

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences appliquées

Département de Génie des Procédés



Mémoire

PRESENTE DANS LE CADRE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE

MASTER ACADEMIQUE

Domaine Sciences et Technique

Filière Génie des Procédés

Spécialité Génie Chimique

Présenté Par :

- M^{elle} : GANA HADJAR

- M^{elle} : TABADIT HAFIDA

Thème

**Adsorption des inhibiteurs à base
d'amine (1,2- diaminophenyl) et
(1,4 -diaminophenyl) Sur une surface au carbone**

Soutenue publiquement le : 26 /06/2018

Devant le jury composé de :

Mr.	A.A. BEBBA	Professeur	Président	UKM Ouargla
Mr.	H.SIBOUKKER	MC(A)	Examineur	UKM Ouargla
M ^{me} .	Z. GHIABA	MC(A)	Rapporteur	UKM Ouargla
Mr.	A.TABCHOUCHE	MA(A)	Co-Encadreur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2017 /2018

Dédicaces

*Merci Allah "mon dieu" de m'avoir donné la capacité d'écrire
et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller
Jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le
ciel et de dire " Ya Hay ya Kayoum "*

*Je dédie ce travail à l'esprit de mon cher père Allah
Yerhamo Je souhaite de tout mon cœur si elle était avec moi
aujourd'hui*

*A ma mère, qui a été mon ombre durant toutes les années des
études « Que dieu le garde et le protège »*

*A mes chère et adorable sœurs: Soumia, Dalal et Douâa, je te
souhaite une vie pleine de bonheur et de succès.*

A mes frères: Tarek et Anes.

*A mon binôme: Hadjar et les beaux moments et les beaux
Souvenirs qui on a partagé.*

*A toutes mes amies sans exception et surtout les étudiants de
M2 génie chimique.*

A tous ceux qui me sont chères.



T. Hafida

Dédicaces

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا

*Louange à Dieu qui nous a conduit sur le chemin de la science
et de la connaissance et nous a aidés à accomplir ce travail*

Je dédie ce travail à :

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur
tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes*

*A mes frères et sœurs Chacun seul propre nom
surtout Djamel*

A mes amies proches.

*A tous mes enseignants qui m'ont aidé et orienté durant mes
années d'études*

*A tous mes collègues surtout mes camarades de la promotion
2017 /2018 dans centre universitaire de ouargla*

A mon binôme: bon coeur Hafida

A tous famille Gana et Basaci



G. HADJAR

Remerciements

Je remercie tout d'abord ALLAH qui nous a donné la volonté et le courage de faire ce travail, en espérant qu'il sera utile de porter quelque chose à la science.

Je remercie mon encadreur Madame Ghiaba Zineb, Prof à l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour m'avoir suivi durant mon travail dans le cadre de ce mémoire, pour ses conseils précieux, et la compétence de son encadrement.

Je tiens à remercier beaucoup mon Co-encadreur chef de département Monsieur Dr Tabchouch Ahmad, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et de sa collaboration et de sa patience durant la période de l'encadrement..

*Je remercie également les membres de jury ; président et examinateurs qui ont bien voulu assister, examiner et juger
Ce travail.*

*Je tiens à remercier tous les enseignants d'option Génie Chimique qui étaient pour nous, un guide tout au long de notre vie universitaire
(2013-2018).*

Hafida & Hadjar.

Table des Matières	Page
Dédicace	I
Remerciement	III
Liste de tableaux	IV
Liste de figures	V
Liste des abréviations	VI
Introduction générale.....	01
Chapitre I : Rappels théoriques et étude bibliographique	
Généralité sur la corrosion	
I.1 Introduction.....	03
I. 2 .Définition de la corrosion	03
I.3. Type de corrosion.....	03
I.3.1. La corrosion chimique.....	03
I.3.2.La corrosion électrochimique.....	04
I.3. 3. La corrosion bactérienne.....	04
I.4. Environnements Corrosifs.....	04
I.5. Les Formes De Corrosion.....	05
I.6.Les Facteurs Qui Influencent La Corrosion.....	08
I.6.1. Facteurs lie au milieu.....	08
I.6.2. Facteur métallurgiques.....	09
Protection et lutte contre la corrosion	
II.1. Introduction.....	11
II.2. Historique.....	11
II.3.Définition d'inhibiteur.....	11
II.4 Propriétés d'inhibiteur.....	12

II.5. Utilisations industrielles courantes.....	12
II.6. Classification des inhibiteurs.....	12
II.6.1. Selon la formulation des produits.....	13
II.6.1.1. Inhibiteurs organiques.....	14
II.6.1.2. Inhibiteurs minéraux.....	14
II.6. 2. Classement selon le domaine d'application.....	14
II.6.3. Selon le mécanisme d'action électrochimique:.....	15
II.6.4. Selon leur mode d'action.....	17
II.6.4.1. Les inhibiteurs d'adsorption.....	17
II.6.4.2. Les inhibiteurs passivant.....	18
II.7. Influence de la concentration sur l'effet inhibiteur.....	18
II.7.1. Isothermes d'adsorption Langmuir.....	19
II.7. 2. Isothermes d'adsorption temkin.....	19
II.7. 2. Isothermes d'adsorption frumkin.....	20

Chapitre II: Méthodes d'étude et procédure Expérimentale

II.1. Introduction.....	21
II.2. Méthodes d'étude et Procédure expérimentales.....	21
II. 2.1 Méthode pondérale (méthode de perte de masse).....	21
II.3. Procédure et condition d'expérimentales.....	22
II.3.1. Produits chimiques utilisés.....	22
II.3.2 Préparation Des Solutions.....	24
II.3.3. Echantillons utilisés.....	25
II.3.4. Préparation de l'échantillon de l'acier.....	26
II.3. 5. Manipulation de la technique de la masse perdue.....	27

Chapitre III : Résultats et discussions

Table de matière

III.1.Méthode gravimétrique (méthode de la perte de poids).....	29
III.1.1.1.L'effet de temps d'immersion.....	29
III.1.1.2.Influence de la température.....	33
III.2. Action des inhibiteurs.....	36
III.2.1. (1, 2 -diaminophenyl).....	36
III.2.2. (1, 4 -diaminophenyl).....	40
III.3.Etude l'adsorption.....	45
Conclusion générale et recommandations.....	57
Références bibliographiques.....	59

Liste de figure

Figure N°	Titer	Page
FigureI-1	Mécanisme de la corrosion atmosphérique: exemple de la corrosion d'un collecteur d'échappement.	3
Figure I 2	Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne et corrosion dentaire.	4
Figure I-3	Influence de la température sur le taux de corrosion.	9
Figure I-4	Schéma de facteurs de la corrosion.	10
Figure I-5	Classement des inhibiteurs de corrosion.	13
FigureI-6	Schéma d'adsorption d'un inhibiteur organique sur une surface métallique: molécules amphiphiles: parties hydrophile et hydrophobe.	14
Figure I-7	Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide.	16
Figure I-8	Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion.	17
Figure.II.1	Dispositif pour l'étude gravimétrique.	21
Figure II-2	formule Chimique de 1,4-diaminoPhenyl	22
Figure II-3	formule chimique de 1,2-diaminoPhenyl .	22
Figure II-4	Les solution corrosives.	25
Figure II.5	les solutions inhibitrices à différent concentration	25
Figure II-6	Echantillon de l'acier (X70).	26
Figure II.7	polissage (préparation de surface).	26
Figure II-8	immersion d'échantillon dans la solution sans inhibiteur.	27
Figure II-9	mesure les démontions par le pied canalaire «maiesta».	28
FigureII-10	la balance de marque « RADWAG » de type (AS 220 R2)	28
Figure III-1	évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu acide HCl (1 M) en absence d'inhibiteur à $T=T_{\text{ambient}}$.	30
Figure III 2	évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu acide HNO ₃ (1 M) en absence d'inhibiteur à $T=T_{\text{ambient}}$.	30
Figure III 3	évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de	30

Liste de figure

	temps en milieu acide Sulfurique (0.5M) en absence d'inhibiteur à $T = T_{\text{ambient}}$..	
Figure III-4	évaluation la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HCl (1 M), en absence d'inhibiteur.	31
Figure III-5	évaluation la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HNO_3 (1M) en absence d'inhibiteur.	32
Figure III-6	évaluation la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H_2SO_4 (0,5M) en absence d'inhibiteur.	33
Figure III-7	Effet de la température sur vitesse de corrosion de l'acier en milieu HCl 1M, sans inhibiteur.	34
Figure III-8	Effet de la température sur vitesse de corrosion de l'acier en milieu HNO_3 1M, sans inhibiteur.	35
Figure III-9	Effet de la température sur vitesse de corrosion de l'acier en milieu H_2SO_4 0.5M, sans inhibiteur.	35
Figure III-10	Vitesse de corrosion en fonction de température de l'acier en milieu HCl (1M), HNO_3 (1M), H_2SO_4 (0.5M), sans inhibiteur, temps d'immersion 1heur.	36
Figure III-11	Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des inhibiteurs 1,2-diaminophenyl après 30min d'immersion en milieu acide HCl (1M) à $T = T_{\text{ambient}}$.	37
Figure III-12	Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs 1,2-Diaminophenyl après 30min d'immersion de l'acier en milieu HCl 1M à $T = T_{\text{ambient}}$.	38
Figure III-13	Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des Inhibiteurs 1,2-diaminophenyl 30min d'immersion. en milieu acide HNO_3 (1M) à $T = T_{\text{ambient}}$	39
Figure III-14	Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs 1,2-Diaminophenyl après 30min d'immersion de l'acier en milieu HNO_3 1M à $T = T_{\text{ambient}}$..	40
Figure III-15	Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des inhibiteurs 1,2-diaminophenyl après	41

Liste de figure

	30min d'immersion. en milieu acide H_2SO_4 (0.5M) à $T = T_{\text{ambient}}$.	
Figure III-16	Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs 1,2-Diaminophenyl à après 30min d'immersion.de l'acier en milieu H_2SO_4 0.5Mà $T= T_{\text{ambient}}$.	42
Figure III-17	Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs avec (1,2-diaminophenyl et 1,4-diaminophenyl) après 30min d'immersion de l'acier en milieu acide HCl (1M) à $T = T_{\text{ambient}}$.	43
Figure III-18	Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs avec (1,2-diaminophenyl et 1,4-diaminophenyl) après 30min d'immersion de l'acier en milieu HNO_3 1M à $T= T_{\text{ambient}}$.	43
Figure III-19	Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs avec (1,2-diaminophenyl et 1,4-diaminophenyl) après 30min d'immersion de l'acier en milieu H_2SO_4 (0.5M) à $T = T_{\text{ambient}}$	44
Figure III-20	Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur1,2 - diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu HCl (1M)à $T= T_{\text{ambient}}$..	46
Figure III-21	Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,2 - diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu HNO_3 (1M)à $T= T_{\text{ambient}}$..	47
Figure III-22	Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,2 - diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu H_2SO_4 (0.5M)à $T= T_{\text{ambient}}$.	48
Figure III-23	Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu HCl (1M)à $T= T_{\text{ambient}}$.	49
Figure III-24	Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu HNO_3 (1M) à $T= T_{\text{ambient}}$.	50

Liste de figure

Figure III-25	Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur l'acier XC70 après 30 min d'immersion en milieu H_2SO_4 (0.5M) à $T = T_{\text{ambient}}$..	51
Figure III-26	Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,2-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu HCl (1M) à $T = T_{\text{ambient}}$.	51
Figure III-27	Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,2-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu HNO_3 (1M) à $T = T_{\text{ambient}}$	51
Figure III-2 [^]	Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,2-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu H_2SO_4 (0.5M) à $T = T_{\text{ambient}}$.	52
Figure III-2 [^]	Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu HCl (1M) à $T = T_{\text{ambient}}$.	52
Figure III-3 [^]	Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu HNO_3 (1M) à $T = T_{\text{ambient}}$.	52
Figure III-3 [^]	Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu H_2SO_4 (0.5M) à $T = T_{\text{ambient}}$.	53

Liste de tableaux

N° Tableaux	Titer	Page
Tableau I-1	Les formes de corrosion.	05
Tableau I-2	Comparison liaison physique – liaison chimique.	18
Tableau II-1	Présenté les propriétés physique et chimique de (1, 2-diaminoPhenyl, 1, 4-diaminoPhenyl).	23
Tableau (II-2)	Les produits chimiques utilisés.	23
Tableau (II-3)	La composition chimique de l'acier (X70).	26
Tableau (III-1)	Les valeurs expérimentales de perte de masse d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide HCl (1M) , HNO ₃ (1 M), H ₂ SO ₄ (0.5M).	29
Tableau (III-2)	Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HCl (1 M), en absence d'inhibiteur.	31
Tableau (III-3)	Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HNO ₃ (1M) en absence d'inhibiteur.	32
Tableau (III-4)	Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H ₂ SO ₄ (0,5M) en absence d'inhibiteur	32
Tableau (III-5)	Vitesse de corrosion en fonction de température, de l'acier XC70 dans la solution HCl (1M), HNO ₃ (1M), H ₂ SO ₄ (0,5 M), sans inhibiteur.	34
Tableau (III-6)	Vitesse de corrosion en fonction de température, temps d'immersion 1heur ,de l'acier XC70 dans la solution HCl (1M), HNO ₃ (1M), H ₂ SO ₄ (0,5 M), sans inhibiteur .	35
Tableau III-7	les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1.2 -diaminophenyl en milieu HCl 1M à T= T _{ambient} .	37
Tableau III-8	les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1.2 -diaminophenyl en milieu HNO ₃ 1M à T= T _{ambient} .	38

Liste de tableaux

Tableau III-9	les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations de l'inhibiteur 1.2 -diaminophenyl en milieu H ₂ SO ₄ 0.5M à T= T _{ambient} .	39
Tableau (III-10)	les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1,4 diaminophenyl en milieu HCl 1M à T= T _{ambient} ..	40
Tableau (III-11)	les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1,4 -diaminophenyl en milieu HNO ₃ 1M à T= T _{ambient} .	41
Tableau (III-12)	les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1,4 -diaminophenyl en milieu H ₂ SO ₄ 0.5M à T= T _{ambient} .	42
Tableau (III-13)	Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.2-diaminophenyl en milieu HCl (1M) à T= T _{ambient} .	45
Tableau(III-14)	Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.2-diaminophenyl en milieu HNO ₃ (1M) à T= T _{ambient} .	46
Tableau(III-15)	:: Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.2-diaminophenyl en milieu H ₂ SO ₄ (0.5M) à T= T _{ambient} .	47
Tableau(III-16)	Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.4 -diaminophenyl en milieu HCl (1M) à T= T _{ambient} .	48
Tableau(III-17)	Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.4 -diaminophenyl en milieu HNO ₃ (1M) à T= T _{ambient} ..	49
Tableau(III-18)	Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.4 -diaminophenyl en milieu H ₂ SO ₄	50

Liste de tableaux

	(0.5M) à T= T _{ambiant} ..	
Tableau (III-19)	Variation de K et R ² avec (1.4 -diaminophenyl et 1.4 -diaminophenyl) en milieu HCl (1M), HNO ₃ (1M) et H ₂ SO ₄ (0.5M). Isotherme d'adsorption de Langmuir à T= T _{ambiant} .	53
Tableau (III-20)	Variation R ² avec (1.4 -diaminophenyl et 1.4 -diaminophenyl) en milieu HCl (1M), HNO ₃ (1M) et H ₂ SO ₄ (0.5M). Isotherme d'adsorption de Temkin à T= T _{ambiant} ..	54
Tableau (III-21)	avant et après 30 min √• la Forme de l'acier X d'immersion dans HCl 1M, HNO ₃ 1M et H ₂ SO ₄ 0.5M en absence des inhibiteurs à T= T _{ambiant} .	55
Tableau (III-22)	avant et après 30 min √• la Forme de l'acier X d'immersion dans HCl 1M, HNO ₃ 1M et H ₂ SO ₄ 0.5M en présence des inhibiteurs 1,2-diaminophenyl -1,4-diaminophenyl pour 100 ppm à T= T _{ambiant} .	56

Liste d'abréviation

C: Concentrations

C_{inh}: Concentration d'inhibiteur.

°C : Degré Celsius

Δm : la différence entre la masse initiale m_1 et la masse finale m_2 en (g)

d: Densité.

EI(%) : efficacité inhibitrice en %

g : Gramme

HCl : Acide chlorhydrique

HNO₃: Acide nitrite

H₂SO₄: Acide sulfurique

K : kelvin

L : Litre

M : Molaire

m : masse molaire

min : Minute

ml : millilitre

mm² : millimètre carré

P : Pureté.

ppm : partie par million

% : Pourcentage

S : surface totale de l'échantillon en (mm²),

t : temps en h

V₀ : vitesse de corrosion sans inhibiteur

V_{inh} : vitesse de corrosion avec inhibiteur

X70: Echantillon.

θ: taux de recouvrement.

Introduction

Introduction Générale :

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.

La corrosion résulte d'une action chimique ou électrochimique d'un environnement sur les métaux et les alliages [1].

En matière de protection, 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. Les plus fréquemment utilisés dans les milieux acides sont des molécules organiques, parce qu'ils sont plus stables que les molécules inorganiques [2].

La mise au point d'inhibiteurs de corrosion devient, de nos jours, un enjeu important. Les recherches actuelles s'orientent de plus en plus vers l'élaboration de molécules organiques non toxiques et stables à hautes températures.

Lorsque les phénomènes de corrosion sont plus complexes, donc nécessite l'utilisation d'un très grand nombre de méthodes expérimentales pour estimer le taux de corrosion et estimer l'action des inhibitrice de différentes inhibiteurs utilisés dans l'étude d'autre part.

Les résultats des tests de l'inhibition de la corrosion d'un acier X70, immergé dans une solution de HCl 1M, HNO₃ 1M, H₂SO₄ 0.5M en présence et en absence d'un inhibiteur 1,2-diaminophenyl-1,4-diaminophenyl, ont été obtenus par la méthode de perte de masse (gravimétrique).

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à étudier l'efficacité de deux composés amines: **1,2 - diaminophenyl** et **1,4 - diaminophenyl** sur le phénomène de corrosion de l'acier XC70 dans les trois milieux acides HCl 1M, HNO₃ 1M, H₂SO₄ 0.5M, évaluer l'action inhibitrice a l'aide la méthode perte de masse. Le travail sera présenté en trois chapitres :

Le premier chapitre, purement théorique, est consacré aux différentes connaissances relatives au phénomène de la corrosion, les différents types et formes. Un rappel des connaissances du processus de la protection contre la corrosion. Une description des différents types de la lutte, ainsi que la présentation des inhibiteurs comme des moyens efficaces pour la

lutte contre la corrosion. Ces approchées seront utilisées pour l'exploitation des résultats expérimentaux.

Le deuxième chapitre, nous intéressons à la préparation des échantillons (électrodes), par plusieurs méthodes, ainsi qu'une présentation de la méthode d'évaluation de la vitesse de corrosion.

Dans troisième chapitre, consacré à l'étude de l'activité inhibitrice de la corrosion de l'acier, en milieux acides, en présence des différentes concentrations de l'inhibiteur. Nous termine notre étude par une conclusion générale résume l'ensemble de cette étude et présente des recommandations utiles, pour la continuation de ce travail.

parti Bibliographique

Chapitre I

Rappels théoriques et étude bibliographique

Généralité sur la corrosion

I.1 Introduction:

L'importance considérable de la corrosion 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 [3]. Dans ce chapitre on peut présenter quelques notions principaux sur la corrosion, ces types, ces formes et les facteurs qui dues de cette problèmes.

