



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département 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 :

Barkat Hadjer

Le : Jours/moins /année

L'étude de l'inhibition de la corrosion d'acier X42 dans un milieu aqueux d'eau d'Albien

Jury :

Dr.	Degheche Kalthoum	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	Chérifi-Bennadji Nedjema	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	Hamdi Ines	MCA	Université de Biskra	Examineur

Remerciements

Je remercie Allah le Tout Puissant qui m'a donné le courage et la force pour surmonter les difficultés durant mes études.

Plus particulièrement, je remercie Madame la **Dr Chérifi-Bennadji Nedjema** pour son encadrement continu, pour les remarques constructives qu'elle m'a fait ainsi que pour ses précieux conseils durant toute la période de réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier aussi **Dr Degheche Kalthoum** d'avoir accepté de présider le jury.

Je tiens à remercier également **Dr Hamdi Ines** d'avoir accepté d'être examinateur.

Je tiens à remercier tous les membres du laboratoire de chimie industrielle et toute l'équipe pédagogique de m'avoir transmis leur savoir, tout au long de mon cursus universitaire.

Enfin, nombreuses sont les personnes qu'on n'a pas citées et que l'on voudra remercier pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance.

Je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère mère **Halima** : tu représente pour moi la source de tendresse et la personne qui n'a pas cessé de m'encourager.

Mon très cher père **Mouhamed Radhi** : aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,

l'estime et le respect que j'ai toujours pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consacré pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

Mes chers frères :

« **Mouhamed Saci , Mouhamed Ziad ,Mouhamed Anes** »

Ma chère sœur :

« **Charifa** »

Toute ma famille : « **BARKAT , ZERARKA** »

Mes proches : « **Lina , Saoussene, Kamilia** »

Tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

Toute la promotion de chimie industrielle **2019/2020**, université de Biskra.

Tous ceux qui me sont chers et que je n'ai pas cité.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des schémas

Introduction général... ..2

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Définition de la corrosion	4
I.2. Forme de la corrosion.....	4
I.2.1. La corrosion uniforme.....	4
I.2.2. La corrosion localisée	4
I.2.3. La corrosion par piqures.....	5
I.2.4. Dissolution sélective	5
I.2.5. Corrosion sous contrainte	6
I.3. Types de corrosion	6
I.3.1. Corrosion chimique	7
I.3.2. Corrosion électrochimique.....	7
I.3.3. Corrosion bactérienne (biocorrosion).....	7
I.4. Corrosion de l'acier	7
I.5. Méthodes de prévention contre la corrosion	8
I.5.1. Méthodes électriques... ..	8
I.5.2. Méthodes fondée sur la variation des propriétés du milieu corrosif (inhibition)... ..	9
I.5.3. Méthodes de protection fondée sur la variation du métal corrodant (par revêtement)	9
I.6. Milieu de la corrosion	10
I.7. Inhibiteurs de la corrosion	10
I.7.1. Définition	10
I.7.2. Classes des inhibiteurs.....	11

I.7.2.1. Selon leur composition chimique.....	11
I.7.2.2. Selon leur mode d'action.....	13
I.7.2.3. Selon la nature électrochimique du processus... ..	14
I.7.2.4. Selon leur domaine d'application.....	15
I.7.3. Domaines d'applications... ..	16
I.7.4. Mécanisme réactionnels (adsorption ou formation de film)... ..	16
I.7.4.1. Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique.....	16
I.7.4.2. Formation d'un film intégrant les produits de dissolutions du substrat	17
I.7.4.3. Vitesse d'écoulement... ..	17
I.8. Méthodes de mesures de la corrosion	18
I.8.1. Méthode gravimétrique.....	18
I.8.2. Méthodes électrochimiques.....	19
I.9. Définition des aciers.....	19

Chapitre II : L'expérimental

II.1. Généralité sur l'acétanilide	21
II.2. La synthèse de l'acétanilide.....	21
II.2.1. Mode opératoire	23
II.2.1.1. Synthèse de l'acétanilide.....	23
II.2.2. Méthodes d'analyse... ..	25
II.2.2.1. Spectrophotométrie IR	25
II.2.2.2. Procédure du traitement.....	27
II.2.2.3. Principe d'un essai industrielle... ..	28
II.3. Caractéristique physico-chimiques de l'eau d'Albien.....	28
II.4. Calcule du taux d'agressivité de l'eau utilisée	29
II.4.1. Le pH.....	29
II.4.2. La conductivité	29
II.4.3. Dosage des chlorures (Cl)... ..	29

II.4.4. Dosage de l'alcalinité totale (TAC).....	29
II.4.5. Dosage de la dureté totale (TH).....	29
II.5. Matériaux utilisé.....	30
II.5.1. Le métal utilisé.....	30
II.5.2. Conditions expérimentales... ..	31
II.5.2.1. Polissage mécanique.....	31
II.5.2.2. L'isolation de l'échantillon par revêtement... ..	33
II.5.2.3. Solution corrosive.....	34
II.5.2.4. Durée d'expérience d'immersion.....	34
II.6. Les solutions électrolytiques... ..	34
II.6.1. Préparation de solution 400 ppm.....	34
II.6.2. Préparation de solution 200 et 100 ppm.....	34
II.6.3. Les milieux corrosifs... ..	35
II.7. Calcul de la vitesse de corrosion	35
II.7.1. Etude gravimétrique	35

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Introduction	42
III.2. La synthèse de l'acétanilide	42
III.3. Etude de l'efficacité inhibitrice.....	44
III.3.1. Les résultats des tests d'immersion.....	44
Conclusion générale... ..	51

Bibliographies

Liste des figures

Figure I.1 Types de corrosion (a) corrosion localisée et (b) corrosion uniforme.	5
Figure I.2. corrosion par piqure.	5
Figure I.3. Corrosion par dissolution sélective.	6
Figure I.4. Corrosion par sous contrainte.	6
Figure I.5. Moyen de prévention de la corrosion.	10
Figure I.6. Classement des inhibiteurs de corrosion.	11
Figure I.7. Adsorption d'un inhibiteur organique sur une surface métallique en milieu aqueux.	12
Figure I.8. Inhibiteur naturel (l'ortie).	13
Figure I.9. Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur anodique, cathodique ou mixte.	15
Figure I.10. Mode d'adsorption des inhibiteurs organiques sur une surfaces métallique (1) Adsorption simple ,(2) Chélation de surface ,(3) Pontage de surface,(4) Adsorption en multicouche.	17
Figure I.11. Diagramme d'équilibre fer-carbone.	19
Figure II.1. Structure chimique de l'acétanilide.	21

Figure II.2. Montage expérimentale réalisé.	23
Figure II.3. La formation des cristaux.	24
Figure II.4. La technique de la filtration sous vide utilisée.	24
Figure II.5. L'acétanilide obtenu avant le séchage.	24
Figure II.6. L'acétanilide après le séchage.	25
Figure II.7. Photographie de l'appareil d'IR utilisé.	25
Figure II.8. Spectre IR du l'acétanilide.	26
Figure II.9. Spectre IR du l'aniline.	26
Figure II.10. Point d'injection de l'inhibiteur de corrosion au niveau du puits.	27
Figure II.11. Pompe doseuse responsable à injecter l'inhibiteur de corrosion.	27
Figure II.12. L'échantillon de métal X42.	32
Figure II.13. L'apparence de tôle X42 après le découpage.	32
Figure II.14. Apparence de l'échantillon de métal X42 après la préparation.	32

Figure II.15. La polisseuse.	33
Figure II.16. L'apparence des échantillons X42 après le revêtement.	33
Figure II.17. Les trois solutions électrolytes préparées.	34
Figure III.1. La vitesse de corrosion en fonction du temps dans milieu aqueux sans inhibiteur.	44
Figure III.2. La vitesse de corrosion en fonction du temps à 100 ppm.	44
Figure III.3. La vitesse de corrosion en fonction du temps à 200 ppm.	45
Figure III.4. La vitesse de corrosion en fonction du temps à 400 ppm.	46
Figure III.5. Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps.	46
Figure III.6. Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 100 ppm.	47
Figure III.7. Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 200 ppm.	48
Figure III.8. Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 400 ppm.	49
Figure III.9. Comparaison entre les rendements d'inhibitions en fonction du temps.	49
Figure III.10. Comparaison de l'efficacité inhibitrice en fonction du temps.	50

Liste des tableaux

Tableau II.1. Caractéristiques physicochimiques des éléments de la synthèse de l'acétanilide.	22
Tableau II.2. Caractéristiques physico-chimique de l'eau d'Albien de la commune de Lioua, Wilaya de Biskra.	28
Tableau II.3. La composition chimique d'acier X42.	31
Tableau II.4. Les milieux corrosifs.	35
Tableau II.5. La vitesse de la corrosion du métal X42, sans inhibiteur.	36
Tableau II.6. La vitesse de corrosion du métal X42, 100 ppm d'inhibiteur.	37
Tableau II.7. La vitesse de corrosion du métal X42, 200 ppm d'inhibiteur.	37
Tableau II.8. La vitesse de corrosion du métal X42, 400 ppm d'inhibiteur.	38
Tableau II.9. Le rendement de l' inhibition de la corrosion du métal X42, à 100 ppm d'acétanilide.	39
Tableau II.10. Le rendement d'inhibition de la corrosion du métal X42, à 200 ppm d'acétanilide.	39
Tableau II.11. Le rendement d' inhibition de la corrosion du métal X42, à 400 ppm d'acétanilide.	40

Liste des schémas

Schéma II.1. Réaction chimique de la synthèse de l'acétanilide.	22
Schéma II.2. Mécanisme réactionnel de la synthèse de l'acétanilide.	22
Schéma III.1. La synthèse de l'acétanilide.	42
Schéma III.2. Réaction de substitution nucléophile de l'aniline.	42
Schéma III.3. Réaction d'addition.	43
Schéma III.4. Réaction de dissociation.	43
Schéma III.5. Réaction acide et base.	43

Introduction général

Introduction générale

La corrosion résulte d'une action chimique ou électrochimique d'un environnement sur les métaux et les alliages. Les conséquences sont importantes dans divers domaines et en particulier dans l'industrie : arrêt de production, remplacement des pièces corrodées, accidents et risques de pollution sont des événements fréquents avec parfois de lourdes incidences économiques.

En effet, dans la plupart des pays industrialisés, le coût total de la corrosion est estimé entre 2 et 4% du P.N.B (Produit National Brut). Mais sur le coût total, 20 à 25% des pertes pourraient être économisées par une meilleure connaissance des causes de la corrosion et une meilleure application des techniques de protection.

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 [1].

Notre travail consiste à l'étude de l'inhibition de la corrosion de l'acier X42 dans un milieu aqueux d'Albien. Il est divisé en:

- ❖ Introduction.
- ❖ Le premier chapitre consiste à la mise au point bibliographique.
- ❖ Le deuxième chapitre renferme la partie expérimentale dans laquelle nous réalisons une synthèse d'un inhibiteur, une caractérisation physicochimique de l'eau utilisée et une préparation des échantillons, tout ça dans le but de faire les études gravimétriques.
- ❖ Le troisième chapitre consiste à la discussion des résultats obtenus.
- ❖ Conclusion.

Chapitre I

Etude bibliographique

I.1. Définition de la corrosion :

La corrosion est définie comme étant l'interaction physico-chimique entre un métal et son environnement, entraînant des modifications dans les propriétés du métal tel que sa dégradation.

Une autre définition, considère que ce phénomène n'est autre que le retour des métaux et alliages à leurs états naturels de minerais. En tous cas quelle que soit la définition adoptée, la corrosion est une dégradation.

Selon le milieu, la corrosion est dite sèche quand elle apparaît dans les environnements gazeux, et humide lorsqu'elle a lieu dans les électrolytes liquides [2].

I.2. Formes de corrosion :

La corrosion peut affecter le métal par une multitude de moyens qui dépendent de sa nature et des conditions environnementales. Il existe une large classification des diverses formes de corrosion dans lesquelles cinq formes principales ont été identifiées [2].

I.2.1. La corrosion uniforme :

C'est une forme de corrosion dans laquelle la perte de métal est à peu près uniformément répartie sur l'ensemble de la surface exposée au milieu. Elle peut se produire sur une surface "nue" et l'on parle alors de surface active ou de métal actif. La dégradation peut alors être rapide. La corrosion uniforme est relativement facile à quantifier par des mesures de perte de masse ou d'épaisseur et sa progression sur une structure en service peut être suivie par des contrôles périodiques [3].

I.2.2. La corrosion localisée :

La corrosion localisée est un phénomène où la réaction de corrosion se déroule à un lieu spécifiquement anodique d'un matériau. En pratique, ce type de corrosion provient d'une hétérogénéité du matériau ou de l'environnement [4].

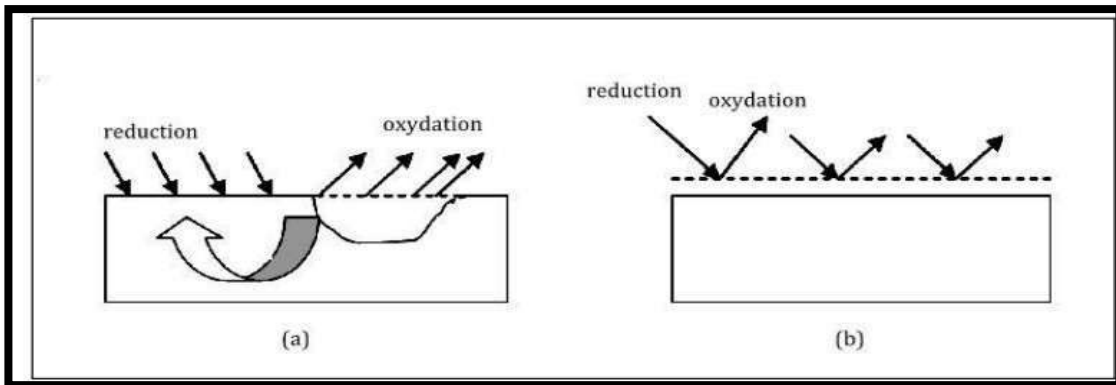


Figure I.1.Types de corrosion (a) corrosion localisée et (b) corrosion uniforme [5].

