



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Department de chimie industrielle

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

Habchi Rania

Le : dimanche 7 juillet 2019

La synthèse d'un dérivé d'aniline et l'étude de son efficacité inhibitrice sur corrosion d'X42 dans l'eau d'Albien

Jury :

Dr	Digheche Kalthoum	MCA	Université de Biskra	Président
Dr	Chérifi-Bennadji Nedjema	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr	Ghebghoub Fatima	MCB	Université de Biskra	Examineur

Remerciements

Je remercie le Bon Dieu de m'avoir donné le courage et la force d'accomplir ce travail.

- ❖ Je tiens à exprimer toute ma sympathie et ma gratitude envers mon promoteur « M^{me} Chérifi-Bennadji Nedjema » pour sa direction et ces conseils pendant toute la durée de la préparation de ce mémoire.
- ❖ Je remercie également les membres du jury pour accepter de juger mon travail.
- ❖ Je remercie tous les membres du laboratoire de chimie industrielle, de génie mécanique et toute l'équipe pédagogique pour m'avoir transmis leur savoir, tout au long de mon cycle d'étude.

Dédicace

Je dédie ce travail

A mon père, mon modèle dans la vie, et mon professeur.

A ma mère, la source de l'affection et de l'amour.

A ma sœur, ma fidèle amie qui m'inspire dans ma vie.

A tous mes amis proches.

*A toute la promotion de deuxième année master en génie
des procédés 2019.*

Sommaire

Liste des figures.....	i
Liste des Tableaux.....	iii
Liste des schémas.....	v
Introduction générale	3

Chapitre I : La corrosion.

I	Définition et modes de corrosion.....	5
I. 1	La corrosion.....	5
I. 2	Modes de corrosion.....	5
I. 2. 1	Corrosion chimique.....	6
I. 2. 2	Corrosion électrochimique.....	6
I. 2. 3	Corrosion bactérienne	6
I. 3	Les différentes formes de la corrosion.....	6
I. 4	Les facteurs de la corrosion.....	8
I. 5	Protection contre la corrosion.....	8
I. 5. 1	Protection par revêtements	8
I. 5. 1. 1	Protection par revêtement métalliques.....	8
I. 5. 1. 1. 1	Les revêtements cathodiques	9
I. 5. 1. 1. 2	Les revêtements anodiques.....	9
I. 5. 1. 2	Revêtement inorganiques non métallique.....	9
I. 5. 1. 2 .1	Les couches de conversion.....	9

I. 5. 1. 2. 2	Les couches étrangères au substrat.....	9
I. 5. 1. 3	Revêtement organique	10
I. 5. 2	Protection par inhibitions.....	10
I. 5. 2. 1	Définition.....	10
I. 5. 2. 2	Propriétés d'inhibiteur.....	10
I. 5. 2. 3	Utilisation des inhibiteurs de corrosion.....	11
I. 5. 2. 4	Classes d'inhibiteurs	11
I. 5. 2. 4. 1	Classification selon la nature des molécules de l'inhibiteur	12
I. 5. 2. 4. 1. 2	Les inhibiteurs organiques.....	12
I. 5. 2. 4. 2	Mécanismes d'action électrochimique.....	13
I. 5. 2. 4. 2. 1	Inhibiteurs anodiques.....	13
I.5. 2. 4. 2. 2	Inhibiteurs cathodique.....	13
I. 5. 2. 4. 2. 3	Inhibiteurs mixte.....	14
I. 5. 2. 4. 3	Mécanisme réactionnel (adsorption ou formation d'un film).....	14
I. 5. 2. 4. 3. 1	Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique.....	14
I. 5. 2. 4. 3. 2	Formation d'un film intégrant les produits de dissolution du substrat.....	15
I. 5. 2. 4. 3. 3	Relation entre l'efficacité inhibitrice et l'adsorption.....	15
I. 5. 2. 5	Type d'adsorption.....	15

I. 5. 2. 5. 1	Adsorption physique.....	16
I. 5. 2. 5. 2	Chimisorption.....	16
I. 6	Méthodes de mesures de la corrosion	16
I. 6. 1	La gravimétrie	17

Chapitre II : Synthèse d'inhibiteur

II. 1	La synthèse d'acétanilide	19
II. 2	Généralité.....	19
II. 3	Synthèse de l'acétanilide.....	19
II.4	Méthodes d'analyse et de confirmation utilisées.....	21
II. 4. 1	Point de fusion.....	21
II. 4. 2	Spectrophotométrie IR.....	22
II. 5	Les inhibiteurs appliqués à Rourde –Nous.....	23
II. 5. 1	Application.....	24
II. 5. 2	Stockage.....	24
II. 5. 3	Lieu d'injection d'inhibiteur.....	25
II. 6	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d' Albien.....	25
II. 6. 1	Calcul du taux d'agressivité de l'eau utilisée	26
II. 6. 1. 1	Le pH.....	26
II. 6. 1. 2	La conductivité	26
II. 6. 1. 3	Dosage des chlorures (Cl ⁻).....	26
II. 6. 1. 4	Dosage des sulfates (SO ₄ ⁻²).....	26
II. 7	Matériaux utilisés.....	27
II. 7. 1	Le métal de base.....	27
II. 7. 2	Conditions expérimentales.....	29
II. 7. 2. 1	Polissage mécanique.....	29

II. 7. 2. 2	L'isolation de l'échantillon par revêtement.....	30
II. 7. 2. 3	Solution corrosive.....	31
II. 7. 2. 4	Choix de la vitesse d'écoulement	31
II. 7. 2. 5	Durée d'expérience d'immersion.....	31
II.8	Les solutions électrolytiques.....	31
II.8.1	Préparation de solution 100 ppm.....	31
II. 8. 2	Préparation de solution de 50 ppm.....	32
II. 8. 3	Les milieux corrosifs.....	32
II. 9	Les immersions avec écoulements.....	32

Chapitre III : Résultat

III. 1	Calcul de la vitesse de corrosion.....	36
III. 1. 1	Etude gravimétrique.....	36

Chapitre IV : Discussion des Résultats

IV. 1	Introduction.....	43
IV. 2	Synthèse de l'acétanilide.....	43
IV. 3	Etude de l'efficacité de l'inhibiteur.....	44
IV. 3. 1	Les resultats de test d'immersion.....	44
IV. 3. 1. 1	Inhibiteur acétanilide	44
IV. 3. 1. 2	Inhibiteur commercial	46
	Conclusion générale.....	54

Bibliographies

Liste des figures :

<i>Figure (I.1) : La corrosion entre le matériau et l'environnement .</i>	5
<i>Figure(I.2) : Classement des inhibiteurs de corrosion .</i>	11
<i>Figure (I.3) : Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.</i>	12
<i>Figure (I.4) : Formation des couches barrières a) cathodiques et b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques.</i>	13
<i>Figure (II.1) : La structure chimique de l'acétanilide.</i>	19
<i>Figure (II.2) : Le montage expérimental.</i>	20
<i>Figure (II.3) : L'acétanilide obtenus en forme cristaux.</i>	21
<i>Figure (II.4) : Photographie de l'appareil de point de fusion utilisé.</i>	22
<i>Figure (II.5) : Photographie de l'appareil d'IR utilisé.</i>	22
<i>Figure (II.6) : Spectre IR du l'acétanilide.</i>	23
<i>Figure (II.7) : Etiquette de CHIMEC 1038.</i>	23
<i>Figure (II.8) : Spectre IR du l'inhibiteur commarcial.</i>	25
<i>Figure (II.9) : La méthode de dosage des sulfates.</i>	27
<i>Figure (II.10) : Photographie montre la tôle X42.</i>	29
<i>Figure (II.11) : l'apparence de tôle X42 après le découpage.</i>	29
<i>Figure (II.12) : Apparence de l'échantillon de métal X42 après la préparation.</i>	30

<i>Figure (II.13) : La polisseuse.</i>	30
<i>Figure (II.14) : L'apparence des échantillons X42 avec le revêtement.</i>	31
<i>Figure (II.15) : l'appareil de jar_tests.</i>	33
<i>Figure (II.16) : L'apparence de l'expérience d'immersion dans les premiers heures d'agitation.</i>	33
<i>Figure (II.17) : L'apparence de l'échantillons après 3 heures d'immersion.</i>	34
<i>Figure (II.18) : L'apparence de l'échantillons après le nettoyage.</i>	34
<i>Figure (IV.1) : Spectre IR du l'acétanilide.</i>	43
<i>Figure (IV.2) : Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps d'inhibiteur acétanilide.</i>	48
<i>Figure (IV.3) : Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps d'inhibiteur commercial.</i>	49
<i>Figure (IV.4) : Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps de 50 ppm entre les deux inhibiteur.</i>	50
<i>Figure (IV.5) : Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps de 100 ppm entre les deux inhibiteur.</i>	50
<i>Figure (IV.6) : Comparaison des rendements d'inhibiteur acétanilide en fonction de temps.</i>	51
<i>Figure (IV.7) : Comparaison des rendements d'inhibiteur commercial en fonction du temps.</i>	52
<i>Figure (IV.8) : Comparaison des rendements des deux inhibiteurs à 50 ppm.</i>	53
<i>Figure (IV.9) : Comparaison des rendements entre les deux inhibiteurs à 100 ppm.</i>	53

Liste des Tableaux :

<i>Tableau (I. 1) : Les formes de la corrosion</i>	6
<i>Tableau (I. 2) : Les principaux facteurs de la corrosion</i>	8
<i>Tableau (II.1) : Fiche de sécurité de l'inhibiteur.</i>	24
<i>Tableau (II.2) : Caractéristique physico-chimique de l'eau d'Albien de la région Roude Nouss Wilaya d'IliZi</i>	25
<i>Tableau (II.3) : La référence de dosage du sulfate.</i>	27
<i>Tableau (II.4) : Composition chimique d'acier X42</i>	28
<i>Tableau (II.5) : Les milieux corrosifs.</i>	34
<i>Le tableau (III.1) : La vitesse de corrosion du métal X42, sans inhibiteur.</i>	36
<i>Le tableau (III.2) : La vitesse de corrosion du métal X42, à C= 50 ppm d'acétanilide.</i>	37
<i>Le tableau (III.3) : La vitesse de corrosion du métal X42, à C= 100 ppm d'acétanilide.</i>	37
<i>Le tableau (III.4) : La vitesse de corrosion du métal X42, à C =50 ppm d'inhibiteur commercial.</i>	38
<i>Le tableau (III.5) : La vitesse de corrosion du métal X42, à C =100 ppm d'inhibiteur commercial.</i>	38
<i>Le tableau (III.6) : Rendement inhibiteur du métal X42, à C= 50 ppm d'acétanilide.</i>	39
<i>Le tableau (III.7) : Rendement inhibiteur du métal X42, à C =100 ppm d'acétanilide.</i>	39

<i>Le tableau (III.8) : Rendement inhibiteur du métal X42, à C=50 ppm de l'inhibiteur commercial .</i>	40
<i>Le tableau (III.9) : Rendement inhibiteur du métal X42, à C=100 ppm de l'inhibiteur commercial .</i>	40
<i>Tableau (IV.1) : La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 3h d'inhibiteur acétanilide.</i>	44
<i>Tableau (IV.2) : La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 3 jours d'inhibiteur acétanilide.</i>	45
<i>Tableau (IV.3) : La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 7 jours d'inhibiteur acétanilide.</i>	45
<i>Tableau (IV.4) : La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 3 h d'inhibiteur commercial .</i>	46
<i>Tableau (IV.5) : La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 3 jours d'inhibiteur commercial .</i>	47
<i>Tableau (IV.6) : La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 7 jours d'inhibiteur commercial .</i>	47

Liste des schémas :

<i>Schéma (II.1) : La synthèse de l'acétanilide.</i>	20
<i>Shéma (IV.1) : La mécanisme réactionnel de l'acétanilide.</i>	43

Introduction Générale

Introduction Générale

La corrosion résulte d'une action chimique et/ou physique d'un métal ou alliage avec son environnement. Les conséquences sont importantes dans divers domaines et en particulier dans l'industrie : arrêt de production, remplacement des pièces corrodées, accidents graves et risques de pollutions sont des événements fréquents avec parfois de lourdes incidences économiques.

En matière de protection, l'utilisation des inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion des métaux et alliages. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion des matériaux. Il peut être destiné soit à une protection permanente de la pièce (l'installation requiert alors une attention scrupuleuse), soit à une protection provisoire, notamment lorsque la pièce est particulièrement sensible à la corrosion ou lorsqu'elle est exposée à un milieu très agressif. Les inhibiteurs étudiés dans le cadre de ce travail appartiennent à cette dernière catégorie.

Les inhibiteurs présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu onéreuse, pour peu que le ou les produits utilisés soient d'un coût modéré. Les nombreuses études consacrées, depuis une cinquantaine d'années, à ces composés, ont abouti à proposer des produits ou des mélanges de produits précis correspondant à des systèmes de corrosion métal/milieu donnés. Chaque cas de corrosion reste cependant un cas particulier, et il est nécessaire de connaître le mode d'action des molécules inhibitrices, leurs limites d'utilisation, leur toxicité, afin de pouvoir les utiliser avec une marge suffisante de sécurité.

