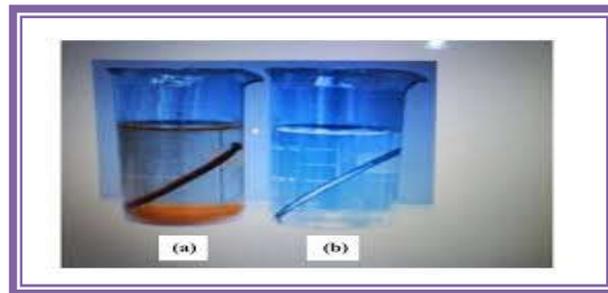
I-5.1. Introduction :

En matière de protection contre la corrosion, il est possible d'agir sur le matériau lui-même (choix judicieux, formes adaptées, contraintes en fonction des applications, etc.), sur la surface du matériau (revêtement, peinture, tout type de traitement de surface, etc.)

ou sur l'environnement avec lequel le matériau est en contact (inhibiteur de corrosion) [6].

I-5.2. Définition :

Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui, ajouté à faible concentration au milieu corrosif ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé en contact de ce milieu (Figure. I.7) [7].



(a) sans inhibiteur de corrosion (b) avec inhibiteur de corrosion

Figure (I.7) : Métal au contact d'un milieu agressif

I-5.3. Fonctions essentielles :

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 [8].

I-5.4. Utilisations :

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application [16]:

- Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux des procédés industriels, eaux de chaudières, etc.).
- L'industrie du pétrole: forage, extraction, raffinage, stockage et transport, dans cette industrie, l'utilisation des inhibiteurs de corrosion est primordiale pour la sauvegarde des installations.
- Les peintures où les inhibiteurs de corrosion sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux.

I-5.5. Propriétés de l'inhibition :

Partant de cette définition, un inhibiteur de corrosion doit donc vérifier un certain nombre de propriétés fondamentales :

- abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier ;
- être stable en présence d'autres constituants ;
- être stable dans le domaine de températures utilisé ;
- être efficace à faible concentration ;
- être efficace dans les conditions d'utilisation ;
- peu onéreux par rapport aux économies qu'il permet de réaliser ;
- être compatible avec les normes en vigueur de non-toxicité et de protection de l'environnement.

- 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. [23].

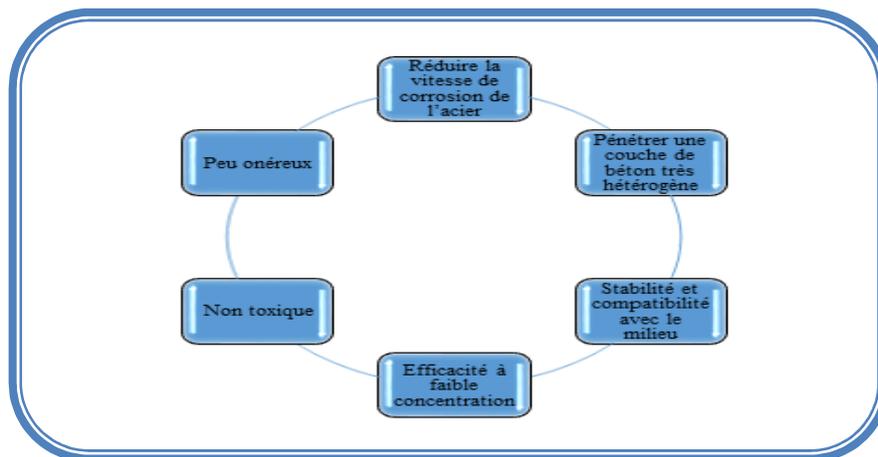


Figure (I.8) : Propriétés desinhibiteurs

I-5.6. Les classes d'inhibiteurs :

Il existe plusieurs possibilités de classer les inhibiteurs, celles-ci se distinguant les unes des autres de diverses manières :

- la formulation des produits (inhibiteurs organiques ou minéraux),
- les mécanismes d'action électrochimique (inhibiteurs cathodiques, anodiques ou mixtes)
- les mécanismes d'interface et principes d'action (adsorption et/ou formation d'un film).[27]

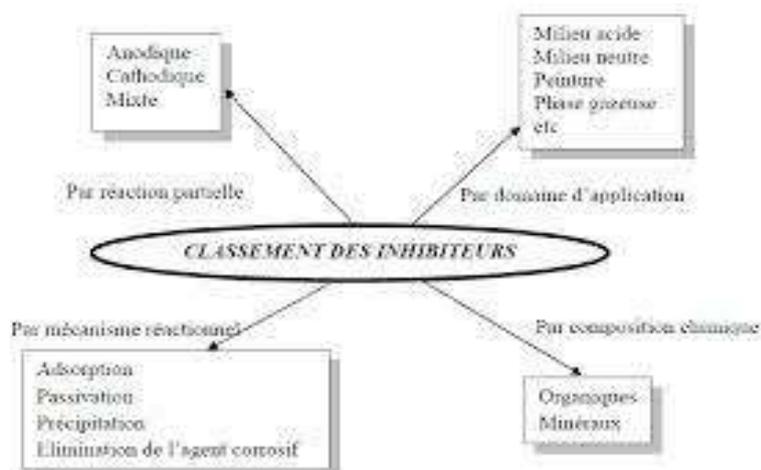


Figure (I.9) : Classement des inhibiteurs de corrosion. [27]

I-5.6.1 selon leur composition chimique :

a- Les inhibiteur organique :

Les molécules organiques sont promises à un développement plus que certain en termes d'inhibiteur de corrosion : leur utilisation est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. Ils sont de plus en plus utilisés en milieu neutre/alcalin. Les inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière. [24]

Ils possèdent au moins un centre actif susceptible d'échanger des électrons avec le métal, tel l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. L'une des limitations dans l'utilisation de ces produits peut être l'élévation de température, les molécules organiques étant souvent instables à Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont :

- le radical aminé (-NH₂)
- le radical mercapto (-SH),
- le radical hydroxyle (-OH),
- le radical carboxyle (-COOH)

Du fait de leur mode d'action par adsorption, les inhibiteurs organiques peuvent être efficaces même en milieu très acide (PH inférieur à 4) où la corrosion dépend de la décharge de protons hydrogènes à la surface du métal. [25]

b- Les inhibiteurs minéraux :

Ces inhibiteurs sont souvent utilisés en milieu proche de la neutralité, voir 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 principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type xO^{4n-} tels les chromates, molybdates, phosphates, silicates,... Les cations sont essentiellement Ca^{2+} et Zn^{2+} et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle OH^- . L'utilisation des inhibiteurs minéraux reste à ce jour limitée, car la plupart des produits efficaces présentent un côté néfaste pour l'environnement.). [28]

I-5.6.2. selon leur mode d'action :

a- Les inhibiteurs passivant :

Sont en général les inhibiteurs minéraux. Ils provoquent la passivation spontanée du métal en renforçant la couche d'oxyde formée naturellement sur la surface du métal. Ils se réduisent sur les pores de la couche d'oxydes/hydroxyde plus ou moins protectrice qui se Chapitre I Généralité sur la corrosion des métaux 22 forme naturellement sur la surface du métal. L'ion chromate est un des inhibiteurs passivant par excellence mais son caractère cancérigène et sa forte toxicité réduisent notablement son utilisation.

b- Les inhibiteurs d' adsorption :

Sont en général les inhibiteurs organiques. Ils empêchent l'action du milieu agressif en se fixant sur la surface du métal. Leur fixation se fait principalement par la fonction active de l'inhibiteur ; cependant, les parties polaires peuvent être également adsorbées. Ceux qui agissent par adsorption chimique s'avèrent souvent plus efficaces que ceux agissant par adsorption physique, car le partage des électrons renforce la liaison entre le métal et l'inhibiteur. Généralement, en présence d'une chimisorption, la molécule inhibitrice agit comme donneur d'électrons alors que le métal agit comme accepteur d'électrons.

I-5.6.3. Classification par réaction partielle :

D'après leur influence sur la vitesse des réactions électrochimiques partielles, on distingue trois types d'inhibiteurs

a- Les inhibiteurs anodiques:

Les inhibiteurs anodiques diminuent l'intensité de courant de dissolution du métal et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif.

b- Les inhibiteurs cathodiques:

Les inhibiteurs cathodiques, en revanche, diminuent l'intensité 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.

c- les inhibiteurs mixtes:

Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion. Les inhibiteurs de corrosion qui augmentent la résistance ohmique de l'électrolyte.

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 [20].

I-6.Mesure du potentiel de corrosion :

Cette technique consiste à mesurer le potentiel de l'électrode de travail en fonction du temps d'immersion. Elle indique le type d'inhibiteur (anodique ou cathodique) suivant le sens de déviation du potentiel par rapport au potentiel mesuré en absence d'inhibiteur. Si l'inhibiteur est à caractère mixte, aucune indication n'est donnée par la faible variation de potentiel [15].