I.2.3. La corrosion par piqûres :

La corrosion par piqûres a un caractère totalement différent. Seuls certains points du métal sont attaqués et la corrosion progresse en profondeur. Bien que la quantité de métal attaqué soit faible, cette forme de corrosion est très dangereuse car elle peut aboutir à la formation de trous profonds pouvant aller jusqu'à la perforation. L'intensité de corrosion est exprimée par la densité, la profondeur et le diamètre moyens des piqûres. Il est important de souligner que la perte de poids et la diminution d'épaisseur n'ont aucune signification pour mesurer une telle corrosion [6].

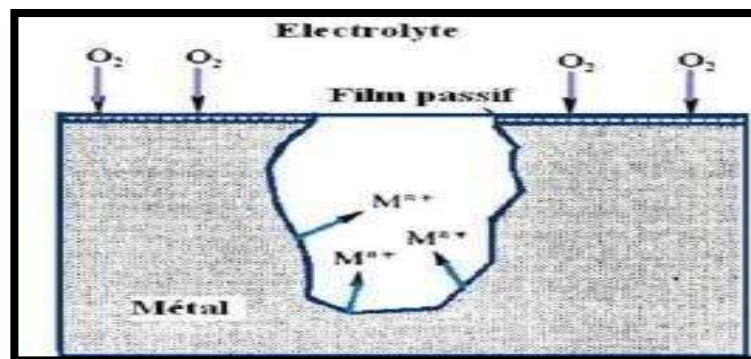


Figure I.2.Corrosion par piqure [7].

I.2.4. Dissolution sélective :

C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse [8].



Figure I.3.Corrosion par dissolution sélective [9].

I.2.5. Corrosion sous contrainte :

C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action conjointe d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique [10].



Figure I.4.Corrosion par sous contrainte [9].

I.3. Types 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:

- Corrosion chimique,
- Corrosion électrochimique,
- Corrosion bactérienne (biocorrosion).

I.3.1. Corrosion chimique :

La corrosion chimique est généralement connue comme la corrosion qui ne fait pas intervenir le passage d'un courant électrique entre le solide et le gaz et/ou liquide.

Il s'agit d'une réaction hétérogène entre une phase solide, et une phase gazeuse ou liquide. Dans le cas où le réactif est gazeux (c'est le cas de l'oxygène qui a été le plus étudié), apparaît un phénomène de la corrosion sèche. Si le réactif est un liquide, il se produit une attaque du métal avec formation d'un produit de corrosion à sa surface même (La rouille) [11].

I.3.2. Corrosion électrochimique :

C'est la corrosion où les zones qui constituent les anodes sont attaquées, lorsqu'il existe un courant électrique circule entre anodes et cathodes [11]. Ce type de corrosion peut être causé par l'hétérogénéité soit dans le métal, soit dans le réactif.

L'existence de l'hétérogénéité détermine la formation d'une pile électrique. Les métaux ne sont en générale pas monophasés. Lorsqu'ils sont plongé dans un réactif, il sont donc le plus souvent le siège d'une corrosion électrochimique.

I.3.3. Corrosion bactérienne (biocorrosion) :

Elle peut être définie comme le secteur de la corrosion dans lequel les processus sont accélérés par de micro-organismes sans modification du phénomène électrochimique de base. La plupart des cas de biocorrosion se produisent sous les biofilms et peuvent prendre diverses formes en termes de matériaux et de micro-organismes impliqués [11].

I.4. Corrosion de l'acier :

La corrosion électrochimique de l'acier peut être décrite de manière simplifiée, l'acier se dissout selon la réaction suivante [12] :



Quand le fer se corrode, la vitesse est généralement contrôlée par la réaction cathodique qui en, principe est, beaucoup plus lente (contrôle cathodique).

En solution désaérée, la réaction cathodique est la suivante :



Cette réaction est assez rapide dans les acides mais elle est lente dans les milieux aqueux neutres ou basiques.

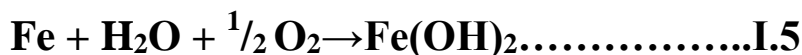
La réaction cathodique peut être accélérée par l'oxygène dissous suivant la réaction suivante :(processus appelé dépolarisation)



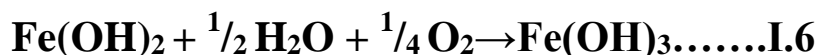
En ajoutant les équations (I-1) et (I-3) avec l'équation suivante :



On obtient l'équation (I-5) :



L'hydroxyde ferreux, Fe(OH)₂ compose la barrière de diffusion à l'interface métal-solution à travers laquelle l'O₂ doit diffuser. Le pH de Fe(OH)₂ saturé est d'environ 9,5. La couleur de Fe(OH)₂ bien que blanche quand il est pur, et normalement verte ou noir-vert à cause d'un début d'oxydation à l'air. La surface extérieure du film d'oxyde exposée à l'oxygène dissous se transforme de l'hydroxyde ferreux à l'hydroxyde ferrique hydraté ou hydroxyde ferrique :



I.5. Méthodes de prévention contre la corrosion :

Pour ralentir la vitesse de dissolution des subjectiles et prolonger la durée de vie, on a recourt à diverses méthodes de protection. Le choix de tel ou tel procédé est dicté par son efficacité dans chaque cas précis ainsi que par les avantages économiques qu'il procède [4].

En fonction de l'agressivité de l'environnement et des conditions d'utilisation, des mesures doivent néanmoins parfois être prises afin de limiter ou d'empêcher la dégradation.

Il existe divers moyens de prévention focalisée sur le matériau ou le milieu [4].

Les méthodes de protection sont divisées par convention en trois groupes :

I.5.1. Méthodes électriques :

Reposent sur la variation des propriétés électrochimiques du métal sous l'effet du courant polarisant, et se résume en la protection cathodique ; cette méthode consiste à

abaisser le potentiel électrochimique du métal à une valeur telle qu'aucune réaction d'oxydation ne puisse se développer. Le courant de protection peut être délivré, soit par un générateur de courant continu (courant imposé); soit correspondre au courant de dissolution anodique d'un métal plus électronégatif, court circuit avec l'ouvrage métallique à protéger (anodes sacrificielles).

I.5.2. Méthodes fondées sur la variation des propriétés du milieu corrosif (inhibition) :

Ces méthodes consistent à isoler le métal du milieu environnant en agissant sur :

- La diminution de la température
- La diminution de la vitesse
- L'élimination de l'oxygène et des oxydants
- La modification de la concentration

D'une manière générale les inhibiteurs doivent :

- Abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter les caractéristiques physico- chimiques, en particulier la résistance mécanique (par exemple, risque de fragilisation par l'hydrogène en milieu acide);
- Être stables en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis- à vis des oxydants;
- Être stables aux températures d'utilisation ;
- Être efficaces à faible concentration ;
- Être compatible avec les normes de non- toxicité ;
- Être peu onéreux [4].

I.5.3. Méthodes de protection fondées sur la variation des propriétés du métal corrodant (par revêtement) :

Ce sont des méthodes qui ont pour but de modifier la nature ou les caractéristiques physico- chimiques de la surface [4].

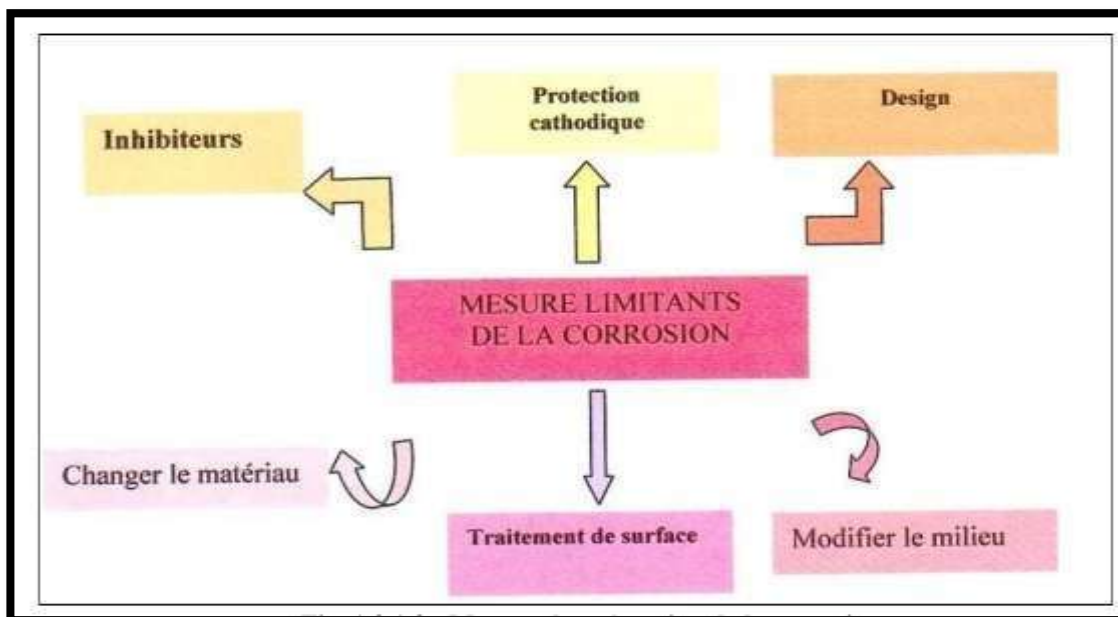
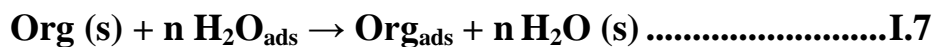


Figure I.5. Moyen de prévention de la corrosion [4].

I.6. Milieu de la corrosion :

Dans les solutions aqueuses, en raison de leur caractère polaire, les molécules d'eau s'adsorbent à la surface du métal. Les inhibiteurs organiques doivent donc déplacer les molécules d'eau adsorbées. D'après Bockris [13], l'adsorption d'une substance organique à la surface du métal peut être décrite par la réaction suivante:



Où n est le nombre de molécules d'eau déplacées à partir de la surface pour chaque molécule organique adsorbée. Le nombre n est indépendant du recouvrement et de la charge du métal, mais dépend de l'aire géométrique de la molécule organique par rapport à celle de l'eau. L'adsorption de la molécule organique se produit parce que l'énergie d'interaction entre la surface du métal et celle de la molécule organique est plus grande que l'énergie d'interaction entre le métal et les molécules d'eau [13].

I.7. Inhibiteurs de la corrosion :

I.7.1. Définition :

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen original de lutte 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.

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 [2].

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 " [2].

I.7.2. Classes des inhibiteurs :

Des nombreuses substances présentent une action inhibitrice, ces substances se distinguent (figure I.6):

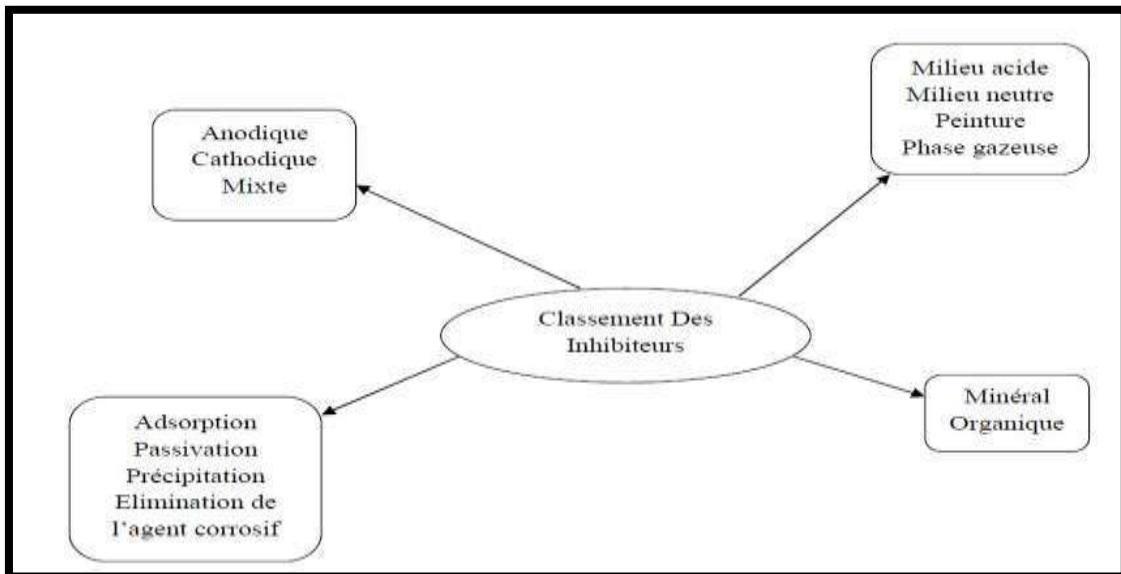


Figure I.6. Classement des inhibiteurs de corrosion [12].

I.7.2.1. Selon leur composition chimique :

❖ Les inhibiteurs organiques :

Les molécules organiques sont destinées à un développement plus que certain en tant qu'inhibiteurs de corrosion : leur utilisation est actuellement préférée à celle des inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. L'action inhibitrice de ces composés organiques est liée à la formation (par adsorption) d'une barrière plus ou moins continue, mais d'épaisseur finie, qui empêche l'accès de la solution au métal (figure.I.7). Les composés organiques utilisés comme inhibiteurs doivent posséder au moins un hétéroatome servant de centre actif pour leur fixation sur

le métal tel que l'azote (amines, amides, imidazolines, triazoles...), l'oxygène (alcools acétyléniques, carboxylates, oxadiazoles...), le soufre (dérivé de la thiourée, mercaptans, sulfoxydes, thiazoles...) ou le phosphore (phosphonates). L'une des limitations dans l'utilisation de ces produits peut être l'élévation de la température, les molécules organiques étant souvent instables à haute température [14].