Le présent travail porte sur la synthèse et l'étude de l'action inhibitrice de la corrosion. Le pouvoir inhibiteur a été évalué en mis en point d'intervenir la méthode gravimétrique ou encore la perte de masse. Cette dernière nous a permis de suivre l'évolution de l'efficacité inhibitrice des composés testés en étudiant l'effet de la concentration sur le comportement des inhibiteurs par rapport au temps d'immersion; a également été étudié dans le but de savoir la résistance de la couche film de l'inhibiteur sur l'acier pendant des durées choisies en effectuant des mesures

gravimétrique .

Dans son ensemble notre travail, se divise en quatre chapitres :

- ❖ Le premier chapitre constitue une approche bibliographique sur la corrosion.
- ❖ Le deuxième chapitre renferme la partie expérimentale dans laquelle une synthèse d'inhibiteur et des testes d'immersions sont effectuées.
- ❖ Le troisième chapitre est consacré à une étude galvanique de l'effet inhibiteur.
- ❖ Le quatrième chapitre est destiné à la discussion des résultats obtenus.

Chapitre I

Etude bibliographique

I. Définition et modes de corrosion :

I. 1. La corrosion :

La corrosion est un phénomène vandale, c'est une dégradation du matériau ou de ses propriétés par réaction chimique avec l'environnement ; elle détruit le matériau ou réduit ses propriétés, le rendant inutilisable pour une application prévue.

D'une manière générale, la corrosion est définie comme une interaction physico-chimique entre un métal et son environnement conduisant à une modification des propriétés du métal, une dégradation significative de la fonction du métal et de son environnement.

La corrosion métallique est le phénomène suivant lequel les métaux et Alliages ont tendance, sous l'action de réactifs chimiques ou d'agents atmosphériques, à retourner vers leur état originel d'oxydes par une attaque plus au moins rapide du milieu corrosif [1].

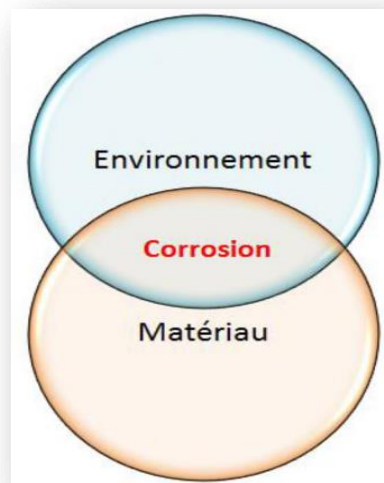


Figure I.1 : La corrosion entre le matériau et l'environnement [2].

I. 2. Modes de corrosion :

La corrosion d'un métal ou d'un alliage peut se développer selon différents processus qui caractérisent chacun un type de corrosion.

On peut distinguer trois types de corrosion [1] :

I. 2. 1. Corrosion chimique :

Elle correspond à la réaction du matériau métallique avec une phase gazeuse (forme un dépôt solide plus ou moins protecteur) ou une phase liquide (extrêmement rares : exemple de la réaction d'un métal avec un autre métal liquide comme lors de la formation d'un amalgame entre le mercure liquide et des métaux tels que le cuivre, le cadmium...) [3].

I. 2. 2. Corrosion électrochimique :

C'est le mode le plus fréquent. Elle se traduit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique) [4].

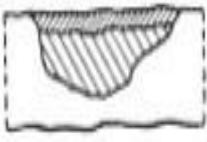
I. 2. 3. Corrosion bactérienne :




Elle résulte de l'action de bactéries ou de produits provenant de l'activité bactérienne tels que des acides organiques ou des gaz comme CO₂ et SO₂, sur le matériau métallique. Les canalisations enterrées sont sujettes à ce type de corrosion [5].

I. 3. Les différentes formes de la corrosion :

Les formes de corrosion sont représentés sur le tableau suivant :

Tableau (I. 1) : Les formes de la corrosion [6].

<i>Types</i>	<i>Caractéristiques</i>	<i>Exemples</i>
 1.Uniforme	Attaque de toute la surface du métal. C'est la forme la plus courants.	Oxydation; dissolution active dans l'acide; oxydation et Passivité anodiques; polissage chimique et électrochimique; corrosion

		atmosphérique
 <p>2.Localisée</p>	<p>Certains secteurs de la surface du métal se corrodent à des taux plus élevés que d'autres dus à l'hétérogénéité de surface dans le métal, l'environnement ou dans la géométrie de la structure dans l'ensemble.</p>	<p>Corrosion par crevasse; corrosion bimétallique ; corrosion intergranulaire.</p>
 <p>3.Corrosion par piqûres</p>	<p>Attaque fortement localisée aux secteurs spécifiques ayant pour résultat des petits puits qui pénètrent dans le métal et peuvent mener à la perforation</p>	<p>Corrosion par Piqûre des métaux passifs tels que les aciers inoxydables, alliages d'aluminium, etc., en présence des ions spécifiques, par exemple ions Cl⁻</p>
 <p>4.Dissolution sélective</p>	<p>Un composant d'un alliage (habituellement les plus actifs) est sélectivement enlevé d'un alliage</p>	<p>Dézincification des laitons (CuZn).</p>
<p>5.Corrosion sous contrainte</p>	<p>Attaque ou rupture localisée due à l'effet d'un facteur mécanique et d'une corrosion. Action conjointe de la corrosion et d'un facteur mécanique</p>	<p>Corrosion - Érosion, corrosion sous tension, corrosion par fatigue</p>

I. 4. Les facteurs de la corrosion :

Les phénomènes de la corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs et ils peuvent être classés en quatre groupes principaux (tableau I. 2).

Tableau (I. 2) : Les principaux facteurs de la corrosion [7].

<i>Facteurs du milieu corrosif</i>	<i>Facteurs métallurgiques</i>	<i>Facteurs définissant les conditions d'emploi</i>	<i>Facteurs dépendant du temps.</i>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concentration du réactif ➤ Teneur en oxygène ➤ pH du milieu ➤ Température ➤ Pression 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Composition de l'alliage ➤ Procédés d'élaboration ➤ Impuretés ➤ Traitement thermique ➤ Traitement mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Etat de surface ➤ Forme des pièces ➤ Emploi d'inhibiteur ➤ Procédés d'assemblage 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vieillessement ➤ Tensions mécaniques ➤ Modification des revêtements protecteurs

I. 5. Protection contre la corrosion :

Pour lutter contre la corrosion, il ne suffit pas de choisir un matériau qui résiste bien à un certain milieu, il faut également penser à toutes les interactions électrochimiques, mécaniques et physiques prévisibles qui pourrait influencer le comportement du système métal/milieu.

En matière de protection contre la corrosion, il est possible d'agir sur le matériau lui-même (choix judicieux, formes adaptées, contraintes en fonction des applications, ...) sur la surface du matériau (revêtement, peinture, tout type de traitement de surface, ...) ou sur l'environnement avec lequel le matériau est en contact (inhibiteurs de corrosion) [8].

I. 5. 1. Protection par revêtements :

I. 5. 1. 1. Protection par revêtement métalliques :

Parmi les différentes méthodes utilisées pour lutter contre la corrosion, la protection par revêtements métalliques, on les emploie couramment pour protéger l'acier, notamment contre la corrosion atmosphérique. Selon leur comportement à la

corrosion par rapport au substrat, on distingue deux types de revêtements métalliques[9] :

- ✓ Ceux plus nobles que le substrat (revêtements cathodiques).
- ✓ Ceux moins nobles que le substrat (revêtements anodiques).

I. 5. 1. 1. Les revêtements cathodiques :

Le métal protecteur est plus noble que le métal à protéger. C'est le cas par exemple d'un revêtement de nickel ou de cuivre sur de l'acier.

En cas de défaut du revêtement, la pile de corrosion qui se forme peut conduire à une perforation rapide du métal de base, aggravée par le rapport "petite surface anodique" sur "grande surface cathodique". Dans ce cas, la continuité du revêtement est donc le facteur primordial.

I. 5. 1. 1. 2. Les revêtements anodiques :

Le métal protecteur est moins noble que le métal à protéger. C'est le cas du procédé de galvanisation (revêtement de zinc) que nous avons déjà évoqué. En cas de défaut du revêtement, il y a formation d'une pile locale et ce dernier se corrode en protégeant cathodiquement le métal de base. La protection reste donc assurée tant qu'une quantité suffisante de revêtement est présente. Plus que l'absence de défaut, c'est donc l'épaisseur qui est un élément important de ce type de revêtement. En général, elle est comprise entre 100 et 200 μm .

I. 5. 1. 2. Revêtement inorganiques non métallique :

Les revêtements inorganiques non métalliques sont deux types [10] :

I. 5. 1. 2. 1. Les couches de conversion :

Ces couches sont obtenues par une réaction du métal avec un milieu choisi ; elles contiennent donc toujours des ions provenant du substrat.

On différencie les couches de conversion selon leur procédé de fabrication, à savoir :

- ✓ L'anodisation.
- ✓ La phosphatation.
- ✓ La sulfuration.

I. 5. 1. 2. 2. Les couches étrangères au substrat :

Parmi les revêtements inorganiques non métalliques étrangers au substrat, il y a :
Ceux plus nobles que le substrat :

- ✓ Les émaux.
- ✓ Les ciments.
- ✓ Les céramiques réfractaires.

I. 5. 1. 3. Revêtement organique :

Les revêtements organiques forment une barrière plus ou moins imperméable entre le matériau et le milieu. Ils se divisent en trois familles [11].

- Les peintures et vernis,
- les bitumes,
- Les revêtements polymériques.

I. 5. 2. Protection par inhibitions :

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte récent contre la corrosion des métaux et des alliages; l'originalité de cette méthode provient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui-même, mais par l'intermédiaire du milieu corrosif. Les molécules inhibitrices peuvent agir suivant différents mécanismes.

I. 5. 2. 1. Définition :

Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui est ajouté à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu [12].

I. 5. 2. 2. Propriétés d'inhibiteur :

D'une manière générale, un inhibiteur doit répondre à un certain nombre d'exigences :

- ✚ Abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier.
- ✚ Etre stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants et aux températures d'utilisation .
- ✚ Etre efficace à faible concentration.
- ✚ Etre compatible avec les normes de non-toxicité.

I. 5. 2. 3. Utilisation des inhibiteurs de corrosion :

Plus de 1100 inhibiteurs de corrosion sont disponibles pour un usage industriel [13].

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être utilisé comme unique moyen de protection :

- soit comme protection permanente ; l'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métalliques dans des conditions satisfaisantes de résistance à la corrosion.
- soit comme protection temporaire pendant une période où la pièce ou l'installation est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage), ou encore lorsque la pièce est soumise à des usinages très sévères comme le perçage, taraudage, forage, filetage,... [14].

I. 5. 2. 4. Classes d'inhibiteurs :

On peut classer les inhibiteurs de différentes façons :

- Classification selon la nature des molécules de l'inhibiteur,
- Mécanismes d'action électrochimique,
- Par mécanisme réactionnel,
- Par domaine d'application [15].

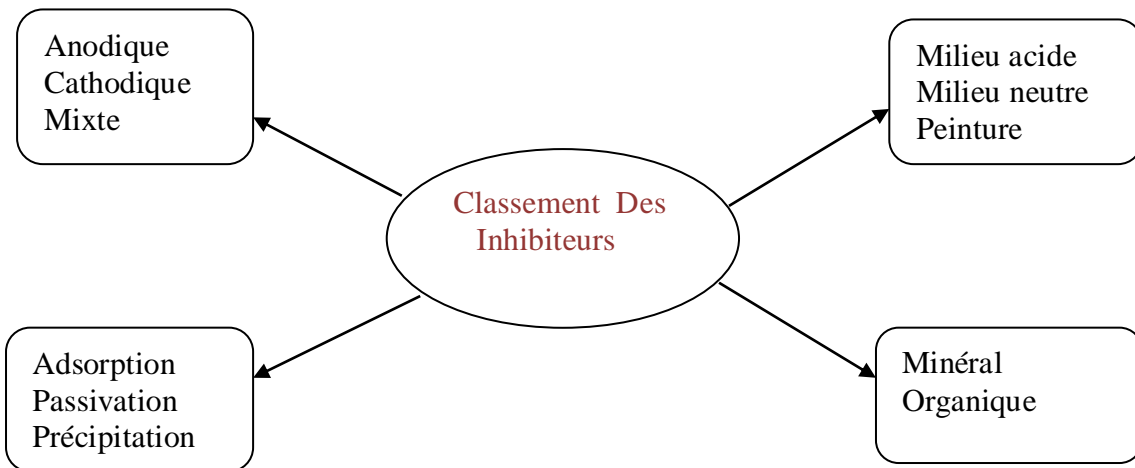


Figure I.2 : Classement des inhibiteurs de corrosion [16].

I. 5. 2. 4. 1. Classification selon la nature des molécules de l'inhibiteur :

I. 5. 2. 4. 1.1. Les inhibiteurs inorganiques:

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin, et plus rarement en milieu acide [15]. Les produits se dissocient en solution et ce sont leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions ou cation).