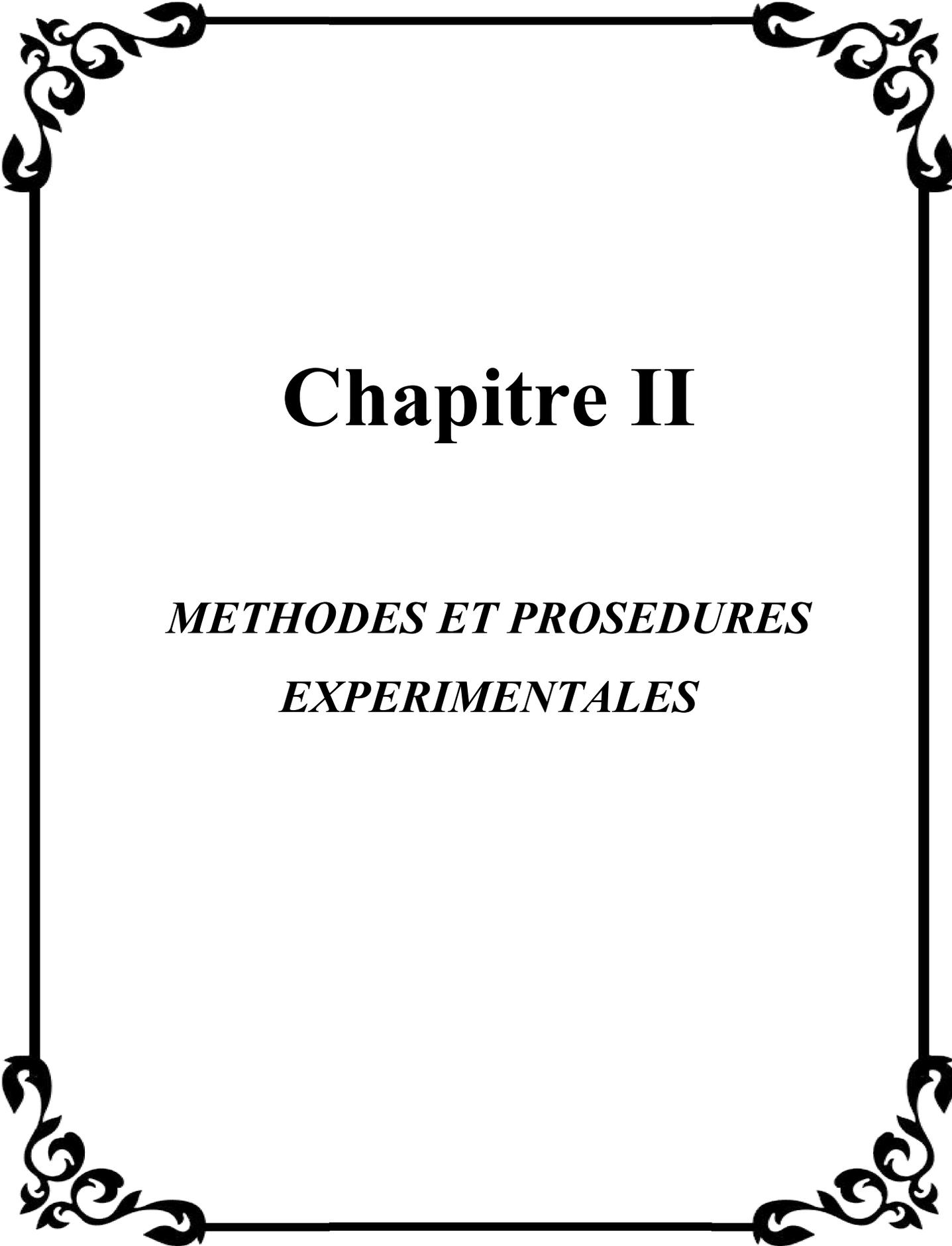
I-6.1.Tracé des courbes stationnaires intensité – potentiel :

Il permet de confirmer les indications données par l'évolution du potentiel de corrosion et de les préciser en distinguant l'influence de l'inhibiteur sur chacune des réactions élémentaires, anodique et cathodique, à l'électrode de travail. L'interprétation de la courbe $I = f(E)$ doit être faite en tenant compte de ces possibilités suivantes : les conditions d'adsorption de l'inhibiteur à la surface peuvent être modifiées par une polarisation croissante de l'électrode : le taux de recouvrement peut varier avec le potentiel appliqué. Le courant de corrosion mesuré en présence d'inhibiteur est rapporté à la surface géométrique de l'échantillon et ne donne pas nécessairement la densité de courant de dissolution vraie du métal [15].

I-6.2.Mesure de la résistance de polarisation linéaire :

Elle consiste à réaliser un balayage de potentiel au voisinage du potentiel de corrosion de l'électrode de travail. Cette méthode est rapide et particulièrement adaptée à l'étude de l'efficacité inhibitrice de molécules dont l'effet n'est pas connu (tri de composés). Sa

validité doit être vérifiée avec soin dans le cas particulier de chaque système étudié. Elle peut également permettre un suivi dans le temps du comportement de l'inhibiteur [15].



Chapitre II

*METHODES ET PROSEDURES
EXPERIMENTALES*

II-1. Introduction:

Dans ce chapitre est de présenter les matériaux, les solution d'étude , les méthodes expérimentales, l'expliquer le choix des techniques expérimentales et l'analyse utilisées dans cette étude afin d'assurer une bonne reproductibilité des résultats.

II-2. Matériau , Matériels et produits chimiques :

II-2.1. Les produits chimiques :

- sulfate de Sodium Na_2SO_4
- Glycyrrhiza glabra (Réglisse)

II-2.2. Matériau utilise:

a. Propriétés métallurgiques (Composition chimique)

Le matériau testé dans cette étude est acier doux (XC42), la composition de l'acier utilisé est représentée dans le tableau (II. 1).

Tableau(II.1) : Composition chimique de l'acier doux étudié XC42 en(%)

Eléments	C	S	Mn	TI	P
Teneur en (wt%)	0.22	0.015	1.30	0.04	0.025

b. Propriétés mécanique :

Tableau(II.2) : Caractéristiques mécanique de l'acier XC 42

Caractéristiques	Rm N/mm ²	Re N/mm ²	A %
XC42	530 - 580	260 -320	16 -17

- R_e : la limite d'élasticité. (Mpa)
- R_m : la résistance à la traction. (Mpa)
- $A\%$: le pourcentage d'allongement après rupture [31]..

II-2.3.Matériels utilisés :

- ✓ Une polisseuse mécanique et des papiers abrasifs.
- ✓ Balance électronique de précision de sensibilité (0,0001g).....FA2004B.
- ✓ Agitateur mécanique avec barreau aimantéIKA-COMBIMAG.RCT.
- ✓ Microscope optique (MO)

II-3.Mode opératoire :

II-3.1.Préparation des échantillons:

Le matériau utilisé dans notre travail est un acier X60, Les échantillons utilisés dans nos essais, ont été découpés de diamètre 3 cm et de l'épaisseur 1.3 cm La forme et les dimensions des échantillons, utilisés dans les essais, sont données sur la **Figure (II.1)**

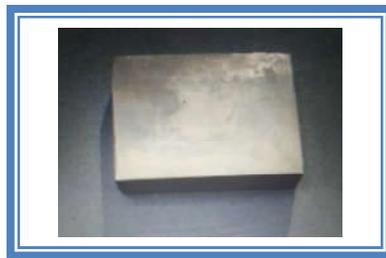


Figure (II.1) : L'échantillon de l'acier.

II-3.1.a. Polissage mécanique :

Les échantillon d'acier sont préparés avant immersion dans les solution par un polissage pour enlever la couche superficielle sans aucun défaut .

Le polissage mécanique se fait par papier abrasif de différentes granulométrie à partir de 80 jusqu'à 1200 (Figure (II.1)) , suivi d'un rincés avec l'eau distillée, et l'acétone puis séchés.



Figure (II.2) : polisseuse a papiers abrasives

II. 3.1.b.Mesure la masse et surface des échantillons :

- La masse :

Après polissage mécanique, nous prélevons des échantillons et mesurons leur masse initiale avant l'immersion dans une solution corrosive sur une Balance électronique de précision de sensibilité (0,0001g).

Le Nombre	1	2	3	4	5	6
Masse(mg)	56.5634	53.3629	68.7575	69.4819	52.3702	62.6260

Tableau (II.3) :L'ensemble des résultats de la masse initiale d'échantillons.

- La surface :

Avant de calculer la surface de l'échantillon, nous avons recouvert la surface inférieure de vernis pour ne pas être attaqué par le milieu agressif .

Le Nombre	1	2	3	4	5	6
Surface(cm ²)	15	13	17.4	20.48	17.4	18.6

Tableau (II.4) : L'ensemble des résultats de la surface

II-3.2. Préparation des solutions :

II- 3.2.1. Solutions électrolytiques :

Pour préparer cette solution, nous avons mélangé une quantité 2.84g de sulfate de sodium ont été dissous dans un litre d'eau distillée pour obtenir une solution **0.05M Na₂SO₄**.

Le milieu corrosif utilisé sont :

Le milieu ; 0.05M Na₂SO₄

Na₂SO₄ :

Le sulfate de sodium est un produit couramment utilisé dans une vaste gamme d'applications industrielles. Les usages les plus importants incluent:

- la manufacture de détergents et de savons
- la production de verre
- le traitement des pâtes et papiers

Il est retrouvé aussi dans bon nombre d'autres industries, notamment:

- les teintures et les textiles
- la manufacture d'éponges
- les traitements électrochimiques de métaux
- l'industrie alimentaire (production de caramel, de bière,...)
- la nourriture pour animaux

L'exposition à ce produit se fait souvent aussi de manière indirecte car il est généré comme sous-produit de plusieurs procédés, y compris:

- les bains de filage de fibres de viscosse (production de rayonne)
- la production de dichromate de sodium
- la synthèse d'acide ascorbique par le procédé de Reichstein-Grüssner [29].



Figure (II.3) : sulfate de sodium

II- 3.2.2. Solutions inhibitives :

La solution de l'inhibiteur utilisé dans ce travail est :

- **Inhibiteur organique :**
- la réglisse :

Appartenant à la famille des fa bacées, la réglisse est originaire d'Europe méridionale et d'Orient. Ses racines, connues pour l'arôme si particulier qui est le leur, contiennent des flavonoïdes, des tanins, des saponines. Autant de substances qui confèrent à la réglisse ses nombreuses vertus... et ses inconvénients.