I.2 Définition de la corrosion :

Le nom « corrosion » vient du latin « corroder » qui signifie ronger ou attaquer, 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[3], La corrosion est une réaction chimique ou électrochimique entre un matériau, généralement un métal, et son environnement qui entraine une dégradation du matériau et de ses propriétés [4].

I.3 Type de corrosion:

Le phénomène de la corrosion peut se développer suivant différents processus :

I.3.1. La corrosion chimique :

Il s'agit d'une réaction purement chimique entre la surface d'un matériau et un gaz ou un liquide non électrolyte. Par exemple, l'oxydation de l'acier ordinaire à haute température par l'oxygène de l'air est une corrosion chimique [5].

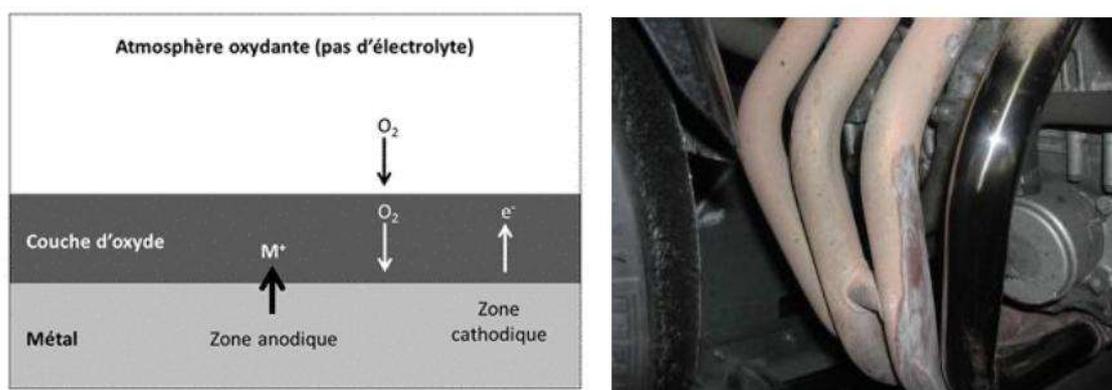


Figure I-1: Mécanisme de la corrosion atmosphérique : exemple de la corrosion d'un collecteur d'échappement.

I.3.2. La corrosion électrochimique :

C'est une réaction électrochimique entre la surface d'un matériau et un liquide électrolyte. Cette réaction est accompagnée de la formation de piles qui sont le siège de circulation de courant électrique. Ce type constitue 96% de cas de corrosion [5,6].

I.3.3. La corrosion bactérienne :

C'est l'attaque bactérienne des matériaux métalliques, en particulier dans les canalisations enterrées et les réservoirs. En effet, le métabolisme du développement de certaines bactéries provoque la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal [5].

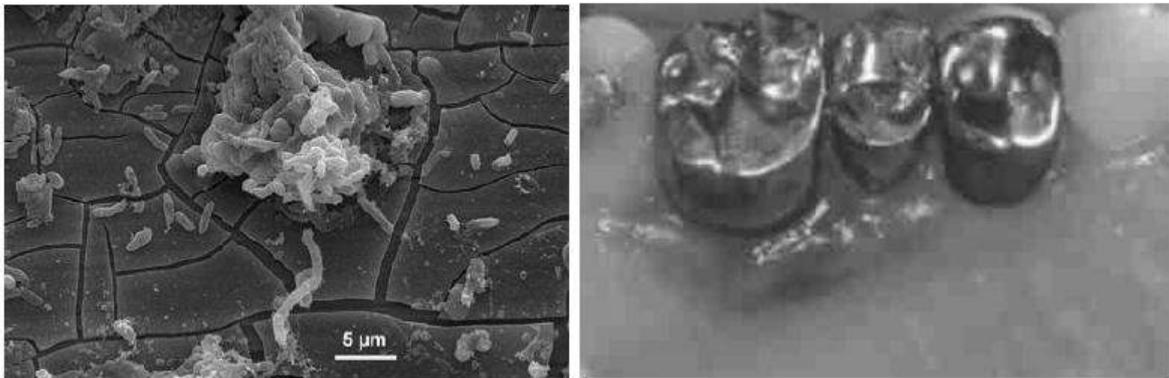


Figure I-2: Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne et corrosion dentaire.

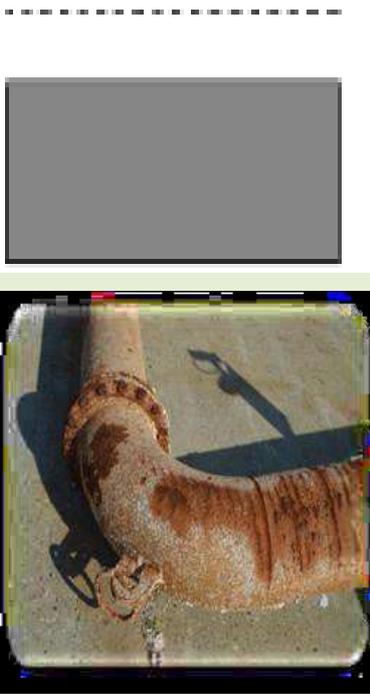
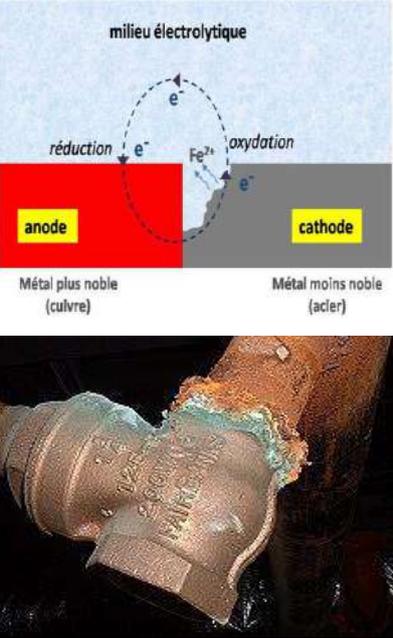
I.4 Environnements Corrosifs :

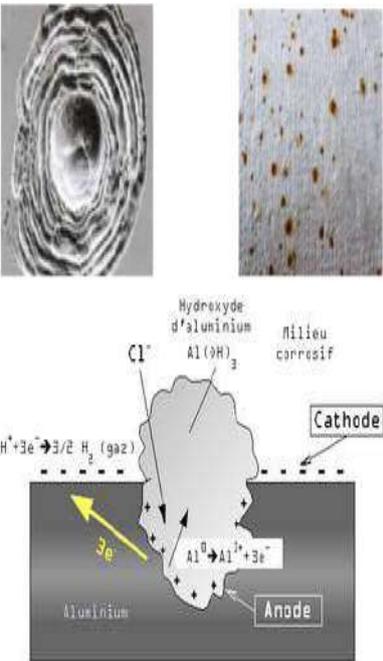
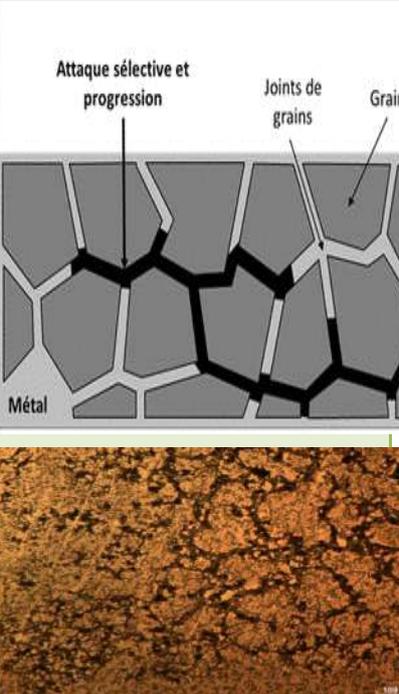
Les environnements corrosifs rencontrés dans les installations pétrolières sont principalement:

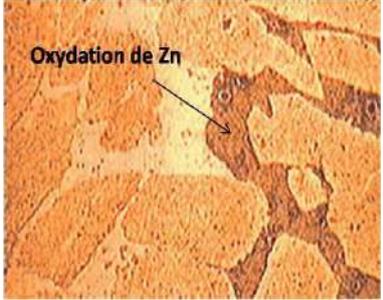
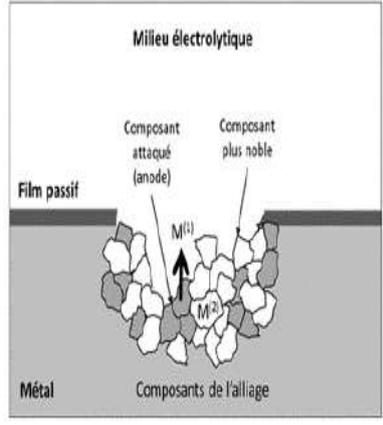
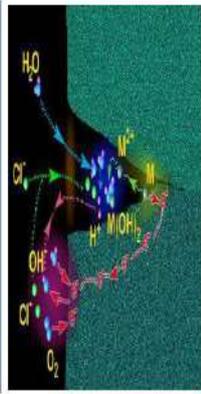
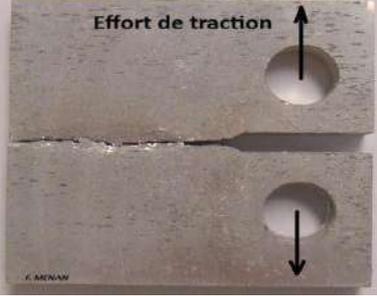
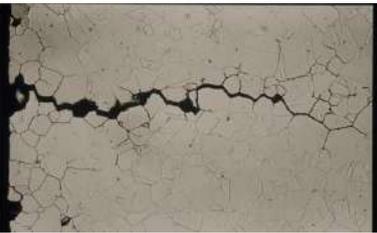
- Les gaz de combustion (SO_2 , SO_3 , CO , CO_2 , O_2 + sels de vanadium) à haute et basse température dans les fours et chaudières.
- Les acides naphthéniques et les acides poly thioniques.
- L'hydrogène et l' H_2S sec ou humide à haute et basse température.
- L'eau, l'air, l'humidité, les sols, les vapeurs qui se condensent.
- Les acides minéraux (HCl , H_2SO_4 , etc.) et les bases (NaOH , NH_4OH , etc....)
- L'eau de mer (NaCl) et l'eau recirculée (bactéries) [7].

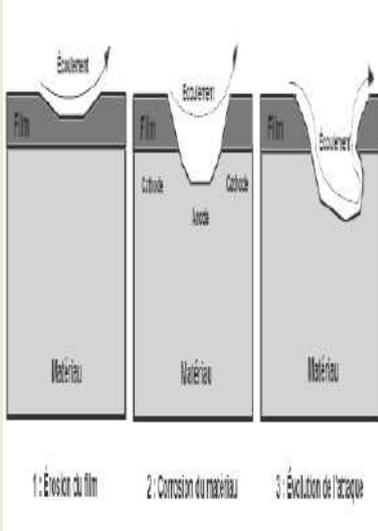
I.5. Les Formes De Corrosion :

Tableau I-1: les formes de corrosion.

Forme de corrosion	définition	Exemple
Corrosion uniforme ou généralisé	La corrosion uniforme est la conséquence de l'oxydation sous forme d'ions, de tous les atomes constitutifs de la surface du matériau qui sont attaqués sensiblement à la même vitesse par le milieu corrosif. Ceci se traduit, à l'échelle macroscopique, par une diminution régulière de l'épaisseur de métal, par opposition à la corrosion localisée.	 <p>Le diagramme supérieur illustre la corrosion uniforme par une ligne horizontale pointillée qui s'éloigne progressivement d'une surface grise, symbolisant une perte régulière de matière. En dessous, une photographie montre un coude métallique rouillé de manière homogène sur toute sa surface.</p>
Corrosion galvanique :	La corrosion galvanique ou bimétallique peut se définir simplement par l'effet résultant du contact de deux métaux ou alliages différents dans un environnement corrosif conducteur. Ce contact conduit à la formation d'une pile électrochimique entre les deux métaux ou alliage. Le métal le moins résistant, moins noble, se dégrade et sa dégradation s'intensifie avec le temps.	 <p>Le schéma illustre la corrosion galvanique dans un milieu électrolytique. À l'anode (à gauche, rouge), le métal plus noble (civre) subit une réduction. À la cathode (à droite, grise), le métal moins noble (acier) subit une oxydation, libérant des ions Fe^{2+} et des électrons e^-. Les électrons circulent de l'anode vers la cathode à l'extérieur du métal. En dessous, une photographie montre un joint métallique où la corrosion est localisée et intense à l'interface entre deux matériaux différents.</p>

<p>Corrosion par frottement :</p>	<p>La corrosion-frottement concerne les dommages provoqués par la corrosion au niveau du contact de deux surfaces métalliques en mouvement relatif l'une par rapport à l'autre.</p>	
<p>Corrosion par piqure</p>	<p>C'est une forme de corrosion qui se produit par certains anions, Cette forme de corrosion est particulièrement insidieuse, l'attaque se limite à des piqûres, très localisées et pouvant progresser très rapidement en profondeur, alors que le reste de la surface reste indemne. L'installation peut être perforée en quelques jours sans qu'une perte de poids appréciable de la structure apparaisse.</p>	
<p>Corrosion inter granulaire</p>	<p>C'est une attaque sélective aux joints de grains ou à leur voisinage immédiat, alors que le reste du matériau n'est pas attaqué. L'alliage se désagrège et perd toutes ses propriétés mécaniques.</p>	

<p>Corrosion et dissolution sélective :</p>	<p>C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.</p>	 <p>Oxydation de Zn</p>  <p>Milieu électrolytique</p> <p>Composant attaqué (anode)</p> <p>Composant plus noble</p> <p>Film passif</p> <p>M⁽⁺⁾</p> <p>M⁽²⁺⁾</p> <p>Métal</p> <p>Composants de l'alliage</p>
<p>La corrosion caverneuse (par crevasse)</p>	<p>Appelée aussi corrosion caverneuse, elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux zones d'une structure métallique. Il y a alors une attaque des parties métalliques les moins accessibles à l'oxygène.</p>	  <p>H₂O</p> <p>Cl⁻</p> <p>OH⁻</p> <p>H⁺</p> <p>M(OH)₂</p>
<p>Corrosion sous contrainte et fatigue-corrosion</p>	<p>C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique (force de traction) et d'une réaction électrochimique. La corrosion sous l'effet de la fatigue est due à l'application répétée des contraintes.</p>	 <p>Effort de traction</p> 

Corrosion érosion	La corrosion par érosion se produit dans un fluide en mouvement. Cette forme de corrosion est liée à la vitesse de passage du fluide, elle se caractérise par un amincissement local du métal qui prend la forme de rayures, de ravinements, d'ondulations, toujours orienté dans une redirection.	 <p>The diagram shows three stages of erosion-corrosion on a metal surface. Stage 1: 'Erosion du film' shows a protective film being removed by a fluid flow. Stage 2: 'Corrosion du matériau' shows the underlying metal being attacked by anodic and cathodic regions. Stage 3: 'Evolution de l'attaque' shows the formation of a deep, localized pit or groove. Labels include 'Ecoulement' (flow), 'Film', 'Cathode', 'Anode', and 'Matériau' (material).</p>
--------------------------	--	---

I.6. Les Facteurs Qui Influencent La Corrosion :

I.6.1. Facteurs lie au milieu :

A. Influence de l'oxygène :

L'oxygène joue un rôle important dans les mécanismes de corrosion du fer et des alliages de fer en milieu aërent. Dans l'eau de mer aérée, la concentration en oxygène dissous est très variable puisqu'elle dépend des facteurs physiques, chimiques et biologiques suivants : Échanges à l'interface air / océan, diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau, phénomènes de photo-oxydation, réactions d'oxydation chimique et la solubilité de l'oxygène décroît lorsque la température et la salinité augmentent, mais elle s'accroît avec la pression, La solubilité de l'oxygène est de $2,8 \cdot 10^{-4}$ mol/l à 20°C en eau pure alors qu'elle est réduite à $2,3 \cdot 10^{-4}$ mol/l à 20°C pour une salinité de 35. En général, la concentration en oxygène dissous est comprise entre 0 et $5 \cdot 10^{-3}$ mol/l

B. Influence du pH :

Le pH de la solution est un facteur susceptible d'affecter la stabilité du film passif, l'augmentation de l'acidité et donc la quantité de protons à tendance à déstabiliser le film passif. Un milieu très acide freine la déprotonisation à laquelle la formation du film passif conduit et peut même provoquer la dissolution d'un film déjà formé

C. Salinité :

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosion localisées, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité a une influence sur la conductivité du milieu aqueux [7].

D. Température :

Généralement, l'augmentation de la température accélère des phénomènes de corrosion car elle diminue des domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau. [8].

Dans un système ouvert, le taux de corrosion uniforme ou par piqûre d'un acier ou du fer augmente avec l'augmentation de la température jusqu'à 80°C. Aux températures élevées, le taux de corrosion diminue à cause de la réduction de l'oxygène dans l'eau [9].

D'autre part, dans un système fermé, où l'oxygène est emprisonné dans la solution, le taux de corrosion augmente avec l'augmentation de la température, (**Fig. I.3**) [9].

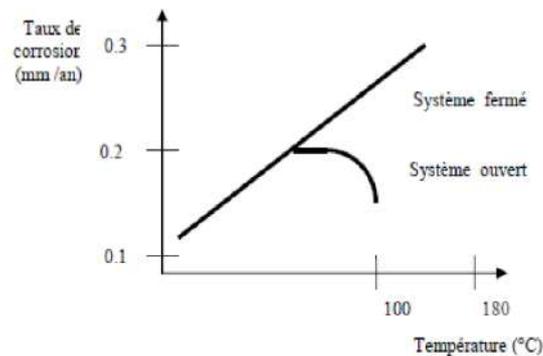


Figure I-3. Influence de la température sur le taux de corrosion [9].

I.6.2. Facteur métallurgiques :

Les facteurs métallurgiques sont nombreux et ont de grandes influences sur les processus réactionnels de la corrosion. Nous ne citerons sommairement que les plus importants à savoir

- ✓ composition de l'alliage.
- ✓ procédé d'élaboration.
- ✓ impureté.
- ✓ traitements mécaniques.
- ✓ traitements thermiques.
- ✓ additions protectrices.
- ✓ caractéristiques cristallographiques (il s'agit essentiellement du type de structure à échelle du réseau et de la dimension des grains) [10].