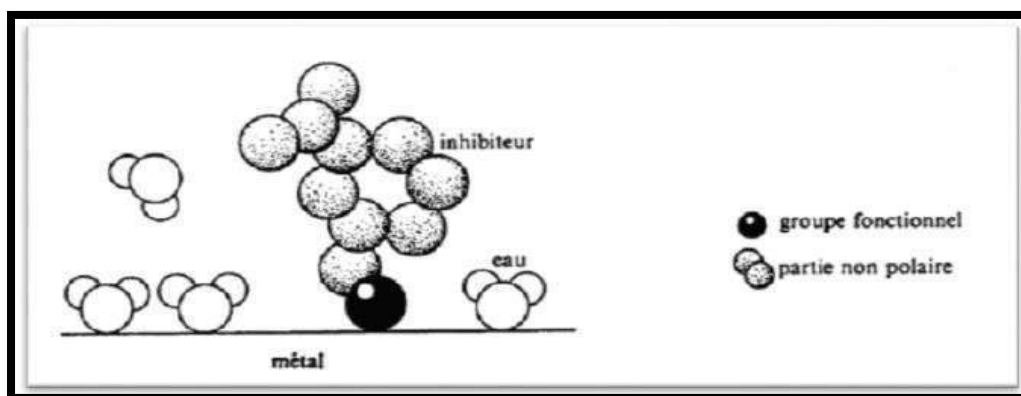


Figure I.7. Adsorption d'un inhibiteur organique sur une surface métallique en milieu aqueux [1].

❖ Les inhibiteurs minéraux :

Les inhibiteurs minéraux (inorganiques) peuvent agir [15]:

- En passivant le métal, c'est-à-dire en formant ou stabilisant la couche d'oxyde à la surface du métal,
- En formant des films protecteurs du métal,
- En alcalinisant le milieu.

Les molécules minérales sont utilisées 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 assure les phénomènes d'inhibition (anions ou cations). Les cations inhibiteurs sont essentiellement Ca^{2+} , Zn^{2+} et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyde OH^- . Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type XO_4 tels que les chromates, molybdates, phosphates, silicates,...

Le nombre de molécules en usages à l'heure actuelle va en se restreignant, car la plupart des produits efficaces présentent un côté néfaste pour l'environnement [16].

❖ **Les inhibiteurs naturels :**

D'une manière générale, pour chaque matériau existe une famille d'inhibiteurs propice à une protection satisfaisante face à la corrosion (**figure.I.8**).

Toutes ces molécules inhibitrices permettant d'obtenir bon rendement en terme d'inhibition de métaux ferreux, qu'elles soient utilisées indépendamment les unes des autres ou de manière synergique.

L'inconvénient principal est que la plupart de ces inhibiteurs sont toxiques ou cancérigènes et nuisible à l'environnement même si leurs efficacité est bonne [17].



Figure I.8.Inhibiteur naturel (l'ortie) [18].

I.7.2.2. Selon leur mode d'action :

❖ **Inhibiteurs d'adsorption :**

La corrosion peut ralentir suite à la formation de couches moléculaires adsorbées. Ces inhibiteurs sont principalement des molécules organiques, qu'ils soient naturels ou synthétiques. Ils possèdent au moins un atome susceptible d'échanger des électrons avec l'atome métallique [5]. 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 Waal (toujours présentes), les liaisons polaires (dépendant des charges de surface et de l'inhibiteur) et les liaisons hydrogène (s'établissent entre un donneur de liaison hydrogène et un accepteur, uniquement N, O, P porteur de doublets libres). 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 a le comportement d'un donneur d'électrons vis-à-vis de l'atome métallique de la surface [19].

❖ **Inhibiteurs passivant :**

La composition et la structure du film passivant peuvent jouer un rôle primordial sur le comportement électrochimique de l'acier ainsi que sur la résistance même de ce film par rapport à l'attaque localisée. Il est important de comprendre le rôle des anions inhibiteurs et d'identifier leur mode d'action.

❖ **Précipitation :**

De nombreux inhibiteurs utilisés forment des couches superficielles par précipitation ou par polymérisation. Les polyphosphates (Na_3PO_4) et les organophosphates font partie de cette catégorie d'inhibiteurs. Agissant principalement sur la réaction cathodique (barrière de diffusion), ils réduisent la vitesse de corrosion en présence d'oxygène [20].

1.7.2.3. Selon la nature électrochimique du processus:

❖ **Les inhibiteurs anodiques :**

Généralement sous forme anionique, ralentissent la vitesse de la réaction anodique d'oxydation par formation de composés insolubles avec des ions métalliques. Ces inhibiteurs provoquent l'augmentation du potentiel de corrosion (**figure.I.9-a**).

Les inhibiteurs anodiques doivent être utilisés avec précaution. En effet, si le film protecteur est altéré par une rayure ou par une dissolution, ou si la quantité d'inhibiteur est insuffisante pour restaurer le film, la partie exposée peut se corroder et former une piqûre profonde.

❖ **Les inhibiteurs cathodiques :**

Ils ralentissent la vitesse de la réaction cathodique de l'oxydant (oxygène, ou H^+ de l'eau). Ces inhibiteurs causent la diminution du potentiel de corrosion (**figure.I.9-b**).

❖ **Les inhibiteurs mixtes :**

Ils agissent à la fois sur la réaction anodique et cathodique. Ils modifient peu le potentiel de corrosion (**figure.I.9-c**).

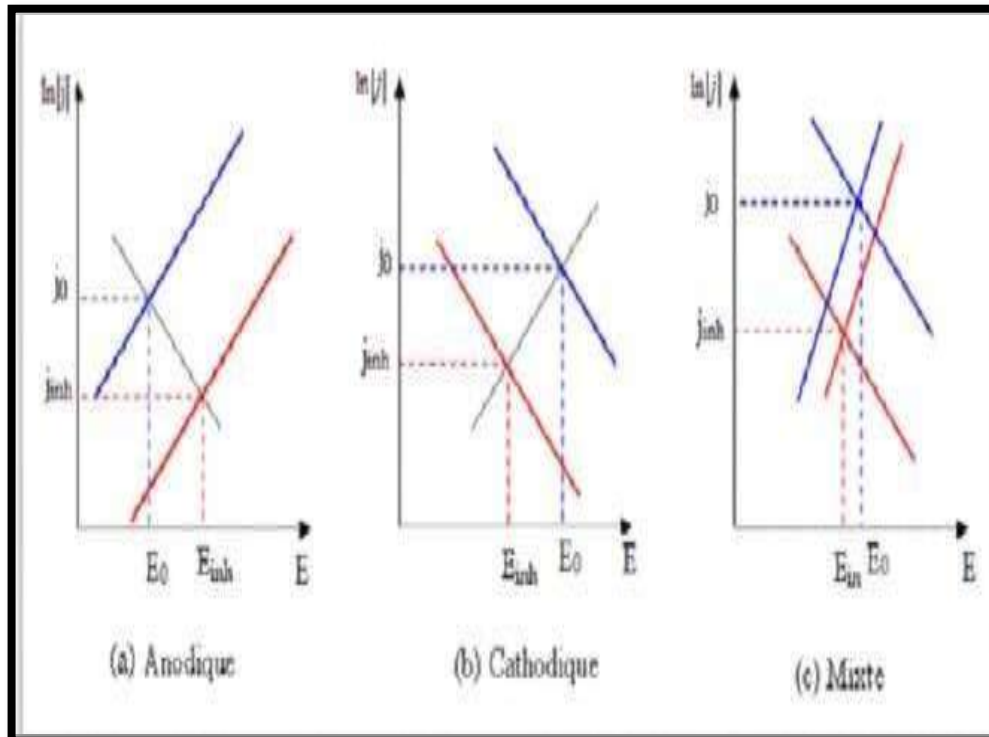


Figure I.9.Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur anodique, cathodique ou mixte [21].

I.7.2.4. Selon leur domaine d'application :

❖ Inhibiteurs pour milieux neutres :

Ils servent surtout à protéger des circuits d'eau de refroidissement. La corrosion en milieu neutre est due essentiellement à l'oxygène dissous et à la présence des ions agressifs tels les ions chlorure, sulfate et les nitrate.

❖ Inhibiteurs pour milieux acides :

Ils sont employés, entre autres, pour éviter une attaque chimique de métal lors du décapage. Dans l'industrie pétrolière, on les ajoute aux fluides de forage.

❖ Inhibiteurs pour milieux organiques :

Ils sont utilisés dans les lubrifiants pour moteurs par exemple. Ces liquides contiennent souvent des traces d'eau et des espèces ioniques qui peuvent provoquer une corrosion.

❖ Inhibiteurs pour peintures :

Ils jouent également un rôle important tels les pigments inorganiques ou les tannins.

❖ Inhibiteurs pour milieux gazeux :

Ils sont employés pour une protection temporaire des objets emballés pendant le transport et le stockage. Ces composés s'adsorbent sur la surface métallique et la protègent contre la corrosion atmosphérique [22].

I.7.3. Domaines d'applications:

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines conventionnels d'utilisation :

- ❖ L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport, entre autres.
- ❖ Les mélanges d'apprêt et peintures où les inhibiteurs de corrosion sont des additifs assurant la protection des métaux contre la corrosion.
- ❖ Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux des procédés industriels, eaux de chaudières, entre autres) [5].

I.7.4. Mécanisme réactionnels (adsorption ou formation de film) :

I.7.4.1. Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique :

La corrosion peut ralentir suite à l'adsorption d'un inhibiteur à la surface du métal. Le degré d'inhibition dépend alors de l'équilibre entre espèces dissoutes et adsorbées.

L'adsorption est le mode d'action des inhibiteurs organiques, elle résulte de l'existence des forces de Van Der Waals entre l'inhibiteur et le métal [23].

Il y'a trois types de forces d'adsorptions sont à distinguer :

- Les forces de dispersion (force de Van Der Waals) : sont toujours présentes,
- Les forces polaires : résultantes de la présence de champs électrique,
- Les liaisons hydrogènes dues aux groupements hydroxyde ou aminé.

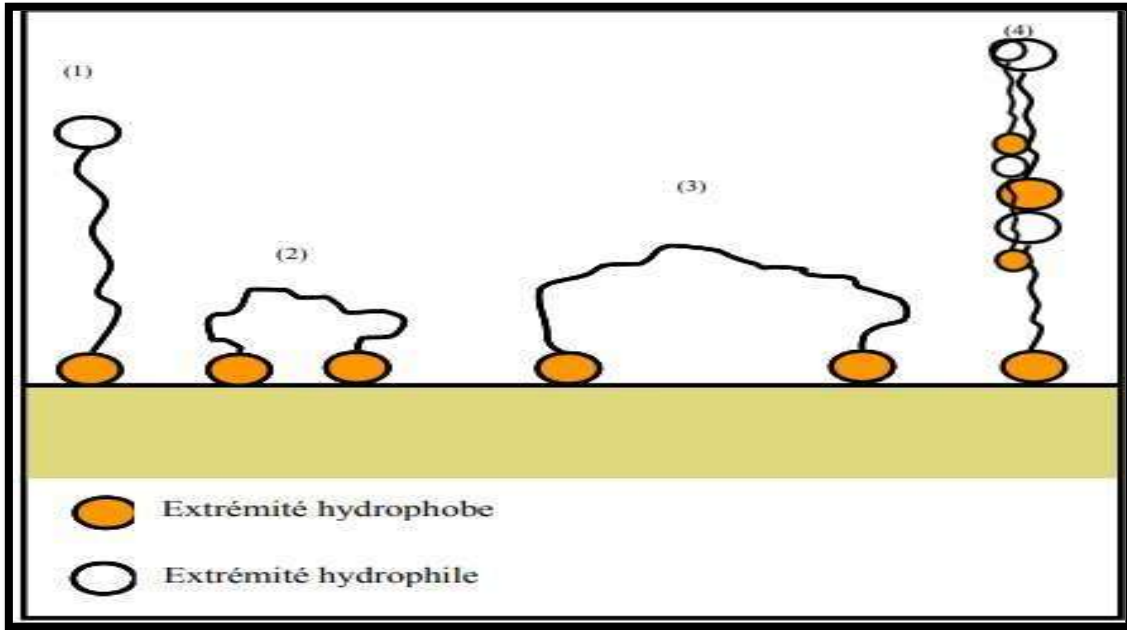


Figure I.10. Mode d'adsorption des inhibiteurs organiques sur une surface métallique (1) Adsorption simple, (2) Chélation de surface, (3) Pontage de surface, (4) Adsorption en multicouche [24].

I.7.4.2. 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. 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 [25].

I.7.4.3. Vitesse d'écoulement :

Comme pour tous les cas d'utilisation de matériaux en milieu agressif, le problème majeur reste celui de l'évaluation de la vitesse de corrosion, qui n'est jamais aisée. Il est bien clair que la notion de vitesse de corrosion n'a de sens que si le phénomène de corrosion concerne la totalité de la surface métallique de manière uniforme (corrosion généralisée). La vitesse de cette attaque est reliée aux éléments suivants [4] :

- ❖ **La composition chimique** : nature et proportions des constituants fondamentaux, des éléments d'addition et des impuretés.

- ❖ **La microstructure** : grosseur des grains, nombre de phases présentes et composition de chacune de celles-ci, les défauts de structure,
- ❖ **Les caractéristiques technologiques** : méthodes de préparation et de traitement, conditions de stockage, transport.
- ❖ **Etat et traitement de surface** : pièce travaillée ou « brute », rugosité, couche protectrice naturelle, film de protection temporaire, etc.