Figure (II.4) : Réglisse en poudre

Usages :

On a démontré en 1950 son effet bénéfique sur l'estomac et on l'utilise en cas d'ulcères et de gastrites. Elle est aussi recommandée contre le rhume, la bronchite, les maux de gorge et possède des propriétés antispasmodiques (anesthésiques ou

calmants), anti-inflammatoires et laxatives (purgatives ou purifiantes). Aussi, on peut faire des bains d'yeux contre la conjonctivite. Aussi Il est utilisé comme inhibiteur organique

II- 3.2.3. Matériel et méthodes Pour l'extrait de réglisse :

cet travail a été réalisé au laboratoire de chimie N°2 du département de Biologie de l'université de Biskra.

L'échantillon de réglisse est nettoyé et étalé, séché dans une pièce à l'abri de la lumière et à la température ambiante, une fois la matérielle végétale est sec.

a. Méthode hydrodistillation :

Dans le ballon du montage d'hydrodistillation, placer à l'aide d'un entonnoir 600 mL d'eau distillée. Ajouter 200 g réglisse (séché à l'ombre et broyé). Mettre en route la circulation d'eau dans le réfrigérant et porter lentement le mélange à ébullition pendant 4 heures. Régler le chauffage pour qu'il y ait une goutte de solution toutes les secondes. L'ensemble est porté à ébullition pendant 4 heures. Les vapeurs chargées d'huile, en traversant un réfrigérant se condensent et récupère le distillat dans un erlenmeyer .



Figure(II.5) : extraction par hydro distillation

II-4. Techniques d'essais :

II- 4.1. Techniques de la masse perdue ;

Cette technique a été utilisée pour étudier l'efficacité de l'inhibiteur. Les résultats des tests de l'inhibition de la corrosion de l'acier XC42, immergé dans une Boite contenant une solution corrosive sans inhibiteur ou avec inhibiteur ont été obtenus par la méthode expérimentale : masse perdue.

La vitesse de corrosion est déterminée après plusieurs jours d'immersion : 7,14, et 21 jour, à une température ambiante.

Les échantillons sont retirés de la solution , rincés avec l'eau distillée et l'acétone puis séchés. Finalement, les échantillons sont pesés afin de déterminer la masse perdue et la vitesse de corrosion pour chaque solution [4].



Figure(II.6) : Dispositif expérimental de la technique de la masse perdue

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

$$V_{\text{corr}} = \frac{m}{S.t}$$

Où V_{corr} : Vitesse de corrosion en (g / cm² .jour)

S : Surface soumise au test en (cm²).

t : temps de l'expérience en (jours).

Δm : différence de masse en (g).

$\Delta m = m_i - m_f$ (i : avant le test , f : après le test)

Où

m_i : la masse de l'échantillon avant l'immersion.

m_f : la masse de l'échantillon après l'immersion.

Le taux de corrosion est calculé à partir de la formule :

$$\text{Taux de corrosion} = \frac{m \cdot 365}{S \cdot t}$$

Taux de corrosion : Taux de corrosion d'un échantillon en ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{an}$).

S : Surface soumise au test en (cm^2).

t : temps de l'expérience en (jours).

Δm : différence de masse en (g).

$\Delta m = m_i - m_f$ (i : avant le test , f : après le test) [4].

L'efficacité inhibitrice (EI %) d'un composé est évaluée par l'intermédiaire de la mesure des vitesses de la corrosion du système électrochimique en absence et en présence de l'inhibiteur. Elle est calculée à partir de la relation suivante :

$$\text{EI \%} = \frac{V - V_{inh}}{V} \cdot 100$$

Où V et V_{inh} sont respectivement les valeurs de la vitesse de corrosion en absence et en présence de l'inhibiteur [4].

II-4.1.a Manipulation de la technique de masse perdue

Cette méthode dont le dispositif est représenté par la fig.(II.3) nécessite le matériel

de laboratoire suivant: -Echantillons en aciers

-Bêchers de 100 ml

-Balance de précision de sensibilité de 0.0001g

- Brosse en nylon

- Eau distillée

- Acétone

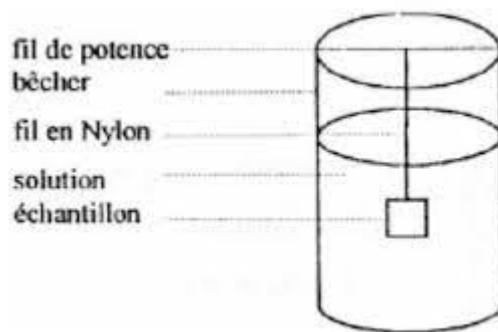


Figure (II.7) :Dispositif expérimental de la technique de la masse perdue .

II- 5. Méthodes d'analyses :

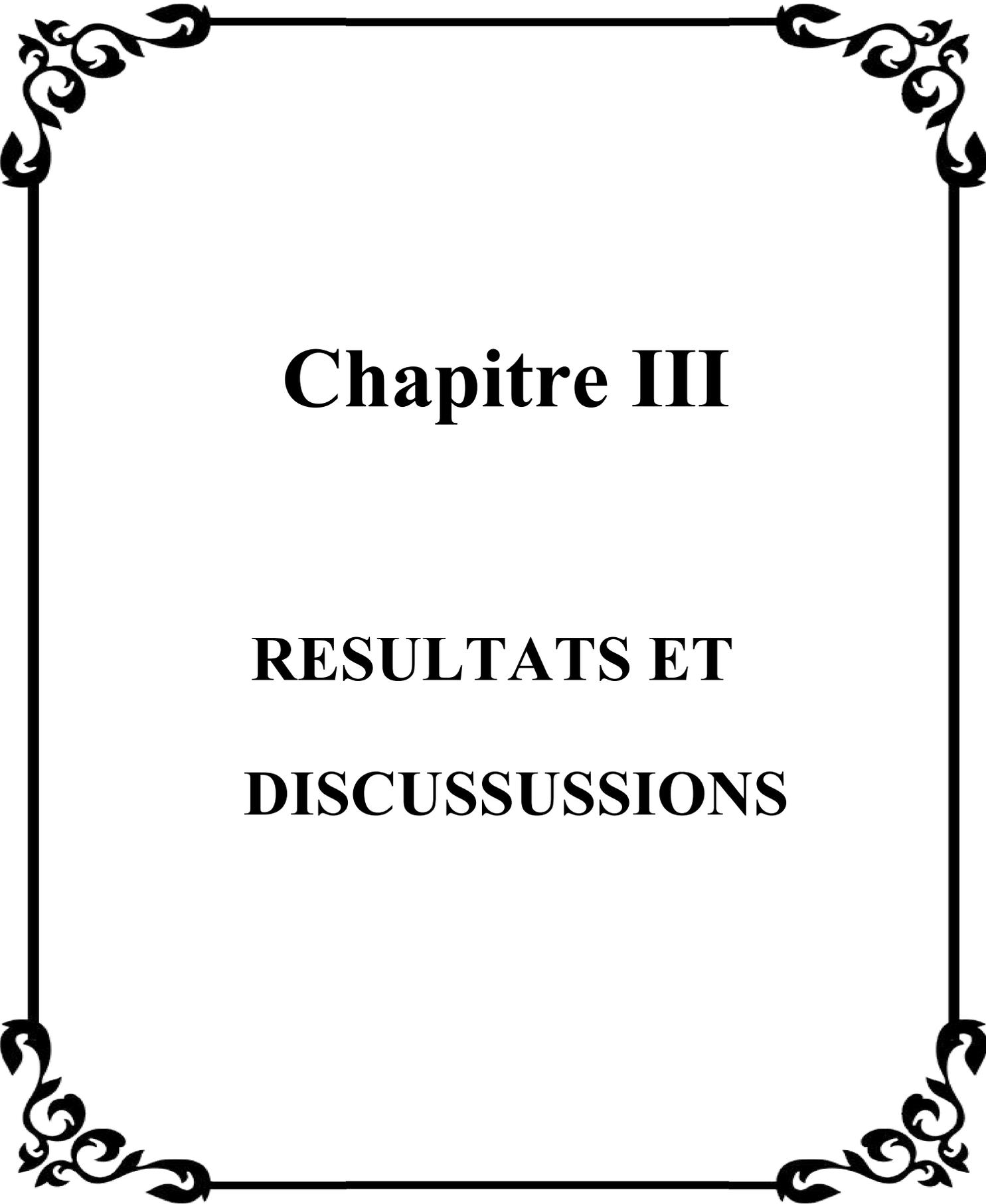
II- 5.1. Microscopie optique (MO) :

L'examen de la micrographie de la surface du matériau, a été réalisé à l'aide d'un microscope optique (MO).



Figure (II.8) Microscope optique.

Les zones d'études de l'évolution de la corrosion en surface du matériau sont d'abord choisies au microscope optique . Les images sont acquises numériquement [4].



Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

III-1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous étudierons les résultats et les valeurs obtenus du côté expérimental, représentés par l'efficacité de l'inhibiteur organique de réglisse sur la corrosion de l'acier doux XC42 en milieu 0.05 M Na₂SO₄.

III-2.Présentation des résultats :

III-2.1.Etude du comportement de l'acier doux en milieu 1 (0.05M Na₂SO₄ + 2 % Réglisse)

a. Méthode de la masse perdue :

La vitesse moyenne de corrosion (V_{corr}) de l'acier en absence et en présence de différentes concentrations en inhibiteurs est évaluée à partir de la détermination de perte de masse par la formule suivante:

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{S.t}$$

Avec

Δm : différence de masse en (mg).