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

I. 5. 2. 4. 1. 2. Les inhibiteurs organiques :

Les molécules organiques sont promises à un développement plus que certain en termes d'inhibiteur de corrosion : leur utilisation est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. Ils possèdent au moins un centre actif susceptible d'échanger des électrons avec le métal, tel que l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal sont : Amine (NH_2), Mercapto (SH^-), Hydroxyle (OH^-), Carboxyle (COOH^-).

L'action inhibitrice de ces composés organiques, qui est généralement indépendante des processus anodiques et cathodiques de corrosion est liée à la formation par adsorption d'une barrière plus ou moins continue, mais d'épaisseur fine, qui empêche l'accès de la solution au métal [17].

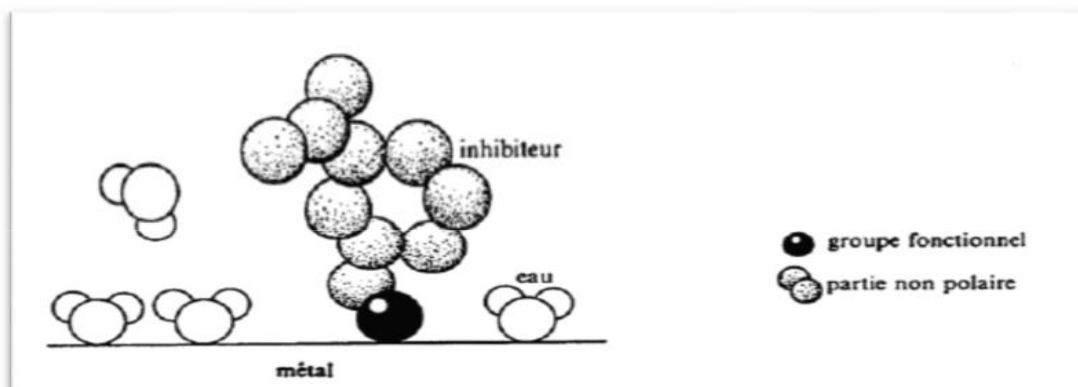


Figure I.3 : Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique [18].

I. 5. 2. 4. 2. Mécanismes d'action électrochimique :

On différencie trois types d'inhibiteurs, selon leur influence sur la vitesse des réactions électrochimique partielles [19] :

- ✚ Les inhibiteurs anodiques,
- ✚ Les inhibiteurs cathodiques,
- ✚ Les inhibiteurs mixtes.

I. 5. 2. 4. 2. 1. Inhibiteurs anodiques :

Les inhibiteurs anodiques causent un déplacement de potentiel de corrosion dans le domaine cathodique (vers le sens positif) en réduisant la surface anodique.

Même si les inhibiteurs anodiques sont très efficaces et souvent utilisés, ils ont généralement une propriété indésirable: si la teneur en inhibiteur est abaissée, la surface métallique n'est plus entièrement couverte, et elle fonctionne comme anode, obtenant ainsi une combinaison dangereuse, une petite anode et une grande cathode, conduisant à la corrosion profonde « par piquûre ».

I. 5. 2. 4. 2. 2. Inhibiteurs cathodique :

Ces inhibiteurs ralentissent la réaction cathodique (siège de la réduction de l'oxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide).

Un inhibiteur cathodique au contraire, diminue la densité de courant partiel cathodique et déplace le potentiel de corrosion dans le sens négatif.

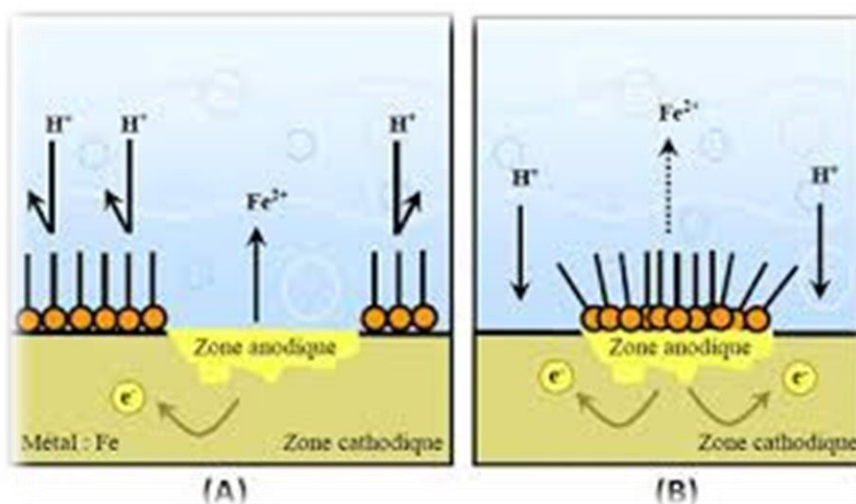


Figure I.4 : Formation des couches barrières a) cathodiques et b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques.

I. 5. 2. 4. 2. 3. Inhibiteurs mixte :

Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion .Ils ont à la fois les propriétés des inhibiteurs anodiques et cathodiques [20].

I. 5. 2. 4. 3. Mécanisme réactionnel (adsorption ou formation d'un film) :

I. 5. 2. 4. 3. 1. Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique :

L'adsorption est un phénomène de surface universel car toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant atomes et molécules se trouvant à proximité. Deux types d'adsorption peuvent être distingués : la physisorption (formation de liaisons faibles) et la chimisorption. La première, encore appelée adsorption physique conserve l'identité aux molécules adsorbées ; trois types de forces sont à distinguer :

- ✚ Les forces de dispersion (Van der Waals, London) toujours présentes.
- ✚ Les forces polaires, résultant de la présence de champ électrique.
- ✚ Les liaisons hydrogène dues aux groupements hydroxyle ou aminé.

Il faut naturellement que l'inhibiteur porte lui-même une charge globale : ion positif, ion négatif, ou molécule dipolaire. La force de l'adsorption électrostatique sera fonction de la différence entre les charges portées par l'inhibiteur d'une part et par la surface métallique. Cette dernière est elle-même fonction de la différence entre le potentiel de corrosion du métal (E_{corr}) et son potentiel de charge nulle dans le milieu corrosif considéré. La chimisorption, au contraire, consiste en la mise en commun d'électrons entre la partie polaire de la molécule et la surface métallique, ce qui engendre la formation de liaisons chimiques bien plus stables car basées sur des énergies de liaison plus importantes. Les électrons proviennent en grande majorité des doublés non appariés des molécules inhibitrices tels que O, N, S, P,... (Tous ces atomes se distinguant des autres de par leur grande électronégativité). L'adsorption chimique s'accompagne d'une profonde modification de la répartition des charges électroniques des molécules adsorbées. La chimisorption est souvent un mécanisme irréversible.

I. 5. 2. 4. 3. 2. Formation d'un film intégrant les produits de dissolution du substrat :

Cette forme d'inhibition, appelée également inhibition «d'interphase » traduit la formation d'un film tridimensionnel entre le substrat corrodé et les molécules d'inhibiteur [21]. Les inhibiteurs d'interphase ne se contentent ainsi pas d'être adsorbés aux interfaces métal/oxyde et oxyde/électrolyte, mais sont également incorporés dans les couches barrières (en formant des complexes par exemple) ; ainsi ces molécules inhibitrices d'interphase conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant de fait une faible porosité et une bonne stabilité.

I. 5. 2. 4. 3. 3. Relation entre l'efficacité inhibitrice et l'adsorption :

L'efficacité inhibitrice est évaluée par l'intermédiaire de la masse des vitesses de corrosion avec et sans ajout de l'inhibiteur. Le taux d'inhibition P est calculé par la relation suivante :

$$P(\%) = \frac{V_0 - V_{inh}}{V_0} \cdot 100 \dots\dots\dots(I. 1)$$

Ou V₀ et V_{inh} sont, respectivement, les valeurs des vitesses de corrosion (mg.cm⁻².h⁻¹) en absence et en présence de l'inhibiteur [21]. L'efficacité des inhibiteurs de corrosion dépend de plusieurs facteurs :

Du point de vue macroscopique elle dépend de la vitesse d'écoulement (ou diffusion des inhibiteurs), de la chimie de la solution, de la solution, de la température et de la pression.

A l'échelle moléculaire, elle dépend du nombre de sites d'adsorption, de la densité de charge de l'inhibiteur, de la taille des molécules inhibitrices, du mode d'interaction avec la surface du métal et de la structure électronique des molécules [22].

I . 5. 2. 5. Type d'adsorption :

L'adsorption des composés organiques peut être décrite par deux principaux types d'interaction à savoir l'adsorption physique et la chimisorption. Ces deux types d'adsorption sont influencés par la nature et la charge du métal, la structure chimique du produit organique et le type d'électrolyte [23].

I. 5. 2. 5. 1. Adsorption physique :

L'adsorption physique résulte d'une interaction électrostatique entre les ions ou les dipôles des molécules organiques et la surface du métal électriquement chargée. La charge du métal est définie par la position du potentiel de corrosion de ce métal par rapport à son potentiel de charge nulle (E_0) [24].

Lorsque le potentiel de corrosion de ce métal a une valeur inférieure à E_0 , l'adsorption des cations est favorisée. Les anions sont adsorbés aisément quand le potentiel de corrosion du métal se trouve dans la région de potentiel positif par rapport à E_0 .

I. 5. 2. 5. 2. Chimisorption :

La chimisorption est le plus important type d'interaction entre l'inhibiteur et le métal. Dans ce cas, les espèces adsorbées entrent en contact direct avec la surface métallique.

Il est en général admis que, le processus d'adsorption chimique met en jeu un transfert ou un partage d'électrons entre les molécules d'inhibiteur et les orbitales "d" vacantes de la surface du métal. Ceci permet de former des liaisons de coordination. La chimisorption est un phénomène irréversible et spécifique pour chaque métal. C'est un processus lent, dépendant de la température et caractérisé par une grande énergie d'activation [25].

I. 6. Méthodes de mesures de la corrosion :

Les méthodes d'étude de la corrosion sont nombreuses et font appel à différentes propriétés physicochimiques des échantillons concernés. Il est souvent important de porter une appréciation qualitative sur le type de corrosion qui se produit, ceci requiert une simple observation visuelle, éventuellement à l'aide de microscopes. Selon le type de corrosion mis en jeu, en fonction des conditions d'utilisation de l'échantillon, du degré de précision demandée, l'évaluation quantitative de la corrosion peut mettre en oeuvre différentes méthodes :

- La méthode gravimétrique qui est d'une mise en oeuvre facile et qui a l'avantage de permettre une mesure directe.
- L'analyse chimique du milieu corrodant, notamment par les méthodes électrochimiques d'analyse des solutions, puisque la corrosion en milieu humide est de nature électrochimique.

Les méthodes électrochimiques utilisées permettant l'étude du phénomène de corrosion peuvent être divisées en deux catégories :

- ✚ Méthode stationnaires (courbes de polarisation),
- ✚ Méthode transitoires parmi les quelles, la technique d'impédance électrochimique occupe une place privilégiée. La vitesse de corrosion peut être déduite de l'enregistrement des courbes intensité-potential relatives au comportement de l'échantillon dans le milieu corrodant [26].

Dans notre travail on s'intéresse seulement à la gravimétrie.

I. 6. 1. La gravimétrie :

Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en oeuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de poids Δm subie par un échantillon de surface S , pendant le temps t d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante.

La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante:

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad (\text{mg/h.cm}^2) \quad \dots\dots\dots (\text{I. 2})$$
$$\Delta m = m_1 - m_2$$

L'efficacité inhibitrice d'un composé organique est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = \frac{V_{corr} - V_{inh}}{V_{corr}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (\text{I. 3})$$

Où V_{corr} et V_{inh} sont les pertes de poids de l'échantillon après immersion dans la solution respectivement sans et avec inhibiteur [27].

Chapitre II

Synthèse d'inhibiteur

II. 1. La synthèse d'acétanilide :

Ce travail a comme but de synthétiser un amide (acétanilide) peut être réalisé à l'aide d'un anhydride d'acide et d'une amine (aniline), puis l'étude de l'effet inhibiteur contre la corrosion d'acier X42 de ces deux produits en milieu aqueux.

II. 2. Généralité :

L'acétanilide ou N-phényléthanamide est obtenu par N-substitution (par rapport à l'aniline) c'est à dire sur l'atome d'azote, c'est une molécule organique de formule C_8H_9NO . Il est utilisé comme produit de départ dans la synthèse de nombreux produits pharmaceutiques (paracétamol), des colorants (hélianthine) et d'inhibiteur de corrosion.