I.8. Méthodes de mesures de la corrosion :

Deux méthodes peuvent être employées pour mesurer les vitesses de corrosion : Les méthodes électrochimiques sont des mesures **directes**, tandis que les méthodes gravimétriques (perte de masse et d'épaisseur) sont des méthodes **indirectes** [4].

I.8.1. Méthode gravimétrique :

Cette méthode relativement simple, ne nécessite pas un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion.

Elle consiste à exposer des échantillons de surface (**S**) dans un milieu corrosif maintenue à température constante pendant un temps (**t**), et à mesurer la différence de masse (**Δm**) des échantillons avant (**m_i**) et après (**m_f**) chaque essai. La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$V_{\text{corr}} = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \dots\dots\dots \mathbf{I.8}$$

V_{corr} peut être exprimé en **mg/cm².min**

Δm = m_i - m_f perte de masse exprimé en **mg**

S : surface de l'échantillon exposé en **cm²**

t : temps d'immersion en **min**

L'efficacité inhibitrice est mesurée par la relation suivante :

$$\mathbf{EI \% = \frac{V_{\text{corr}} - V_{\text{corr}}^{\text{inhib}}}{V_{\text{corr}}} \dots\dots\dots \mathbf{I.9}}$$

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

I.8.2. Méthodes électrochimiques :

L'aspect plus quantitatif (courbes de polarisation à vitesse de balayage modérée, spectroscopie d'impédance électrochimique,...) permet, d'accéder à des vitesses de réaction et des valeurs de paramètres physiques décrivant l'état du système (capacité de double couche, résistance de transfert, capacité du film,...) [27].

I.9. Définition des aciers :

Les aciers sont des alliages de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2% ($C < 2\%$), outre le fer et le carbone qui sont les éléments principaux entrants dans sa composition. Les aciers utilisés dans les domaines de la construction mécanique, ils sont élaborés pour résister à des sollicitations mécaniques ou des agressions chimiques ou une combinaison des deux.

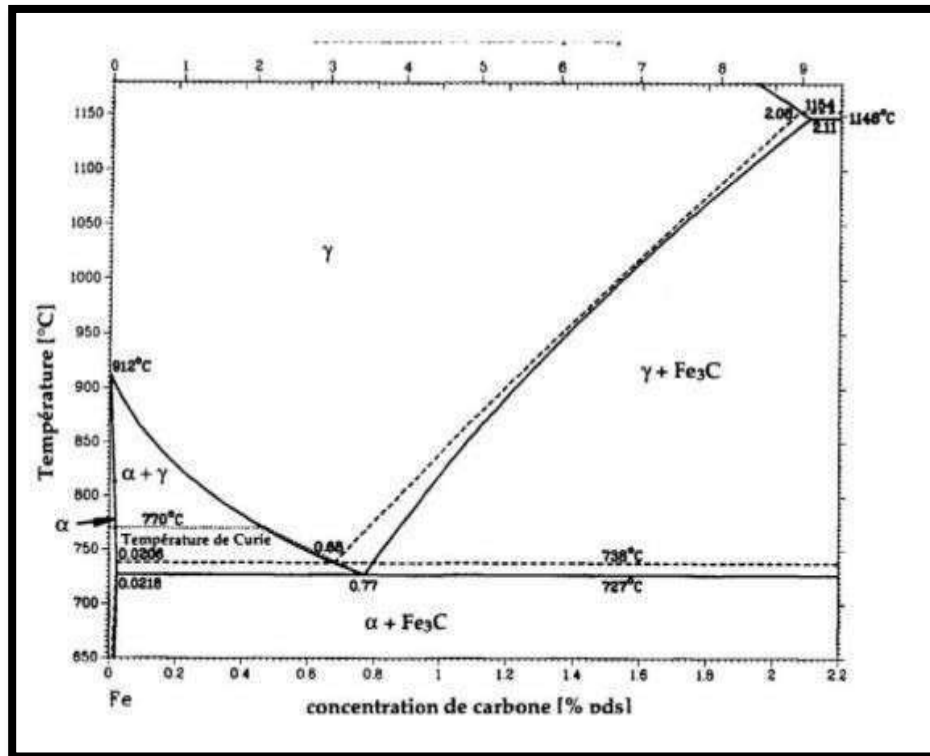


Figure I.11. Diagramme d'équilibre fer-carbone [10].

Chapitre II

L'expérimental

II.1. Généralité sur l'acétanilide :

L'acétanilide, aussi appelé acétylaniline ou acétylaminobenzène, a des propriétés analgésiques. Elle se classe dans la même catégorie de médicaments que le paracétamol. Elle fut commercialisée sous le nom d'antifébrine. En 1948, Julius Axelrod et Bernard Brodie ont découvert que l'acétanilide était beaucoup plus toxique dans ses utilisations que les autres médicaments, endommageant notamment le foie et les reins. C'est donc un médicament abandonné à ce jour. De plus, ce composé est souvent responsable de méthémoglobinémie mortelle (taux important d'une protéine dérivée de l'hémoglobine, la méthémoglobine, dans le sang) [28].

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 [29].

Formule chimique : C_8H_9NO

Masse molaire : 135.1632 g/mol

Température d'ébullition: 304 °C

Température de fusion : 113 – 115 °C

Densité: 1.219

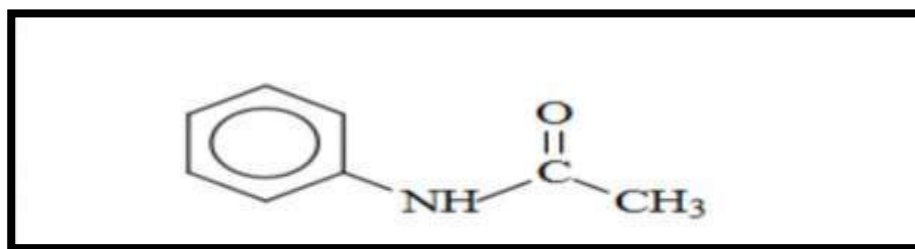


Figure II.1.Structure chimique de l'acétanilide [29].

II.2. La synthèse de l'acétanilide :

La synthèse de l'acétanilide peut être réalisée à l'aide d'un anhydride d'acide et d'une amine l'aniline selon la réaction suivante :

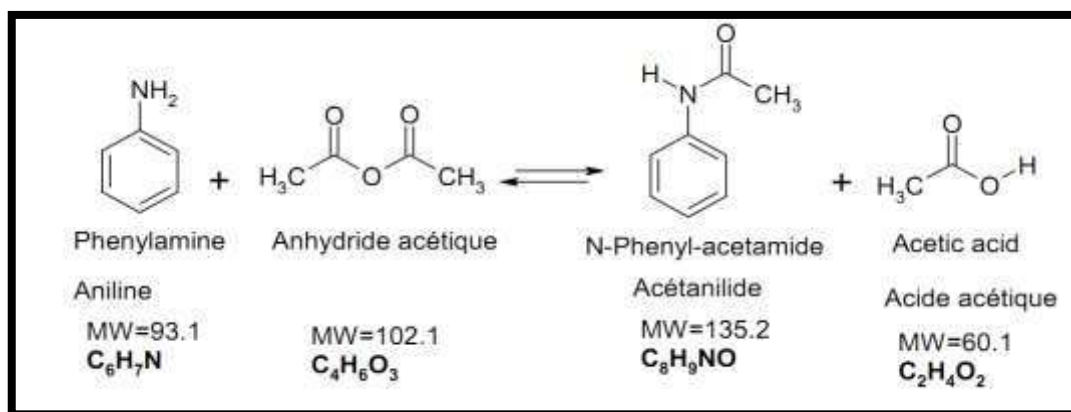


Schéma II.1. Réaction chimique de la synthèse de l'acétanilide [30].

Mécanisme réactionnel :

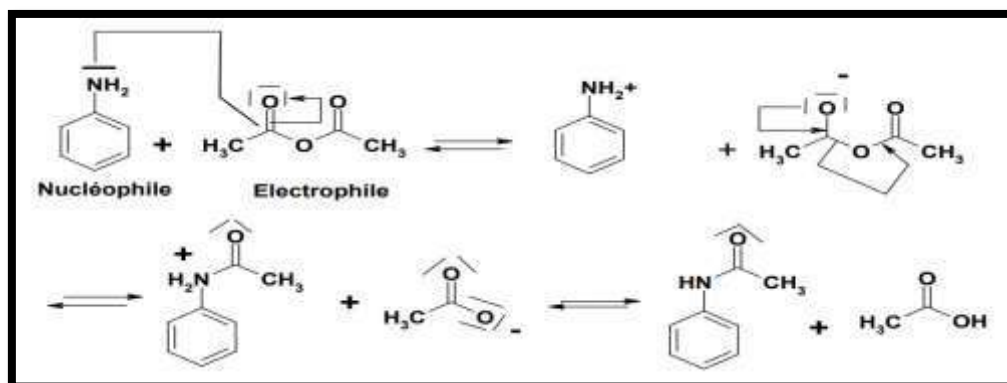


Schéma II.2. Mécanisme réactionnel de la synthèse de l'acétanilide [30].

- **Caractéristiques physicochimiques des éléments de la synthèse :**

Produits	Aniline	Acide acétique	Anhydride acétique	Acétanilide
Masse molaire	93 g.mol ⁻¹	60 g.mol ⁻¹	102 g.mol ⁻¹	135 g.mol ⁻¹
Densité	1,02	1,05	1,08	Solide
Température de fusion	T _f = -6,3°C	T _f = 16°C	T _f = -73 °C	T _f = 114°C
Solubilité	Soluble dans l'eau	Grande solubilité dans l'eau et les solvants organiques	S'hydrolyse en acide acétique en présence d'eau ; très soluble dans la plupart des solvants organiques	Solubilité dans l'eau 5,6 g.L ⁻¹ à 25°C 35 g.L ⁻¹ à 80°C
Pictogramme de sécurité				

Tableau II.1. Caractéristiques physicochimiques des éléments de la synthèse de l'acétanilide [28].

II.2.1. Mode opératoire :

II.2.1.1. Synthèse de l'acétanilide :

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

Après refroidissement à température ambiante, on verse le mélange dans 300 ml d'eau distillée très froide. L'acétanilide se cristallise, Après on filtre les cristaux sous vide, ensuite on les lave par l'eau distillée et on sèche soigneusement pendant 30 minutes à l'étuve.

On obtient des monocristaux en forme de paillettes, avec un point du fusion de 114°C et un rendement de 89%, en utilisant l'éther diéthylique comme éluant.

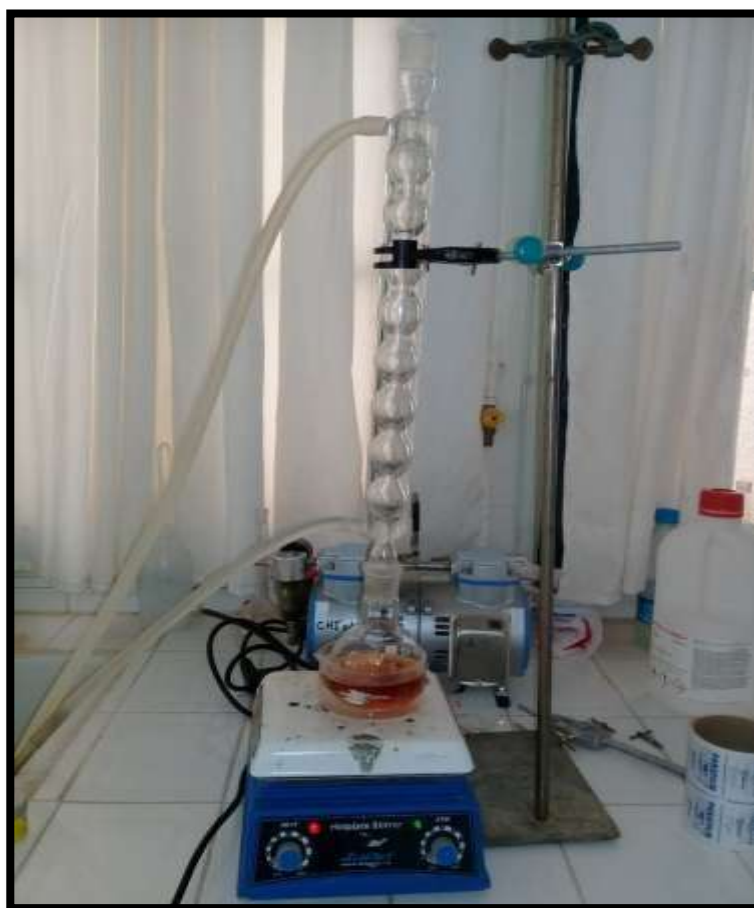


Figure II.2. Montage expérimentale réalisé.



Figure II.3.La formation des cristaux.



Figure II.4.La technique de la filtration sous vide utilisée.



Figure II.5.L'acétanilide obtenu avant le séchage.



Figure II.6.L'acétanilide après le séchage.

II.2.2. Méthodes d'analyse :

II.2.2.1. 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.7. Photographie de l'appareil d'IR utilisé.