V_{corr} : Vitesse de corrosion en (mg / cm² .jour)

S : surface soumise au test en (cm²)

t : temps de l'expérience en (jour).

$$\Delta m = m_i - m_f$$

Ou (i : avant le test , f : après le test)

L'efficacité inhibitrice (E (%)) est calculée par la relation suivante :

$$EI \% = \frac{V - V_{inh}}{V} \cdot 100$$

Dans laquelle V et V_{inh} représentent respectivement les vitesses de corrosion de l'acier doux en absence et en présence de l'inhibiteur

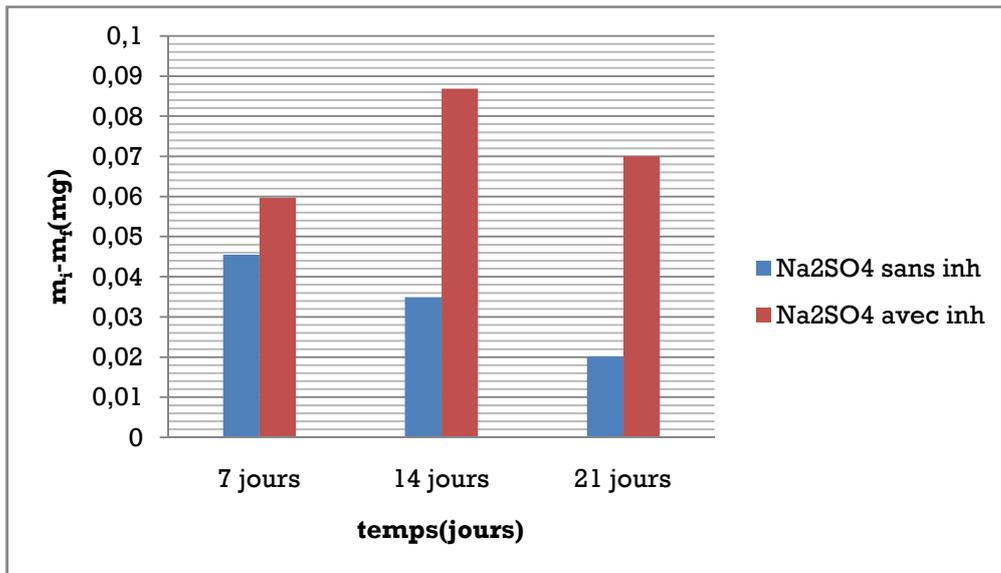
Les résultats obtenus à partir de la première solution constituée de Na_2SO_4 0.05M sans et avec addition de l'inhibiteur La concentration d'inhibiteur à 2 grammes réglisse et 2.84 g de chlore de sodium dans un litre d'eau distillée.

Ils sont résumés dans le tableau III.1

Tableau (III.1). Les résultats de la masse perdue et Vitesse de corrosion et efficacité inhibitrice de la corrosion de l'acier en milieu 1 **0,05M Na_2SO_4** sans et avec addition de l'inhibiteur.

Solutions	t(j)	S(cm^2)	m_i	m_f	Δm	$V_{\text{corr}}(\text{mg}/\text{cm}^2.\text{j})$	Taux de corrosion ($\text{g}/\text{cm}^2.\text{an}$)
Na_2SO_4 (sans)	7	17.4	68.7575	68.7120	0.0455	0.0003735	0.13632
Na_2SO_4 (avec)	7	13	53.3629	53.3032	0.0597	0.0006560	0.17888
Na_2SO_4 (sans)	14	18.6	62.6260	62.5911	0.0349	0.0001340	0.04891
Na_2SO_4 (avec)	14	17.4	52.3712	52.2843	0.0869	0.0003567	0.13019
Na_2SO_4 (sans)	21	15	56.5634	56.5433	0.0201	0.0000638	0.02328
Na_2SO_4 (avec)	21	20.48	69.4819	69.4119	0.07	0.0001627	0.05938

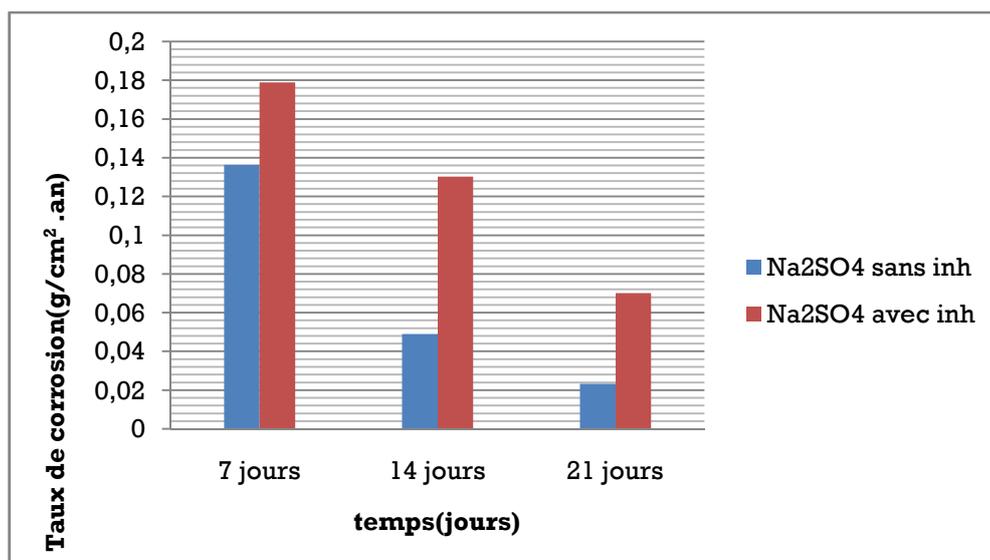
Histogramme (III.1) : La variation de la perte de masse en fonction de temps d'immersion à milieu 1 Na_2SO_4 0.05 M sans et avec inhibiteur.



D'après cet histogramme, on constate que l'extrait de réglisse a des propriétés insatisfaisantes pour la valeur de 2 grammes ajoutés dans 1 litre d'eau distillée,

Nous remarquons que la perte de masse de l'acier augmente en présence de l'inhibiteur pour les différentes périodes d'immersion (Le contraire est attendu).

Histogramme (III.2) : La variation du Taux de corrosion en fonction de temps d'immersion au milieu 1 Na₂SO₄ 0.05 M sans et avec inhibiteur



On note qu'il y a une différence de Taux de corrosion entre un milieu Na_2SO_4 0.05 M avec et sans de l'inhibiteur, où l'on remarque une augmentation du Taux de corrosion en l'absence de l'inhibiteur et une diminution pour le milieu avec l'inhibiteur. et à partir du septième jour d'immersion on constate une diminution du Taux de corrosion en l'absence de l'inhibiteur.

La variation de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion à milieu 1 Na_2SO_4 0.05 M sans et avec inhibiteur est reportée sur la **Figure (III.1)**.

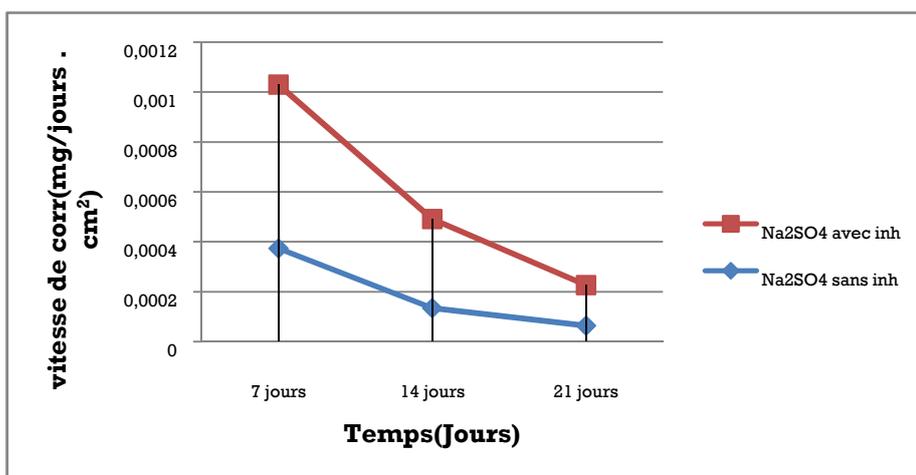
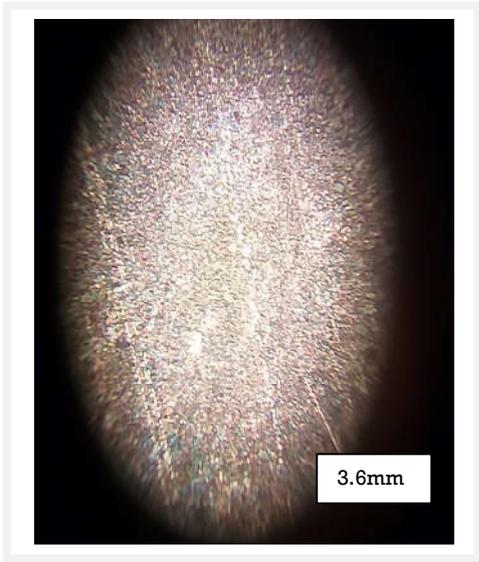


Figure (III.1). La variation de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion à milieu 1 Na_2SO_4 0.05 M sans et avec inhibiteur

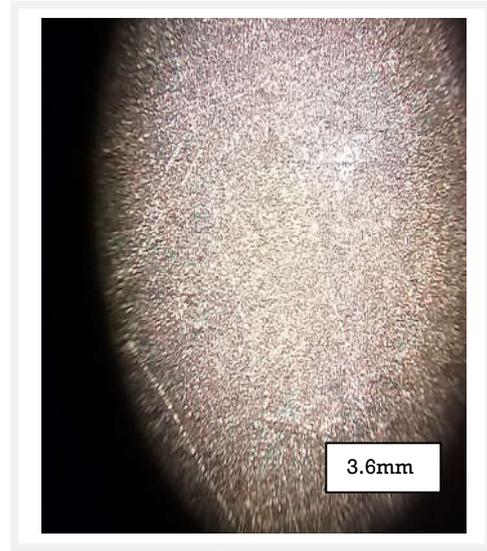
Nous remarquons que, la vitesse de corrosion est au top après 7 jours d'immersion puis il a enregistré une diminution notable en 21 jours pour le milieu Na_2SO_4 0.05M avec inhibiteur, pendant que constate une diminution de la valeur de la vitesse de corrosion par rapport à sa valeur en présence de l'inhibiteur.