Formule : C_8H_9NO

Masse molaire : 135,1632 g/mol

Température d'ébullition : 304 °C

Température de fusion : 113 °C

Densité : 1.219

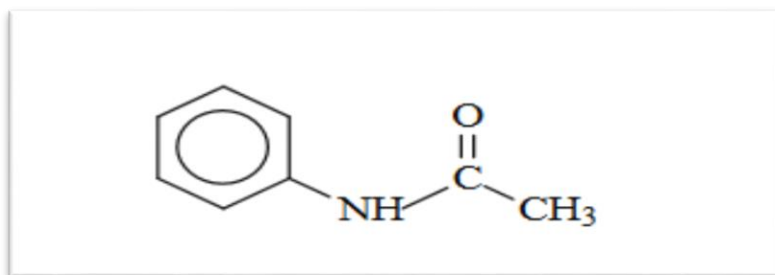


Figure (II.1) : *Structure chimique de l'acétanilide.*

II. 3. Synthèse de l'acétanilide :

Mode opératoire

Dans une erlenmeyer de 250 ml sec, on introduit 30 ml d'aniline et 30 ml d'acide acétique pur. On ajoute lentement et en agitant 45 ml d'anhydride acétique. Le mélange est chauffé doucement, à reflux, pendant une demi heure environ.

Après un refroidissement à température ambiante, on verse le mélange dans 300

ml d'eau froide distillée. L'acétanilide se cristallise, Après on filtre les cristaux obtenus sous vide, puis on lave deux fois à l'eau distillée, on sèche soigneusement pendant 15 mn à l'étuve. On obtient un solide blanc d'un point de fusion 114 °C corespond à un rendement de 81.16% , ayant un $R_f = 0.625$, en utilisant l'éther diéthylique comme éluant.

Point de fusion p.f 113-115 °C.

Le schéma suivant montre l'équation de la réaction de synthèse .

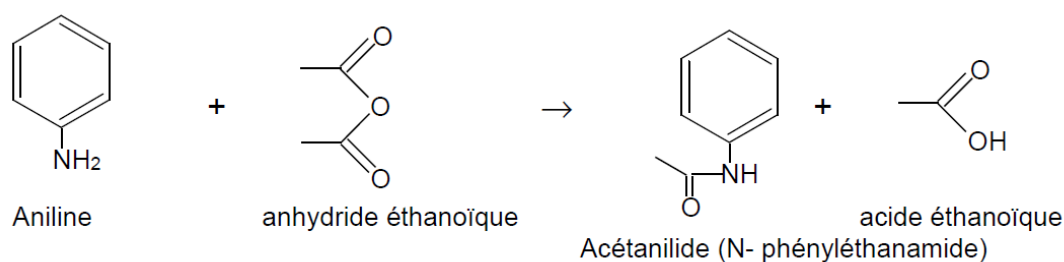


Schéma (II.1) : La synthèse de l'acétanilide.

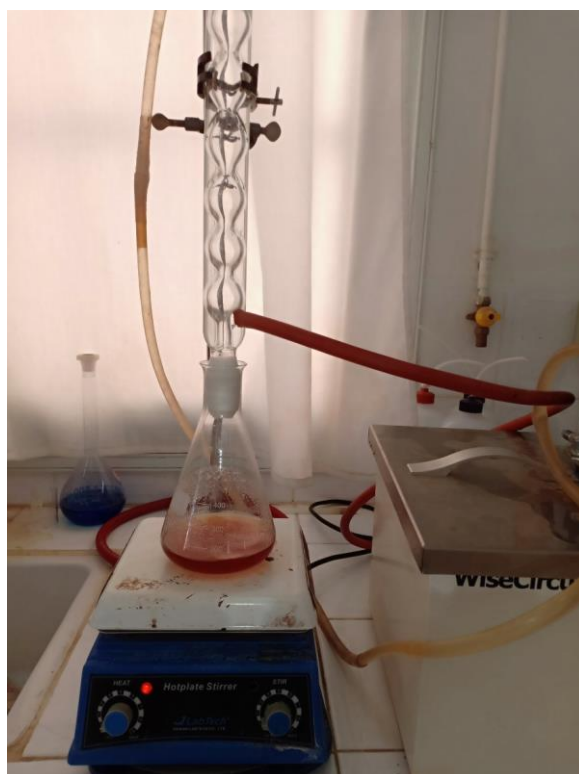


Figure (II.2) : Le montage expérimental.



Figure (II.3) : *L'acétanilide obtenus en forme cristaux.*

II. 4. Méthodes d'analyse et de confirmation utilisées :

II. 4. 1. Point de fusion :

L'appareil de mesure de point de fusion utilisé est de marque BÜCHI 510.
le point de fusion est mesuré dans un tube capillaire avec une augmentation de la température d' 1°C par minute.



Figure (II.4) : Photographie de l'appareil de point de fusion utilisé.

II. 4. 2. Spectrophotométrie IR :

Les spectres infrarouges sont effectués par un appareil à transformée de fourrier FTIR830 marque SHIMADZU. (Les produits solides sont analysés sous forme de pastilles avec le KBr).



Figure (II.5) : Photographie de l'appareil d'IR utilisé.

Le spectre IR de l'acétanilide obtenu :

Le spectre IR représenté dans la figure suivante :

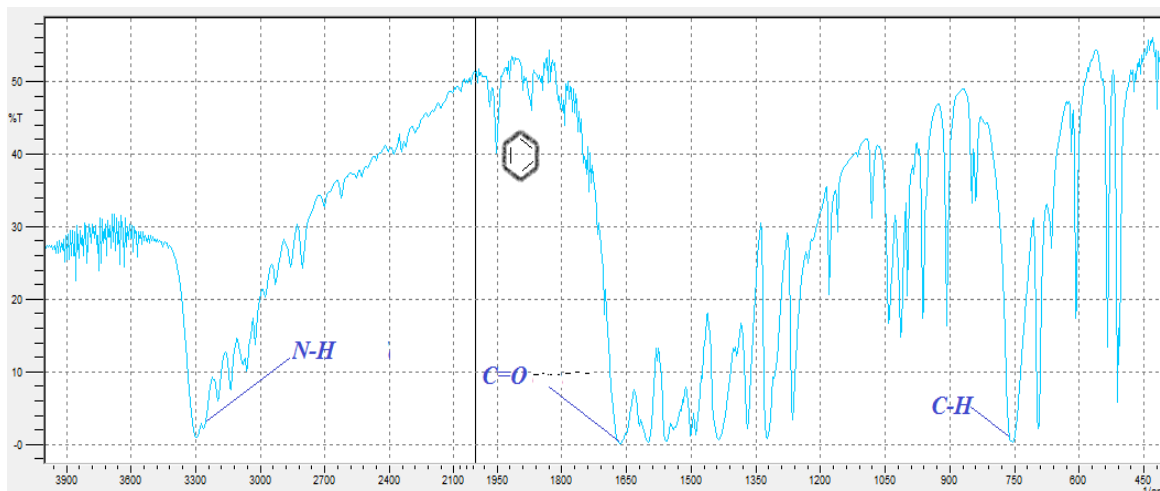


Figure (II.6) : Spectre IR du l'acétanilide.

II. 5. Les inhibiteurs appliqués à Rourde -Nouss :

La stratégie retenue pour le champ de Rourde -Nouss consiste à injecter un type d'inhibiteur à base d'ammine qui est :

❖ Le CHIMEC 1038 :

Le CHIMEC 1038 est un inhibiteur de corrosion avec une action filmante extrêmement efficace dans la phase liquide que dans la phase vapeur. Le composé actif du CHIMEC 1038 est oléosoluble et dispersible dans l'eau ; il ne contient pas de métaux lourds et n'a pas d'effet sur les catalyseurs.



Figure (II.7) : Etiquette de CHIMEC 1038.

Tableau (II.1) : Fiche de sécurité de l'inhibiteur.

	Propriétés physiques	Compatibilité avec les matériaux	Application sur site
CHIMEC 1038	<ul style="list-style-type: none">- Liquide- Couleur : ambre, brune- Densité à 20°C est 885 kg/m³ ±0.02,- Viscosité à 20°C : < 50 mPa.s- Soluble en hydrocarbures et dispersible en eau.	<ul style="list-style-type: none">- Le produit peut être corrosif vis-à-vis de l'acier, il est recommandé d'utiliser de l'acier inox ou plastic pour les cuves de stockage et lignes d'injection.	<ul style="list-style-type: none">- Peut être utilisé concentré ou dilué,- Peut être injecté en continu ou en batch.

II. 5. 1. Application :

le CHIMEC 1038 est un mélange équilibré de composés à volatilité différent capable de produire un film approprié sur toutes les surfaces métalliques. le CHIMEC 1038 est recommander principalement comme inhibiteur de corrosion pour les appareillages de production gaz et dans le champ de pétrole, compris les installations de profondeur et les oléoducs. d'autres applications comprennent les systèmes de traitement de gaz, des demi-produits et des installations de distillation. Le CHIMEC 1038 est injecté en fonction des paramètres du système et de la gravité de la corrosion.

II. 5. 2. Stockage :

- Conserver dans des récipients bien fermés.
- Conserver dans un lieu frais et bien ventilé, loin de substances incompatibles.
- Conserver les récipients dans un lieu ayant des installations électrique de sécurité et protéger contre les décharges atmosphériques.
- Stocker loin des sources de chaleur et des flammes libres.
- Stocker loin des sources de chaleur. Eviter l'accumulation d'électricité statique. Prévoir la mise à terre
- N'entreposer pas à une température supérieure à 50°C.

II. 5. 3. Lieu d'injection d'inhibiteur :

Le traitement s'effectue par une injection contenue entre la tête de puit et la duse.

❖ Le spectre IR obtenus pour l'inhibiteur commercial :

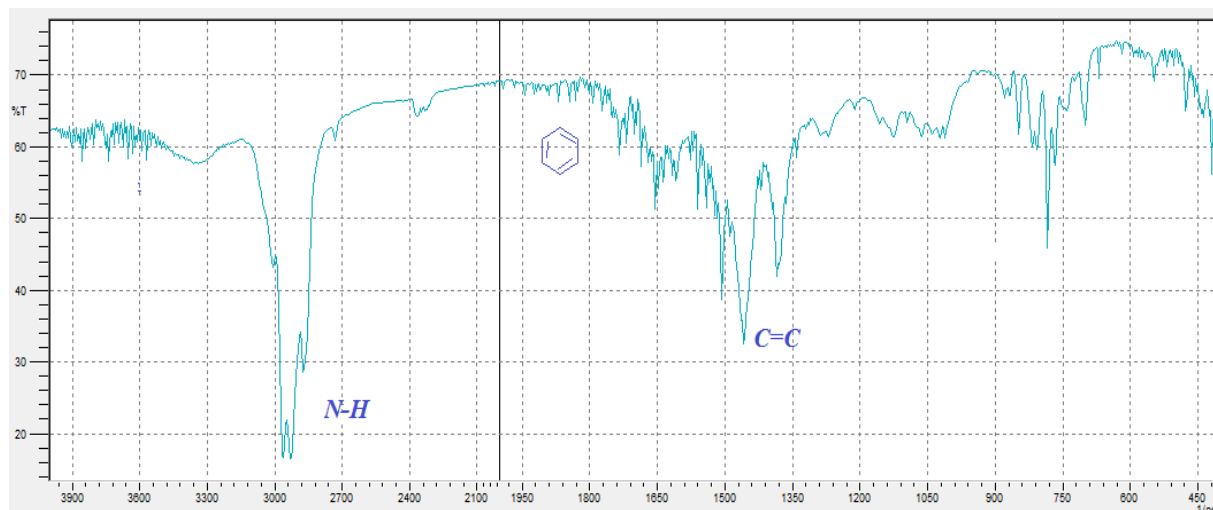


Figure (II.8) : Spectre IR du l'inhibiteur commercial.

II. 6. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d' Albien :

Tableau (II.2) : Caractéristique physico-chimique de l'eau d'Albien de la région Rouge Nouss Wilaya d'IliZi.

Origine	Valeurs	Norme OMS (2006)
Salinité	1872	—
Fe	6.2	—
So ₄ ²⁻	100	250
Ca ²⁺	2004	75
pH	7.68	6.5-8
Conductivité	1.70	180-1000
Cl ⁻	35.5	200
Cu ²⁺	1.1	25
Température	23	25

II. 6. 1. Calcule du taux d'agressivité de l'eau utilisée :

II. 6. 1. 1. Le pH :

Le pH est l'écart entre le pH d'équilibre d'une eau d'Albien et le pH terrain.

Si le pH dépasse le seuil de 0.3, l'eau est alors dite agressive est susceptible de provoquer des phénomènes de corrosion, notamment dans les conduites de distribution d'eau potable.

II. 6. 1. 2. La conductivité :

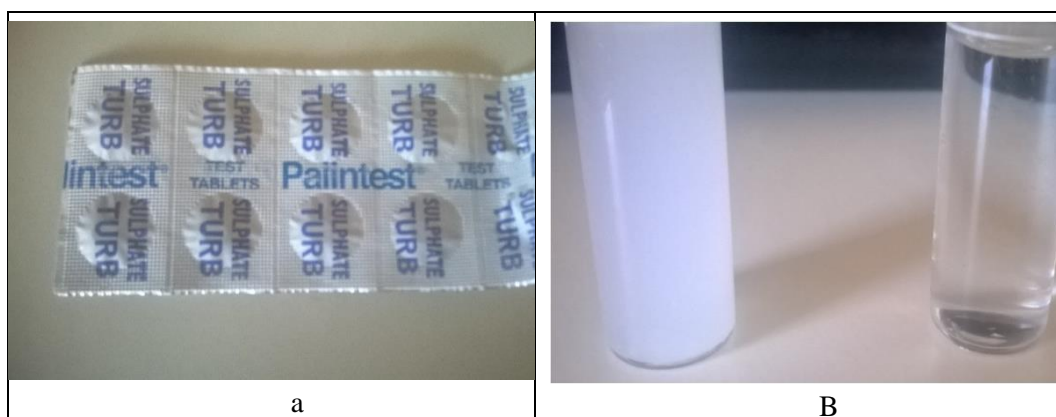
La conductivité permet de mesurer la concentration en ions de la phase liquide d'un substrat en utilisant la propriété d'une solution aqueuse de conduire l'électricité proportionnellement à sa concentration en ions.