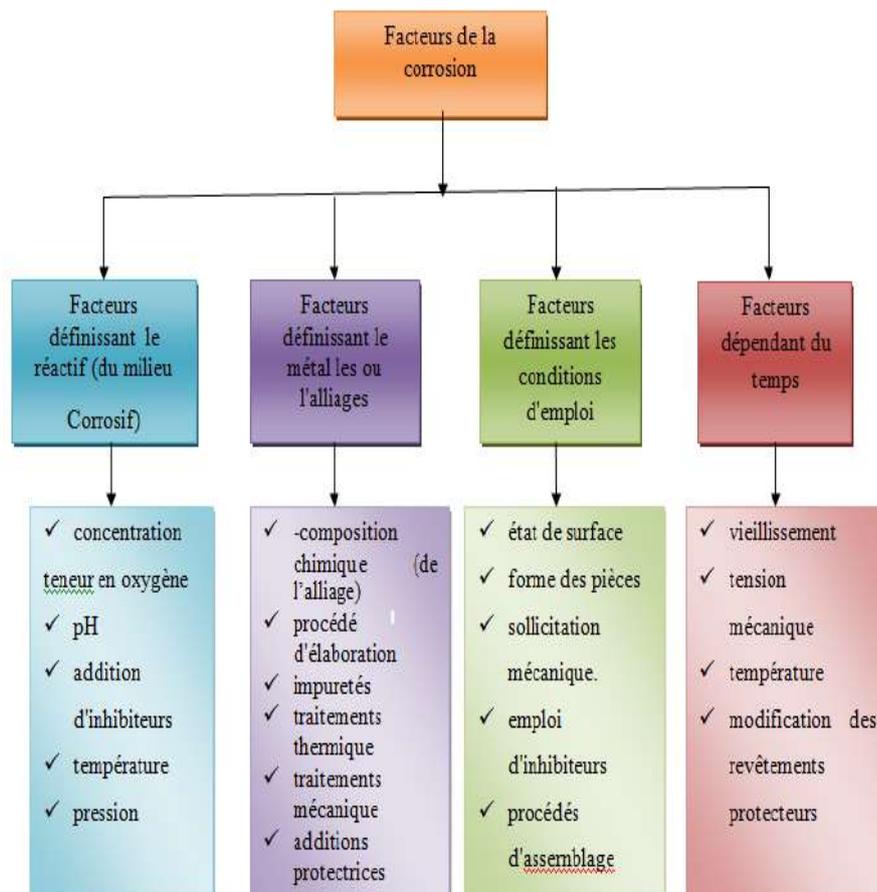


Figure I.4: Schéma de facteurs de la corrosion

Protection et lutte contre la corrosion

II.1. Introduction:

En matière de protection contre la corrosion, il est possible d'agir sur le matériau lui-même, sur la surface du matériau ou sur l'environnement avec lequel le matériau est en contact (inhibiteurs de corrosion). Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte original contre la corrosion des métaux. L'originalité vient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui-même mais par l'intermédiaire du milieu corrosif [11].

II.2. Historique :

Tout comme pour bien d'autres domaines, il est difficile de déterminer l'origine exacte de l'inhibition considérée comme une technologie à part. Néanmoins, il y a quelques décennies, il a été observé que le dépôt calcaire formé à l'intérieur des conduites transportant certaines eaux naturelles protégeait cette conduite ; plutôt que d'améliorer sans cesse la résistance à la corrosion des conduites en agissant directement sur ces dernières, il s'avère plus pratique d'ajuster les concentrations minérales des solutions transportées, qui sont à l'origine des dépôts calcaires « protecteurs ». En 1945, on comptait moins de 30 articles traitant de l'inhibition. Dans un article de 1948 [12], Waldrip se référait à un rapport datant de 1943 au sujet de sa discussion concernant la protection contre la corrosion des puits de pétrole. De nombreux articles concernant l'inhibition ont été rédigés durant la période couvrant 1945 à 1954 : ceux-ci traitaient entre autres de l'inhibition dans le domaine de l'aviation, des chaudières, des circuits de refroidissement, des moteurs diesel, des sels de déneigement, des raffineries de pétrole, des pétroliers.

Les articles publiés durant cette période témoignent d'un grand développement technologique en matière d'inhibition. Durant les quarante dernières années, un nombre croissant de résumés, d'articles et autres ouvrages évoquant ce sujet a été recensé : au total, en 1970, 647 articles traitant de l'inhibition sont dénombrés [13].

II.3 Définition d'inhibiteur :

Selon la norme ISO 8044, un inhibiteur est une « substance chimique ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité; celle-ci entraîne une diminution de la vitesse de corrosion du métal sans modifier de manière significative la concentration d'aucun agent corrosif contenu dans le milieu agressif [14].

La définition d'un inhibiteur de corrosion n'est pas unique. Celle retenue par l'association américaine «National Association of Corrosion Engineers (NACE)» est la

suivante: "un Inhibiteur est une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration [15].

II.4 Propriétés d'inhibiteur :

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 [16].

II.5. Utilisations industrielles courantes:

Bien que leur utilisation puisse être théoriquement envisagée dans la plupart des cas de corrosion (avec, comme principales limitations, un volume trop important du milieu corrosif ou l'impossibilité éventuelle d'y incorporer des additifs), les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

- ✓ Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux de procédés industriels, eaux de chaudières, etc.).
- ✓ L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport. A tous les stades de cette industrie, l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion est primordiale pour la sauvegarde des installations.
- ✓ La protection temporaire des métaux, que ce soit pendant le décapage acide, le nettoyage des installations ou le stockage à l'atmosphère (inhibiteurs volatils, incorporation aux huiles et graisses de protection temporaire) ou pour le traitement des huiles de coupe.
- ✓ L'industrie des peintures sur métaux où les inhibiteurs sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux [17].

II.6. Classification des inhibiteurs :

Généralement, les inhibiteurs de corrosion sont classés en fonction de leur domaine d'application, de la formulation des produits (inhibiteur organique ou minéral), de la réaction électrochimique inhibée (inhibiteur cathodique, anodique ou mixte) ou du mécanisme réactionnel mis en jeu (adsorption et/ou formation d'un film)[18, 19, 20]. Néanmoins, cette

classification n'est pas tout à fait adéquate car un même inhibiteur peut présenter des caractéristiques propres à chaque groupe de ce classement.

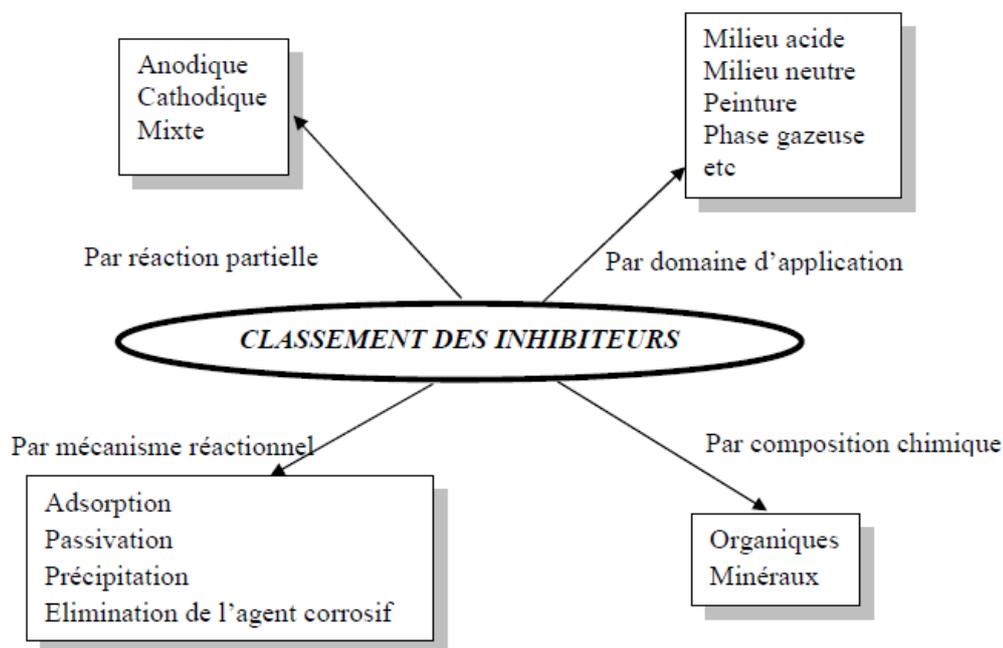


Figure. I-5 : Classement des inhibiteurs de corrosion

II.6.1. Selon la formulation des produits:

II.6.1.1. Inhibiteurs organiques:

Les inhibiteurs organiques représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion. L'efficacité des inhibiteurs organiques est liée à la structure, à la concentration et aux propriétés chimiques de la couche formée sur les conditions précisées. L'action d'un inhibiteur organique est le résultat de son adsorption à la surface du matériau [21]. Ils possèdent au moins un centre actif susceptible d'échanger des électrons avec le métal, comme l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. Les groupes fonctionnels usuels permettant leur fixation sur le métal ou alliage sont généralement des amines (-NH₂), des hydroxyles (-OH), des thiols (-SH) ou des carboxyles (-COOH) [22,23]. Les inhibiteurs qui contiennent du soufre sont plus efficaces que ceux qui contiennent l'azote, parce que le soufre est un meilleur donneur d'électrons que l'azote. La principale caractéristique de ces inhibiteurs est leur efficacité élevée, même à faible concentration. L'effet inhibiteur augmente souvent avec le poids moléculaire de l'inhibiteur. L'utilisation d'inhibiteurs organiques est préférée pour des raisons d'écotoxicité [21].

Les inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière [24]. et ils sont constitués des molécules amphiphiles, c'est-à-dire des molécules

possédant à la fois un caractère hydrophobe et un caractère hydrophile. La partie hydrophile est constituée d'un ou de plusieurs groupes fonctionnels, tels que :

- ✓ la radicale amine (-NH₂),
- ✓ le radical mercapto (-SH),
- ✓ le radical hydroxyle (-OH),
- ✓ le radical carboxyle (-COOH).

La partie hydrophobe est essentiellement composée d'une ou plusieurs longues chaînes alcanes saturées ou non. La molécule se lie à la surface par son groupe fonctionnel, alors que sa partie hydrophobe, plus volumineuse, permet de réaliser une couche imperméable à l'approche des molécules corrosives [25], comme décrit sur la figure I-7.

La formation du film résulte de l'adsorption de la partie hydrophile de l'inhibiteur sur la surface métallique à protéger.

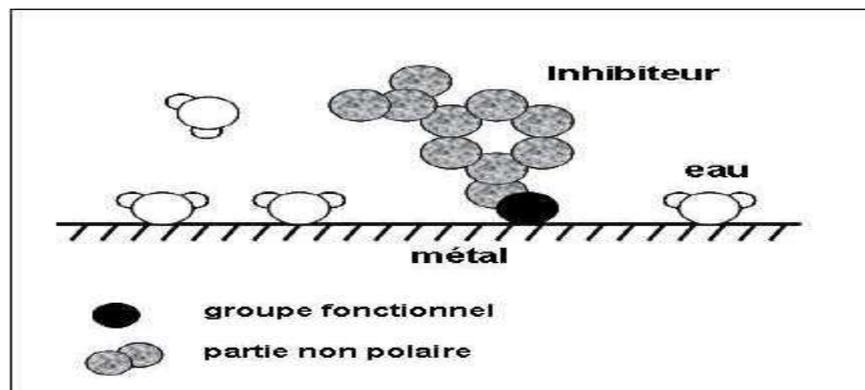


Figure I-6: Schéma d'adsorption d'un inhibiteur organique sur une surface métallique molécules amphiphiles : parties hydrophile et hydrophobe

II.5.1.2. Inhibiteurs minéraux:

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin et plus rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et ce sont souvent leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions et cations) [26,27].

II.6. 2. Classement selon le domaine d'application:

Les inhibiteurs de corrosion sont souvent classés selon leur domaine d'application: En milieu aqueux, les inhibiteurs pour milieu acide sont employés, entre autres, pour éviter une attaque électrochimique de l'acier lors du décapage. Dans l'industrie pétrolière, on les ajoute aux fluides du forage. Les inhibiteurs pour milieux neutres servent surtout à protéger des circuits de refroidissement et les peintures à base aqueuse.

En milieu organique, de grandes quantités d'inhibiteurs de corrosion sont utilisées dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence puisque ces liquides contiennent souvent des traces d'eau et des espèces ioniques qui peuvent provoquer une corrosion.

Enfin, les inhibiteurs pour les phases gazeuses sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport et le stockage : instrument de précision, composants électroniques, machines...etc. Il s'agit le plus souvent de composés organiques ayant une pression de vapeur élevée, notamment certaines amines [17].

II.6.3. Selon le mécanisme d'action électrochimique:

II.5.3.1. Inhibiteurs anodiques :

Les inhibiteurs anodiques diminuent la densité de courant de dissolution du métal et augmentent la valeur du potentiel de corrosion. Il existe deux catégories d'inhibiteurs passivant : les ions oxydants comme les chromates CrO_4^{2-} qui peuvent passiver l'acier en l'absence d'oxygène mais qui sont interdits à présent pour cause de leur toxicité ; les ions non oxydants (MoO_4^{2-} , WO_4^{2-} , PO_4^{3-}) qui nécessitent la présence d'oxygène et déplacent la réaction cathodique de réduction de ce dernier en favorisant son adsorption à la surface du métal. Tous ces ions se consomment lentement et il est donc nécessaire de contrôler périodiquement leur concentration dans le circuit lors de l'utilisation de tels inhibiteurs. En effet, une concentration insuffisante provoquera une accélération de la corrosion, souvent sous la forme de piqûres. La concentration requise en inhibiteur passivant dépend de nombreux facteurs tels que la température, le pH, la présence d'ions agressifs comme Cl^- ou S^{2-} , et est souvent de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} mol .l⁻¹ [28].

II.6.3.2. Inhibiteurs cathodiques :

Les inhibiteurs cathodiques induisent une augmentation de la surtension cathodique, provoquant ainsi une diminution du potentiel de corrosion. Si ces inhibiteurs ne stoppent jamais complètement la réaction de corrosion, ils ne présentent pas de risque de corrosion localisée. Ces inhibiteurs conduisent souvent à la précipitation des sels et des hydroxydes du fait de l'accumulation d'ions OH^- sur les surfaces cathodiques [29].

II.6.3.3. Les inhibiteurs mixtes:

Les inhibiteurs mixtes agissent à la fois pour diminuer la vitesse de la réaction anodique et celle de la réaction cathodique (figure. I.8.) [30].

On peut concevoir l'action de l'inhibiteur comme :

- ✓ L'interposition d'une barrière entre le métal et le milieu corrosif. Dans le cas des milieux acides, le rôle de l'adsorption du composé sur la surface sera primordial, le renforcement d'une barrière préexistante, en général la couche d'oxyde ou d'hydroxyde formée

naturellement en milieu neutre ou alcalin. Ce renforcement pourra consister en une extension de l'oxyde à la surface, ou en la précipitation de sels aux endroits faibles de l'oxyde : ces sels étant des produits de corrosion (réactions avec les cations métalliques).

- ✓ La formation d'une barrière par interaction entre l'inhibiteur et une ou plusieurs espèces du milieu corrosif : ce type de mécanisme étant également spécifique des milieux neutres ou alcalins.

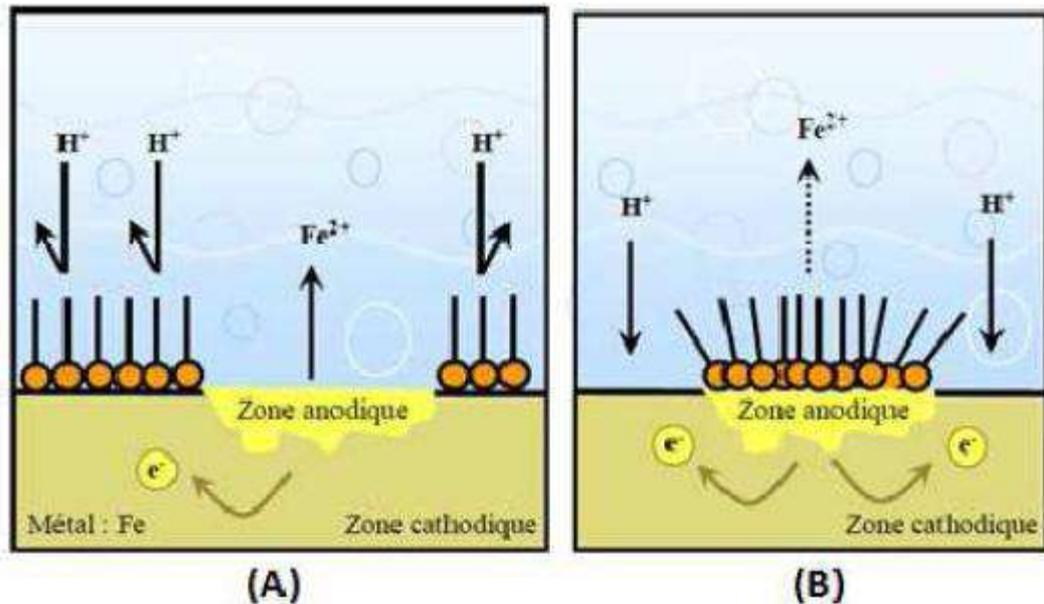
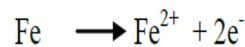
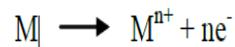


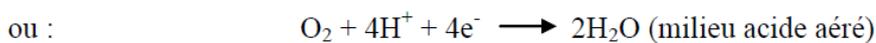
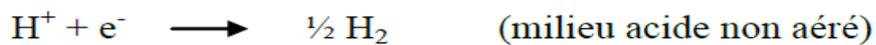
Figure I- 7: Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide.

Exemple :

- ✓ Une réaction anodique de dissolution du métal (réaction d'oxydation) :



- ✓ Une réaction cathodique de réduction d'un oxydant de la solution :



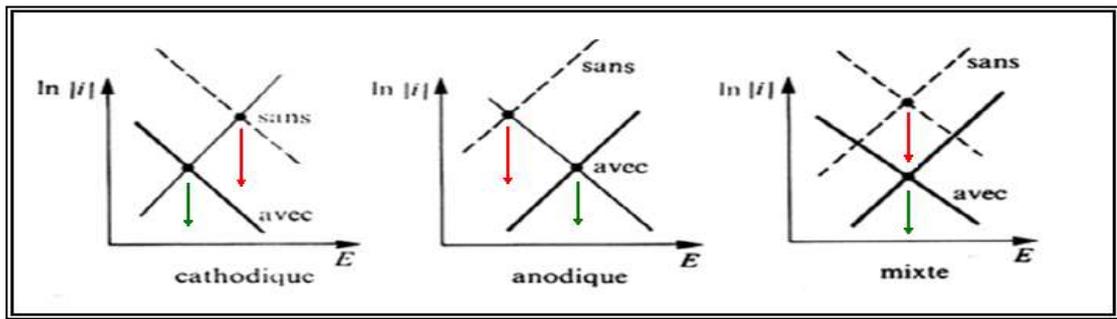


Figure I-8 : Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion.

II.6.4. Selon leur mode d'action:

II.6.4.1. Les inhibiteurs d'adsorption:

Entre l'espèce adsorbée et la surface métallique existent deux types de liaisons: liaison électrostatique et liaison chimique, donc deux types distincts d'adsorption: la physisorption et la chimisorption.

L'adsorption physique conserve l'identité aux molécules adsorbées. On distingue ici trois types des liaisons : les liaisons de Van der Waals (toujours présentes), les liaisons polaires (dépendant des charges de surface et de l'inhibiteur) et les liaisons hydrogène (s'établissant entre un donneur de liaison hydrogène et un accepteur, uniquement N, O, P porteur de doublets libres) [31].

Par contre, la chimisorption résulte de la mise en commun des électrons entre la surface métallique et la molécule d'inhibiteur (un centre actif comme les atomes N, S, P, O) et ainsi se forment des liaisons chimiques covalentes très fortes. L'inhibiteur au comportement d'un donneur d'électrons vis-à-vis de l'atome métallique de la surface. **Le tableau 1** met en évidence les différences essentielles entre les deux types d'adsorption [32].