la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion elle diminue pour 7 jour d'immersion

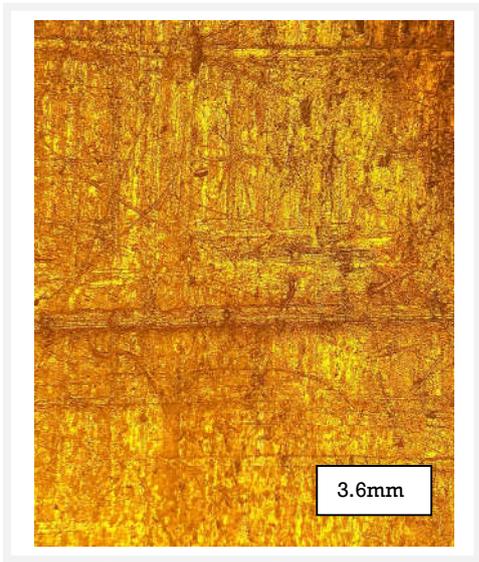
b.Observation de la surface de l'acier doux par microscope optique :



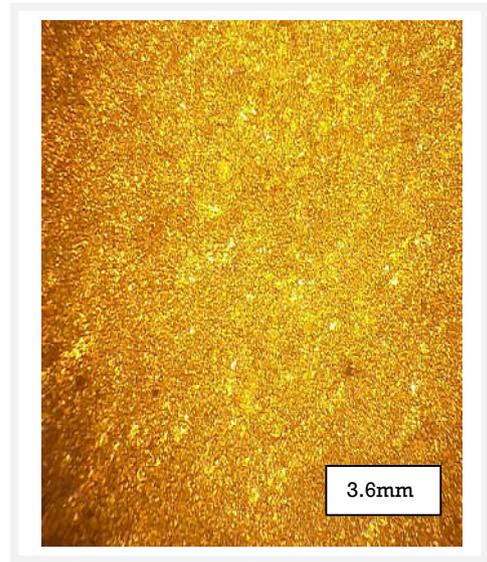
Sans inh (7 j)



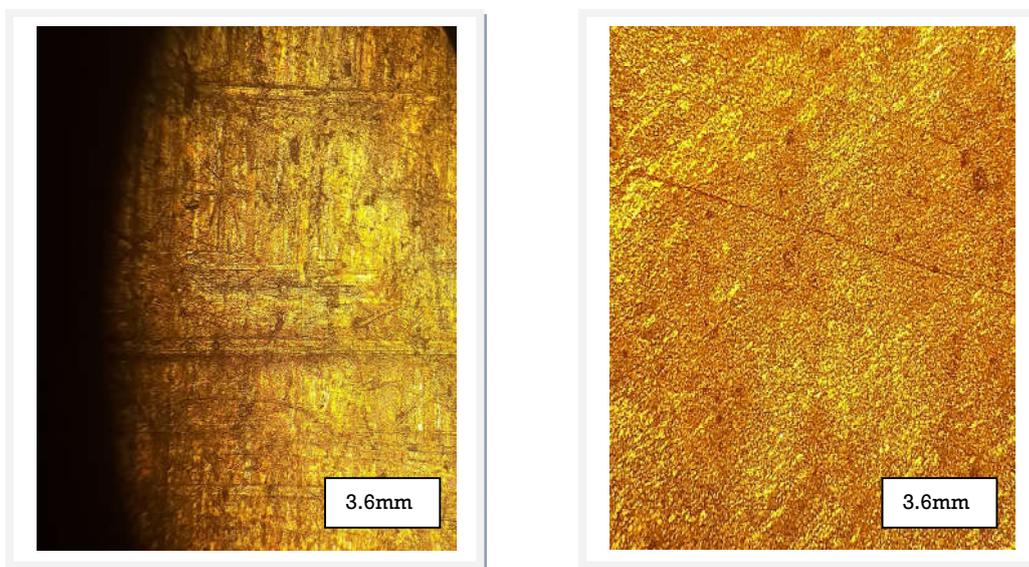
avec inh (7 j)



sans inh (14 j)



avec inh (14 j)



Sans inh (21j)

avec inh (21j)

Figure(III.2) :Morphologie de la surface de l'acier doux immergée dans milieu 1 Na_2SO_4 0.05M en fonction de temps d'immersion

La **Figure(III.2)** représente l'état de surface de l'acier doux en présence et en absence l'inhibiteur.

La figure (III.2) montre clairement que l'acier subit une corrosion sur la surface après 7 jours d'immersion pour à milieu 1 Na_2SO_4 0.05M en absence d'inhibiteur, nous observons l'apparition de piqûres de différentes tailles et des zones grises correspondant aux pellicules d'oxyde de fer. Par contre, en présence d'inhibiteur nous constatons l'absence des piqûres à la surface de l'échantillon; ce qui indique que la surface est couverte par un film protecteur.

III-2.2.Etude du comportement de l'acier doux en milieu 2 (0.05M Na_2SO_4 + 0.5 %Réglisse)

a. Méthode de la masse perdue :

Les résultats obtenus à partir de la deuxième solution constituée de Na_2SO_4 0.05M sans et avec addition de l'inhibiteur La concentration d'inhibiteur à 0.5 grammes réglisse et 2.84 g de chlore de sodium dans un litre d'eau distillée.

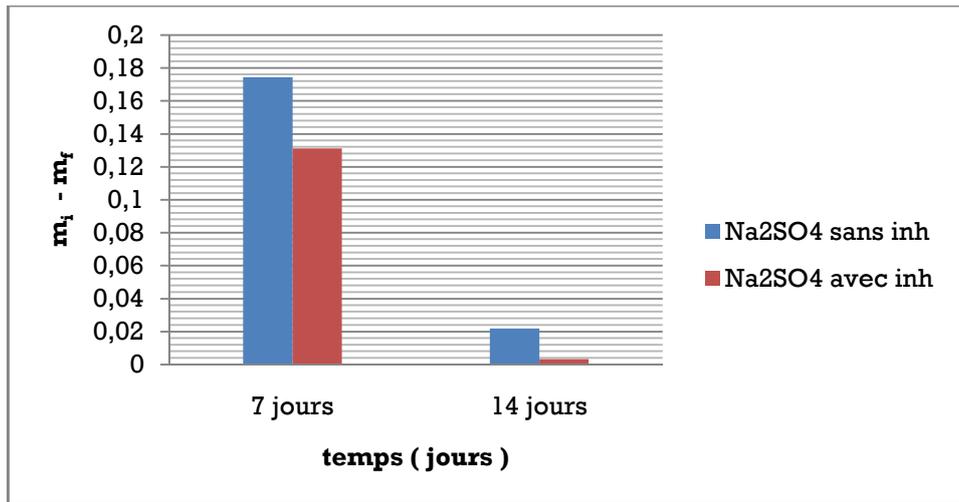
Ils sont résumés dans le tableau III.2.

Remarque : La partie nue est recouverte d'une couche de vernis a été remplacer par un nouveau matériau appelé Resine epoxyde (matière durcissable contenant une résine époxyde et un durcisseur) car il est facile de l'application.

Tableau (III.2). Les résultats de la masse perdue et la Vitesse de corrosion milieu 2 $0,05\text{M Na}_2\text{SO}_4$ sans et avec addition de l'inhibiteur.

Solutions	t(j)	S(cm^2)	m_i	m_f	Δm	$V_{\text{corr}}(\text{mg}/\text{cm}^2.\text{j})$	Taux de corrosion ($\text{g}/\text{cm}^2.\text{an}$)	EI%
$\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{sans})$	7	5.29	85.5512	85.3767	0.1745	0.00235	0.8577	-
$\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{avec})$	7	5.29	88.0104	87.8792	0.1312	0.00124	0.4526	47.23
$\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{sans})$	14	17.4	68.4600	68.4392	0.0219	0.00017	0.06533	-
$\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{avec})$	14	17.4	68.4600	53.1257	0.0032	0.00002	0.00949	88.23

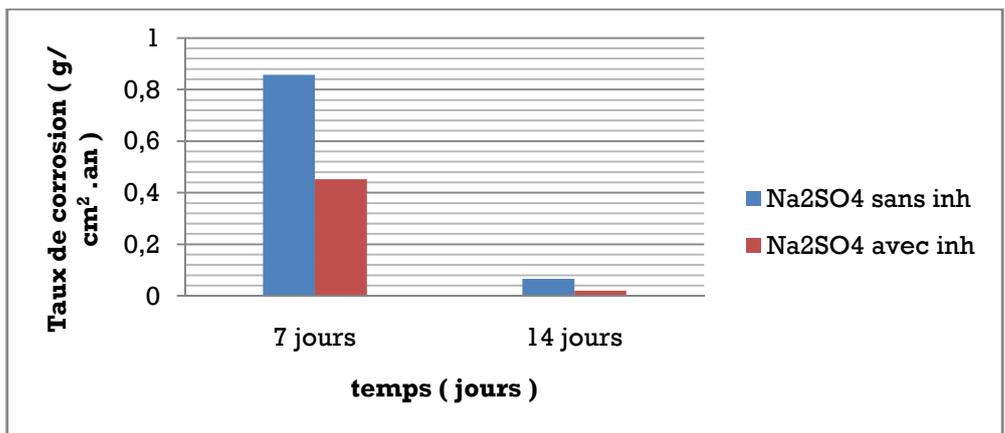
Histogramme (III.3) : La variation de la perte de masse en fonction de temps d'immersion à milieu 2 Na_2SO_4 0.05 M sans et avec inhibiteur



D'après les résultats présentés dans le tableau III.1, on peut conclure qu'il y a une augmentation importante de la masse perdue en fonction du temps au 7 jours d'immersion pour un milieu 0.05M Na₂SO₄ sans et avec inhibiteur, puis on constate une diminution de la masse perdue au 14 jours d'immersion

Nous remarquons que la perte de masse de l'acier diminue en présence de l'inhibiteur pour les différentes périodes d'immersion.