- Le spectre IR de l'acétanilide obtenu :

Le spectre IR représenté dans la figure suivante :

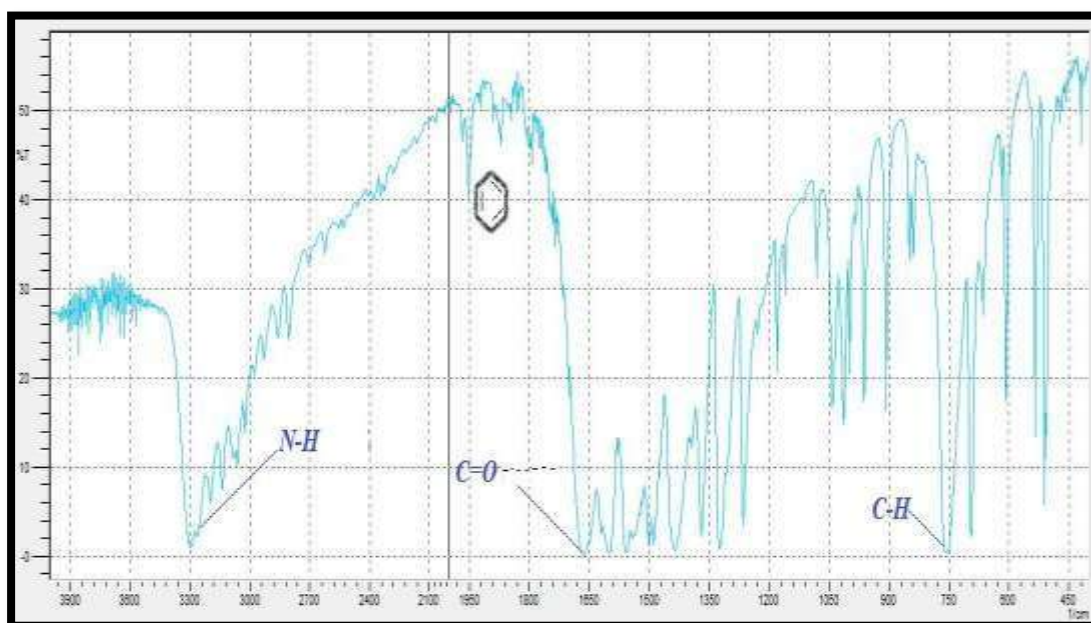


Figure II.8. Spectre IR de l'acétanilide.

- Le spectre IR de l'aniline:

Le spectre IR représenté dans la figure suivante :

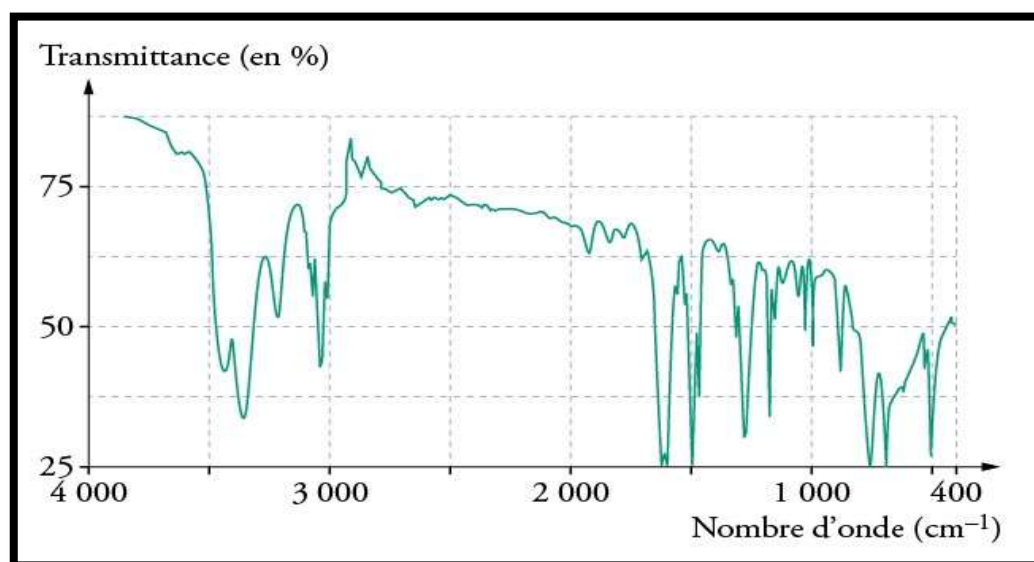


Figure II.9. Spectre IR de l'aniline.

II.2.2.2. Procédure du traitement :

Le traitement par inhibiteur de corrosion s'effectue par une injection continue dans la première manchette en aval de porte-duse à l'aide d'une pompe doseuse, calibrée pour donner la concentration optimale de l'inhibiteur. Le traitement continu est réalisé en deux étapes :

- ❖ La première consiste à réaliser un traitement choc nécessaire à la formation du film de l'inhibiteur (la période de cette étape peut atteindre 24 heures).
- ❖ La deuxième étape consiste à entretenir le film, la concentration de l'inhibiteur est réduite à une faible dose dans ce mode du traitement, et l'opérateur doit veiller au bon fonctionnement des pompes doseuses et à la disponibilité permanente de l'inhibiteur de corrosion.



Figure II.10. Point d'injection de l'inhibiteur de corrosion au niveau du puits.



Figure II.11. Pompe doseuse responsable à injecter l'inhibiteur de corrosion.

II.2.2.3. Principe d'un essai industrielle :

L'inhibiteur fourni par le fournisseur doit être soumis à un ensemble des tests s'appelle "essai industriel" avant d'être utilisé dans le champ. Cet essai contient plusieurs étapes à suivre pour une durée de vie peut atteindre 6 mois ou plus :

- ❖ Période d'observation du processus et des analyses chimiques avant inhibition,
- ❖ Période de filmage (24 à 48 heures) 20 à 50 g/m²/jour pour former une couche protectrice à la surface du métal.
- ❖ Optimisation du taux d'injection en fonction des résultats.
- ❖ Période d'observation du processus et des analyses chimiques après injection.

Cette période assez longue nous permet de contrôler l'efficacité de l'inhibiteur, ses répercussions sur le processus et de vérifier le rendement de l'inhibition.

II.3. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'Albien:

L'eau d'Albien utilisée dans notre travail est une eau prélevée de la commune de Lioua , Wilaya de Biskra. Un prélèvement est effectué au mois de Janvier 2020, les analyses physico-chimiques de cette eau est effectué au mois de Février 2020, au sein du laboratoire de l'hydraulique, faculté de science et technologies, l'université de Mohamed Khider ,Biskra.

Paramètre	Valeur	Norme OMS (2006)
T (°C)	19	25
pH	6.59	6.5-8
Conductivité (ms/cm)	4.49	180-1000
TH (°F)	260	50
TAC (°F)	10.7	-
Ca ²⁺ (mg/l)	512	75
Mg ²⁺ (mg/l)	316.8	50
Cl ⁻ (mg/l)	527.84	200

Tableau II.2.Caractéristiques physico-chimique de l'eau d'Albien de la commune de Lioua, Wilaya de Biskra.

II.4. Calcule du taux d'agressivité de l'eau utilisée :

II.4.1. Le pH :

Le pH est l'écart entre le pH d'équilibre d'une eau d'Albien et le pH du terrain. On a le pH de notre eau testé est 6.59, alors dite agressive est susceptible de provoquer des phénomènes de corrosion.

II.4.2. 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.4.3. Dosage des chlorures (Cl) :

Les ions chlorures sont précipités à l'état de chlorure d'argent par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3). L'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium (K_2CrO_4) qui, en présence d'un excès d'ion argent, forme un précipité rouge brique.

II.4.4. Dosage de l'alcalinité totale (TAC) :

L'échantillon d'eau à analyser est additionné de quelques gouttes (01 à 02) de phénolphthaléine puis titré à l'aide d'acide sulfurique (N/50) jusqu'au virage du jaune à l'orange.

L'alcalinité de notre eau (TAC) est bicarbonatée car le pH est inférieur à 8.3.

II.4.5. Dosage de la dureté totale (TH) :

La dureté totale ou titre hydrotimétrique français (TH) est la somme des concentrations des ions de calcium Ca^{2+} et de magnésium Mg^{2+} .

Le mode opératoire consiste à prélever 100 ml d'eau analyser, ajouter 5 ml de solution tampon (pH=10) et une pincée de l'indicateur (Noir Eriochrome T).

Agiter en titrant par la solution d'EDTA (0.02N), le virage se fait du rouge au bleu - vert.

Les fortes teneurs en calcium se traduisent par une dureté excessive dépassant 50 TH, donc l'eau testé est très dures car TH est supérieur à 50.

II.5. Matériaux utilisé :

II.5.1. Le métal utilisé:

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

❖ Identification du métal utilisé :

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, X70, X80...

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 suivant :

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

Eléments(%)	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

Tableau II.3.La composition chimique d'acier X42.

II.5.2. Conditions expérimentales :

II.5.2.1. Polissage mécanique :

Cette opération est faite à laboratoire de mécanique, faculté de science et technologies, université de Mouhamed Khider , Biskra.

Après une opération de découpage transversal soignée utilisant de l'eau de robinet pour le refroidissement, nous avons préparé quatre 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 à l'aide des disques abrasifs de granulométries grades (120, 240, 600, 800, 1000,1200) 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.12.L'échantillon de métal X42.



Figure II.13.L'apparence de tôle X42 après le découpage.

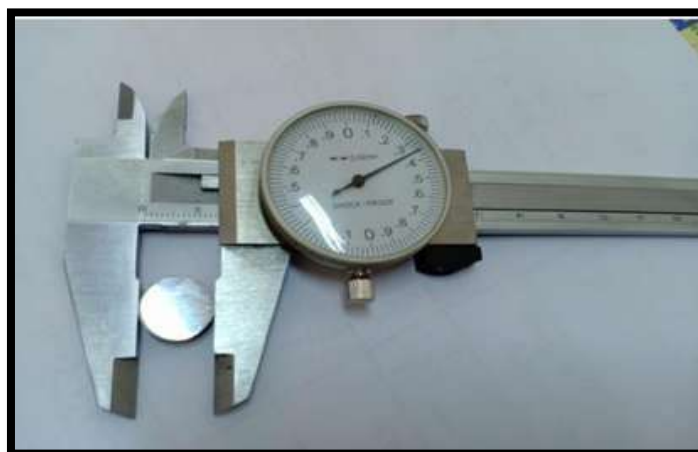


Figure II.14.Apparence de l'échantillon de métal X42 après la préparation.

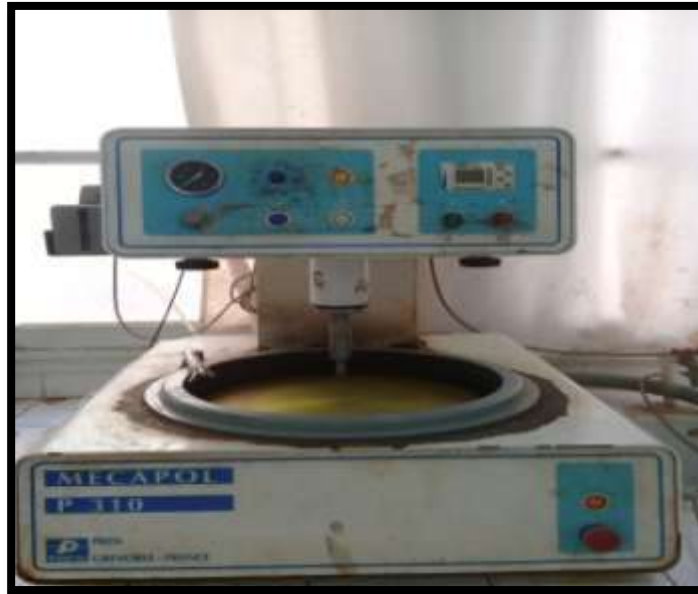


Figure II.15.La polisseuse.

II.5.2.2. L'isolation de l'échantillon par revêtement :

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



Figure II.16.L'apparence des échantillons X42 après le revêtement.

II.5.2.3. Solution corrosive :

La solution corrosive choisie est l'eau d'Albien, du forage de la commune Lioua, wilaya de Biskra.

II.5.2.4. Durée d'expérience d'immersion :

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. Nous avons choisi dans notre travail les durées suivantes : une heure, 18 heures, un jour, deux jours et 7 jours.

II.6. Les solutions électrolytiques :

II.6.1. Préparation de solution 400 ppm :

On prend 0.4 g de notre inhibiteur synthétisé, l'acétanilide, puis on le dissout dans un litre de solution aqueuse pour préparer une solution de concentration 400 ppm.

II.6.2 Préparation de solution 200 et 100 ppm :

La méthode de dilution est utilisée pour préparer 1 litre pour chaque solution de concentration 200 et 100 ppm.



Figure II.17. Les trois solutions électrolytes préparées.

II.6.3. Les milieux corrosifs :

On a préparé quatre bains corrosifs d'un milieu aqueux d'eau d'Albien, le premier sans inhibiteur et les trois autres avec inhibiteur d'une concentration de 100 ppm, 200 ppm et 400 ppm, comme le présente le tableau suivant :

Sans inhibiteur	
Bain 1	L'eau d'Albien
Avec inhibiteur (L'acétanilide)	
Bain 2	Solution de 100 ppm de concentration de l'acétanilide
Bain 3	Solution de 200 ppm de concentration de l'acétanilide
Bain 4	Solution de 400 ppm de concentration de l'acétanilide

Tableau II.4. Les milieux corrosifs.

II.7. Calcul de la vitesse de corrosion :

II.7.1. 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 notre inhibiteur l'acétanilide avec les concentrations de : 100 ppm, 200 ppm et 400 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 : une heure, 18 heures, 24 heures, 48 heures et une semaine à une température ambiante. La valeur de la vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$T = \dots\dots\dots \text{II.1}$$

La vitesse de corrosion (T) sans inhibiteur en fonction du temps est présentée dans le tableau (II.4).

Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)	Poids (g)			T (g/mm ² .jours)
		Avant	Après	Différence	
t=0.0416 jour	154.158	7.2519	7.2516	0.0003	0.000046705
t=0.75 jour	154.158	7.2519	7.2504	0.0015	0.000012973
t=1 jour	154.158	7.2519	7.2539	0.002	0.000012973
t=2 jours	154.158	7.2519	7.2497	0.0022	0.000007135
t=7 jours	154.158	7.2519	7.2554	0.0035	0.000003243

Tableau II.5.La vitesse de la corrosion du métal X42, sans inhibiteur.