La meilleure efficacité généralement constatée pour les inhibiteurs chimisorbés provient essentiellement de l'énergie d'adsorption plus élevée, donc d'une molécule plus fortement fixée sur la surface métallique. un inconvénient de cette fixation plus solide de la molécule doit être mentionné au plan de l'utilisation pratique de ce moyen de protection : il est plus difficile d'éliminer le film adsorbé que dans le cas d'un inhibiteur physisorbé, ce qui peut être un inconvénient si la surface ainsi protégée doit être ultérieurement soumise à un traitement superficiel (dépôt métallique en particulier).

Tableau I-2: comparaison liaison physique – liaison chimique

Adsorption physique	Adsorption chimique
Force électrostatique	Liaison de coordination (recouvrement des charges ou transfert des charges entre métal et molécule).
Il n'y a pas contact direct inhibiteur-métal : une couche intermédiaire de molécules d'eau reste présente.	Il y a contact direct inhibiteur-surface métallique.
L'énergie d'activation du processus est faible. Le processus est pratiquement indépendant de la température.	L'énergie d'activation du processus est élevée et le processus est en principe favorisé par une élévation de température.
L'adsorption ne dépend pas de la nature du métal, seulement de la charge portée par le métal.	L'adsorption dépend de la nature du métal. Elle est favorisée par un métal ayant des orbitales électroniques vacantes et de faible énergie (métaux de transition).

II.6.4.2. Les inhibiteurs passivant:

Ces inhibiteurs forment des films de passivation tridimensionnels entre la surface corrodée et les molécules d'inhibiteur. L'inhibition s'appelle aussi inhibition "d'interphase". Ils sont également incorporés dans les couches barrières et ainsi ces molécules inhibitrices conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant de fait une faible porosité et une bonne stabilité [34].

Il existe deux catégories d'inhibiteurs passivant:

- les ions oxydants comme CrO_4^{2-} qui peuvent passiver l'acier en absence d'oxygène.
- les ions non oxydants (MoO_4^{2-} , WO_4^{2-} , PO_4^{3-} , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$) qui nécessitent la présence d'oxygène et déplacent la réaction cathodique de réduction de ce dernier en favorisant son adsorption à la surface du métal.

Tous ces ions se consomment lentement et il est donc nécessaire de contrôler périodiquement la concentration du circuit lors d'utilisation de tels inhibiteurs. La concentration requise en inhibiteur passivant, souvent de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} mol/L, dépend en fait de nombreux facteurs tels que la température, le pH, la présence d'ions dé passivant comme Cl^- ou réducteurs comme S^{2-} [16].

II.7. Influence de la concentration sur l'effet inhibiteur:

Les lois de variation de la quantité adsorbée en fonction de la concentration en inhibiteur peuvent souvent être représentées par l'une des trois isothermes classiques suivantes: Langmuir, Frumkin et Temkin.

II.7.1 Isotherme de Langmuir :

Le modèle de Langmuir suppose qu'il existe à la surface un nombre fixe de sites. Chacun de ces sites ne peut adsorber qu'une seule particule. De plus, comme on néglige les interactions entre particules adsorbées, l'énergie d'adsorption est constante [34].

La vitesse d'adsorption est proportionnelle à la concentration en inhibiteur C_{inh} et à la fraction de sites d'adsorption non occupée $(1-\theta)$, sachant que θ représente la fraction de sites occupés par l'inhibiteur ($0 < \theta < 1$).

$$V_{ads} = K_{ads}(1 - \theta)C_{inh} \quad (1)$$

Inversement, la vitesse de désorption est proportionnelle à la fraction de sites occupés par les particules adsorbées:

$$V_{des} = K_{des}\theta \quad (2)$$

A l'équilibre, les deux vitesses sont égales.

$$K_{ads}(1 - \theta)C_{inh} = K_{des}\theta \quad (3)$$

Ce qui nous donne l'équation de l'isotherme de Langmuir suivante :

$$\frac{\theta}{1-\theta} = \frac{K_{ads}}{K_{des}}C_{inh} = bC_{inh} \quad (4)$$

La fraction de sites occupés θ , aussi appelée taux de recouvrement de la surface est donnée par la formule :

$$\theta = \frac{bC_{inh}}{1+bC_{inh}} \quad (5)$$

Dans cette équation, b désigne le coefficient d'adsorption.

II.7.2 Isotherme de Temkin :

Dans le modèle de Temkin, l'énergie libre d'adsorption de l'adsorbat est une fonction linéaire du taux de recouvrement θ et les constantes de vitesse chimiques sont fonction de θ . Il y a attraction ou répulsion entre espèces adsorbées à la surface. L'équation de l'isotherme de Temkin est:

$$bC_{\text{inh}} = \frac{\exp(a\theta)-1}{1-\exp[-a(1-\theta)]} \quad (6)$$

Où a est une constante d'interaction entre particules adsorbées, b désigne le coefficient d'adsorption et C_{inh} la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte.

Il est en général très délicat de définir à quel type d'isotherme obéit le comportement d'un inhibiteur dans un système donné. On peut simplement souligner que l'adsorption sur une surface hétérogène correspond le plus souvent à une isotherme de type Langmuir. Ces remarques doivent conduire à une grande prudence dans le maniement des taux de recouvrement.

II.7.3. Isotherme de Frumkin :

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

$$\ln[\theta/C(\theta - 1)] = \ln K + 2a\theta \quad (7)$$

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

parti Expérimentale

Chapitre II

Méthodes d'étude et Procédure expérimentale

II.1.Introduction:

Ce chapitre décrit les méthodes expérimentales. Une description des matériaux, et solution préparé et des montages effectués.

II.2. Méthodes d'étude et Procédure expérimentales:

II.2.1.Méthodes d'étude :

Méthode pondérale (méthode de perte de masse) :

Le principe de cette étude repose sur la mesure de la perte de poids Δm (g) subie par un échantillon de surface S , pendant le temps t d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante. Cette méthode présente l'avantage d'être une mise en œuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important.

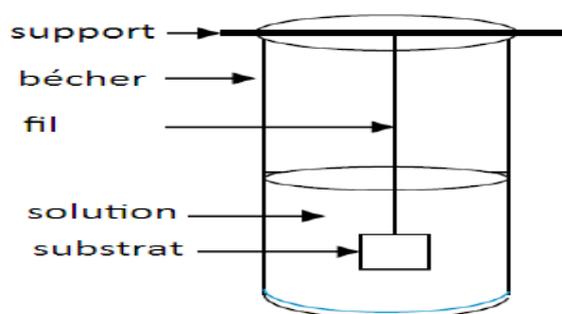


Figure II.1 : Dispositif pour l'étude gravimétrique.

La vitesse de corrosion est déterminée après temps d'immersion à température ambiante, 20°C, 30°C. Le contrôle de la perte de poids d'échantillon d'acier est effectué grâce à une balance de précision de sensibilité (± 0.0001 g). La vitesse de corrosion de l'acier (V g/mm².h) est calculée par la formule (1) :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{s \times t} \quad (\text{II.1})$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 \quad (\text{II.2})$$

Δm : représente la différence entre la masse initiale m_1 et la masse finale m_2 un temps t d'immersion.

m_1 : masse de l'échantillon avant l'essai en (g).

m_2 : masse de l'échantillon après l'essai en (g).

t : temps d'immersion en (h).

S : est la surface de l'échantillon exposée à la solution d'étude en (mm²).

La valeur de l'efficacité inhibitrice est donnée par la formule suivante:

$$EI(\%) = \frac{V_{corr} - V_{inh}}{V_{corr}} \times 100 \quad (\text{II.3})$$

Où V_{corr} et V_{inh} représentent respectivement les vitesses de corrosion en absence et en présence de l'inhibiteur.

II.3. Procédure et condition d'expérimentales:

II.3.1. Produits chimiques utilisés :

Dans notre étude nous avons utilisé les produits chimiques suivant, leurs propriétés physicochimiques sont récapitulées dans le tableau (II-1) et (II-2).

A .1, 4-diaminophenyl :

La p-diaminophenyl se présente sous la forme d'un solide cristallisé, blanc ou rouge clair qui peut devenir violet et même noir lorsqu'il est exposé à l'air et à la lumière.

Elle est modérément soluble dans l'eau froide (38 g/l à 24 °C), beaucoup plus dans l'eau chaude, l'éthanol, l'éther di éthylique et le chloroforme.

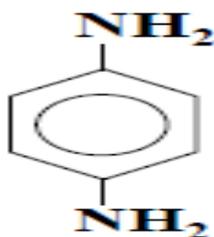


Figure II-2: formule chimique de 1, 4-diaminophenyl

B .1, 2-diaminophenyl :

La o-diaminobenzène est un composé chimique de formule $C_6H_4(NH_2)_2$. Il s'agit d'une diamine aromatique précurseur de nombreux composés organiques hétérocyclique.

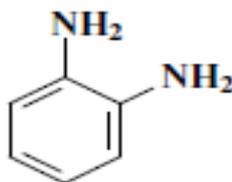


Figure II-3: formule Chimique de 1, 2-diaminoPhenyl

Tableau II-1: présenté les propriétés physique et chimique de (1, 2-diaminophenyl, 1, 4-diaminophenyl)

/	1,2-diaminophenyl	1,4-diaminophenyl
Formule	C ₆ H ₈ N ₂ C ₆ H ₄ (NH ₂) ₂	C ₆ H ₈ N ₂
Masse molaire	108,14	108,14
Point de fusion	103 °C ²	137 à 147 °C selon les sources
Point d'ébullition	257 °C ²	267 °C
Densité	0.74 g/cc	1,14
Point d'éclair	110 °C ²	156 °C
Soluble dans l'eau 25 °C (g L ⁻¹)	/	37.0
pH Information	8.7 (water extract)	9.45 (Water Extract)
Soluble dans l'eau , 20 ⁰ C (68 ⁰ F)	39.3 mg/ml	310
La Masse volumique	1 14 g · cm ⁻³ à 20 °C	/

Tableau (II-2):les produits chimiques utilisés.

<i>propriété</i> <i>Réactifs</i>	<i>La formule chimique</i>	<i>Degré de pureté %</i>	<i>La densité</i>	<i>La masse molaire</i>	<i>point d'ébullition (°C)</i>	<i>Etats et colore</i>	<i>Point de fusion (°C)</i>
Acide sulfurique	H ₂ SO ₄	98	1.84	98.079	337		10
Hydrochlorique acide	HCl	37	1.178	36.5	5-85	Liquide Transparent	2-114
Acide nitrique	HNO ₃	65	1.4	63.01	83		42
Acétone	CH ₃ COH ₃	pure	/	46	/		/
L'eau distillée	H ₂ O	Sans sels	1 g/ml	18	100°C		103°C

II.3.2 Préparation Des Solutions:

Pour préparé les solutions aqueux on a fait :

- Un montage de distillation simple
- Vérifié le pH de l'eau distillé qui on obtenu en trouver le (pH=5.9 à T=25.5 °C).
- Un Titrage par NaOH pour vérifier la qualité des solutions mères utilisées.

II.3.2.1.Solutions Corrosives:

Les solutions d'acides utilisés sont les suivantes : acide chlorhydrique 1M, l'acide sulfurique 0.5M et l'acide nitrique 1M, les solutions électrolytiques ont été obtenues comme suit:

⇒ 0.5M de H₂SO₄ a été obtenue en dilatation V=27.2 ml de H₂SO₄ dans un litre d'eau distillée. à partir la relation suivante :

- ✓ La concentration de H₂SO₄ commercialisé, $C_{(H_2SO_4)} = (10 \times d \times p) / M = 10 \times 1.84 \times 98 / 98.079 = 18.38 \text{ mol/l}$
- ✓ Le volume de H₂SO₄ concentré prélève $V_{(H_2SO_4)} = (C_s \times V_s) / C_{(H_2SO_4)} = (0.5 \times 1000) / 18.38 = 27.2 \text{ ml}$.

⇒ 1M de HCl a été obtenue en dilatation V=83.7 ml de HCl dans un litre d'eau distillée. à partir la relation suivante :

- ✓ La concentration de HCl commercialisé, $C_{(HCl)} = (10 \times d \times p) / M = (10 \times 1.87 \times 37) / 36.5 = 11.94 \text{ mol/l}$
- ✓ Le volume de HCl concentré prélève $V_{(HCl)} = (C_s \times V_s) / C_{(HCl)} = (1 \times 1000) / 11.94 = 83.7 \text{ ml}$.

⇒ 1M de HNO₃ a été obtenue en dilatation V=34.6 ml de HNO₃ dans un litre d'eau distillée. à partir la relation suivante :

- ✓ La concentration de HNO₃ commercialisé, $C_{(HNO_3)} = (10 \times d \times p) / M = (10 \times 1.4 \times 65) / 63.01 = 14.44 \text{ mol/l}$
- ✓ Le volume de HNO₃ concentré prélève $V_{(HNO_3)} = (C_s \times V_s) / C_{(HNO_3)} = (1 \times 1000) / 14.44 = 34.6 \text{ ml}$.

Les solutions électrolytes obtenus ont été stockées dans des fioles jugées



Figure (II-4): les solutions corrosives

II.3.2.2.Solutions inhibitrices:

Mode opératoire :

On prépare une solution mère de concentration 100ppm :

50mg de inhibiteur est dissoute dans 500ml (0,5 l) de la solution acide pour donne une concentration de 100ppm.

On utilise la loi de dilution pour prépare les autres concentrations.

Par exemple :

On a $C_1 V_1 = C_2 V_2$

C_1 : la concentration initiale (100 ppm)

V_1 :le volume à prendre de la solution mère.

C_2 : la concentration qu'on veut obtenir.

V_2 : 500ml (0.5 l)

Les solutions obtenues ont été stockés dans des Erlenmeyer jaugées (100ml).



Figure II.5 : les solutions inhibitrices à différent concentration

II.3.3.Echantillons utilises :

Les échantillons utilisés pour tous les essais de traitements, sous le nom de « acier X70 » sont des plaques d'acier au carbone), livrées sous la forme rectangulaire, Sa composition chimique est tabulée comme il est illustré dans le tableau II-7



Figure II-6: Echantillon de l'acier (X70).

Tableau (II-3): La composition chimique de l'acier (X70).

Elément	C	P	S	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	V	Ti	Mo	Fe
Valeur % (10-3)	74	2	7	451	1814	207	7	10	49	61	5	20	77	Reste

- Le fer est l'élément majoritaire. Le chrome est l'élément d'alliage le plus oxydable. Pour les aciers inoxydables austénitiques, Le molybdène est un élément d'alliage qui augmente fortement la résistance à la corrosion.

II.3.4. Préparation de l'échantillon de l'acier:

➤ Polissage :

Avant chaque essai, L'échantillon subit un polissage de la surface au papier abrasif de granulométrie de plus en plus fine (150, 220, 400,600, 800,1000et 1200), suivi d'un rinçage à l'eau distillée pour nettoyer la surface après l'abrasion mécanique, puis un dégraissage chimique à l'éthanol qui élimine les corps indésirables et rend la surface hydrophile, et un rinçage à l'eau distillée pour éliminer les traces d'éthanol, enfin un séchage à l'air plus à fin d'éviter la formation immédiate des produits de corrosion , elles sont stockées dans un coton . L'échantillon est repesé et on note sa nouvelle masse. Le polissage doit être avant tout les essais de corrosion.



Figure II.7: polissage (préparation de surface).

II.3. 5. Manipulation de la technique de la masse perdue :

Manipulation :

Le dispositif expérimental nécessite les matériels de laboratoire suivant
Echantillons en acier XC70, Balance de précision de sensibilité ($\pm 0.0001\text{g}$), béccher de 70 ml, Papier abrasive, Fiole, fil, le pied canalaire «**maiesta**», support.

Mode Opérateur :

Sans d'inhibiteur :

- ⇒ Les échantillons d'acier utilisés, sont immergés verticalement pendant 1 h, 2h, 3h..... jusqu'à 8h dans un béccher contenant 60 ml de la solution corrosive, en absence d'agitation, maintenue à température ambiante et 30°C , 20°C . A la fin de l'expérience, rincer l'échantillon par l'eau, puis séché.
- ⇒ Calculé le poids Initial et final de l'échantillon en utilisant la balance de marque «**RADWAG**» de type (AS 220 R2).
- ⇒ mesuré la surface (Dimensions) de l'acier par pied canalaire marque «**maiesta**» et ce sont les dimensions de longueur(L), largeur(D) et épaisseur(H). en utilise cette relation

$$S = 2 \cdot ((L \cdot D) + (L \cdot H) + (D \cdot H))$$

la méthode est la même avec inhibiteur, mais temps d'immersion constante dans cette expérience égale 30 min, maintenue à température ambiante.

Nous avons observé une couche marron ou noire sur la surface de l'échantillon en plus un dégagement gazeux



Figure (II-8) : immersion d'échantillon dans la solution sans inhibiteur.



Figure (II-9): mesure les démontions par le pied canalaire «maiesta»



Figure (II-10) : la balance de marque « RADWAG » de type (AS 220 R2).

Chapitre III

Résultats et discussions

Les résultats des tests de l'inhibition de la corrosion d'un acier doux, immergé dans une solution de HCl 1M, HNO₃ 1M, H₂SO₄ 0.5M, en présence et en absence d'un inhibiteur (1,2-diaminophenyl et 1,4- diaminophenyl), ont été obtenus par la méthode de perte de masse. Ces résultats sont présentés sous forme de tableaux et de graphes.

III.1.Méthode gravimétrique (méthode de la perte de poids) :

III.1.1.Sans inhibiteur:

III.1.1.1.L'effet de temps d'immersion :

- Les valeurs expérimentales de perte de masse d'acier (X70) en milieu acide HCl (1M), H₂SO₄ (0,5M) et HNO₃ (1M) en absence d'inhibiteur $T=T_{\text{ambient}}$ sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau (III-1) : les valeurs expérimentales de perte de masse d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide HCl (1M), HNO₃ (1 M), H₂SO₄ (0.5M) à $T=T_{\text{ambient}} = 25^{\circ}\text{C}$

Acide chlorhydrique HCl (1M) sans inhibiteur							
Temps (h)	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta m(\text{g})$	0.0087	0.0102	0.0075	0.0082	0.0067	0.0113	0.0118
Acide nitrique (HNO ₃)							
Temps (h)	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta m(\text{g})$	0.9597	1.0945	1.1173	1.2281	1.1661	1.1499	1.141
Acide Sulfurique (H ₂ SO ₄)							
Temps (h)	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta m(\text{g})$	0.0177	0.0398	0.0643	0.1013	0.1382	0.1856	0.1699

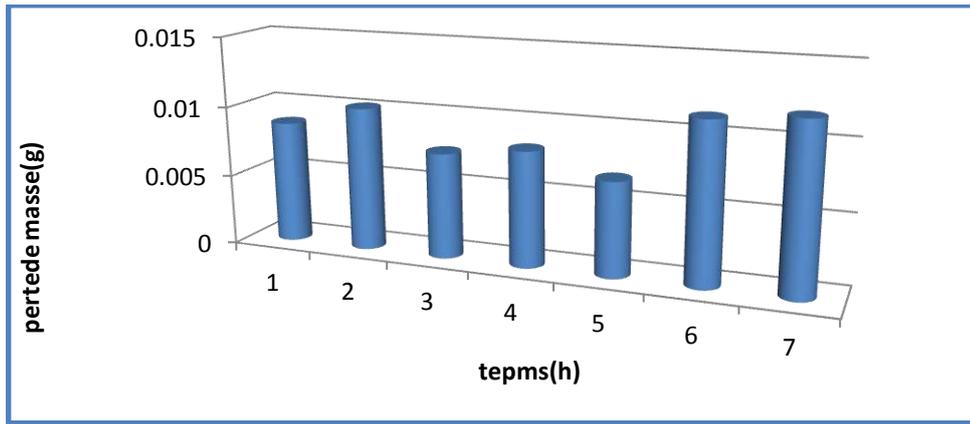


Figure (III-1): évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu acide HCl (1 M) en absence d'inhibiteur à $T=T_{\text{ambient}}$.