Histogramme (III.4) : La variation de Taux de corrosion en fonction de temps d'immersion à milieu 2 Na₂SO₄ 0.05 M sans et avec inhibiteur



On note qu'il y a une différence de Taux de corrosion entre un milieu Na₂SO₄ 0.05 M avec et sans de l'inhibiteur, où l'on remarque une légère augmentation de Taux de corrosion en l'absence d'inhibiteur puis qu'elle diminue avec inhibiteur pour les différentes périodes d'immersion.

A partir du 14 jour d'immersion, nous avons enregistré une diminution significative de Taus de corrosion en présence de l'inhibiteur.

Et nous concluons que les résultats sont satisfaisants .

La variation de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion à milieu 2 Na_2SO_4 0.05 M sans et avec inhibiteur est reportée sur **la figure (III.3)**.

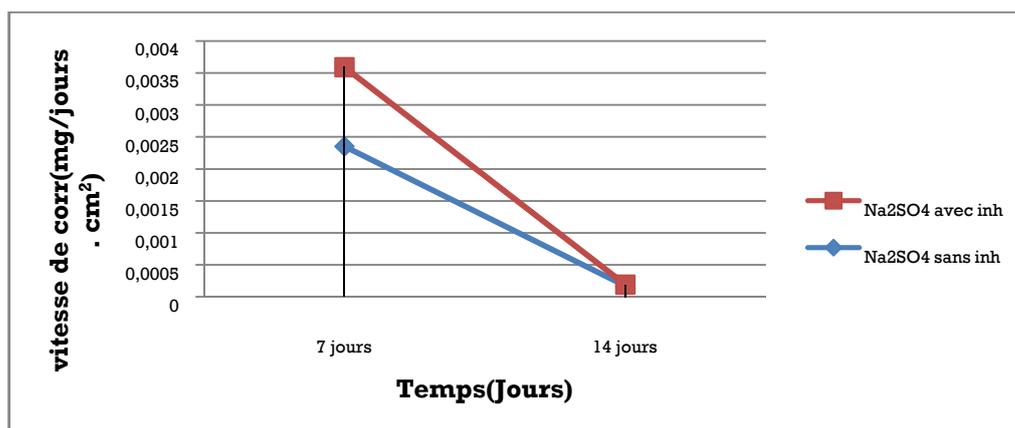


Figure (III.3). La variation de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion à milieux Na_2SO_4 0.05 M sans et avec inhibiteur

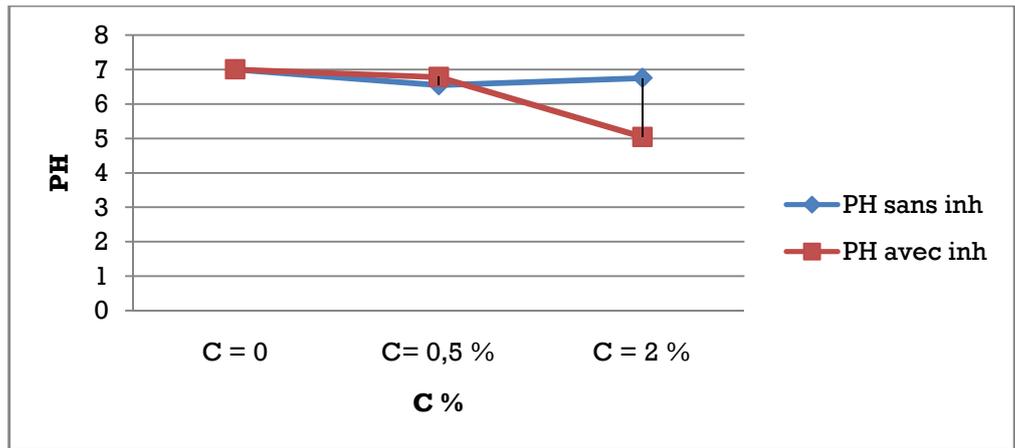
Nous remarquons que, la vitesse de corrosion est maximale après un 7 jours d'immersion puis

On note diminution notable de la valeur de la vitesse de corrosion en 14 jours d'immersion pour le milieu Na_2SO_4 0.05M avec inhibiteur ($0.00002 \text{ mg} / \text{cm}^2 \cdot \text{j}$) et sans inhibiteur ($0.00017 \text{ mg} / \text{cm}^2 \cdot \text{j}$),

L'augmentation des temps d'immersion, produit une diminution dans la vitesse de corrosion de la solution contenant des l'inhibiteur.

b. Effet de la concentration de l'inhibiteur sur le PH du milieu 0.05 M Na_2SO_4

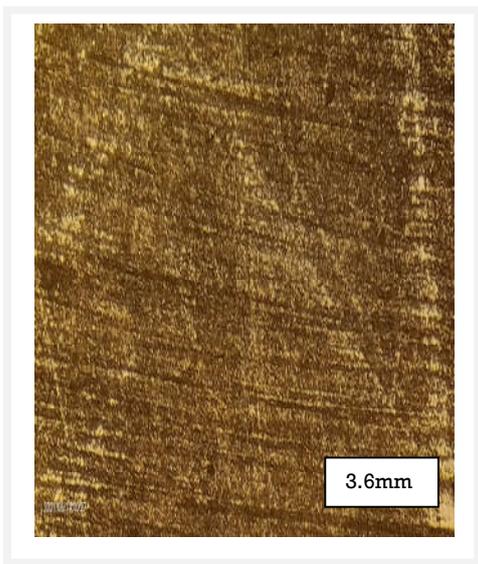
La Figure III.4. Représente le effet du PH en fonction de la concentration de l'inhibiteur en l'absence et la présence de l'inhibiteur à (2% et 0.5%) l'extrait de Réglisse dans le Na_2SO_4 0,05M



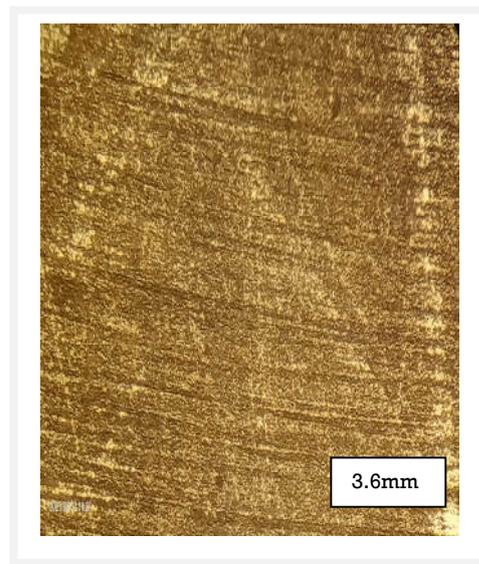
La Figure(III.4).Effet du PH en fonction de la concentration de l'inhibiteur en l'absence et la présence de l'inhibiteur à T = 24°C.

D'après cette figure nous remarquons que en comparant deux concentrations en fonction PH Lorsque l'inhibiteur est absent dans le milieu corrosif, le PH diminue, et donc l'efficacité de corrosion augmente, et contraire ça .Lorsque l'inhibiteur est présent, le PH est augmente, ce qui entraîne une diminution de l' efficacité de corrosion.

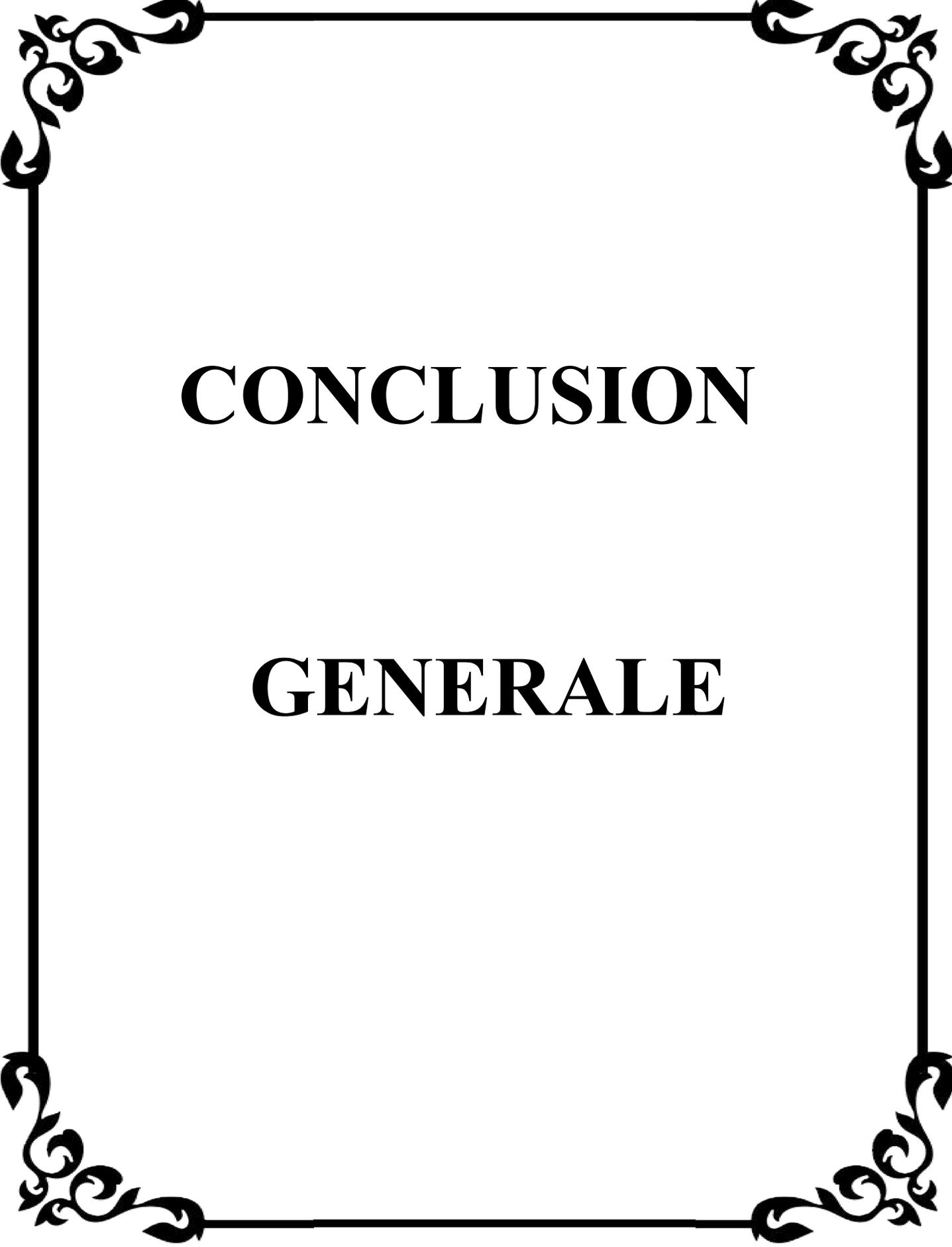
c.Observation de la surface de l'acier doux par microscope optique (MO) :