II. 6. 1. 3. Dosage des chlorures (Cl⁻) :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO₃), en présence de chromate de potassium (KCrO₄) , jusqu'à l'apparition d'une coloration rouge brique, c'est le principe de la méthode de Mohr.

II. 6. 1. 4. Dosage des sulfates (SO₄²⁻) :

Le dosage est effectué grâce à un photomètre PALINTEST (figure II.9) réglé à une longueur d'onde de 520 nm, la gamme de mesure varie de 0 à 200 mg/l.



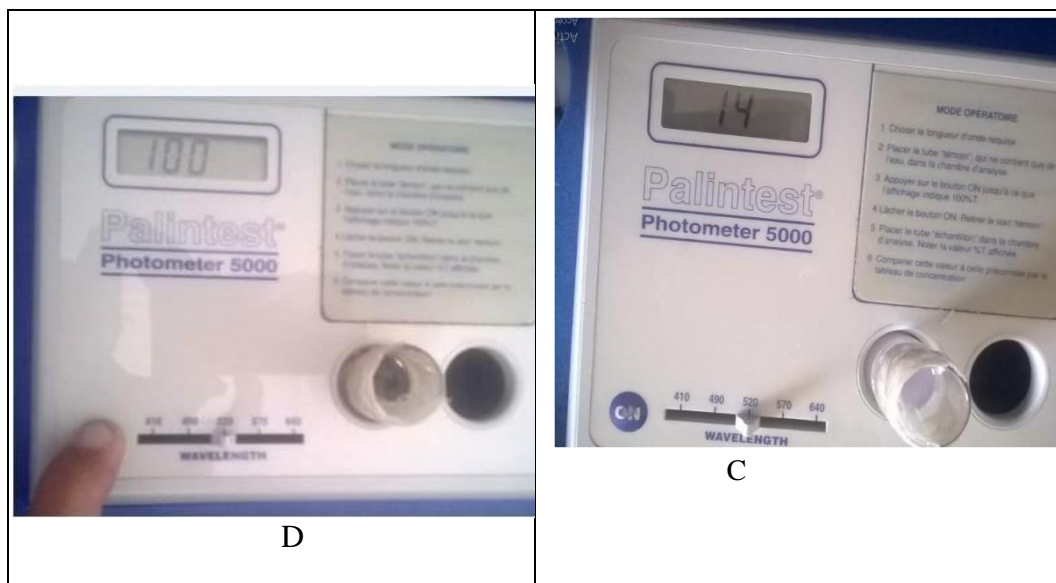


Figure (II.9) : La méthode de dosage des sulfates.

Tableau (II.3) : La référence de dosage des sulfates.

mg/l	SULPHATE SULFAT		SULFATE SULFAAT			SULFATOS			520 nm	
% T	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
90	3	5	7	8	9	10	12	13	14	15
80	16	17	18	19	20	21	22	24	25	26
70	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
60	37	38	39	40	42	43	45	46	48	49
50	50	52	53	54	56	57	59	60	62	64
40	65	67	68	70	72	74	75	77	79	81
30	83	85	87	90	93	95	97	100	103	107
20	110	113	116	120	124	128	133	138	143	148
10	155	162	170	178	186	194	202	-	-	-

II. 7. Matériaux utilisé :

II. 7. 1. Le métal de base :

Le métal de base utilisé dans notre travail est sous forme de tôle d'une largeur de 15 cm , d'une épaisseur de 1,6 mm. Il nous a été fourni par la société Algérienne COSIDER, sous forme des tôles d'acier X42 de type API 5L ayant une teneur en carbone de 0,17 de la masse totale où elles sont utilisées pour la fabrication des pipelines.

❖ *Identification du métal de base :*

L'acier API 5L X42 est un acier au carbone désigné par sa limite élastique (42).

- **API** signifie : American Petroleum Institute, spécification pour API adhérer à l'organisation internationale de normalisation.
- **5L** : Spécification pour le pipeline.
- **X42** signifie : le grade de l'acier. Les autres grades sont, par exemple, A, B, X60, X70.
- **Le chiffre 42** signifie : 42000 psi, c'est la limite élastique de l'acier en psi « pound per square inch » (livre par pouce carré).

❖ *Composition chimique :*

La composition chimique du métal est présentée dans le tableau II.3 :

Tableau (II.4) : Composition chimique d'acier X42.

Eléments(%)	C	Si	Mn	S	p	Cr	Ni	Mo	Cu
Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Max	0.200	-	1.30	0.030	0.030	-	-	-	-
Produit	0.18	0.29	0.85	0.003	0.010	0.06	0.06	0.013	0.150

Elément(%)	V	Al	Ti	Sn	Ca	N	B	Nb	CE
Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produit	0.001	0.026	0.001	0.009	0.0013	0.0056	0.0006	0.0010	0.35

II. 7. 2. Conditions expérimentales :

II.7. 2. 1. Polissage mécanique :

Après une opération de découpage transversale soignée utilisant de l'eau de robinet pour refroidissement, nous avons préparé six échantillons sous forme cylindrique, d'une surface de 1.54 cm^2 , dont la hauteur est environ de 1,5 cm.

Les deux faces de ces échantillons ont été polies aux disques abrasifs de granulométries (grades 120, 240, 600, 800, 1000, 1200, 2000) avec lubrification à l'eau et une vitesse de 600 tours / min, dans le but d'obtenir des faces miroir. A la fin, les échantillons sont rincés à l'eau distillée, dégraissés par l'éthanol et séchés à l'étuve.



Figure (II.10) : Photographie montre la tôle X42.



Figure (II.11) : l'apparence de tôle X42 après le découpage.



Figure (II.12) : Apparence de l'échantillon de métal X42 après la préparation.

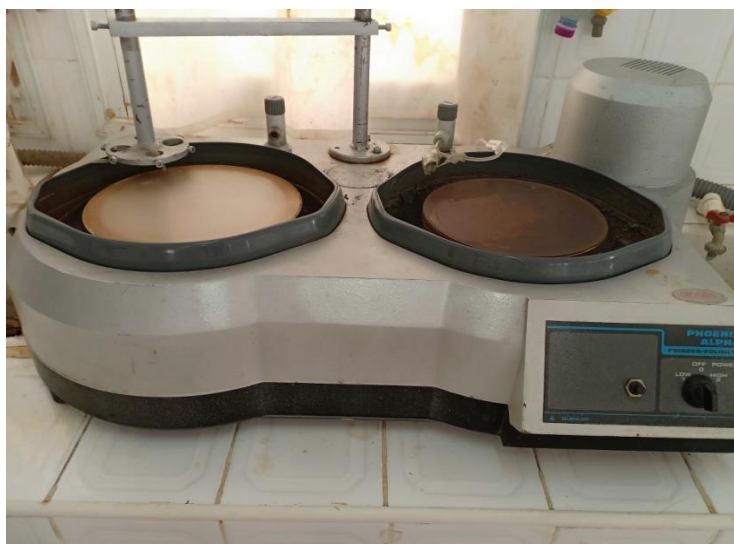


Figure (II.13) : La polisseuse.

II. 7. 2. 2. L'isolation de l'échantillon par revêtement :

Pour l'isolation de milieu aqueux corrosif, nous avons utilisé le vernis à angles non dégradable dans le milieu aqueux sur toutes les surfaces de l'échantillon, en laissant une seule surface transversale.



Figure (II.14) : *L'apparence des échantillons X42 avec le revêtement.*

II. 7. 2. 3. Solution corrosive :

La solution corrosive choisie est l'eau d'Albien, de la source de la région Rhourde nous wilaya d'Ilizi.

II. 7. 2. 4. Choix de la vitesse d'écoulement :

Nous avons choisi de faire les expériences de corrosion avec une vitesse d'écoulement ($v_{\text{ecoul}} = 135 \text{ t/min}$).

II. 7. 2. 5. Durée d'expérience d'immersion :

Nous avons choisi dans notre travail les durées suivantes 3h , 3 jours et 7 jours pour mieux comprendre et observer le phénomène d'adsorption d'inhibiteur et son efficacité de minimiser la corrosion par la formation d'un film inhibiteur sur la surface métallique des échantillons à une température ambiante en milieu aqueux.

II. 8. Les solutions électrolytiques :

II. 8. 1. Préparation de solution 100 ppm :

On prend 0.01 g de notre inhibiteur synthétisé l'acétanilide et on le fait dissoudre dans 100 ml d'eau d'Albien pour préparer 100 ml de solution inhibitrice de concentration 100 ppm, et la même manière pour préparer l'inhibiteur commercial.

II. 8. 2. Préparation de solution de 50 ppm :

La méthode de dilution est utilisée pour préparer 100 ml de la solutions de concentration 50 ppm pour les deux inhibiteur : l'acétanilide et commercial.

II. 8. 3. Les milieux corrosifs :

On a préparé 5 bains corrosifs d'un milieu aqueux d'eaux d'Albien, le premier sans inhibiteur et les deux autres avec notre inhibiteur l'acétanilide, d'une concentration de 50 ppm et 100 ppm, puis de la même manière avec l'inhibiteur commercial, toujours avec des concentrations de 50 ppm et 100 ppm, comme le présente le tableau suivant.

Tableau (II.5) : Les milieux corrosifs.

Sans Inhibiteur	Bain 1	L'eau d'albien
Avec inhibiteur (l'acétanilide)	Bain 2	Solution de 50 ppm de concentration de l'acétanilide
	Bain 3	Solution de 100 ppm de concentration de l'acétanilide
Avec inhibiteur (commercial)	Bain 4	Solution de 50 ppm de concentration de l'inhibiteur commercial
	Bain 5	Solution de 100 ppm de concentration de l'inhibiteur commercial

II. 9. Les immersions avec écoulements :

Dans cette méthode on va immergé les échantillons dans des cristallisoirs qui contient des solutions inhibitrices aqueuses préparées, puis on les met dans un appariel basé sur l'agitation, comme présente la photographie suivante :



Figure (II.15) : *l'appareil de jar_tests.*



Figure (II.16) : *L'apparence de l'expérience d'immersion dans les premiers heures d'agitation.*



Figure (II.17) : *L'apparence de l'échantillons après 3 heures d'immersion.*



Figure (II.18) : *L'apparence de l'échantillons après le nettoyage.*

Chapitre III

Résultats

III.1. Calcul de la vitesse de corrosion :

III. 1. 1. Etude gravimétrique :

Les résultats des tests de l'inhibition de la corrosion de l'acier X42 dans l'eau d'Albien, en absence et en présence de nos inhibiteurs l'acétanilide et l'inhibiteur commercial avec des concentrations de : 50 ppm et 100 ppm, pour chaque inhibiteur, où les solutions aqueuses sont obtenus par la méthode expérimentale : masse perdue.

La vitesse de corrosion est déterminée après plusieurs durées d'immersion : 3 heures, 3 et 7 jours, à une température ambiante. La valeur de la vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$T = \frac{Dm}{S.T} \dots\dots\dots(III.1)$$

La vitesse de corrosion (T) sans inhibiteur en fonction du temps est présentée dans le tableau (III.1)

Le tableau (III.1) : La vitesse de corrosion du métal X42, sans inhibiteur

		Poids (g)			
Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)	avant	après	différence	T (g/mm ² .jour)
		t = 3 h	154.158	5.3500	5.3499
t = 3 j	154.158	5.3500	5.3447	0.0053	0.000011460
t = 7 j	154.158	5.3500	5.3424	0.0076	0.000007042

❖ Etude de la corrosion avec la présence d'inhibiteur l'acétanilide:

La vitesse de corrosion (T) avec la présence de l'inhibiteur l'acétanilide en fonction du temps est présenté dans les tableaux suivants :

Le tableau (III.2) : La vitesse de corrosion du métal X42, à C= 50 ppm d'acétanilide.

		Poids (g)			
Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)	avant	après	différence	T (g/mm ² .jour)
t = 3 h	154.158	6.1623	6.1611	0.0012	0.000062273
t = 3 j	154.158	6.1623	6.1622	0.0001	0.000000216
t = 7 j	154.158	6.1623	6.1556	0.0067	0.000006208

Le tableau (III.3) : La vitesse de corrosion du métal X42, à C= 100 ppm d'acétanilide.