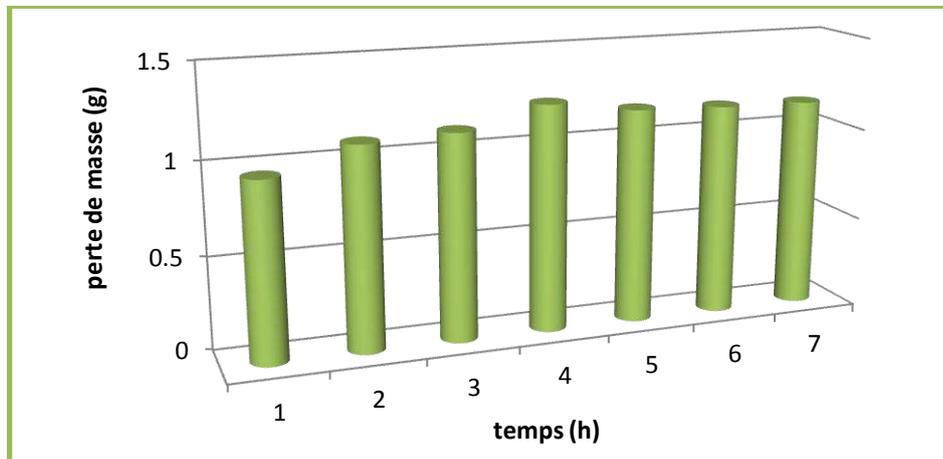


Figure (III-2): évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu acide HNO₃ (1 M) en absence d'inhibiteur à $T=T_{\text{ambient}}$.

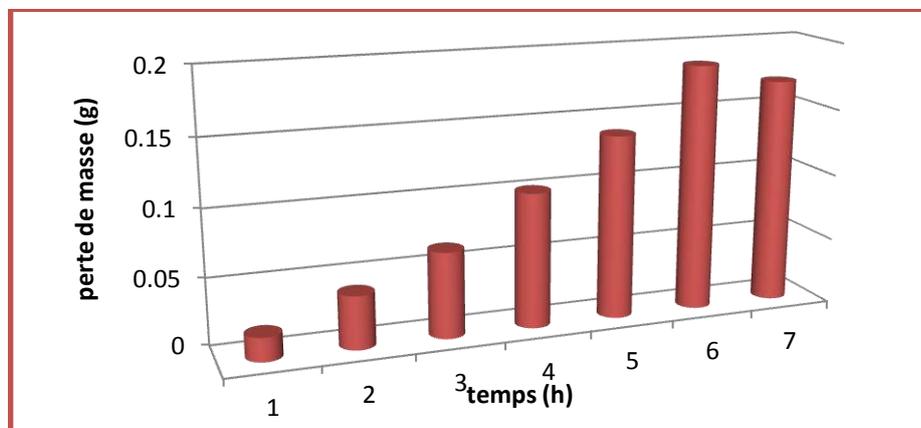


Figure (III-3): évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu H₂SO₄ (0.5M) en absence d'inhibiteur à $T=T_{\text{ambient}}$.

- Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HCl (1 M), H₂SO₄ (0,5M) et HNO₃ (1M) en absence d'inhibiteur à T=T_{ambient} sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau (III-2) : Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HCl (1 M), en absence d'inhibiteur à T=T_{ambient} .

Sans d'inhibiteur	
Temps (h)	Vitesse (g/mm ² .h)
1	4.40E-06
2	2.58E-06
3	1.95E-06
4	1.05E-06
5	1.10E-06
6	0.97E-06
7	0.88E-06

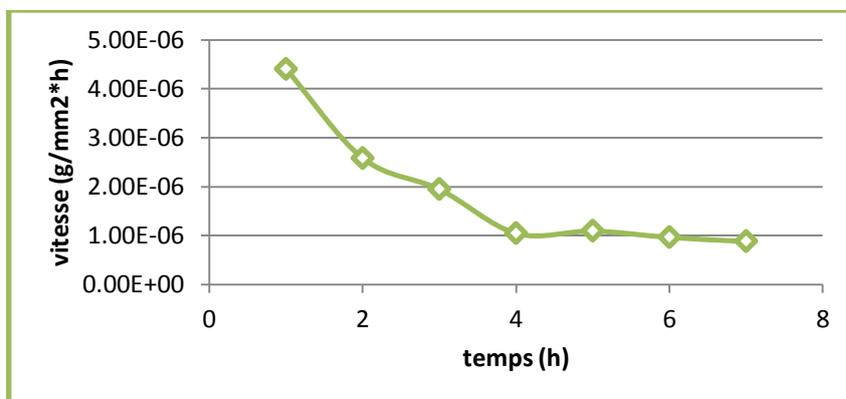


Figure (III-4): évaluation la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HCl (1M), en absence d'inhibiteur à T=T_{ambient} .

Tableau (III-3) : Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HNO_3 (1M) en absence d'inhibiteur à $T=T_{\text{ambient}}$.

Sans d'inhibiteur	
Temps(h)	Vitesse ($\text{g}/\text{mm}^2 \cdot \text{h}$)
1	4.67E-04
2	2.68E-04
3	1.85E-04
4	1.56E-04
5	1.21E-04
6	1.01E-04
7	0.88E-04

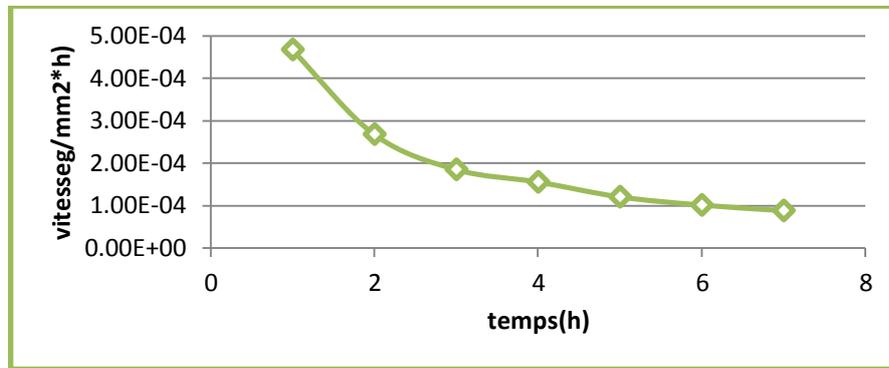


Figure (III-5): évaluation la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide HNO_3 (1M) en absence d'inhibiteur à T_{ambient} .

Tableau (III-4) : Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H_2SO_4 (0,5M) en absence d'inhibiteur à $T=T_{\text{ambient}}$.

Sans d'inhibiteur	
Temps (h)	Vitesse ($\text{g}/\text{mm}^2 \cdot \text{h}$)
1	0.94E-05
2	1.06E-05
3	1.15E-05
4	1.36E-05
5	1.49E-05
6	1.68E-05
7	1.32E-05

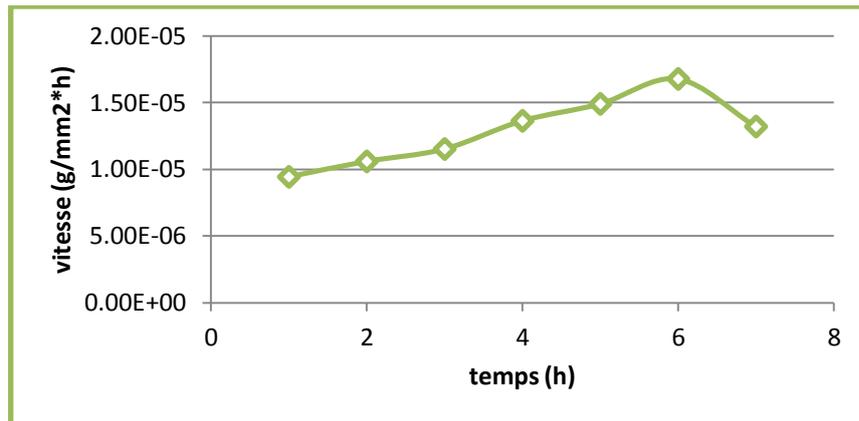


Figure (III-6): évaluation la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H_2SO_4 (0,5M) en absence d'inhibiteur à $T=T_{\text{ambient}}$.

D'après les résultats obtenus nous remarquons que:

- Perte de masse augmenter puis stabilise avec augment de temps d'immersion.
- La vitesse de corrosion diminution puis stabilise à:
 - ✓ 4 h dans la solution aqueuse corrosive HCl
 - ✓ 4 h dans la solution aqueuse corrosive de HNO_3 .
- La vitesse de corrosion augmente, puis diminution à:
 - ✓ 6 h dans la solution corrosive de H_2SO_4

Discussions des résultats :

montre clairement que la vitesse de corrosion de l'acier dans HCl (1M), HNO_3 1M, H_2SO_4 (0.5M); diminue avec l'augmentation du temps d'immersion (1heur, 2heur, ..., 7heur). cette diminution provient de la formation spontanée de la couche protectrice adsorbée à la surface du métal diminue la dissolution du ce dernier.

III.2.1.2. Influence de la température:

La température est l'un des facteurs susceptibles de modifier à la fois le comportement d'un acier dans un milieu corrosif.

Afin de connaître l'influence de la température sur l'évolution de la vitesse de corrosion, nous avons réalisé une série de mesures que nous présentons dans **le tableau (III-5)**.

Tableau (III-5) : Vitesse de corrosion en fonction de température, de l'acier XC70 dans la solution HCl (1M), HNO₃ (1M), H₂SO₄ (0,5 M), sans inhibiteur.

Temps (h)	Vitesse HCl (1M) *E-06			Vitesse HNO ₃ (1M)*E-04			Vitesse H ₂ SO ₄ (1M)*E-05		
	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C
1	2.55	4.40	6.40	4.73	4.67	5.24	1.60	0.94	3.56
2	2.48	2.58	6.91	2.29	2.68	3.06	1.20	1.06	2.62
3	2.97	1.95	7.53	2.08	1.85	2.60	1.19	1.15	2.36
4	1.12	1.05	5.03	1.19	1.56	1.47	0.84	1.36	2.12
5	1.05	1.10	4.03	1.20	1.21	1.25	0.67	1.49	1.74
6	0.66	0.97	4.29	0.77	1.01	1.25	0.41	1.68	1.55
7	0.76	0.883	4.69	0.65	0.88	0.90	0.24	1.32	1.37

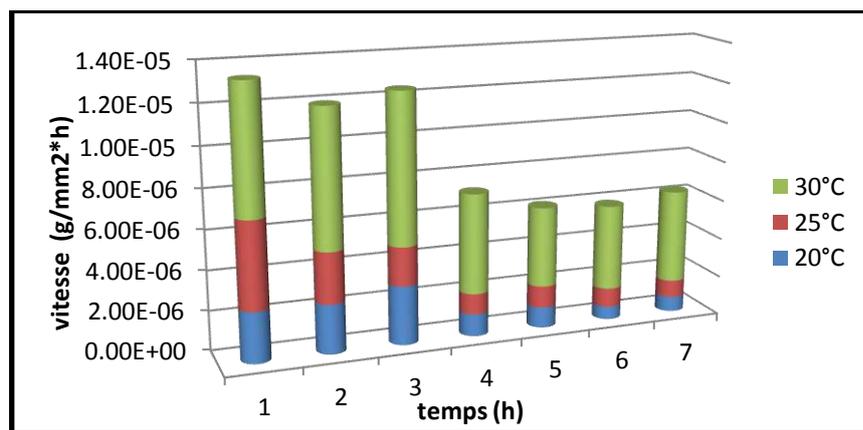


Figure. (III-7): Effet de la température sur vitesse de corrosion de l'acier en milieu HCl 1M. sans inhibiteur.

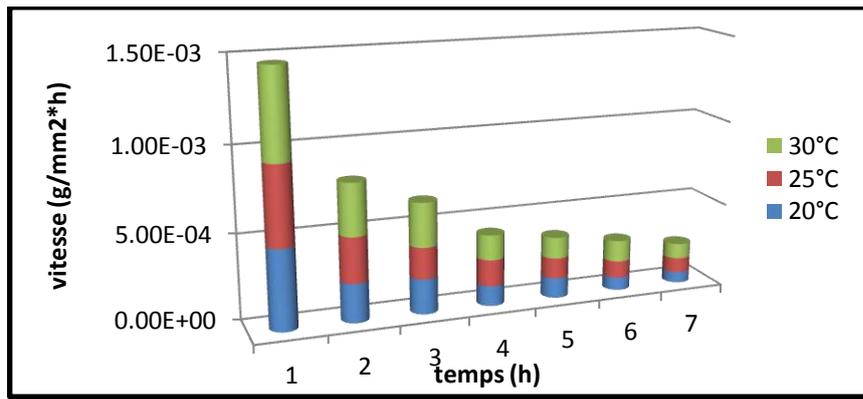


Figure (III-8): Effet de la température sur vitesse de corrosion de l'acier en milieu HNO₃ 1M, sans inhibiteur.

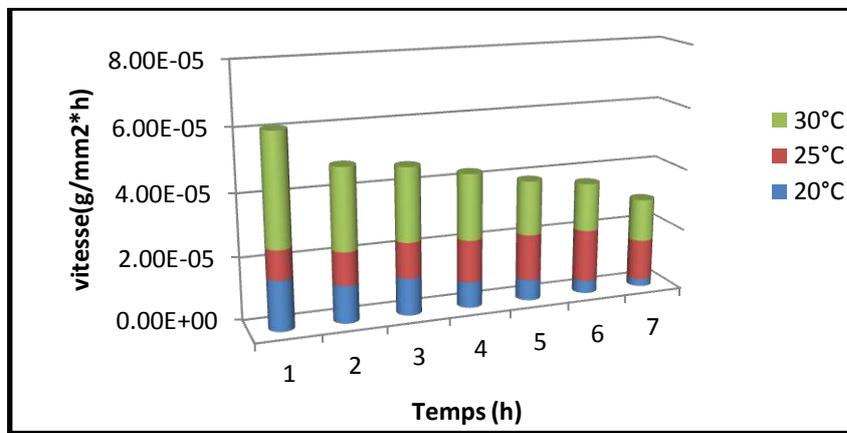


Figure (III-9): Effet de la température sur vitesse de corrosion de l'acier en milieu H₂SO₄ 0.5M, sans inhibiteur.

Tableau (III-6) : Vitesse de corrosion en fonction de température, temps d'immersion 1 heure, de l'acier XC70 dans la solution HCl (1M), HNO₃ (1M), H₂SO₄ (0,5 M), sans inhibiteur.

Milieu corrosif	Vitesse (g/mm ² *h) sans inhibiteur				
	25°C T=T _{ambient}	30°C	40°C	50°C	60°C
HCl (1M)	4.40297E-06	6.38496E-06	15.4546E-06	24.4701E-06	44.4463E-06
HNO ₃ (1M)	0.000467352	0.000524145	0.000529243	0.000537911	0.000602981
H ₂ SO ₄ (0.5M)	9.44171E-06	2.15568E-05	5.7221E-05	0.000212963	0.000250744

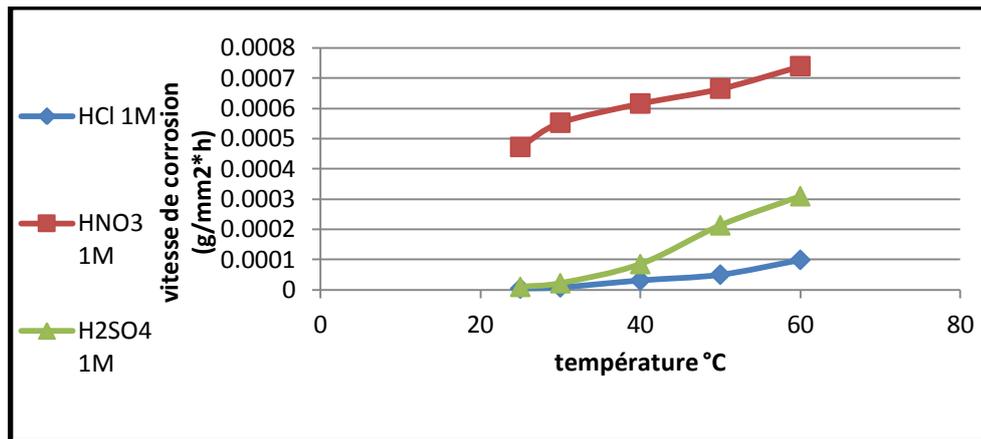


Figure (III-10): Vitesse de corrosion en fonction de température de l'acier en milieu HCl (1M), HNO₃ (1M), H₂SO₄(0.5M), sans inhibiteur, temps d'immersion 1heur .

Discussions des résultats :

L'analyse des résultats dans le tableaux (III-5) montre clairement que la vitesse de corrosion de l'acier dans HCl (1M), HNO₃ (1M), H₂SO₄(0.5M); augment avec l'augmentation du température. Cette augmentation par des effets de la température.

A partir des résultats obtenus nous remarquons que :

- Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère la cinétique de réaction.
- dans tous les cas, il y'a une augmentation de la vitesse de corrosion en fonction de la température.

L'étude de l'action d'inhibitrice (taux d'inhibition) a été réalisée en se basant sur la variation de concentration d'inhibiteur pendant 30 min

III.2. Action des inhibiteurs :

Dans cette partie nous avons étudié l'effet des 1,2-Diaminophenyl et 1,4-Diaminophenyl sur la corrosion de l'acier en milieux acides. Pour cela nous avons étudié l'influence de la concentration sur la corrosion de l'acier.

Les conditions expérimentales utilisées sont :

- concentration de l'acide H₂SO₄ 0.5M. HCl 1M; HNO₃ 1M
 - la température de la solution T=T_{ambiant}.
 - Concentration d'inhibiteurs (1ppm, 2ppm, 5ppm, 10ppm, 20ppm, 30ppm, 40ppm, 50ppm, 60 ppm, 70ppm, 80ppm, 90ppm, 100ppm).
- L'efficacité inhibitrice (E I%) est calculée par la relation (3.2). Les résultats sont donnés dans le tableau (III.7), (III-8), (III-9), (III-10), (III-11), (III-12) .

III.2.1. (1, 2 -diaminophenyl) :

Tableau (III-7) : les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1.2 - diaminophenyl en milieu HCl 1M à $T=T_{\text{ambient}}$.