Sans inh (7 j)



avec inh (7j)



CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

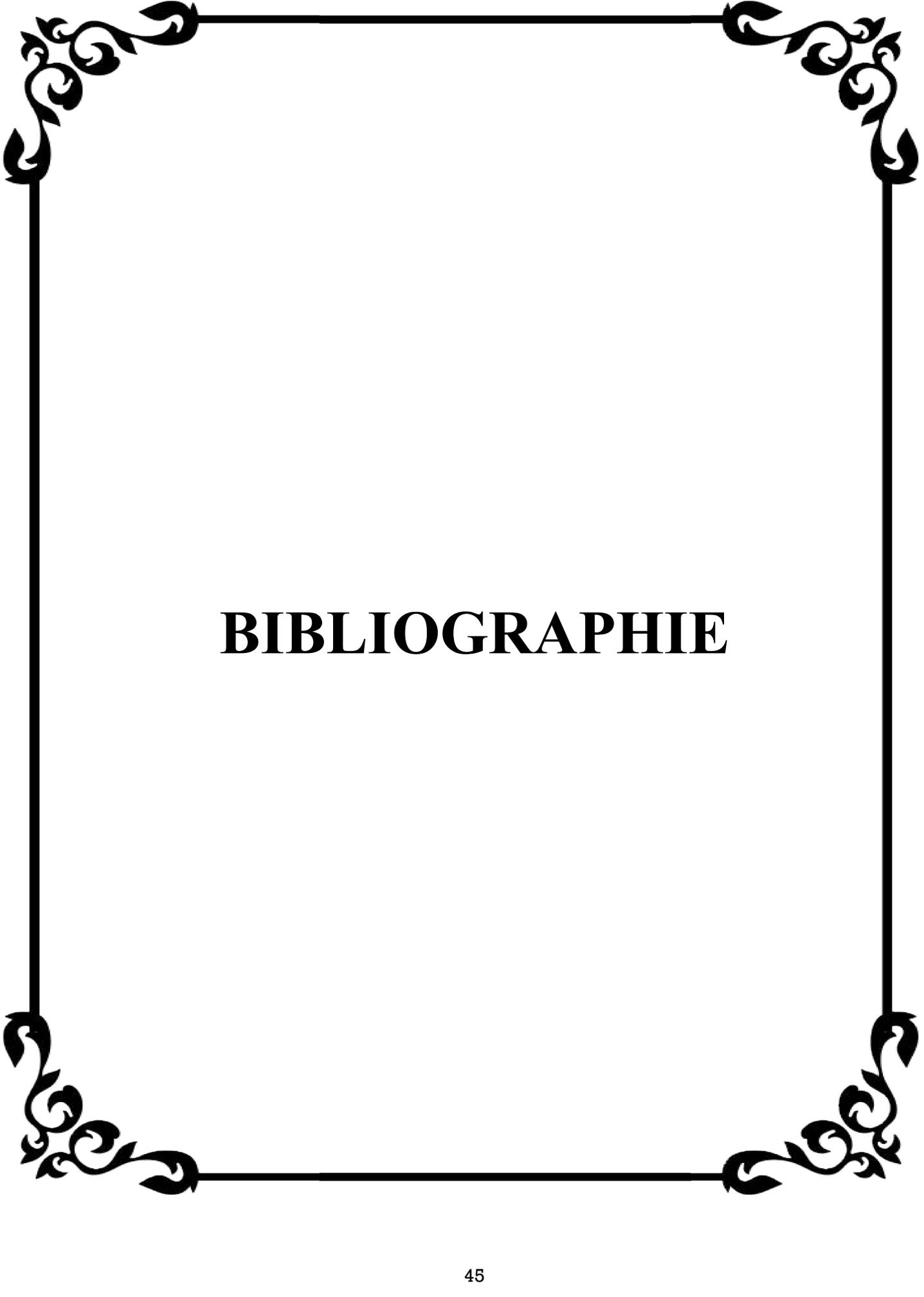
L'étude menée dans ce travail a porté sur l'inhibition de la corrosion d'un acier doux **XC 42** par composé organique l'extraits de Réglisse dans un milieu corrosif **Na₂SO₄ 0.05M** pour deux concentration (2 % et 0.5 % de Réglisse).

Pour réaliser cette étude nous avons procédé d'abord à l'extraction de l'extrait de Réglisse par la méthode hydro distillation , ensuite, on utilisé la méthode de la perte de masse , en changeant la concentration , le temps d'immersion, et par l'étude structurale et le traitement de surface par microscope optique (MO) .

L'inhibiteur la Réglisse qui est une plante , a été choisie pour les raisons suivantes : le vertu médicinale , non toxique, pas chère, naturel et écologique ,disponible, facile à préparer en laboratoire.

Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit:

- Les échantillons correspondant au milieu avec 0.2 % Réglisse présentent un taux de corrosion très élevé par rapport aux échantillons sans la Réglisse et qui sont des résultats insatisfaisants et ne montre aucune inhibition.
- Diminution de la vitesse de corrosion dans la solution corrosive correspondant à 0.05 % de Réglisse qui s'incline vers la stabilité quand le temps d'immersion se prolonge par rapport à la solution sans inhibiteur . Ce qui peut s'expliquer par la croissance d'une couche continue et protectrice d'inhibiteur organique sur le métal.
- L'efficacité inhibitrice augmente avec la diminution de la concentration .
- Le taux d'efficacité inhibitrice calculé pour le milieu **0.05 M Na₂SO₄** et une concentration **0.5 %** de est de **88.23 %** ce qui présente un résultat très intéressant est prometteur pour les propriétés inhibitrices .
- Cette étude nous à permis de reconnaître l'inhibiteur (Réglisse) comme inhibiteur organique et non toxique ; il possède et usage non dangereux, disponible et peu coûteux pour une concentration bien définie soit 0.05M .



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Boulkroune, (2014), Inhibition de la corrosion de zinc en milieu acide, Algérie, Thèse de doctorat, Université de Constantine 1.
- [2] Marmi Hayat, Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers pas utilisation des inhibiteurs, these de doctorat, Univ, Biskra, (2017).
- [3] Wahiba. Herzallah, Préparation et Caractérisation de Dépôts Composites Electrodéposé en Présence d'inhibiteurs Organiques, Mémoire de magistère, Université Mohamed Khider Biskra, 2006.
- [4] Marmi Saida, Effets des inclusions sur la corrosion des aciers au carbone, Mémoire de magistère, Université Mohamed Khider Biskra, 2003.
- [5] Hamza Bentrach , Corrosion des ouvrages pétroliers : Utilisation de la gomme arabique comme inhibiteur environnemental pour l'acier API 5L X42 ,Thèse de doctorat , Université Mohamed Khider Biskra, 2015.
- [6] Belloufi Abderrahim , Comportement à la corrosion d'un acier doux, dans un milieu à différents pH, en Présence de $ZnCl_2$, Mémoire de magistère, Université Hadj Lakhdar de Batna, 08 Décembre 2010.
- [7] Ben mansour Narimane, Influence des inhibiteurs sur la corrosion de cuivre dans différents milieux, Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2014-2015
- [8] C.Fiaud, « Inhibiteur de corrosion », Université Pierre & Marie curie, ENSC, Paris. Techniques de l'ingénieur, Traité Matériaux métalliques, vol. M 1005, pp 2- 14
- [9] L. Dong, L. Yuanhua, D. Yigang, Z. Dezhi, (2011), Anti-corrosion Methods and Materials, 58,205p

- [10] R. Mehibil(2008). Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium. Université de Skikda.
- [11] D. Nadir ; R. Rabah(2004). Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion,.
- [12]. K. Rouibah(2003). Contribution à l'étude du comportement électrochimique du couple galvanique acier au carbone/anodes de zinc dans l'eau de mer naturelle",.
- [13] S. Bensaada. Effet des inhibiteurs de corrosion $ZnCl_2$, Na_2MoO_4 et $ZnCl_2+Na_2MoO_4$ sur le comportement de l'acier pour armature a beton en milieu oxydant $NaCl$
- [14] O.Alloui (2006). L'effet inhibitrice de méthoxy méthyl triphenyl phosphonium chloride contre la corrosion dans un milieu H_2SO_4 0.5M. Université kasdi merbah ouargla.
- [15] Abdelali FIALA , Synthèses et caractérisations de nouvelles molécules contenant au soufre et de l'azote ,études de leur effet inhibiteur sur la corrosion des métaux de transition application a la protection du cuivre en milieux acides, Thèse de doctorat d'état en chimie , Université Mentouri Constantine , 25 /12 / 2007
- [[16] C.Fiaud, « Inhibiteur de corrosion », Université Pierre & Marie curie, ENSC, Paris. Techniques de l'ingénieur, Traité Matériaux métalliques, vol. M 1005, pp 2- 14
- [20] N.Bouamama , S.Madene(2015). Elaboration d'un revêtement à base d'oxyde de cérium destiné à la protection de la corrosion de l'acier en milieu marin. Université Abderrahmane MIRA Bejaia.
- [21] K.Dob (2018). Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux. Université 20 Août 1955 Skikda.