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

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

Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)	Poids (g)			T (g/mm ² .jours)
		Avant	Après	Différence	
t=0.0416 jour	154.158	6.7492	6.7496	0.0004	0.000062273
t=0.75 jour	154.158	6.7492	6.7517	0.0025	0.000021622
t=1 jour	154.158	6.7492	6.7544	0.0052	0.000033731
t=2 jours	154.158	6.7492	6.7517	0.0025	0.000008108
t=7 jours	154.158	6.7492	6.7624	0.0132	0.000012232

Tableau II.6.La vitesse de corrosion du métal X42, 100 ppm d'inhibiteur.

Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)	Poids (g)			T (g/mm ² .jours)
		Avant	Après	Différence	
t=0.0416 jour	154.158	7.1289	7.1289	0	0
t=0.75 jour	154.158	7.1289	7.1314	0.0025	0.000021622
t=1 jour	154.158	7.1289	7.1363	0.0074	0.000048002
t=2 jours	154.158	7.1289	7.1326	0.0037	0.000012000
t=7 jours	154.158	7.1289	7.1400	0.0111	0.000010286

Tableau II.7.La vitesse de corrosion du métal X42, 200 ppm d'inhibiteur.

Condition d'immersion Les durées	S (mm ²)	Poids (g)			T (g/mm ² .jours)
		Avant	Après	Différence	
t=0.0416 jour	154.158	7.2272	7.2271	0.0001	0.000015568
t=0.75 jour	154.158	7.2272	7.2266	0.0006	0.000005189
t=1 jour	154.158	7.2272	7.2276	0.0004	0.000002594
t=2 jours	154.158	7.2272	7.2258	0.0014	0.000004540
t=7 jours	154.158	7.2272	7.2310	0.0038	0.000003521

Tableau II.8. La vitesse de corrosion du métal X42, 400 ppm d'inhibiteur.

Ces tableaux présentent des comparaisons entre les poids de nos échantillons avant et après l'immersion dans des milieux aqueux, d'eau d'Albien, sans et avec inhibiteur pour des concentrations : 100 ppm, 200 ppm et 400 ppm pour des durées de 1 h, 18 h, 1 jour, 2 jours et 7 jours pour chaque concentration.

On observe le début de la formation d'un film fin dès les premières heures sur la surface de nos échantillons d'acier X42 pour toutes les concentrations choisies.

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

Le rendement (R%) c'écrit sous la forme suivante :

$$R = \frac{\text{Poids avant} - \text{Poids après}}{\text{Poids avant}} * 100 \dots\dots\dots \mathbf{I.2}$$

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

		Poids (g)		Rendements %
		Avant	Après	
Les durées	Condition d'immersion			
	t= 0.0416 jour	6.7492	6.7496	100.00
	t= 0.75 jour	6.7492	6.7517	100.00
	t= 1 jour	6.7492	6.7544	100.00
	t= 2 jours	6.7492	6.7517	100.00
	t = 7 jours	6.7492	6.7624	100.00

Tableau II.9.Le rendement de l'inhibition de la corrosion du métal X42, à 100 ppm d'acétanilide.

		Poids (g)		Rendements %
		Avant	Après	
Les durées	Condition d'immersion			
	t= 0.0416 jour	7.1289	7.1289	100.00
	t= 0.75 jour	7.1289	7.1314	100.00
	t= 1 jour	7.1289	7.1363	100.00
	t= 2 jours	7.1289	7.1326	100.00
	t = 7 jours	7.1289	7.1400	100.00

Tableau II.10.Le rendement d'inhibition de la corrosion du métal X42, à 200 ppm d'acétanilide.

Condition d'immersion Les durées	Poids (g)		Rendements %
	Avant	Après	
t= 0.0416	7.2272	7.2271	99.99
t= 0.75 jour	7.2272	7.2266	99.99
t= 1 jour	7.2272	7.2276	100.00
t= 2 jours	7.2272	7.2258	99.98
t = 7 jours	7.2272	7.2310	100.00

Tableau II.11. Le rendement d'inhibition de la corrosion du métal X42, à 400 ppm d'acétanilide.

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 : 100 ppm, 200 ppm et 400 ppm à des durées de 1 h, 18 h, 1 jour, 2 jours, et 7 jours pour chaque concentration.

On observe que les rendements obtenus sont supérieurs à 99.98% pour toutes les concentrations choisies.

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre on a discuté les résultats obtenus pour les réactions de synthèse et l'effet de leur inhibition contre la corrosion de l'acier X42.

III.2. La synthèse de l'acétanilide :

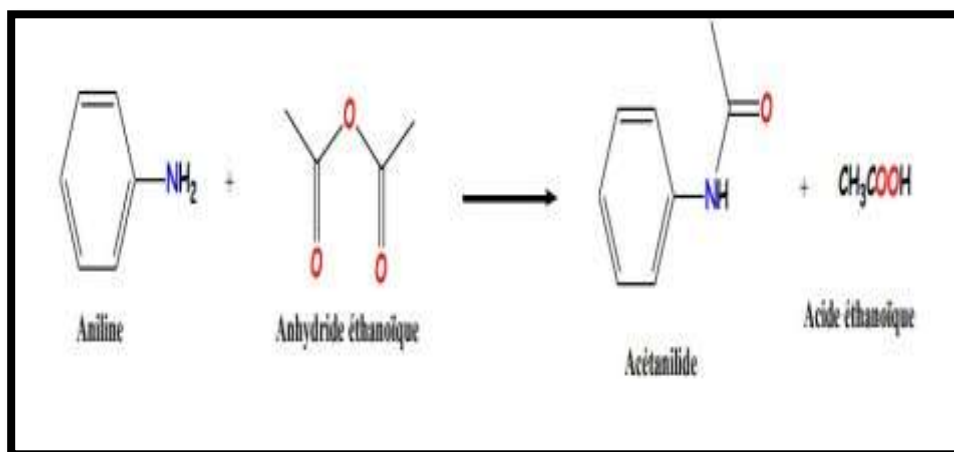


Schéma III.1. La synthèse de l'acétanilide [31].

- Classe de la réaction (basée sur la comparaison des structures) :

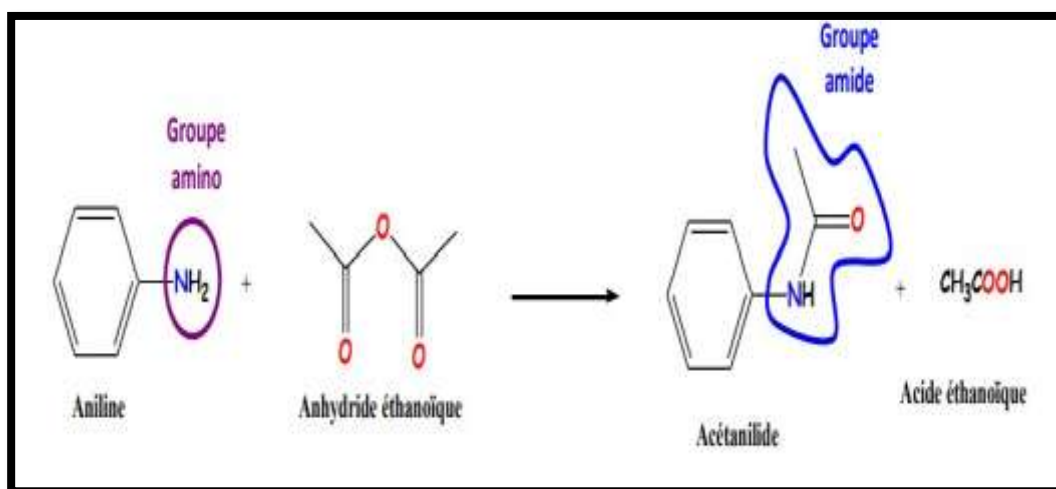


Schéma III.2. Réaction de substitution nucléophile de l'aniline [31].

Lors de cette transformation chimique, le groupe caractéristique amino du réactif principal, aniline, est modifié : il est remplacé par un groupe amide : il s'agit d'une réaction de substitution nucléophile.

■ Mécanisme réactionnel:

Etape 1 :

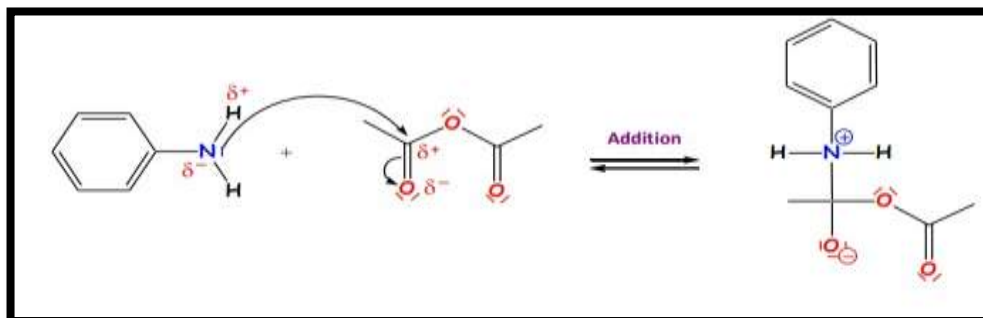


Schéma III.3. Réaction d'addition [31].

Etape 2 :

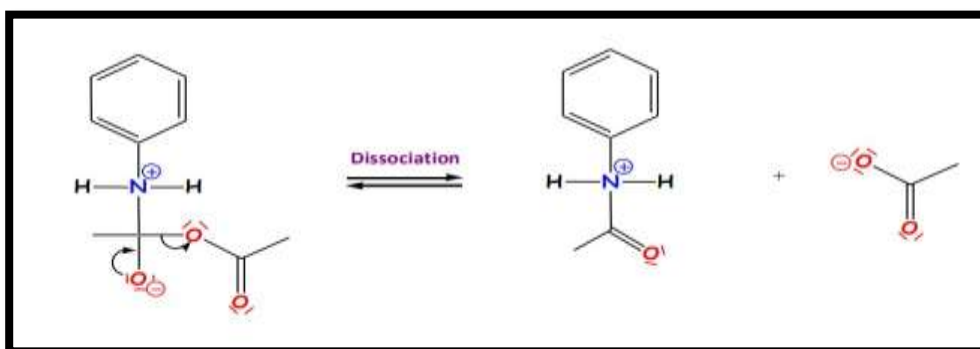


Schéma III.4. Réaction de dissociation [31].

Etape 3 :

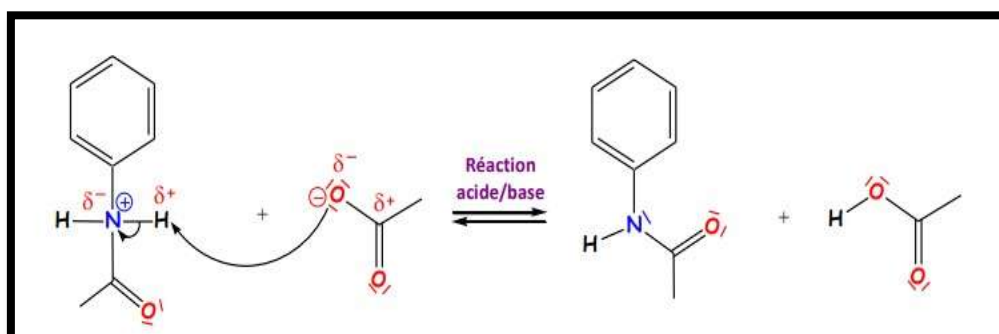


Schéma III.5. Réaction acide et base [31].

III.3. Etude de l'efficacité inhibitrice :

III.3.1. Les résultats des tests d'immersion :

❖ La vitesse de corrosion :

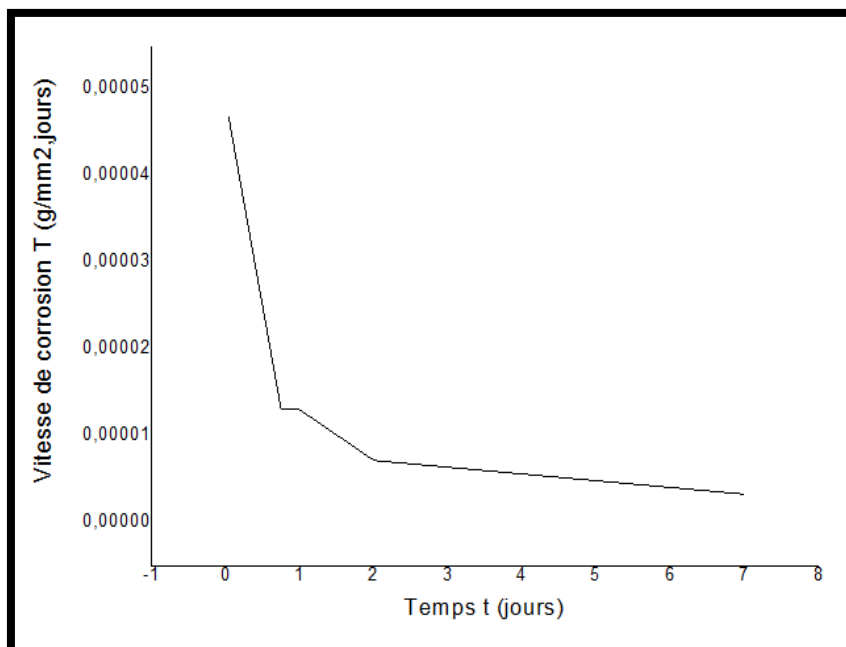


Figure III.1. La vitesse de corrosion en fonction du temps dans milieu aqueux sans inhibiteur.