C(ppm)	V(g/ mm ² *h) E-06	(E I%)
Blanc	3.88873	/
1	3.5943	7.571243
2	3.23804	16.73265
5	2.65725	31.66785
10	2.44605	37.09896
20	2.32016	40.33626
30	1.88632	51.49256
40	1.80127	53.67961
50	1.79889	53.74105
60	1.55381	60.04318
70	1.39202	64.2038
80	1.0733	72.39964
90	1.08055	72.21332
100	0.913595	76.5066

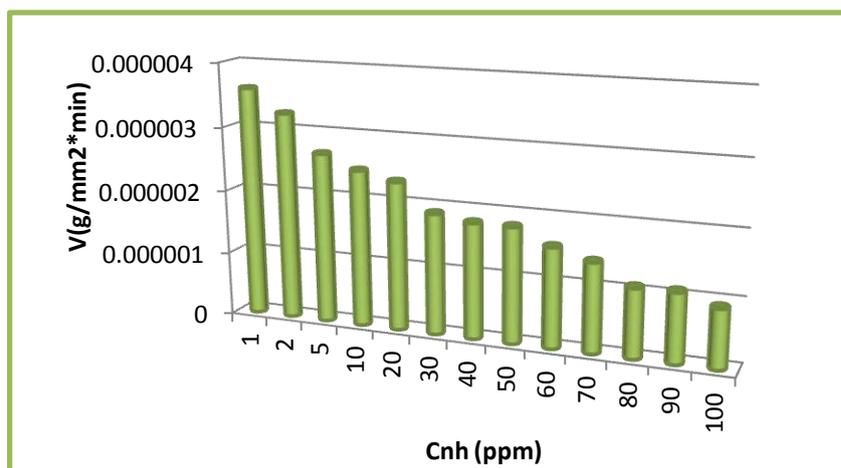


Figure (III-11): Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des inhibiteur 1,2- diaminophenyl après 30min d'immersion en milieu acide HCl (1M) à T_{ambient} .

Tableau (III-8) : les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1,2 - diaminophenyl en milieu HNO₃ 1M à T=T_{ambient}.

C (ppm)	V(g/mm ² *min) *E-06	(E I%)
Blanc	14.6052	/
1	14.1691	2.985633
2	12.321	15.63963
5	10.6075	27.37205
10	9.69486	33.62044
20	9.43396	35.40683
30	9.41597	35.53
40	9.44477	35.3328
50	9.62772	34.08013
60	9.23749	36.75198
70	8.96422	38.62307
80	8.69973	40.43401
90	8.85316	39.38349
100	7.92013	45.77181

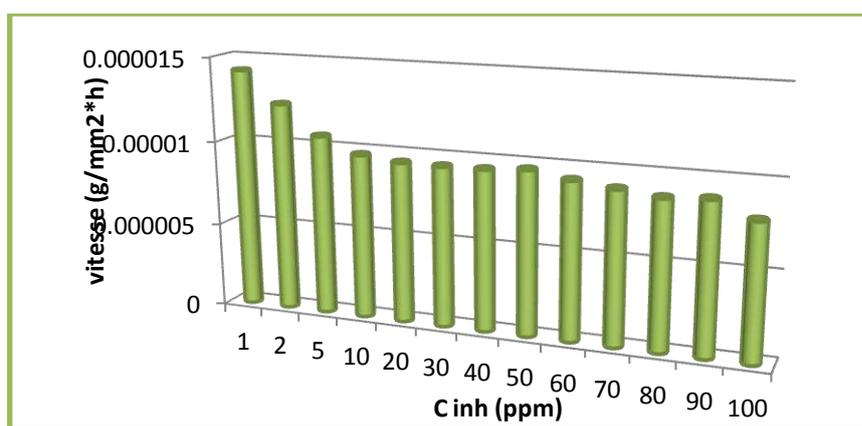


Figure (III-12): Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des Inhibiteurs 1,2-diaminophenyl après 30min d'immersion. en milieu acide HNO₃ (1M) à T=T_{ambient}.

Tableau (III-9): les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de L'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations de l'inhibiteur 1,2 -diaminophenyl en milieu H_2SO_4 0.5M à $T=T_{\text{ambient}}$.

C (ppm)	V(g/mm ² *min)* E-07	(E I%)
Blanc	3.25	/
1	3.04	6.391535
2	2.56	21.19544
5	2.22	31.74407
10	1.98	38.90151
20	1.97	39.28509
30	1.69	47.84815
40	1.71	47.29587
50	1.49	54.17034
60	1.52	53.3174
70	1.27	60.92394
80	1.33	58.94388
90	0.92	71.77436
100	0.64	80.42358

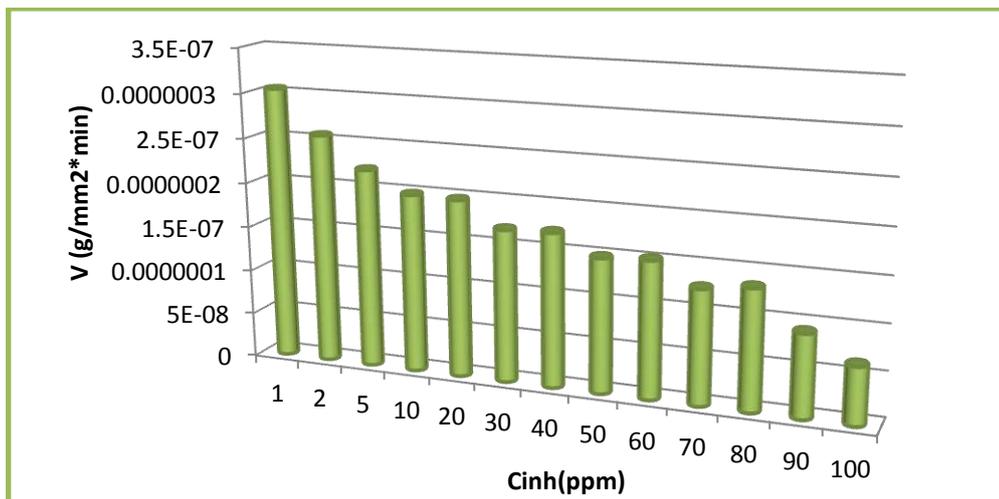


Figure (III-13): Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des inhibiteurs 1,2-diaminophenyl après 30min d'immersion. en milieu acide H_2SO_4 (0.5M) à $T = T_{\text{ambient}}$

III.2.2. (1, 4 -diaminophenyl):

Tableau (III-10) : les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice (EI%) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1,4 diaminophenyl en milieu HCl 1M à $T=T_{\text{ambient}}$.

C(ppm)	V(g/mm ² *min) E-06	(E I%)
Blanc	3.88	/
1	3.41	12.31971
2	2.97	23.69156
5	2.41	37.91918
10	2.31	40.55561
20	1.81	53.41065
30	2.03	47.75214
40	1.83	53.0377
50	1.67	56.96038
60	1.22	68.65779
70	1.16	70.19747
80	1.12	71.24426
90	0.899	76.88857
100	0.757	80.53469

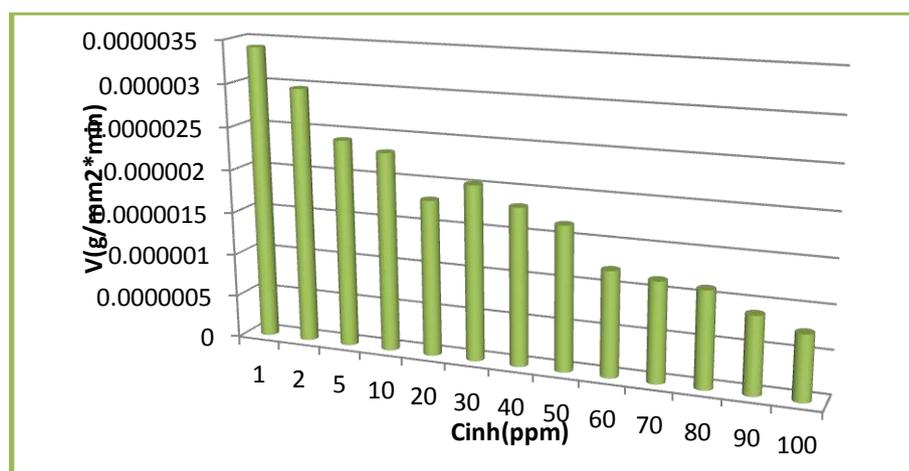


Figure (III-14): Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des inhibiteurs 1,4 -diaminophenyl après 30min d'immersion.

en milieu acide HCl (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

Tableau (III-11): les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice ($EI\%$) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1,4 - diaminophenyl en milieu HNO_3 1M à $T=T_{\text{ambient}}$.

C (ppm)	$V(g/mm^2*min)* E-06$	(E I%)
Blanc	14.60	/
1	14	4.10515
2	11.5	21.321
5	9.35	36.01481
10	8.38	42.62528
20	7.3	49.99166
30	6.8	53.42916
40	6.44	55.90581
50	5.6	61.68089
60	5.34	63.45095
70	4.81	67.03317
80	4.61	68.42491
90	4.17	71.46783
100	3.5	76.03556

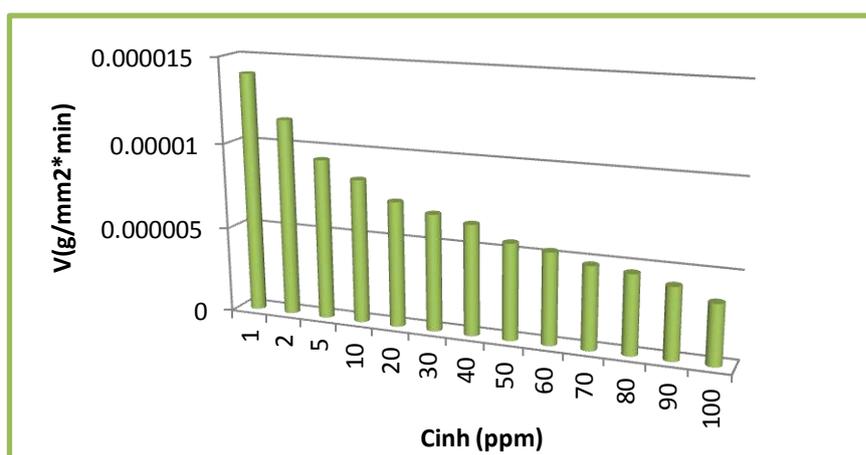


Figure (III-15): Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des Inhibiteurs 1,4-diaminophenyl après 30min d'immersion en milieu acide HNO_3 (1M) à $T = T_{\text{ambient}}$

Tableau (III-12) : les valeurs de la vitesse de corrosion (V) et le pourcentage de l'efficacité inhibitrice ($EI\%$) calculée par gravimétrie pour différentes concentrations des inhibiteur 1,4 - diaminophenyl en milieu H_2SO_4 0.5M à $T=T_{\text{ambient}}$.

C(ppm)	V(g/mm ² *min) E-08	(EI%)
Blanc	32.47	/
1	27.7	14.75729
2	21.2	34.8684
5	19.8	38.92575
10	18.4	43.252
20	17.4	46.53332
30	15.5	52.31271
40	12.8	60.64714
50	9.76	69.94551
60	9.38	71.10545
70	7.76	76.1128
80	6.53	79.89023
90	6.32	80.55426
100	4.63	85.73711

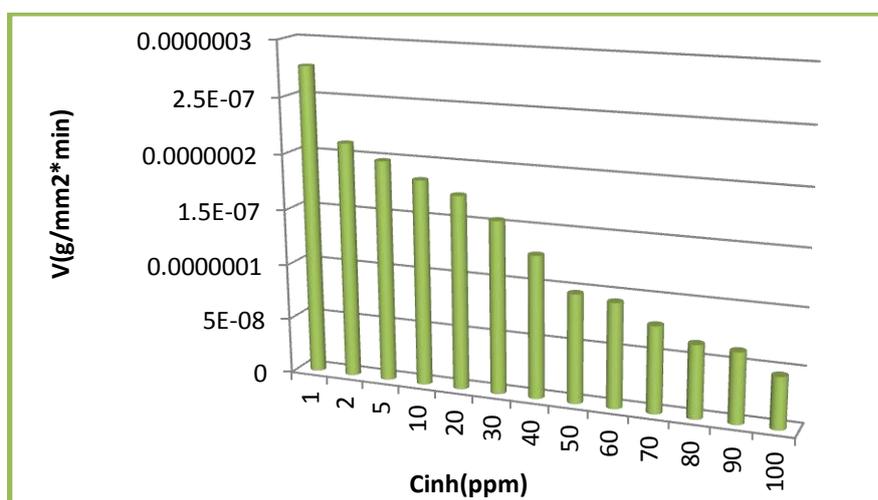


Figure (III-16): Evaluation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration des inhibiteurs 1,4-diaminophenyl après 30min d'immersion en milieu acide H_2SO_4 (0.5M) à $T = T_{\text{ambient}}$.

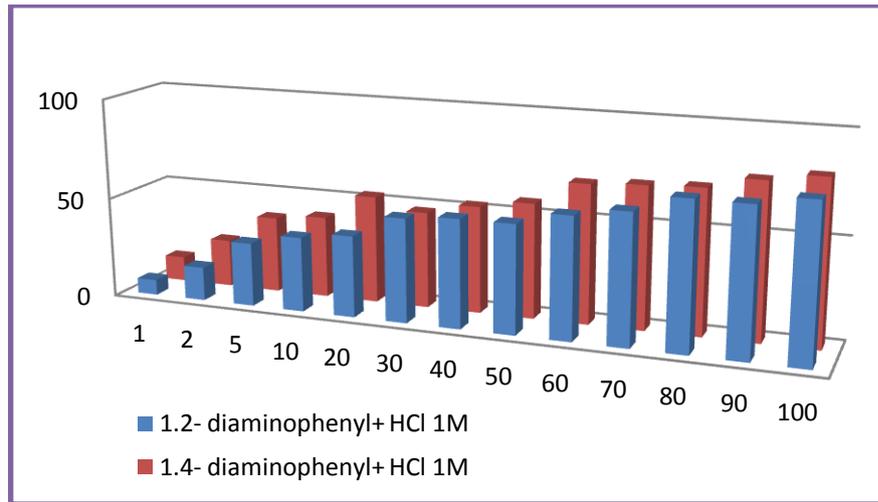


Figure (III- 17): Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs avec (1,2-diaminophenyl et 1,4-diaminophenyl) après 30min d'immersion de l'acier en milieu HCl (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

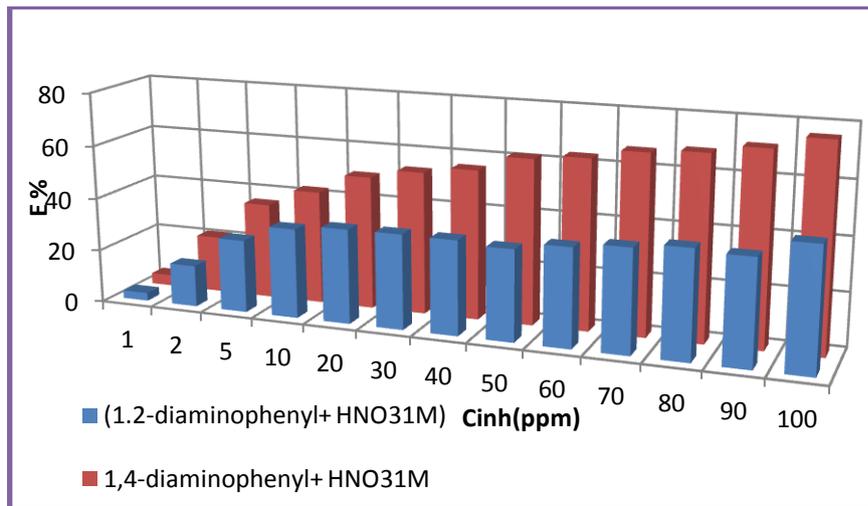


Figure (III- 18): Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs avec (1,2-diaminophenyl et 1,4-diaminophenyl) après 30min d'immersion de l'acier en milieu HNO₃ (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

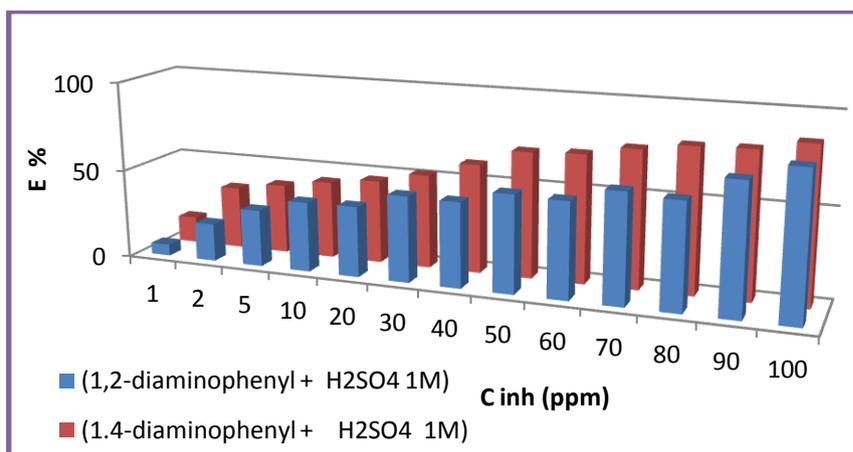


Figure (III- 19): Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration des inhibiteurs avec (1,2-diaminophenyl et 1,4-diaminophenyl) après 30min d'immersion de l'acier en milieu H₂SO₄ (0.5M) à T=T_{ambient}.

Discussions des résultats :

La vitesse de corrosion de l'acier est déterminée par gravimétrie après 30 min d'immersion dans trois milieux acides HCl (1M), HNO₃ (1M), H₂SO₄ (0.5M) avec addition des inhibiteurs testés à différentes concentrations.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le **tableau (III.7), (III-8), (III-9), (III-10), (III-11), (III-12)**, dont l'analyse nous permet de constater que l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur s'accompagne d'une diminution de la vitesse de corrosion. L'efficacité inhibitrice augmente avec la concentration.

A partir des résultats obtenus nous pouvons faire les remarques suivantes :

L'addition de ces composés au milieu corrosif a une influence sur la vitesse de corrosion (v) de l'acier XC70. Cette diminution de (v) est probablement due à l'adsorption de ces composés à la H₂SO₄ (0.5M). HCl (1M); HNO₃ (1M) La vitesse de corrosion diminue tandis que l'efficacité inhibitrice croît avec la concentration en inhibiteur. Ce comportement pourrait être attribué à la forte interaction des inhibiteurs avec la surface du métal et la formation d'une couche barrière entre le métal et le milieu corrosif. Il résulte de l'adsorption des molécules sur la surface du métal. L'adsorption de ces composés sur la surface métallique peut être attribuée aux atomes d'azote qui fournissent leur paire électronique au métal en présence des sites actifs à la surface métallique et faire des liaisons entre eux.

- ✓ L'efficacité inhibitrice de ces composés varie d'un composé à un autre.
- ✓ L'efficacité inhibitrice 1,4-diaminophenyl supérieur à l'efficacité d'inhibiteur 1,2-diaminophenyl.

- ✓ La présente une meilleure efficacité inhibitrice de (80.42358%), pour H₂SO₄, (45.77181%), pour HNO₃, (76.5066%), pour HCl (1M) avec de inhibiteur 1,2-diaminophenyl Pour 100 ppm d'inhibiteur.
- ✓ La présente une meilleure efficacité inhibitrice de (85.73711%), pour H₂SO₄ (0.5M), (76.03556%), pour HNO₃ (1M), (80.53469%), pour HCl avec de inhibiteur 1,4-diaminophenyl Pour 100 ppm d'inhibiteur.

III.4. Etude l'adsorption :

Les isothermes d'adsorption sont très importantes pour déterminer le mécanisme de la réaction électrochimique.

Les deux plus importants qui sont rattachés à l'inhibition de la corrosion sont l'isotherme de Langmuir et l'isotherme de Temkin.