		Poids (g)			
Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)	avant	après	différence	T (g/mm ² .jour)
t = 3 h	154.158	6.1550	6.1542	0.0008	0.000041515
t = 3 j	154.158	6.1550	6.1522	0.0028	0.000006054
t = 7 j	154.158	6.1550	6.1494	0.0056	0.000005189

Ces tableaux présentent des comparaisons entre les poids de nos échantillons avant et après l'immersion dans des milieux aqueux, l'eau d'Albien, sans et avec inhibiteur pour des concentrations de : 50 ppm et 100 ppm à des durées de 3 h, 3 j, 7 jours pour chaque concentration.

Ceci montre le début de la formation d'un film protecteur dès les premières heures sur la surface de nos échantillons pour toutes les concentrations choisies, ce qui explique l'efficacité de notre inhibiteur choisi, l'acétanilide.

❖ Etude de la corrosion avec la présence de l'inhibiteur commercial :

Le tableau (III.4) : La vitesse de corrosion du métal X42, à $C = 50$ ppm d'inhibiteur commercial.

		Poids (g)			T (g/mm ² .jour)
		avant	après	différence	
Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)				
t = 3 h	154.158	5.2297	5.1922	0.0375	0.001946055
t = 3 j	154.158	5.2297	5.1933	0.0364	0.000078707
t = 7 j	154.158	5.2297	5.1876	0.0421	0.000039013

Le tableau (III.5) : La vitesse de corrosion du métal X42, à $C = 100$ ppm d'inhibiteur commercial.

		Poids (g)			T (g/mm ² .jour)
		avant	après	différence	
Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)				
t = 3 h	154.158	5.2474	5.2462	0.0012	0.000062273
t = 3 j	154.158	5.2474	5.2455	0.0019	0.000004108
t = 7 j	154.158	5.2474	5.2365	0.0109	0.000010100

Ces tableaux aussi présentent des comparaisons entre les poids de nos échantillons avant et après l'immersion dans des milieux aqueux sans inhibiteur et avec l'inhibiteur commercial, pour des concentrations de : 50 ppm et 100 ppm à des durées de 3 h ,3 j, 7 jours pour chaque concentration.

Ce qui explique la formation d'un film protecteur dès les premières heures sur la surface de nos échantillons, et cela pour toutes les concentrations choisies, ce qui montre l'efficacité de l'inhibiteur commercial choisi.

❖ **Rendement de l'inhibition par l'acétanilide :**

Le rendement inhibiteur (R%) avec la présence de l'inhibiteur en fonction du temps à une température ambiante, est présenté dans les tableaux suivants :

Le tableau (III.6) : Rendement inhibiteur du métal X42, à C= 50 ppm d'acétanilide.

		Poids (g)		
Condition d'immersion Les durées	Avant	après	Rendement %	
	t = 3 h	6.1623	6.1611	99.980
t = 3 j	6.1623	6.1622	99.998	
t = 7 j	6.1623	6.1556	99.89	

Le tableau (III.7) : Rendement inhibiteur du métal X42, à C =100 ppm d'acétanilide.

		Poids (g)		
Condition d'immersion Les durées	Avant	après	Rendement %	
	t = 3 h	6.1550	6.1542	99.987
t = 3 j	6.1550	6.1522	99.954	
t = 7 j	6.1550	6.1494	99.909	

Ces tableaux présentent des comparaisons entre les rendements dans des milieux aqueux d'eau d'Albien sans et avec inhibiteur l'acétanilide pour des concentrations : 50 ppm et 100 ppm à des durées de 3 h, 3 j, 7 jours pour chaque concentration.

Ceci montre que l'acétanilide est efficace pour toutes les concentrations car les rendements obtenus sont supérieurs à 99.89 %.

❖ **Le rendement de l'inhibiteur commercial :**

Le tableau (III.8) : *Rendement inhibiteur du métal X42, à C=50 ppm de l'inhibiteur commercial .*

Condition d'immersion Les durées	Poids (g)		Rendement %
	Avant	après	
t = 3 h	5.2297	5.1922	99.28
t = 3 j	5.2297	5.1933	99.30
t = 7 j	5.2297	5.1876	99.19

Le tableau (III.9) : *Rendement inhibiteur du métal X42, à C=100 ppm de l'inhibiteur commercial .*

Condition d'immersion Les durées	Poids (g)		Rendement %
	Avant	après	
t = 3 h	5.2474	5.2462	99.977
t = 3 j	5.2474	5.2455	99.963
t = 7 j	5.2474	5.2365	99.792

Ces tableaux présentent des comparaisons entre les rendements dans un milieu aqueux sans inhibiteur et avec l'inhibiteur commercial pour des concentrations : 50 ppm et 100 ppm à des durées de 3 h, 3 j, 7 jours pour chaque concentration.

Ceci explique que l'inhibiteur commercial est efficace pour toutes les concentrations car les rendements obtenus sont supérieurs à 99.19 % .

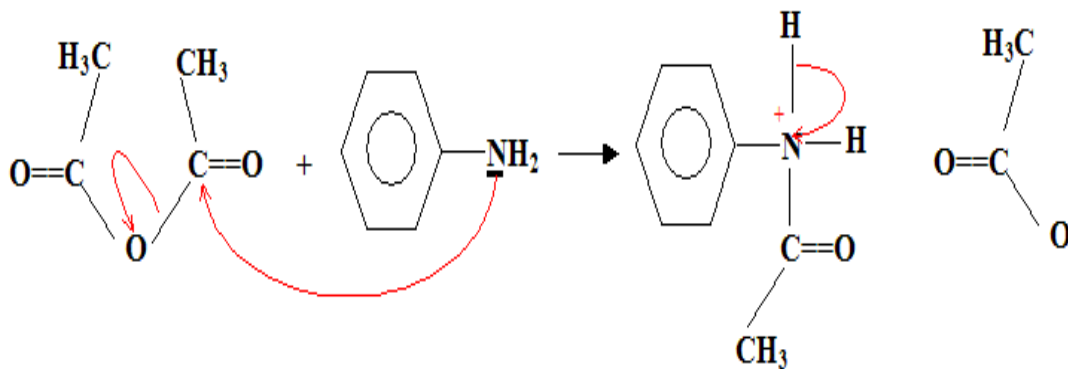
Chapitre IV

Discussion des résultats

IV. 1. Introduction :

Dans ce chapitre on va discuter les résultats obtenus, de la synthèse de notre inhibiteur puis son identification par les moyens disponible, jusqu'au la discussion de son efficacité inhibitrice dans le milieu d'Albien contre la corrosion de l'acier X42, ensuite le comparais avec un inhibiteur utilisé couramment dans l'industrie pétrolière. et l'effet de leur inhibition.

IV. 2. Synthèse de l'acétanilide :



Shéma (IV.1) : Le mécanisme réactionnel de l'acétanilide.

❖ Le spectre IR obtenu pour l'inhibiteur l'acétanilide :

Le spectre IR représenté dans la figure suivante :

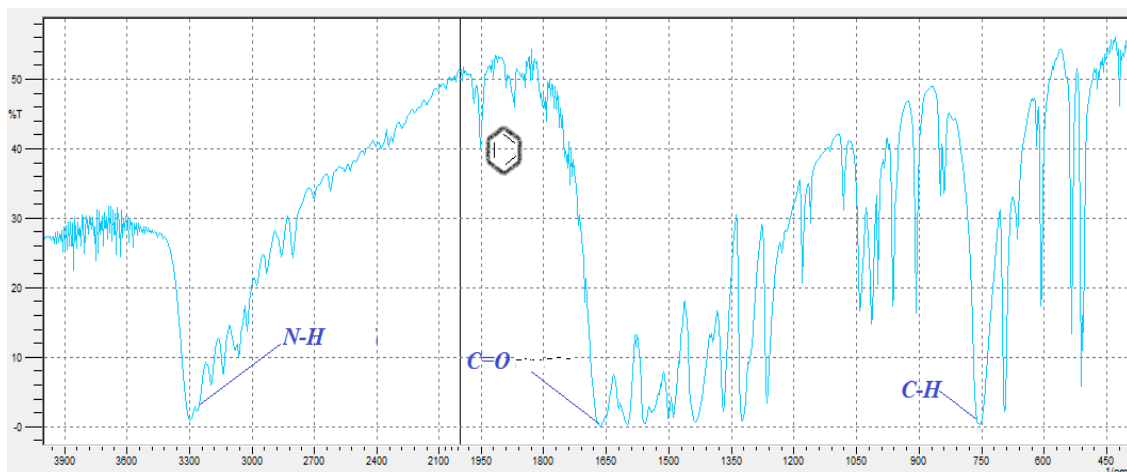


Figure (IV.1) : Spectre IR du l'acétanilide.

On observe que les bandes caractéristiques correspondent à celle de la référence (IR (KBr,disk) 3294.2; 1949; 1700 ; 1640.9 ; 1323.1 ; 741cm⁻¹) :

3300 : N-H

1800 : aromaticité

1650 : C=O

750 : C-H

IV. 3. Etude de l'efficacité de l'inhibiteur :

IV. 3. 1. Les résultats des tests d'immersions :

IV. 3. 1. 1. L'inhibiteur acétanilide :

✚ L'efficacité inhibitrice :

Tableau (IV.1) : La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 3 heures pour l'inhibiteur l'acétanilide.

Condition d'immersion	Concentration (ppm)	t = 3 h	
		T (g/mm ² .jour)	l'efficacité inhibitrice EI%
Sans inhibiteur	/	0.000005189	/
Avec inhibiteur acétanilide	50	0.000062273	11.00
	100	0.000041515	7.00

En remarque que le meilleur résultat obtenu est pour une concentration de 50 ppm pendant 3h.

Tableau (IV.2) : *La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 3 jours d'inhibiteur acétanilide.*

		t = 3 jours	
Condition d'immersion	Concentration (ppm)	T (g/mm ² .jour)	l'efficacité inhibitrice EI%
Sans inhibiteur	/	0.000011460	/
Avec inhibiteur acétanilide	50	0.000000216	0.9811
	100	0.000006054	0.4717

En remarque que le meilleur résultat obtenue est pour une concentration de 50 ppm pendant 3 jours.

Tableau (IV.3) : *La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 7 jours d'inhibiteur acétanilide.*

		t = 7 jours	
Condition d'immersion	Concentration (ppm)	T (g/mm ² .jour)	l'efficacité inhibitrice EI%
sans inhibiteur	/	0.000007042	/
Avec inhibiteur acétanilide	50	0.000006208	0.1184
	100	0.000005189	0.2631

En remarque que le meilleur résultat obtenu est pour une concentration de 100 ppm pendant 7 jours.

IV. 3. 1. 2. Inhibiteur commercial :

❖ L'efficacité inhibitrice :

Tableau (IV.4) : La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 3 h d'inhibiteur commercial.

		t= 3h	
Condition d'immersion	Concentration (ppm)	T (g/mm ² .jour)	l'efficacité inhibitrice EI%
Sans inhibiteur	/	0.000005189	/
Avec inhibiteur commercial	50	0.001946055	3.7403
	100	0.000062273	11.00

En remarque que le meilleur résultat obtenue est pour une concentration de 100 ppm pendant 3 h.

Tableau (IV.5) : *La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 3 jours d'inhibiteur commercial.*

		t= 3 jours	
Condition d'immersion	Concentration (ppm)	T (g/mm ² .jour)	l'efficacité inhibitrice EI%
sans inhibiteur	/	0.000011460	/
Avec inhibiteur commercial	50	0.000078707	0.0586
	100	0.000004108	0.641

En remarque que le meilleur résultat pour une concentration de 100 ppm pendant 3 jours.

Tableau (IV.6) : *La comparaison de l'efficacité inhibitrice du métal X42, temps d'immersion 7 jours d'inhibiteur commercial.*

		t= 7 jours	
Condition d'immersion	Concentration (ppm)	T (g/mm ² .jour)	l'efficacité inhibitrice EI%
sans inhibiteur	/	0.000007042	/
Avec inhibiteur commercial	50	0.000039013	4.54
	100	0.000010100	0.434

En remarque que le meilleur résultat obtenu est pour une concentration de 50 ppm pendant 7 jours.

❖ La vitesse de corrosion :

Les résultats obtenus sont représentés dans les courbes suivantes :

✚ Comparaison de la vitesse de corrosion en fonction du temps pour chaque concentration

La figure suivante présente une comparaison des vitesses de corrosion entre les concentrations de notre inhibiteur synthétisé par rapport au temps, on observe que la meilleure vitesse de corrosion obtenue, la plus minimale, est pour 3 jours $0.216 \cdot 10^{-6}$ g/mm².jour pour une concentration de 50 ppm.