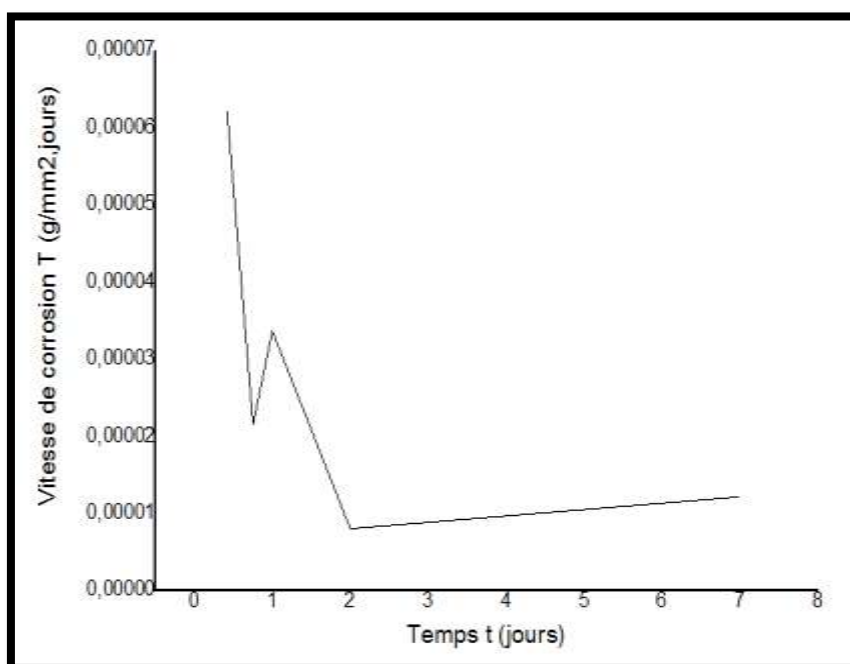


Figure III.2. La vitesse de corrosion en fonction du temps à 100 ppm.

La courbe présentée dans la figure III.2 montre que la vitesse de corrosion minimale de $0.000008108 \text{ g/mm}^2 \cdot \text{jour}$ est pour 2 jours avec une concentration de 100 ppm, ce qui explique que l'adsorption de notre inhibiteur sur la surface du métal X42 a pris un temps pour former le film protecteur.

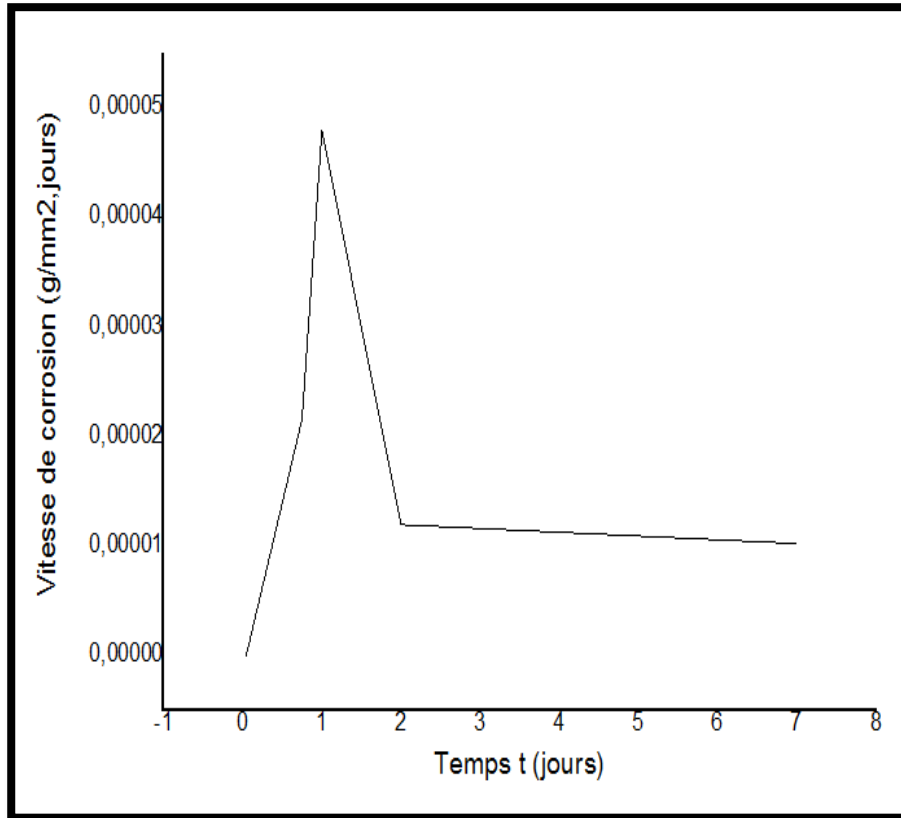


Figure III.3. La vitesse de corrosion en fonction du temps à 200 ppm.

La figure III.3 montre que le meilleur résultat est de $0.000048002 \text{ g/mm}^2 \cdot \text{jour}$ pour une durée d'immersion d'un jour, avec une concentration de 200 ppm.

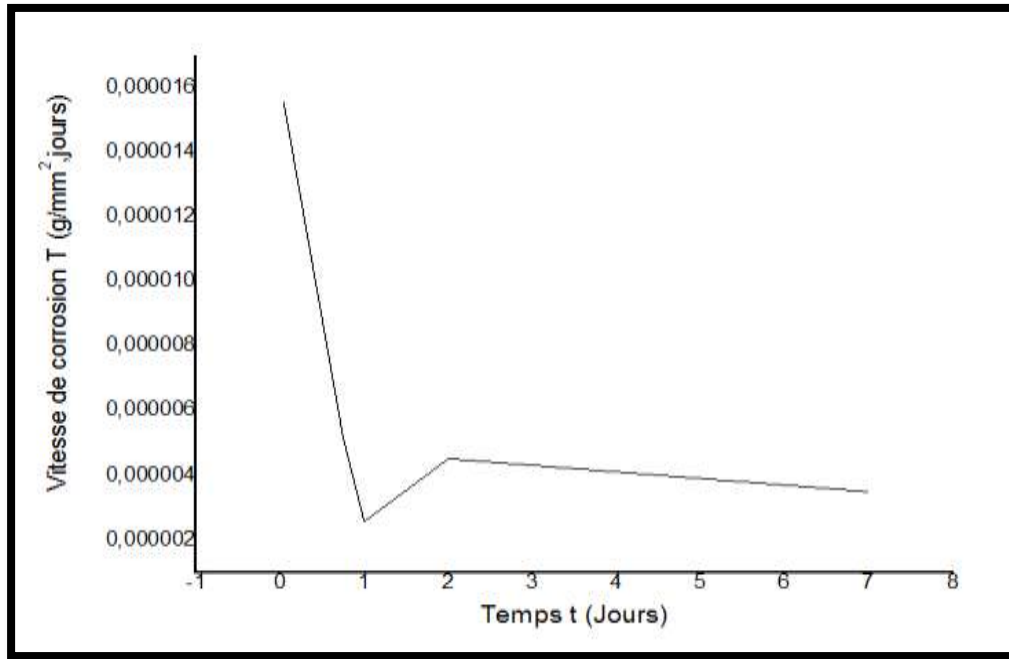


Figure III.4. La vitesse de corrosion en fonction du temps à 400 ppm.

La figure III.4 montre que la vitesse de corrosion minimale est de 0.000002594 g/mm².jour pour une concentration de 400 ppm.

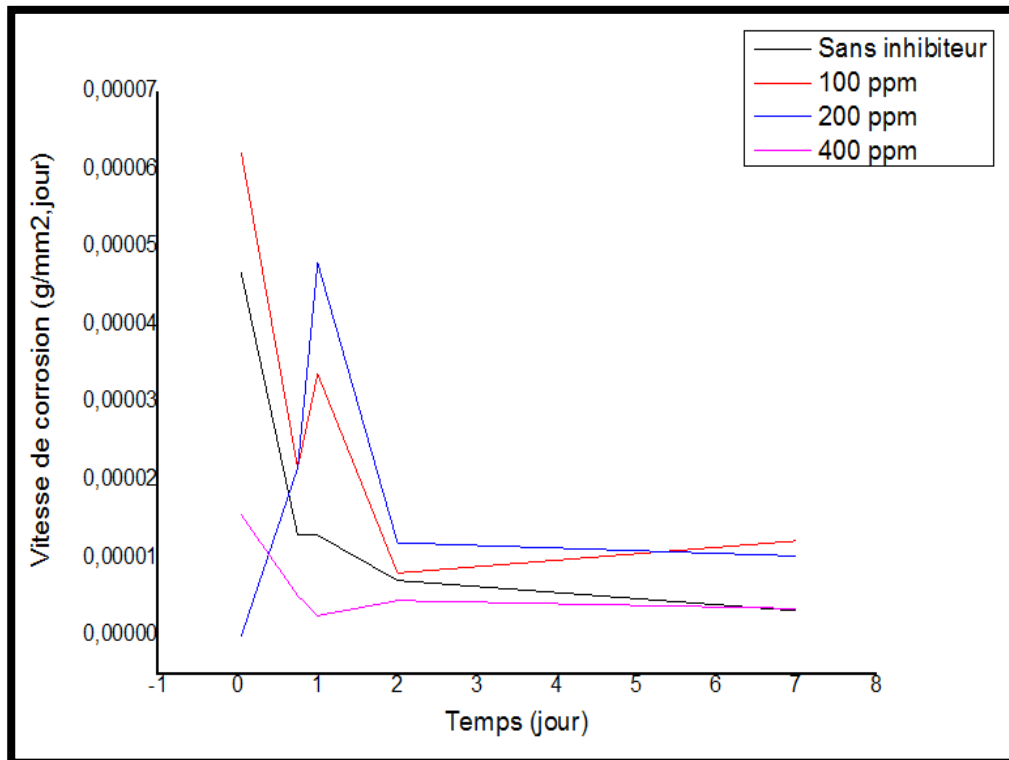


Figure III.5. Comparaison des vitesses de corrosion en fonction du temps.

La figure III.5 montre une comparaison entre les vitesses de corrosion en fonction du temps. On observe la vitesse minimale à $0 \text{ g/mm}^2\cdot\text{jour}$ pour une durée d'une heure à une concentration de 200 ppm. Cela est expliqué par la formation d'un film protecteur pendant une heure. Alors, une bonne adsorption chimique et physique de notre inhibiteur sur la surface de X42 a lieu. On remarque aussi des vitesses minimales dans le cas de la concentration de 400 ppm, pour toutes les durées choisies dans notre travail. On explique ça par la non dégradabilité et la durabilité du film formé dans le milieu aqueux pour toutes les concentrations et pour toutes les durées choisies.

❖ Le rendement :

Le but de calculer le rendement d'inhibition est de montrer que notre inhibiteur, l'acétanilide, est efficace dans le milieu aqueux, pour toutes les concentrations dans et avec toutes les durées d'immersion choisies.

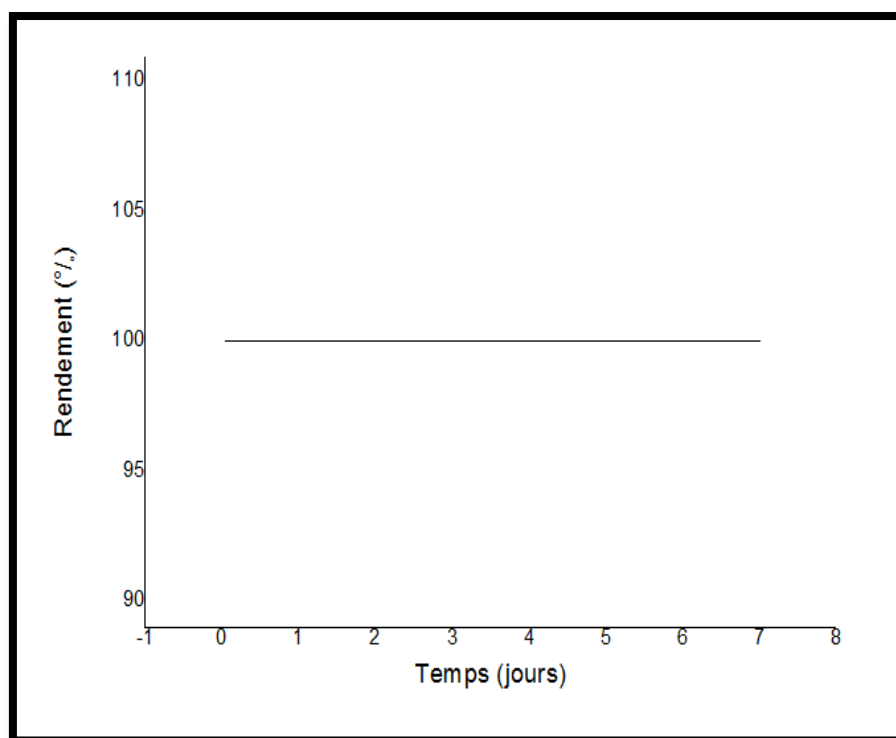


Figure III.6. Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 100 ppm.

La figure III.6 montre que notre inhibiteur, l'acétanilide, est très efficace avec un rendement de 100% pour une concentration de 100 ppm dans toutes les durées d'immersion choisies.

Donc premièrement il y a une réaction d'adsorption chimique, la création des liaisons chimiques covalentes entre notre inhibiteur, le donneur de doublet d'e- libres et

le métal Fe donneur des cases quantique vides, et deuxièmement une adsorption physique, les forces de Van Der Waals, entre le milieu aqueux et la surface du métal X42. Cela explique la formation d'un film protecteur non dégradable et durable dans le milieu aqueux.