III.3.1. Isotherme d'adsorption de Langmuir:

Tableau.(III-13): Variation de Θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1,2-diaminophenyl à $T=T_{ambiant}$ en milieu HCl (1M).

$$\Theta = \frac{EI\%}{100}$$

C (ppm)	(E I%)	Θ	C_{inh} / Θ
1	7.571243	0.075712	13.20787
2	16.73265	0.167327	11.95268
5	31.66785	0.316679	15.78888
10	37.09896	0.37099	26.95493
20	40.33626	0.403363	49.58318
30	51.49256	0.514926	58.26084
40	53.67961	0.536796	74.51619
50	53.74105	0.53741	93.03875
60	60.04318	0.600432	99.92809
70	64.2038	0.642038	109.0278
80	72.39964	0.723996	110.4978
90	72.21332	0.722133	124.6308
100	76.5066	0.765066	130.7077

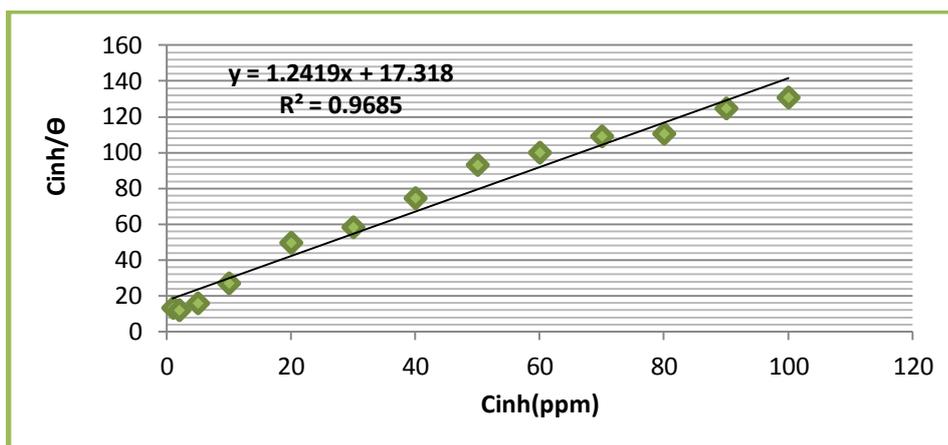


Figure (III-20): Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,2 -diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu HCl (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

Tableau.(III-14): Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.2-diaminophenyl en milieu HNO_3 (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

C (ppm)	(E I%)	Θ	C_{inh} / Θ
1	2.985633	0.029856	33.49374
2	15.63963	0.156396	12.78803
5	27.37205	0.27372	18.26681
10	33.62044	0.336204	29.74381
20	35.40683	0.354068	56.48628
30	35.53	0.3553	84.43568
40	35.3328	0.353328	113.2093
50	34.08013	0.340801	146.7131
60	36.75198	0.36752	163.2565
70	38.62307	0.386231	181.2388
80	40.43401	0.40434	197.8532
90	39.38349	0.393835	228.5222
100	45.77181	0.457718	218.4751

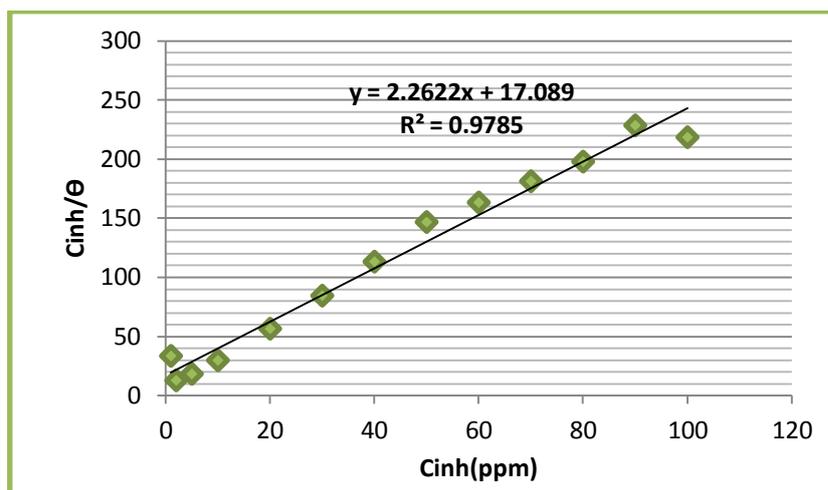


Figure (III-21): Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,2 -diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu HNO_3 (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

Tableau.(III-15): Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1,2-diaminophenyl en milieu H_2SO_4 (0.5M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

C(ppm)	(E I%)	Θ	C_{inh} / Θ
1	6.391535	0.063915	15.64569
2	21.19544	0.211954	9.435993
5	31.74407	0.317441	15.75097
10	38.90151	0.389015	25.70594
20	39.28509	0.392851	50.90989
30	47.84815	0.478481	62.69835
40	47.29587	0.472959	84.57399
50	54.17034	0.541703	92.30143
60	53.3174	0.533174	112.5336
70	60.92394	0.609239	114.8974
80	58.94388	0.589439	135.7223
90	71.77436	0.717744	125.393
100	80.42358	0.804236	124.3416

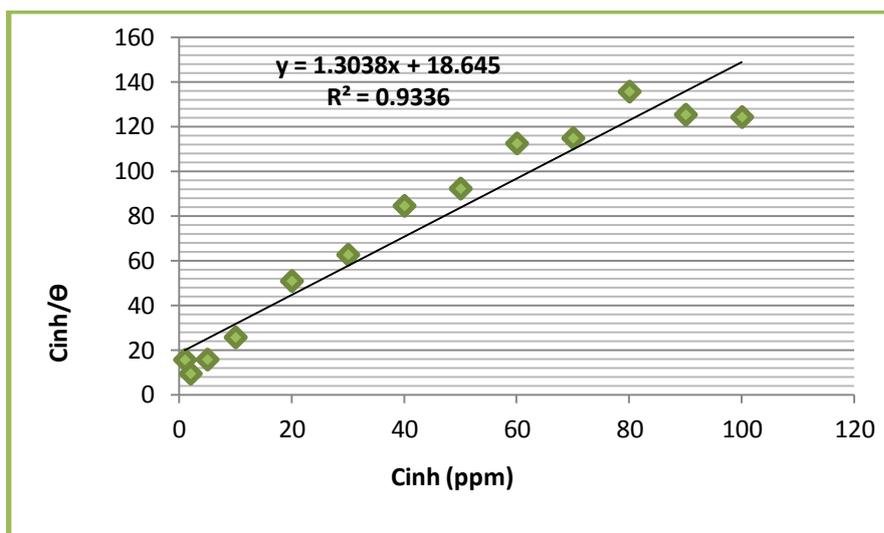


Figure (III-22): Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,2 -diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu H_2SO_4 (0.5M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

Tableau. (III-16): Variation de θ et C_{inh} / θ en fonction de la concentration en 1.4 -diaminophenyl en milieu HCl (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

C(ppm)	(E I%)	θ	C_{inh} / θ
1	12.31971	0.123197	8.117074
2	23.69156	0.236916	8.441825
5	37.91918	0.379192	13.18594
10	40.55561	0.405556	24.6575
20	53.41065	0.534106	37.44572
30	47.75214	0.477521	62.8244
40	53.0377	0.530377	75.41804
50	56.96038	0.569604	87.78032
60	68.65779	0.686578	87.38994
70	70.19747	0.701975	99.71869
80	71.24426	0.712443	112.2897
90	76.88857	0.768886	117.0525
100	80.53469	0.805347	124.1701

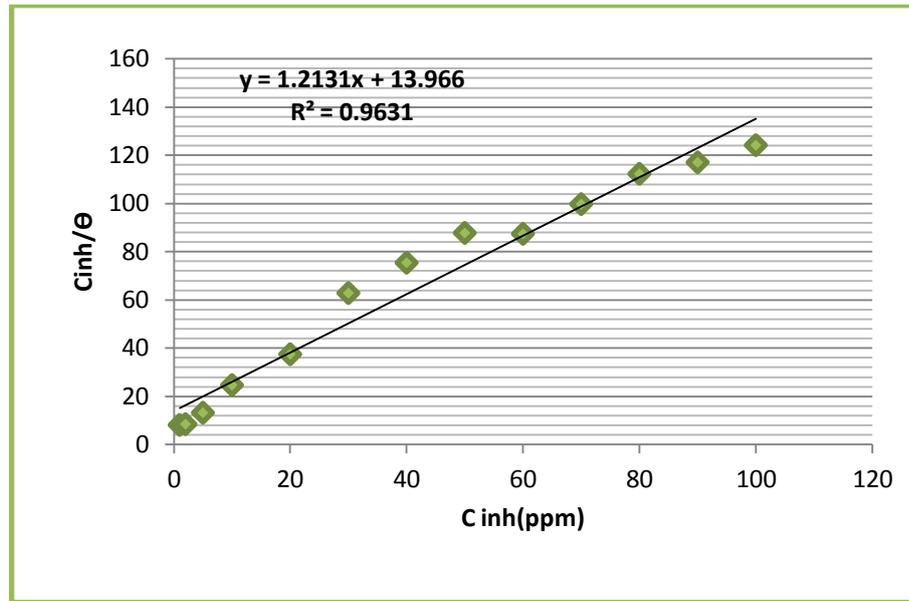


Figure (III-23): Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu HCl (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

Tableau.(III-17): Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.4 - diaminophenyl en milieu HNO₃ (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

C (ppm)	(E I%)	Θ	C_{inh} / Θ
1	4.10515	0.041051	24.35965
2	21.321	0.21321	9.380422
5	36.01481	0.360148	13.88318
10	42.62528	0.426253	23.46025
20	49.99166	0.499917	40.00667
30	53.42916	0.534292	56.14911
40	55.90581	0.559058	71.54891
50	61.68089	0.616809	81.06239
60	63.45095	0.634509	94.56124
70	67.03317	0.670332	104.4259
80	68.42491	0.684249	116.9165
90	71.46783	0.714678	125.9308
100	76.03556	0.760356	131.5174

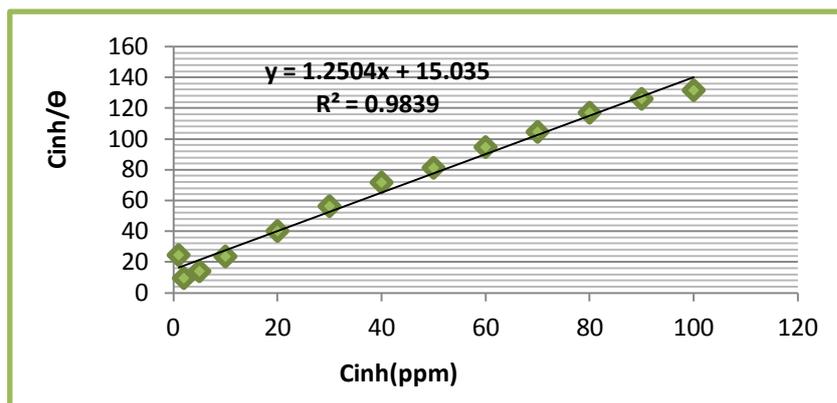


Figure (III-24) Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur1, 4-diaminophenyl sur l'acier X70 après 30 min d'immersion en milieu HNO₃ (1M) à T=T_{ambient}.

Tableau (III-18): Variation de θ et C_{inh} / Θ en fonction de la concentration en 1.4 - diaminophenyl en milieu H₂SO₄ (0.5M) à T=T_{ambient}.

C(ppm)	(E I%)	θ	C _{inh} / Θ
1	14.75729	0.147573	6.77631
2	34.8684	0.348684	5.735852
5	38.92575	0.389258	12.84497
10	43.252	0.43252	23.12032
20	46.53332	0.465333	42.97996
30	52.31271	0.523127	57.34744
40	60.64714	0.606471	65.95529
50	69.94551	0.699455	71.48422
60	71.10545	0.711054	84.38172
70	76.1128	0.761128	91.96876
80	79.89023	0.798902	100.1374
90	80.55426	0.805543	111.7259
100	85.73711	0.857371	116.6356

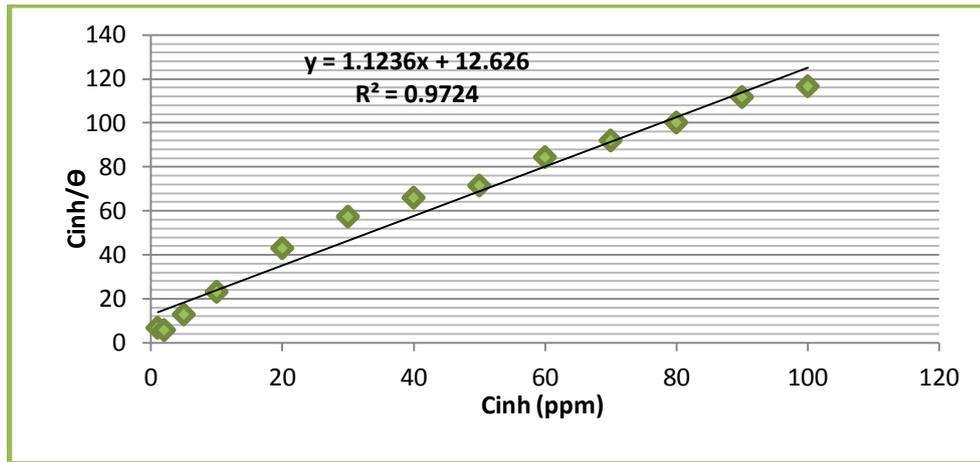


Figure (III-25): Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur l'acier XC70 après 30 min d'immersion en milieu H_2SO_4 (0.5M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

III.3.2. Isotherme d'adsorption de Temkin:

☒ inhibiteur 1,2-diaminophenyl:

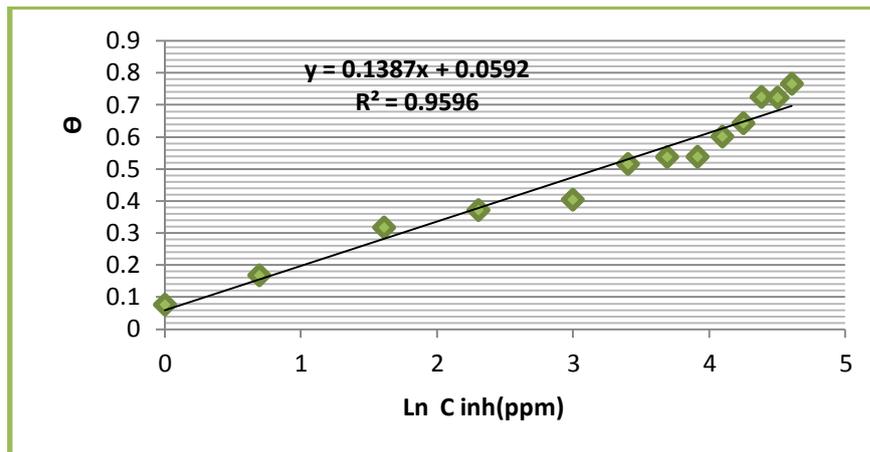


Figure (III-26): Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,2-diaminophenyl sur X70 après 30 min d'immersion en milieu HCl (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

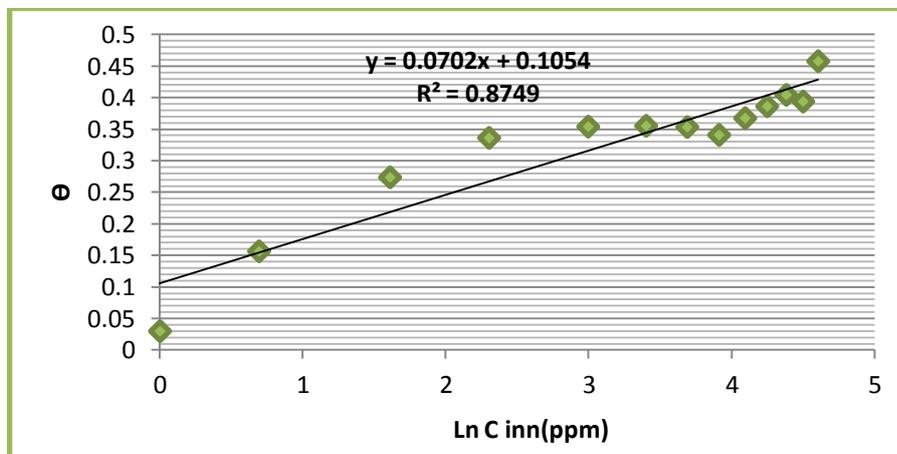


Figure (III-27): Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,2-diaminophenyl sur X70 après 30 min d'immersion en milieu HNO_3 (1M) à $T=T_{\text{ambient}}$.

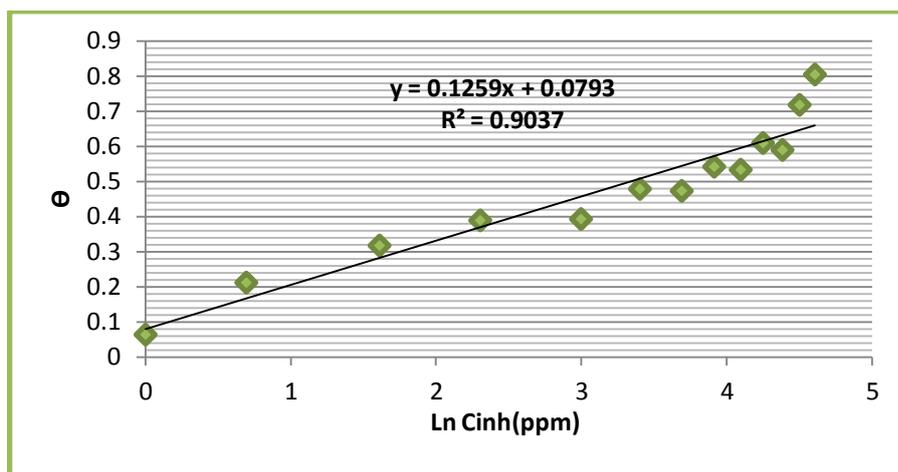


Figure (III-28): Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,2-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu $H_2SO_4(0.5M)$ à $T=T_{\text{ambient}}$.

☒ inhibiteur1, 4-diaminophenyl:

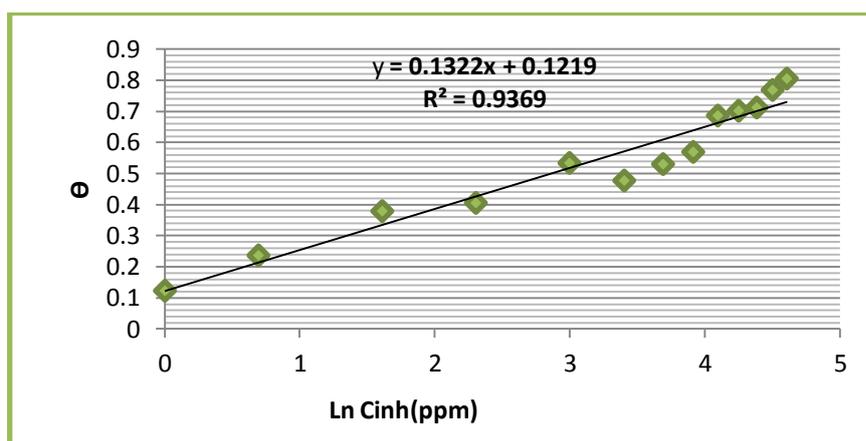


Figure (III-29): Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu $HCl(1M)$ à $T=T_{\text{ambient}}$.