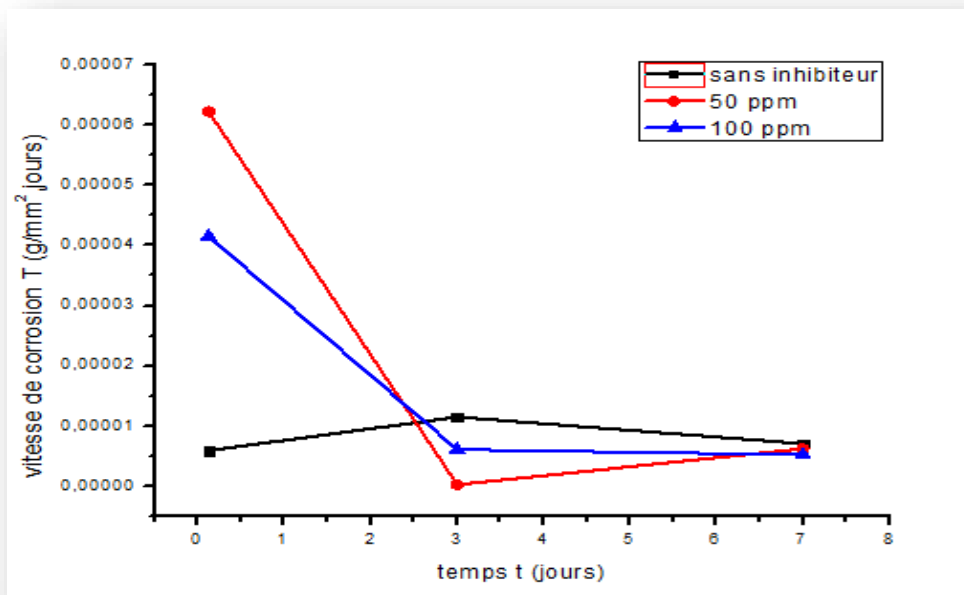


Figure (IV.2) : Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps d'inhibiteur acétanilide.

La figure IV.3 montre une comparaison entre les vitesses de corrosion en fonction du temps pour l'inhibiteur commercial utilisé dans notre travail, on remarque que la vitesse de corrosion la plus minimale est pour 7 jours pour 100 ppm de concentration où elle égale à $1.01 \cdot 10^{-5}$ g/mm².jour.

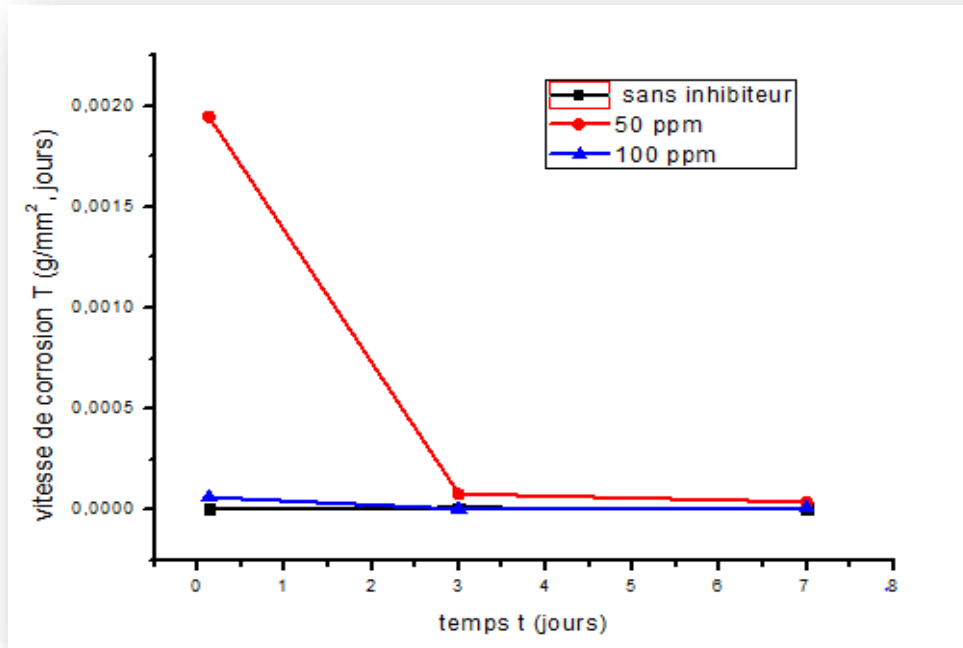


Figure (IV.3) : Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps d'inhibiteur commercial.

On peut conclure qu'il y a une réaction d'adsorption entre notre inhibiteur et le métal X42, alors il s'agit d'un inhibiteur efficace avec des faibles concentrations dans les milieux aqueux et aussi la durabilité du film protecteur formé.

🚩 Comparaison entre les vitesses de corrosion utilisées

La figure IV.4 montre une comparaison entre les vitesses de corrosion en fonction du temps pour les deux inhibiteurs utilisés dans notre travail, on remarque que la vitesse de corrosion la plus minimale est pour 3 jours pour l'inhibiteur acétanilide est égale à $0.216 \cdot 10^{-6} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{jour}$. pour une concentration de 50 ppm.

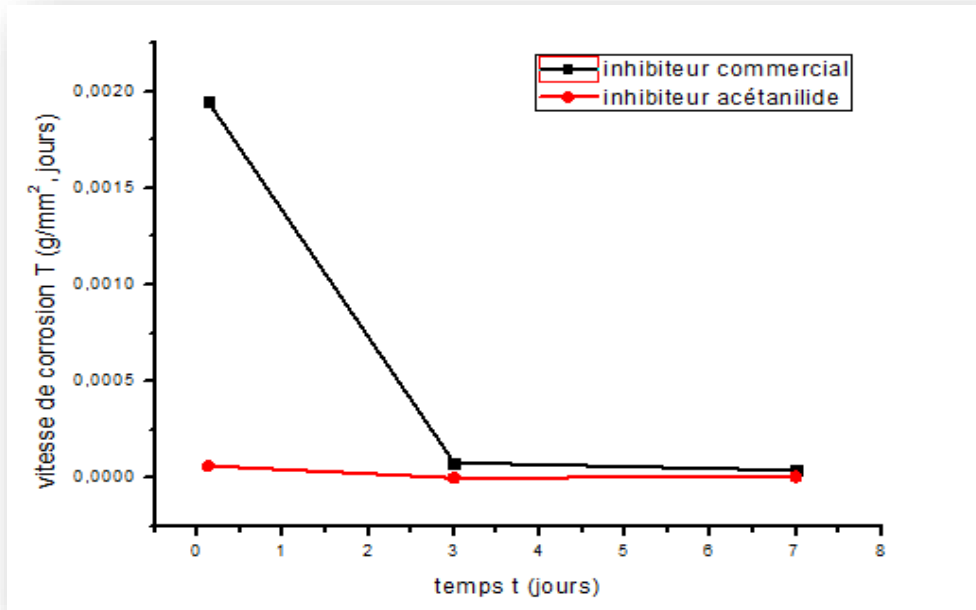


Figure (IV.4) : Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps de 50 ppm entre les deux inhibiteur.

La figure suivante présente une comparaison entre les vitesses de corrosion pour les différentes concentrations des inhibiteurs utilisés par rapport au temps, on observe que la vitesse de corrosion la plus minimale est pour 3 jours où elle est d'une moyenne de $0.4108 \cdot 10^{-5}$ g/mm². jour pour une concentration de 100 ppm.

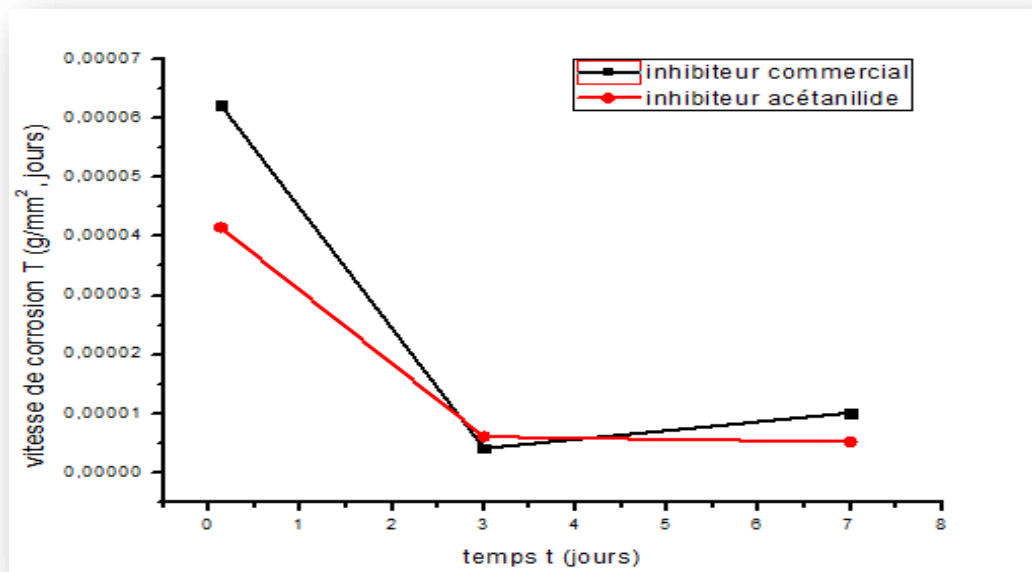


Figure (IV.5) : Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps de 100 ppm entre les deux inhibiteur.

❖ Le rendement d'inhibition:

✚ Comparaison des rendements des inhibiteurs utilisés par rapport à la concentration

La figure IV.6 montre une comparaison entre les rendements en fonction du temps pour les deux inhibiteurs utilisés dans notre travail, on remarque que le rendement le plus maximal est pour une durée de 3 jours à une concentration de 50 ppm est égale à 99.99 %

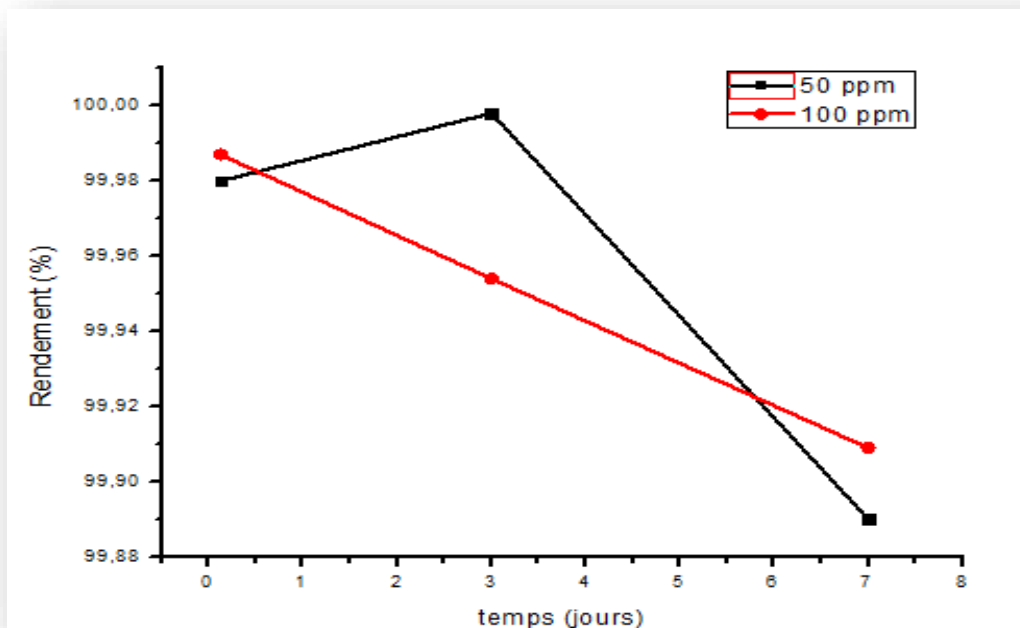


Figure (IV.6) : Comparaison des rendements d'inhibiteur acétanilide en fonction du temps.

La figure IV.7 montre une comparaison entre les rendements en fonction du temps pour les deux inhibiteur utilisé dans notre travail, on remarque que le rendement la plus maximal est pour 3 h pour une concentration de 100 ppm est égale à 99.97 %.

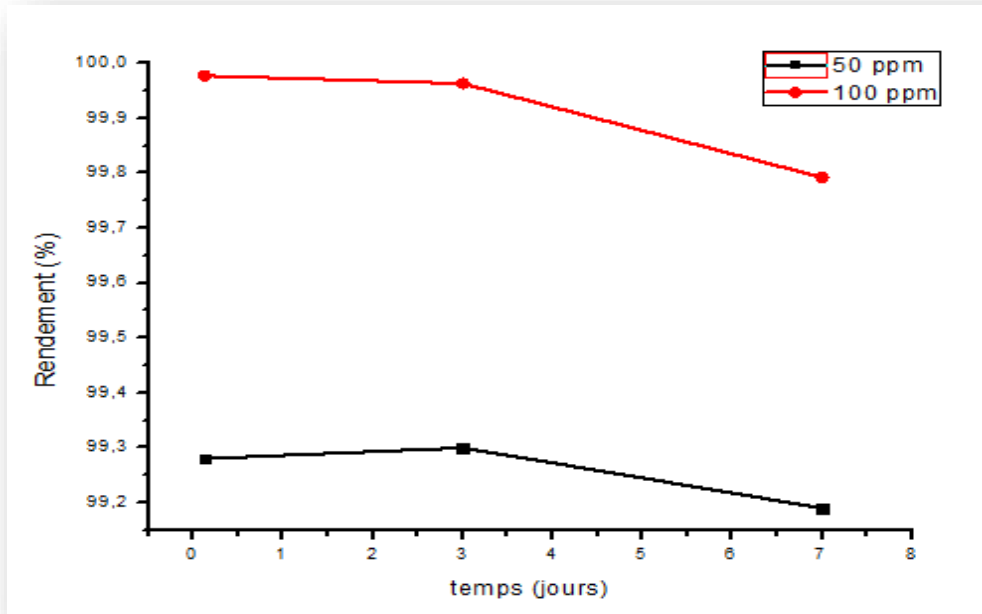


Figure (IV.7) : Comparaison des rendements d'inhibiteur commercial en fonction du temps.