- [22] B. Grosgeat, P.Colon, La Corrosion ; Support de cours (version PDF), Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, 2009-2010
- [23] Magaly Henriquez Gonzalez, 2011, thèse de doctorat : Etude d'un traitement multifonctionnel vert pour la protection contre la corrosion de l'acier au carbone API 5L-X65 en milieu CO₂ » l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
- [24] C. Fiaud, C.Lemaitre, N.Pebere, (2002), Inhibiteurs de corrosion, In : G. Beranger, H. Mazille, Corrosion et anticorrosion (pratique industrielle), Mécanique et ingénierie des Matériaux, Lavoisier, Paris, Hermès Science Publications, pp.245-266.
- [25] B.Normand, N.Pébère, C. Richard, M. Wery, (2004), Prévention et lutte contre la corrosion, Romand 696p.
- [26] N.Saigaà(2016). Étude physicochimique de l'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone en milieu acide sulfurique. Université Larbi Tébéssi Tébéssa.
- [27] C. Ogretir, G. Bereket, J.Mol. (1999), Struct. (THEOCHEM), 488,223p.
- [28] A. Frignani, M. Tasinari, (1990), Proc 7th Eur. Symp. Corr. Inh. Ferrara p. 895
- [29] Kroschwitz, J.I., *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. 5th ed. Hoboken, N.J. : John Wiley & Sons. (2004-). [[RT-423004](#)]
- [30] D.C.Zocher, Mater. Perform. , 15, 33(1976).
- [31] American Petroleum Institute, (2004), « API Specification 5L » 42nd ed, Washington, D.C, 2004

NOMENCLATURE

v : la vitesse de corrosion (mm/an)

M : la perte de masse après le temps d'exposée de l'échantillon (mg)

K : une constante= 87,6

S : Surface soumise au test en (cm^2)

t : temps de l'expérience en (jour)

mm an⁻¹ : Millimètre par an

mg : milligrammes

cm² : centimètre carré

h : heures

j : jours

V : la vitesse de réaction ($\text{mol}/\text{m}^2.\text{S}$).

n : valence du métal (son nombre d'oxydation).

i : la densité de courant de transfert de charge(A/m^2).

F : la constante de faraday (96500 C.mol⁻¹)

I_{corr} : Vitesse de corrosion (A)

R : Constante universelle des gaz parfaits.

T : Température absolue .

EI: l'efficacité d'un inhibiteur

g : gramme

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

R_p : Résistance de polarisation

C : Concentration de l'inhibiteur

M : Mole par litre

T : Température (kelvin)

E : Le potentiel électrode/solution

E_{corr} : Potentiel de corrosion

Δm : différence de masse en (g)

M : masse moléculaire en (g / mol)

A : Facteur pré exponentiel

E_a : Energie d'activation

Corr : corrosion

Inh : inhibiteur

an :année

$\text{cm}^2 \text{an}^{-1}$: Centimètre carré par an.

NaSO₄ (sans) :sulfate de sodium sans inhibiteur

NaSO₄ (avec) : sulfate de sodium avec inhibiteur

T : Taux de corrosion d'un échantillon en ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{an}$)

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1: la corrosion uniforme	05
Figure I.2 : Corrosion galvanique	06
Figure I.3 : corrosion par piqûre	07
Figure I.4 : Corrosion par crevasse	07
Figure I.5 : Variation de la vitesse de corrosion de l'acier en milieu aqueux en fonction du pH	10
Figure I.6 : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel	12
Figure I.7 : Métal au contact d'un milieu agressif	13
Figure I.8 : Propriétés des inhibiteurs	15
Figure I.9 : Classement des inhibiteurs de corrosion.....	15

Chapitre II

Figure II.1 : L'échantion de l'acier	22
Figure II.2: polisseuse a papiers abrasives	23
Figure II.3: sulfate de sodium	25
Figure II.4 : Réglisse en poudre	25
Figure II.5 : extraction par hydro distillation	26
Figure II.6 : Dispositif expérimental de la technique de la masse perdue	27

Figure II.7 :Dispositif expérimental de la technique de la masse perdue29

Figure II.8: Microscope optique29

Chapitre III

Figure III.1.La variation de la vitesse de corrosion en fonction du temps d’immersion à milieu 1 Na_2SO_4 0.05 M sans et avec inhibiteur35

Figure III.2.Morphologie de la surface de l’acier doux immergée dans milieu 1 Na_2SO_4 0.05M en fonction de temps d’immersion.....36

Figure III.3. La variation de la vitesse de corrosion en fonction du temps d’immersion à milieux Na_2SO_4 0.05 M sans et avec inhibiteur.....39

Figure III.4. Effet du PH en fonction de la concentration de l’inhibiteur en l’absence et la présence de l’inhibiteur à $T = 24^\circ\text{C}$39

Figure III.5.Morphologie de la surface de l’acier doux immergée dans milieu 2 Na_2SO_4 0.05M en fonction de temps d’immersion..... 42

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableaux I.1 : Facteur de corrosion.....08

Chapitre II

Tableau II.1 : Composition chimique de l’acier doux étudié en(%)21

Tableau II.2 : Caractéristiques mécanique de l'acier XC 42.....21

Tableau II.3 : L'ensemble des résultats de la masse initiale.....23
d'échantillons.

Tableau II.4: L'ensemble des résultats de la surface23

Chapitre III

Tableau III.1 : Les résultats de la masse perdue et la Vitesse de corrosion et efficacité inhibitrice de la corrosion de l'acier en milieu 1 **0,05M Na₂SO₄** sans et avec addition de l'inhibiteur.....33

Tableau III.2 : Les résultats de la masse perdue et la Vitesse de corrosion milieu 2 **0,05M Na₂SO₄** sans et avec addition de l'inhibiteur.....37

LISTE D'HISTOGRAMME

Chapitre III

Histogramme III.1: La variation de la perte de masse en fonction de temps d'immersion à milieu 1 Na₂SO₄ 0.05 M sans et avec inhibiteur.....33

Histogramme III.2: La variation de Taux de corrosion en fonction de temps d'immersion à milieu 1 Na₂SO₄ 0.05 M sans et avec inhibiteur.....34

Histogramme III.3: La variation de la perte de masse en fonction de temps d'immersion à milieu 2 Na₂SO₄ 0.05 M sans et avec inhibiteur.....37

Histogramme III.4: La variation de Taux de corrosion en fonction de temps d'immersion à milieu 2 Na₂SO₄ 0.05 M sans et avec inhibiteur.....38

Résumé :

La possibilité d'utiliser des inhibiteurs de corrosion organique est une nouvelle alternative en ce moment par rapport à d'autres méthodes de protection.

Ce travail a consisté à l'étude de l'efficacité d'un inhibiteur organique la Réglisse sur l'acier doux XC42, dans une solution 0.5M Na₂SO₄.

Cette étude a été réalisée en appliquant la méthode de la masse perdue à différentes périodes de temps, enfin les analyses de surface sont effectuées par le microscope optique(MO).

Les résultats obtenus, montrent que l'efficacité de l'inhibiteur n'est pas liée au temps, mais à la nature de l'inhibiteur et à sa concentration d'où, on a constaté que l'efficacité inhibitrice de la Réglisse augmente avec la diminution de sa concentration et atteint 88.23% pour 0.5 % de Réglisse qui est un résultat très intéressant et prometteur pour l'amélioration de la tenue à la corrosion de l'acier XC42

Mots clés : Corrosion - acier doux - inhibiteur organique - extrait de réglisse.

ملخص :

أصبح اهتمام باستخدام المثبطات التآكل العضوية بديل جديد في الوقت الحالي مقارنة بالطرق الأخرى .

يلخص هذا العمل في دراسة فعالية المثبط العضوي عرق السوس على تآكل الفولاذ اللين XC42 في وسط Na_2SO_4 0.05

M و هذا في غياب و وجود المثبط , و ذلك بتطبيق تقنية الكتلة الضائعة في فترات زمنية مختلفة و عند درجة حرارة الغرفة

بعد ذلك يتم ملاحظة سطح الفولاذ بواسطة المجهر الضوئي (MO)

بينت النتائج المتحصل عليها أن فعالية المثبط لا تتعلق بالوقت و إنما بطبيعة المثبط و تركيزه , حيث وجد أن فعالية التثبيط

لعرق السوس تزداد بتناقص تركيز المثبط ليصل إلى 88.23 % من اجل 0.5 % من عرق السوس وهي نتيجة مثيرة

للاهتمام و واعدة لتحسين مقاومة التآكل الفولاذ XC42

كلمات المفتاحية: التآكل , الفولاذ اللين , المثبط العضوي , عرق السوس

Abstract :

The possibility of using organic corrosion inhibitors is a new alternative at this time compared to other methods of protection.

This work consisted in the study of the effectiveness of an organic inhibitor, Licorice, on mild steel XC42, in a 0.5M Na₂SO₄ solution.

This study was carried out by applying the method of the lost mass at different periods of time, finally the surface analyzes are carried out by the optical microscope) MO).

The results obtained show that the effectiveness of the inhibitor is not related to time, but to the nature of the inhibitor and to its concentration, from which it was found that the inhibitory effectiveness of Licorice increases with increasing frequency. the decrease in its concentration and reached 88.23% for 0.5% of Liquorices which is a very interesting and promising result for improving the corrosion resistance of XC42 steel

Key words : Corrosion - mild steel - organic inhibitor - licorice extract.