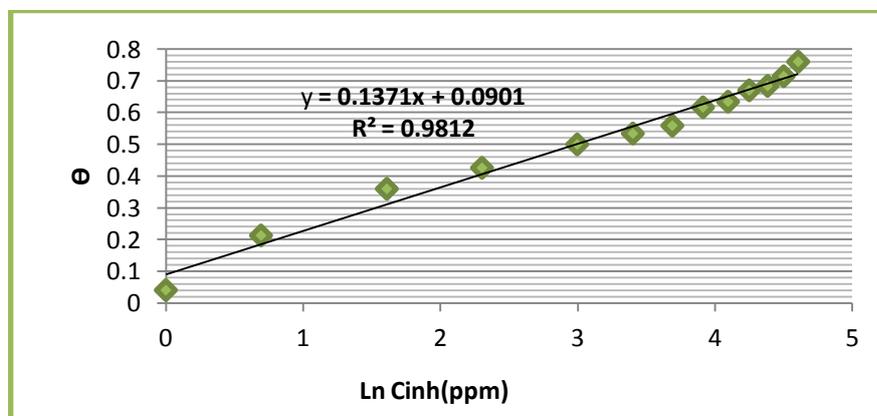


Figure (III-30): Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu $HNO_3(1M)$ à $T=T_{\text{ambient}}$.

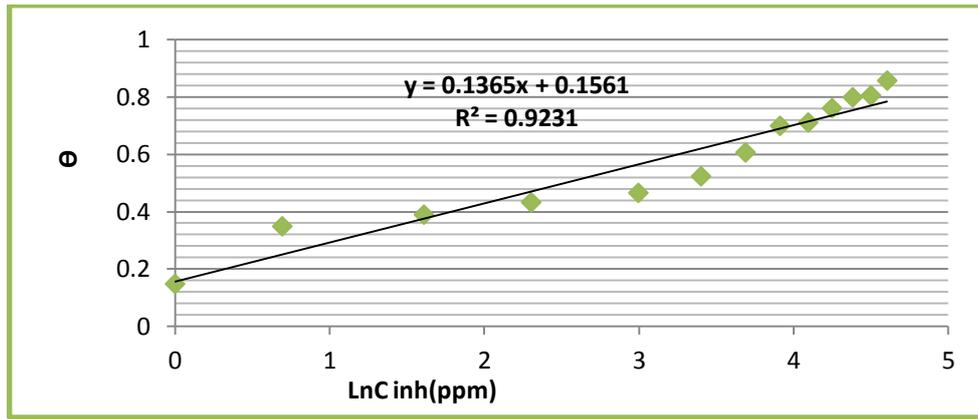


Figure (III-31): Isotherme d'adsorption de Temkin de l'inhibiteur 1,4-diaminophenyl sur X70 après 30min d'immersion en milieu H_2SO_4 (0.5M) à $T=T_{\text{ambient}}$

Discussions des résultats Isotherme:

Tableau (III-19): Variation de K et R^2 avec (1,4 -diaminophenyl et 1,4 -diaminophenyl) à $T=T_{\text{ambient}}$ en milieu HCl (1M), HNO_3 (1M) et H_2SO_4 (0.5M). Isotherme d'adsorption de Langmuir. $T=T_{\text{ambient}}=25^\circ C=298\text{ k}$

(1,2-diaminophenyl)	(1,4-diaminophenyl)	/
$K=1/17.31 = 0.05777$	$K=1/13.96 = 0.071633$	HCl (1M)
$R^2 = 0.968$	$R^2 = 0.963$	
$Y=1.241x + 17.31$	$Y=1.213x + 13.96$	
$K=1/17.08 = 0.058548$	$K=1/15.03 = 0.066534$	HNO ₃ (1M)
$R^2 = 0.978$	$R^2 = 0.983$	
$Y=2.262x + 17.08$	$Y=1.25x + 15.03$	
$K=1/18.64 = 0.053648$	$K=1/12.62 = 0.079239$	H ₂ SO ₄ (0.5M)
$R^2 = 0.933$	$R^2 = 0.972$	
$Y=1.303x + 18.64$	$Y=1.123x + 12.62$	

- où K (L/mg) désigne le coefficient d'adsorption (ou la constante d'équilibre du processus d'adsorption) et C_{inh} la concentration de l'inhibiteur dans la solution. Le réaménagement de cette relation donne :

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K} + C_{inh}$$

Tableau (III-20): Variation R^2 avec (1,4 -diaminophenyl et 1,2 -diaminophenyl) à température ambiante en milieu HCl (1M), HNO₃ (1M) et H₂SO₄ (0.5M). Isotherme d'adsorption de Temkin.

(1,2-diaminophenyl)	(1,4-diaminophenyl)	/
$R^2 = 0.959$	$R^2 = 0.936$	HCl (1M)
$Y = 0.138x + 0.059$	$Y = 0.132x + 0.121$	
$R^2 = 0.874$	$R^2 = 0.981$	HNO ₃ (1M)
$Y = 0.070x + 0.105$	$Y = 0.137x + 0.090$	
$R^2 = 0.903$	$R^2 = 0.923$	H ₂ SO ₄ (0.5M)
$Y = 0.125x + 0.079$	$Y = 0.136x + 0.156$	

❖ **L'efficacité relative d'inhibition dépend :**

- ✓ du taux de recouvrement de la surface métallique par les molécules d'inhibiteur ;
- ✓ de la fixation de la molécule d'inhibiteur sur le métal ;
- ✓ de la stabilité du complexe qui dépend de la planéité de la molécule.
- Les valeurs de taux de recouvrement (Θ) ont été utilisées pour déterminer l'isotherme correspondante au processus d'adsorption des inhibiteurs. Ainsi, différentes isothermes comprenant Langmuir, Temkin et Frankin ont été testées afin de trouver l'isotherme d'adsorption convenable, est relié à la concentration en inhibiteur (C_{inh}) par l'équation (4), (6), (7).
- Les valeurs de (Θ) sont présentées graphiquement selon l'isotherme d'adsorption convenable.
- Pour choisir l'isotherme d'adsorption convenablement nous avons utilisé le coefficient de corrélation (R^2)
- La courbe C_{inh}/Θ en fonction de la concentration est linéaire pour d'inhibiteurs 1,2-diaminophenyl et 1,4-diaminophényl cela montre que l'adsorption d'inhibiteurs 1,2-

diaminophenyl et 1,4-diaminophenyl sur la surface de l'acier en milieu HCl (1M), HNO₃ (1M), H₂SO₄ (0.5M) obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

- ✓ **K** est lié à l'énergie libre standard d'adsorption ΔG°_{ads} par l'équation suivante

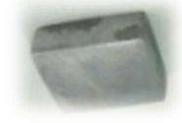
$$K = \frac{1}{55.5} \exp\left(-\frac{\Delta G^{\circ}_{ads}}{RT}\right)$$

- ✓ La valeur 55,5 est la concentration de l'eau en solution (mol.l⁻¹).
 - ✓ Les valeurs négatives de ΔG°_{ads} indiquent la spontanéité du processus d'adsorption et la stabilité de la couche adsorbée sur la surface métallique.
- L'étude est détaillée pour les inhibiteurs 1,2-diaminophenyl -1,4-diaminophenyl en milieu acide HNO₃ (1M), HCl (1M), H₂SO₄ (0.5M) en utilisant l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

Tableau (III- 21) : la Forme de l'acier X70 avant et après 30 min d'immersion dans HCl 1M, HNO₃ 1M et H₂SO₄ 0.5M en absence des inhibiteurs à T= T_{ambiant} .

C(ppm)	Sans d'inhibiteurs		
	Milieu corrosif	avant 	Temps (min)
/	HCl (1M)		30 min
/	HNO ₃ (1M)		30 min
/	H ₂ SO ₄ (0.5M)		30 min

Tableau (III- 22) : la Forme de l'acier X 70 avant et après 30 min d'immersion dans HCl 1M, HNO₃ 1M et H₂SO₄ 0.5M en présence des inhibiteurs 1,2-diaminophenyl -1,4-diaminophenyl pour 100 ppm à T= T_{ambiant} .

Présence d'inhibiteur 1,2 –diaminophenyl			
C(ppm)	Milieu corrosif	après	Temps (min)
100	HCl (1M)		30 min
100	HNO ₃ (1M)		30 min
100	H ₂ SO ₄ (0.5M)		30 min
Présence d'inhibiteur 1,4 –diaminophenyl			
C (ppm)	Milieu corrosif	après	Temps (min)
100	HCl (1M)		30 min
100	HNO ₃ (1M)		30 min
100	H ₂ SO ₄ (0.5M)		30 min

Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de ce travail, nous avons étudié l'action inhibitrice par le composé organique suivant (1,2 diaminophenyl et 1,4 diaminophenyl) : vis-à-vis de la corrosion d'un acier X70 au contact d'un milieu aqueux de HCl 1M, HNO₃ 1M, H₂SO₄ 0.5 M, par la méthode de gravimétrie, nous avons étudié aussi l'influence de la température sur la corrosion et l'isotherme de l'adsorption.

- ⇒ Dans une première partie théorique, un certain nombre de concepts nécessaires à cette étude, a été présenté et portant sur la connaissance de la corrosion des métaux. Les inhibiteurs de corrosion et les méthodes d'étude ont été encore abordés dans cette partie.
- ⇒ Dans la seconde partie expérimentale, nous avons d'abord présenté le dispositif et les conditions opératoires adoptés pour mener cette étude. Ensuite, on a procédé à l'étude de l'effet inhibiteur par des techniques gravimétriques.

Les résultats obtenus lors de l'étude de la corrosion par gravimétrie montrent que:

- ✓ L'alliage subira de corrosion uniforme dans une solution HCl 1M, HNO₃ 1M, H₂SO₄ 0.5M
- ✓ La vitesse de corrosion augmente avec la température.
- ✓ les vitesses données en (g/mm².h) en fonction de la température, montrent que notre métal est moins résistant en milieu d'acide HNO₃ 1M.
- ✓ L'augmentation de la concentration d'inhibiteur (1,2 diaminophenyl et 1,4 diaminophenyl) dans le milieu diminue la vitesse de corrosion, Par contre l'efficacité inhibitrice augmente avec la concentration de l'inhibiteur.
- ✓ une concentration de 100 ppm du produit inhibiteur (1,2 diaminophenyl) a donné une efficacité d'inhibition d'environ **76.51%** avec HCl et **45.77 %** avec HNO₃ et **80.42 %** avec H₂SO₄ à température ambiante.
- ✓ une concentration de 100 ppm du produit inhibiteur (1,4 diaminophenyl) a donné une efficacité d'inhibition d'environ **80.53 %** avec HCl et **76.04 %** avec HNO₃ et **85.74 %** avec H₂SO₄ à température ambiante.
- ✓ l'action inhibitrice de 1,4 diaminophenyl plus efficace que de 1,2 diaminophenyl.
- ✓ L'adsorption de ces inhibiteurs sur la surface de l'acier suit l'isotherme de Langmuir.

Finalement, ce travail a permis de mettre en valeurs les propriétés inhibitrices du (1,2 diaminophenyl et 1,4 diaminophenyl) avec des pourcentages d'inhibition similaires voire plus élevés que ceux que l'on retrouve dans la littérature.

RECOMMANDATIONS :

A la lumière des résultats obtenus, nous pouvons envisager quelques recommandations qui nous paraissent intéressantes pour la poursuite de ce travail :

- Elargissement de l'étude à l'autre composé amine.
- Amélioration du taux de protection par l'ajout d'autres concentrations d'inhibiteur.
- Éclaircir les mécanismes d'adsorption et préciser la nature de liaison métal- inhibiteur par le calcul des paramètres thermodynamiques.
- Valider les résultats obtenus par d'autres techniques, plus puissantes, comme celle de voltamètre cyclique et courbe de tafel, l'impédance électrochimiques et d'analyse de surface par la microscopie MEB.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] M. FAUSTIN, *Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M*, Université des Antilles et de la Guyane, thèse de doctorat ,18 Janvier 2013
- [2] H.Brahim Ladouani, *Inhibition de la corrosion du cuivre en milieu acide par les dérivés de dithioacétal de cétène*, Mémoire de magister, L'université Mentouri de Constantine, 2010 / 2011.
- [3] H.Bensabra, *Cours de Corrosion et Protection des Métaux*, Université de JIJEL, 2016, p 2.
- [4] B.GROSGOGEAT, P. COLON, Support de Cours (Version PDF) - La Corrosion, - © Université Médicale Virtuelle Francophone, Date de creation du document 2009-2010
- [5] G.BerangerF.Dabosi corrosion et protection de métaux , Ecole d'été du CNR,(1980).
- [6] V.L.Snoeyink, and D.Jenkins, *Water chemistry*. New York: John Wiley and Sons.(1980)
- [7] M. Bendahou, M. Benabdellah, B. Hammouti, *Pigment and Resin Technol.* 35 (2006) 95.
- [8] E .Chaieb, A. Bouyanzer, B. Hammouti, M. Benkaddour, M. Berrabah, *Transactions of the SAEST.* 39 (2004) 58.
- [9] G. WRANGLLEN, *Corrosion and protection of metals*, Chap. and Hall, London (1985)
- [10] A. Bouyanzer, B. Hammouti, *Pigment and Resin Technol.* 33 (2004) 287.
- [11] H.Hamani, *Synthèse, caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules bases de Schiff*, thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Setif -1-, 2015.
- [12] H.E.Waldrip, *Corrosion* 4 (1948) 61.
- [13] E. Hamner Norman, *Scope and importance of inhibitor technology*. In: ET by C.C. Nathan, Houston, NACE Corrosion Inhibitors. USA: Nations Association of Corrosion Engineers, 1973, p.28-41
- [14] G. Trabanelli, V. Carassiti , *Corrosion Science and Technology*: Plenum Press, New York (1970).
- [15] S. Bradford , *Corrosion and Protection* , Van Nostrand Reinhold, New York (1992).
- [16] H.Magaly, *Etude d'un traitement multifonctionnel vert pour la protection contre la corrosion de l'acier au carbone API 5L-X65 en milieu CO2*, thèse de doctorat, L'Universitaire de Toulouse ,13 mai 2011.
- [17] M.SERGHINI IDRISSE, *Etude du comportement électrochimique de l'acier C38 et*

- l'acier inoxydable UR45N dans différents milieux*, thèse de doctorat, Université Mohammed V, Rabat, 10 décembre 2016.
- [18] D.Landolt, Corrosion et chimie de surface des métaux. Presse polytechniques et universitaires romandes, 1993
- [19] T.Soylev, A. Richardson, M. G. Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of the art report. *Construction and Building Materials* 2008, 22 (4), 609-622.
- [20] H.Jamil, E.Shriri, A. Boulif, R. Bastos, C. Montemor, M. F. Ferreira, M. G. S., Electrochemical behaviour of amino alcohol-based inhibitors used to control corrosion of reinforcing steel. *Electrochimica Acta* 2004, 49 (17-18), 2753-2760.
- [21] A .Mărioara, M. Jean Pierre, Étude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de Refroidissement studiul Efficacitate -Inhibitorilor de Corozione utilizati in lichidele de racire, thèse doctorat, Universitaire de pitesti-Roumanie institut National des sciences appliquées de Lyon, pitesti, 2011 .
- [22] C.K.Nmai, Multi-functional organic corrosion inhibitor. *Cement & Concrete Composites* 2004, 26 (3), 199-207.
- [23] J.Cruz, R.Martinez, J. Genesca, E. Garcia-Ochoa, Experimental and theoretical study of 1-(2-ethylamino)-2-methylimidazoline as an inhibitor of carbon steel corrosion in acid media. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 2004, 566 (1), 111-121.
- [24] C. Fiaud, C. Lemaitre, N. Pébère. Mécanique et ingénierie des Matériaux. Lavoisier, Paris, Hermès Science Publications, (2002) 245.
- [25] D. Landolt, Corrosion et chimie de surface des métaux – Traité des matériaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (1993).
- [26] C. Fiaud, C. Lemaitre, N. Pébère. Inhibiteurs de corrosion. In : G. Béranger, H. Mazille, Corrosion et Anticorrosion (pratique industrielle), Hermès Science Publications, Paris, (2002) 245.
- [27] I.L. Rozenfeld, Corrosion Inhibitors, McGraw-Hill, (1981).
- [28] C. Hansson , M. Mammoliti, L.Hope, B. B., Corrosion inhibitors in concrete - Part I: The principles. *Cement and Concrete Research* 1998, 28 (12), 1775-1781.
- [29] S. Chakri. *Compréhension des mécanismes d'inhibition de la corrosion des armatures métalliques des bétons par des molécules d'origine biologique*, thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 2015.

- [30] E. Schaschl. NACE Corrosion Inhibitors, USA, National Association of Corrosion Engineers, (1973) 28.
- [31] K. Khaled , AL-QAHTANI M.M., The inhibitive effect of some tetrazole derivatives towards Al corrosion in acid solution: Chemical, electrochemical and theoretical studies, *Materials Chemistry and Physics*, 113, 1, 150-158, 2009.
- [32] C.Fiaud,C, Paris, Lemaitre, N.Pebère. Inhibiteur de corrosion, In: G.Beraner, H.Mazille. Corrosion et Anticorrosion (Pratique industrielle), Hermès Science Publication (2002) P.255
- [33] P.BOMMERSBACH , Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous influencé de la température et de conditions hydrodynamiques: caractérisation par techniques électrochimiques, *Thèse génie des matériaux*, Lyon: INSA de LYON, 154pp, Nr. 05 ISAL 0060, 2005.
- [34] D.Landolt, Corrosion et Chimie de Surface des Métaux, 1st Edition, AldenPress, Oxford, (1993) 489.

Résumé:

Dans ce travail, nous étudions l'efficacité de l'inhibition de corrosion de l'acier carbone X70 dans trois milieu acide HCl 1M, HNO₃ 1M, H₂SO₄ 0.5M, en utilisant deux composés amines sont : 1,2 - diaminophenyl et 1,4 - diaminophenyl cette étude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion a été déterminée par la méthode classique perte de poids.

Les résultats expérimentaux obtenu montrent que :

- Une diminution de la vitesse de corrosion
- L'efficacité inhibitrice augmente avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur atteint une valeur maximale pour 100ppm à température ambiante.
- Type d'adsorption Isotherme de Langmuir.

Mots clés: adsorption, corrosion, milieu acide HCl 1M, HNO₃ 1M, H₂SO₄ 0.5M, des inhibiteur 1,2 - diaminophenyl et 1,4 - diaminophenyl, de l'acier carbone X70.

ملخص :

في هذا العمل نهتم بدراسة فعاليته تثبيط تآكل الكربون الصلب X70 في ثلاثة اوساط حمضية 1M HCl، 1M HNO₃، 0.5 M H₂SO₄، للمركبين 1,2- ثنائي امين فينيل و 1,4- ثنائي امين فينيل حيث تم الاعتماد على طريقة الكلاسيكية لفقدان الوزن .

ومن خلال هذه الدراسة التجريبية تمكنا من الوصول الى النتائج التالية

- انخفاض في معدل التآكل.
 - زيادة الكفاءة المثبطة بزيادة تركيز المثبط تصل إلى قيمة قصوى 100 ppm في درجة الحرارة المحيطة .
 - امتزاز المثبط على سطح المعدن يتبع نموذج متساوي الحرارة لنغموير.
- كلمات مفتاحية:** الامتزاز، التآكل، اوساط حمضية 1M HCl، 1M HNO₃، 0.5M H₂SO₄، مثبط 1,2- ثنائي امين فينيل و 1,4- ثنائي امين فينيل، فولاد كربون X70.