L'idée de calculer le rendement d'inhibition est de montrer que notre inhibiteur l'acétanilide est efficace pour toutes les concentrations dans les premières heures d'immersion car les rendements obtenus sont supérieur à 99.90 %.

Du même pour les autres durées d'immersion, le rendement d'inhibition reste toujours supérieur à 99 %.

✚ Comparaison entre les rendements des inhibiteurs utilisés

La figure IV.8 montre une comparaison entre les rendements en fonction du temps pour les deux inhibiteurs utilisés dans notre travail, on remarque que le rendement le plus maximal est pour 3 jours pour l'inhibiteur acétanilide est égale à 99.99 %.

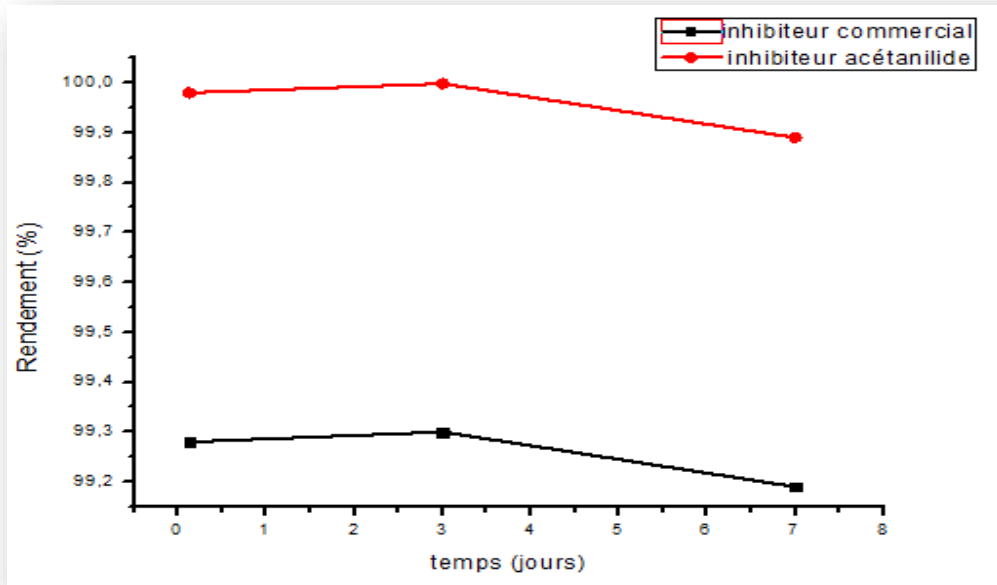


Figure (IV.8) : Comparaison des rendements des deux inhibiteurs à 50 ppm.

La figure IV.9 montre une comparaison entre les rendements en fonction du temps pour les deux inhibiteurs utilisés dans notre travail, on observe que le rendement le plus maximal est pour 3 h pour l'inhibiteur acétanilide où elle égale à 99.98 %.

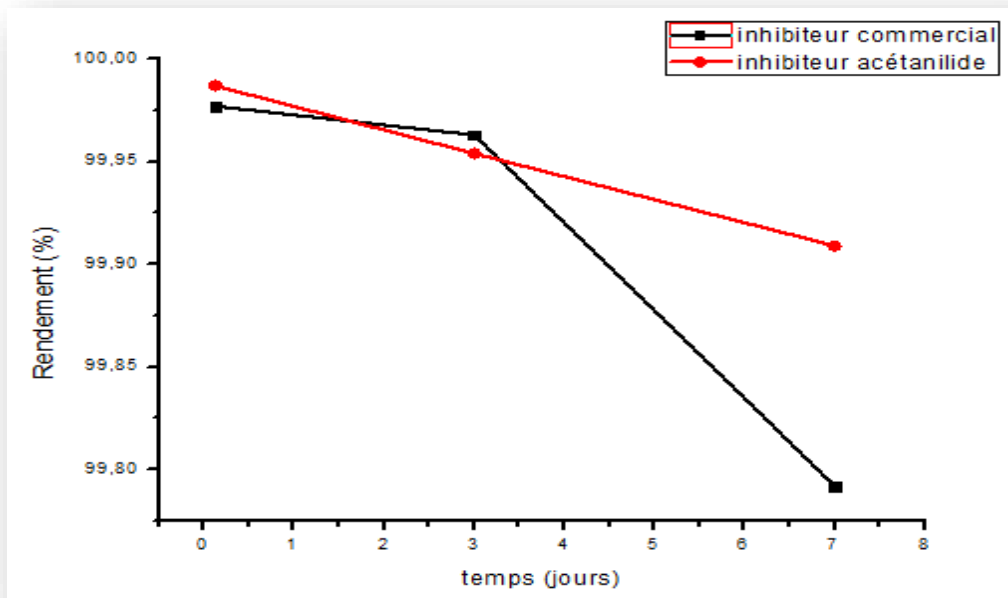


Figure (IV.9) : Comparaison des rendements entre les deux inhibiteurs à 100 ppm.

Conclusion générale

Le présent travail a été consacré à synthétiser l'inhibiteur l'acétanilide et l'étude de son effet inhibiteur sur la corrosion de l'acier X42 dans le milieu aqueux d'eau d'Albien. Pour réaliser cette étude nous avons utilisé la méthode de perte de masse « gravimétrie » en jouant sur la concentration de notre inhibiteur et puis le comparer avec un inhibiteur commercial.

Nous avons commencé par la synthèse de l'acétanilide, où on a obtenu un rendement de plus que 93%.

Ensuite nous avons étudié la vitesse de la corrosion de notre métal choisi le X42 dans le milieu aqueux (l'eau Albien au niveau de Rhourde nous, willaya d'Illizi), par rapport au temps d'immersion, les principaux résultats de cette étude auxquels nous avons abouti peuvent être résumés comme suit :

- ❖ Pour l'inhibiteur acétanilide aux différentes concentrations, nous avons constaté un rendement égal à 99.99 % et une efficacité inhibitrice égale à 98.11 % pour une concentration de 50 ppm pendant 3 jours.
- ❖ Pour l'inhibiteur commercial aux différentes concentrations, nous avons constaté un rendement égal à 99.96 % et une efficacité inhibitrice égale à 64.15 % pour une concentration de 100 ppm pendant 3 jours.

En peut conclure par la comparaison, que la meilleur inhibiteur est acétanilide avec un rendement égale à 99.99 % pendant 3 jours pour une concentration de 50 ppm.

Résumé

Cette étude a pour but de comprendre le phénomène de l'inhibition de la corrosion de l'acier X42 dans le milieu aqueux (l'eau d'Albien).

Ce travail commence par la synthèse de l'acétanilide puis son identification spectrale. La méthode gravimétrique (perte de masse) est la méthode utilisée dan pour étudier l'inhibition de la corrosion. Une comparaison entre notre inhibiteur et un inhibiteur commercial utilisé par l'industrie pétrolière Rhourd Enouss, willaya d'Ilizi, à montrer son efficacité de former un film protecteur non dégradable contre la corrosion dès les premières heures dans le milieu aqueux, avec un rendement d'inhibition de 99,99 % pour une concentration de 50 ppm .

Abstract

This study aims to understand the phenomenon of corrosion inhibition of X42 steel in the aqueous medium (Albian water).

This work begins with the synthesis of acetanilide and its spectral identification. The gravimetric method (mass loss) is the method used to study the inhibition of corrosion. A comparison between our inhibitor and a commercial inhibitor used by the oil industry Rhourd Enouss, willaya Illizi, to show its effectiveness of forming a non-degradable protective film against corrosion from the first hours in the aqueous medium, with a yield of inhibition of 99.99 % for a concentration of 50 ppm.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى فهم ظاهرة تثبيط التآكل للصلب X42 في الوسط المائي (الماء الأبيض).
يبدأ هذا العمل بتوليف الأسيتانيليد وتحديد هويته الطيفية. طريقة الجاذبية (فقدان الكتلة) هي الطريقة المستخدمة لدراسة تثبيط التآكل، مقارنة بين مثبطنا والمثبط التجاري الذي تستخدمه صناعة النفط لولاية إليزي غرد النص لإظهار فعاليتها في تشكيل فيلم واقية غير قابلة للتحلل ضد التآكل من الساعات الأولى في الوسط المائي، مع كفاءة تثبيط من 99.99 % بتركيز 50 جزء في المليون.

Bibliographies

- [1] H. Joseph Mendy , Thèse des processus de corrosion aux interfaces matériaux métalliques- environnement.
- [2] M. Yasri , Capteur de corrosion passif et sans contact. electromagnétisme. Université de Bretagne occidentale - Brest, Français , 2016.
- [3] Canevas d'un enseignement de la corrosion et de l'anticorrosion : Introduction à la corrosion sa prevention , 2001.
- [4] O. Benali , Etude de l'inhibition de la corrosion du cuivre et d'aciers au carbone par des composés organiques soufrés en milieux acides , Université Tlemcen , 2007.
- [5] B. Grosogeat, P. Colon , Société Francophone de Biomatériaux Dentaires , La Corrosion , 2009-2010.
- [6] S. Saadoune, Synthèse et caractérisation d'inhibiteurs bi- fonctionnels : Application à la corrosion des aciers de construction , Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas-Setif, 2010.
- [7] M. Harabielle, Contribution a l'étude chimique de l'huile essentielle d'Artémisia pontica, 1976.
- [8] A. Fiala ,Thèse Syntheses Et Caracterisations De Nouvelles Molecules Contenant Du S Et N, Etudes De Leur Effet Inhibiteur Sur La Corrosion Des Metaux De Transition.
- [9] Cours Matériaux Métalliques - Phénomènes de Corrosion V : Protection et Lutte contre la Corrosion.
- [10] H. El bakouri , Etude De L'inhibition De La Corrosion De L'acier Doux Au Carbone En Milieu Acide Orthophosphorique Par Un Antibiotique Organique.
- [11] D. Landolt, Corrosion et chimie de surface des métaux Presses polytechniques et ,Universitaires de Romandes Lausanne, 1993.
- [12] C. Fiaud, Inhibiteurs de corrosion, Techniques de l'ingenieur, COR1005
- [13] E.W. Flick, Corrosion Inhibitors - An Industrial Guide, Noyes NP ,1993.
- [14] E. Luminita– stirbu , Thèse Comportement a la corrosion des alliages d'aluminium Utilises dans l'industrie automobile pour la fabrication de radiateur de chauffage.
- [15] M.FAUSTIN , Thèse Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique .
- [16] H. Hamani, Synthèse caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules bases de Schiff. Diplôme de doctorat en sciences , 2015.

- [17] C. Fiaud, C. Lemaitre, N. Pebere, Inhibiteurs de corrosion. Dans : G. Beranger, H. Mazille, Corrosion et Anticorrosion : pratique industrielle, Hermes Science Publications, Lavoisier , 2002.
- [18] V. Nobel Pujol-Lesueur, étude de mécanisme d'action de monofluoro-phosphate de sodium comme inhibiteur a la corrosion des armateurs métallique dans le béton , Diplôme de Doctorat, Université PARIS 6 , 2004.
- [19] E. Schaschl, Methods for evaluation and testing of corrosion inhibitors, C.C. Nahan, Ed., NACE, Houston , p 28-41, 1973 .
- [20] D. Kalemba , A Kunicka , Antibacterial and antifungal properties of essential oils. p 813-829 , 2003.
- [21] F.Beldjilali, Essais sur l'inhibition de corrosion de l'acier XC 38 en milieu acide HClO₄ 1M, Projet de fin d'étude en chimie et génie des procédés, Université de Tlemcen, Algerie ,2006.
- [22] LI.Xwning, L.Tang, LI.Line, M.U. Guannan, Synergistic inhibition between θ - Phenanthroline and chloride ion for steel corrosion in sulfuric acid, Corrosion science, Vol. 48, p 388 – 393, 2006.
- [23] J.G.N. Thomas, Proceeding 5th European Symposium on Corrosion Inhibitors, , Univ Ferrara, Italy, p 453 , 1980.
- [24] LI. Antropov, First international congress on met/lie corrosion , Butterworths London, p 147 , 1962.
- [25] Sail , Etude de la performance d'inhibiteurs de corrosion à base de phosphate pour les constructions en béton armé, thèse de doctorat, Tlemcen, Algérie, 2013.
- [26] M .Lebrini, synthèses et études physicochimiques de nouveaux thiadiazoles inhibiteurs de corrosion de l'acier en milieu acide, thèse de doctorat, Lille, France, 2005.
- [27] H. Boumediene, Synthèse de quelques composés organiques azotés et leur utilisation en tant qu'inhibiteurs vis-à-vis de la corrosion d'un acier doux en milieu HCl , thèse de doctorat, Université aboubekr belkaid , Tlemcen,2013.