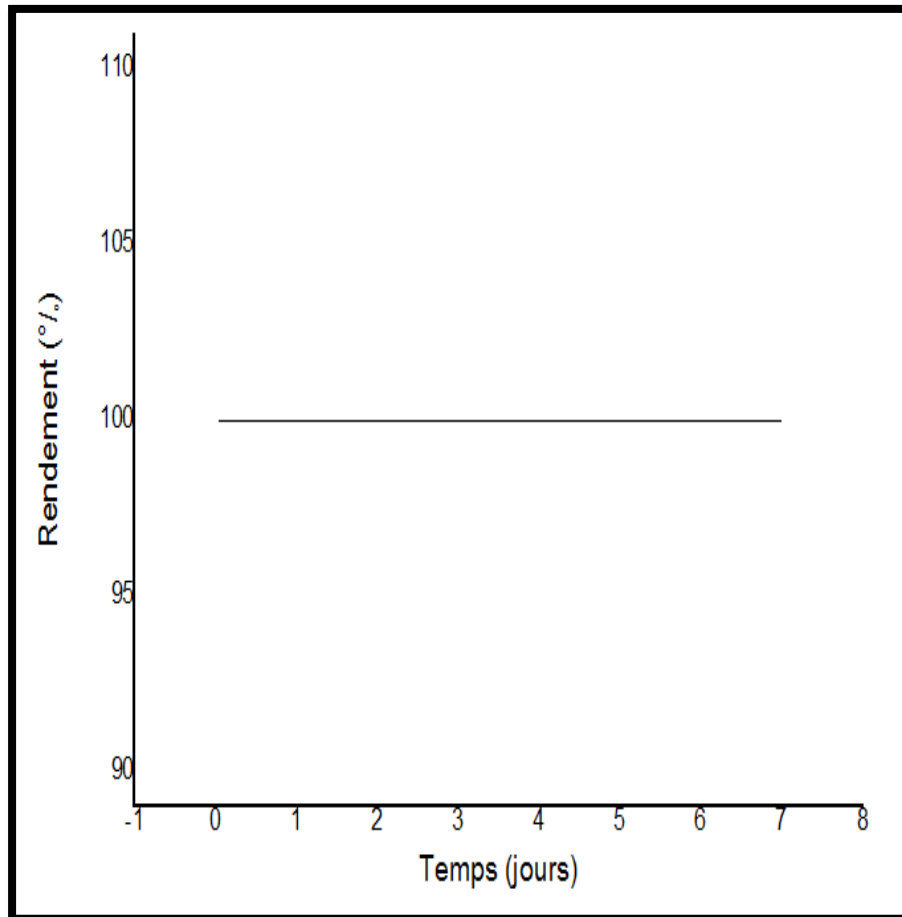


Figure III.7. Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 200 ppm.

La figure III.7 montre que le rendement est de 100 % pour toutes les durées d'immersions choisies dans le cas de 200 ppm.

Donc on peut dire que notre inhibiteur est très efficace contre la corrosion d'acier X42 dans un milieu aqueux, l'eau d'Albien, pour une concentration de 200 ppm.

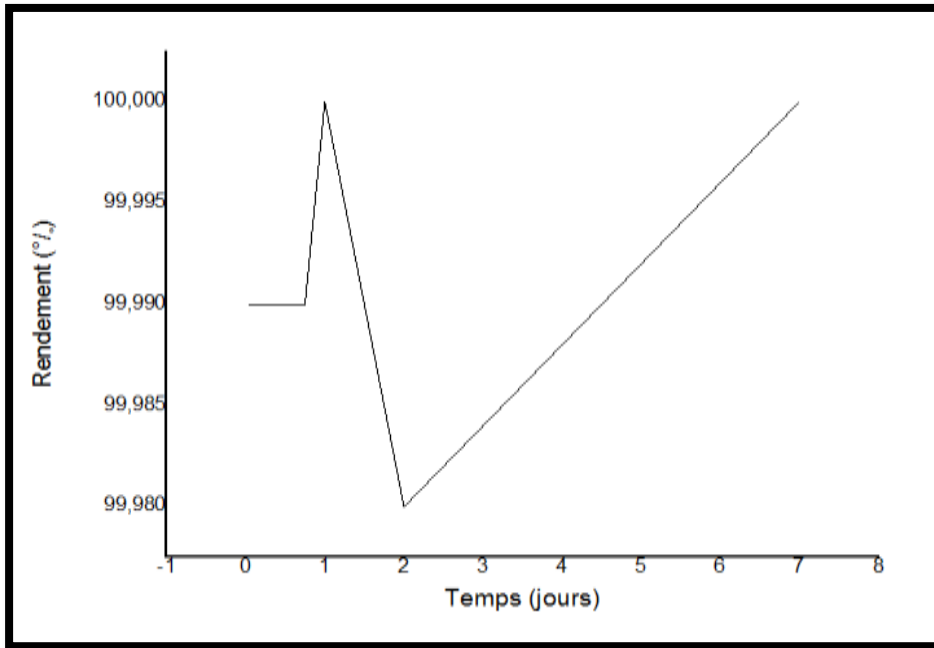


Figure III.8. Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 400 ppm.

La figure III.8 montre que le rendement d'inhibition pour une concentration de 400 ppm est supérieur à 99.98 % pour toutes les durées choisies. Cela montre que l'acétanilide est un inhibiteur efficace dans ce milieu aqueux.

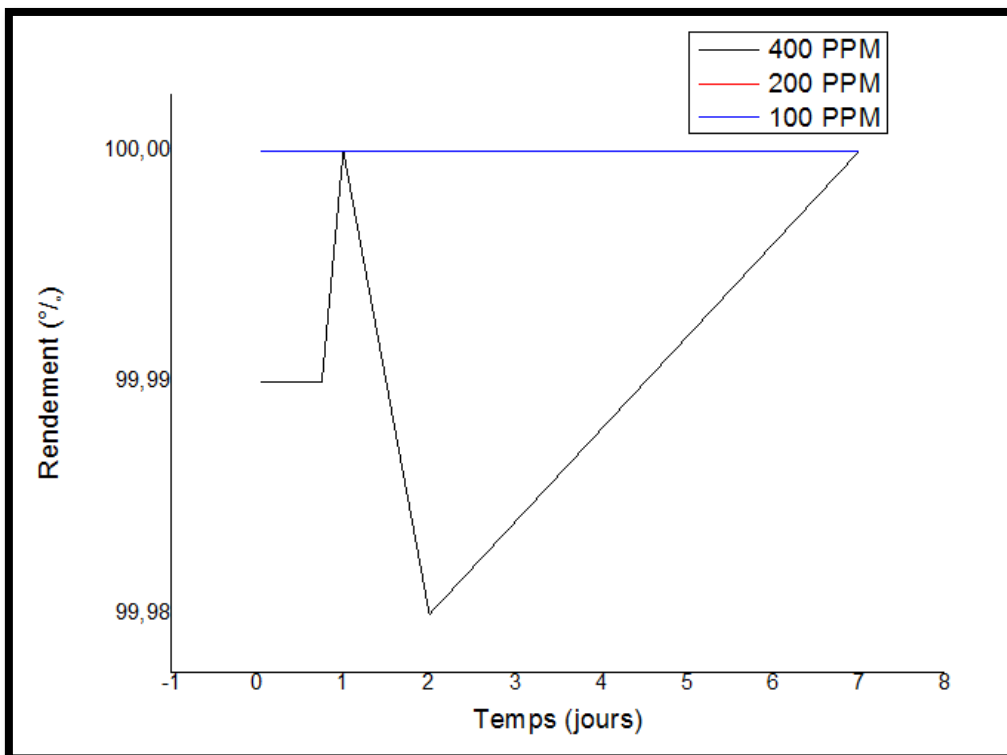


Figure III.9. Comparaison entre les rendements d'inhibition en fonction du temps.

La figure III.9 montre une comparaison entre les rendements en fonction du temps. On observe que le rendement est de 100% pour les deux concentrations, 100 ppm et 200 ppm, et cela pour toutes les durées d'immersion choisies dans notre travail. Pour la concentration 400 ppm le rendement d'inhibition reste idéal à 99.98% pour une durée de 2 jours.

❖ L'efficacité inhibitrice :

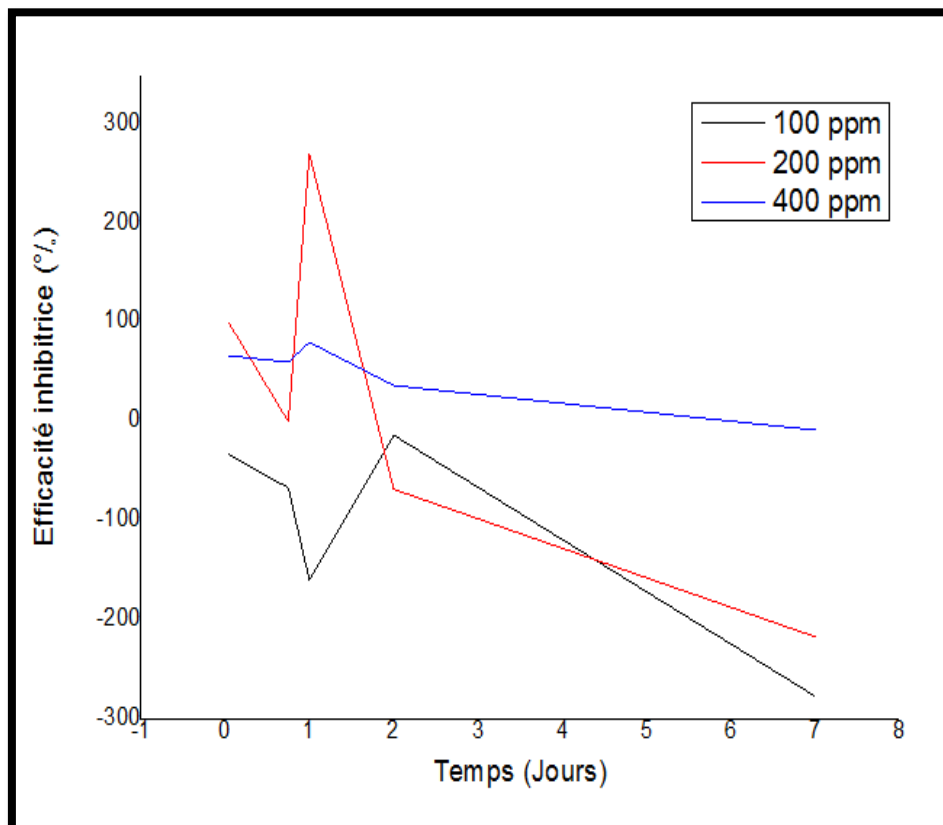


Figure III.10. Comparaison de l'efficacité inhibitrice en fonction du temps.

Après l'étude de la comparaison de l'efficacité inhibitrice de l'acétanilide contre la corrosion de l'acier X42 dans l'eau d'Albien entre les trois concentrations choisies dans notre travail, on remarque que le meilleur résultat est pour une concentration de 200 ppm pour une durée correspondant à un jour.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est de synthétiser un dérivé d'aniline : l'acétanilide et l'étude de son effet inhibiteur sur la corrosion de l'acier X42 dans un milieu aqueux d'eau d'Albien.

D'abord, nous avons commencé par la synthèse de l'acétanilide, où le rendement de la synthèse est de 99%.

Ensuite, nous avons étudié la vitesse de la corrosion de l'acier X42 dans un milieu aqueux (l'eau d'Albien au niveau de la commune de Lioua wilaya de Biskra) par rapport au temps d'immersion. Pour réaliser cette étude nous avons utilisé la méthode gravimétrique (perte de masse).

L'utilisation de notre inhibiteur l'acétanilide, pour plusieurs durées et concentrations, a montré qu'il y a une efficacité inhibitrice de 80.0046% pour une concentration de 400 ppm pendant un jour avec un rendement d'inhibition de 100%.

Enfin, on peut conclure que ce produit est un bon inhibiteur contre la corrosion d'acier X42.

Résumé

Ce travail s'intéresse à l'étude de l'efficacité de l'inhibiteur l'acétanilide contre la corrosion de l'acier X42 dans le milieu aqueux, l'eau d'Albien.

Ce travail est divisé en deux parties :

- ❖ La première partie consiste à synthétiser l'acétanilide à partir de l'aniline.
- ❖ La deuxième partie consiste à obtenir les résultats d'inhibition de la corrosion par la méthode gravimétrique (perte de masse).

Mots clés: la corrosion, l'acétanilide, inhibiteur, efficacité, méthode gravimétrique.

Abstract

This work is interested in studying the effectiveness of acetanilide against corrosion of steel X42 in the aqueous medium of Albien.

This work is divided into two parts:

- ❖ The first part is to synthesize acetanilide from aniline.
- ❖ The second part consists in obtaining the results of corrosion inhibition by the gravimetric method (loss of mass).

Keywords: corrosion, acetanilide, inhibitor, efficiency, gravimetric method.

ملخص

يختص هذا العمل بدراسة فعالية مثبط الأسيتانيليد ضد تآكل الفولاذ في الوسط المائي ماء ألبين

ينقسم هذا العمل إلى قسمين :

يتكون الجزء الأول من تصنيع الأسيتانيليد من الأنيلين

يتكون الجزء الثاني من الحصول على نتائج تثبيط التآكل بالطريقة الوزنية (نقدان الكتلة)

الطرق المنبأحية التآكل السيتانيليد المانع الكفاءة طريقة الجاذبية

Bibliographies

- [1] F. Milcard, 'Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M : Application à *Aspidosperma album* et *Geissospermum laeve* (Apocynacées)', Thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane, 2013.
- [2] 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.
- [3] W.Harzallah,'Préparation et Caractérisation de Dépôts Composites électro déposés en Présence d'Inhibiteurs Organiques', Diplôme de Magister, Université de Mouhamed Khider de Biskra, 2006.
- [4] B. Laidi , 'Etude de la résistance a la corrosion des alliages de cuivre en milieu salin' ,Mémoire de Master, Université de 20 AOUT 1955 , Skikda,2008.
- [5] : C. Chinogurei , 'Propriétés inhibitrices de l'huile de cade sur la corrosion de l'Aluminium', Diplôme de Master, Université de Badji Mokhtar ,Annaba,2018.
- [6] : G. Daufin, J. Talbot,'Etude de quelques problèmes de corrosion dans l'industrie laitière',premiere partie : Generalités sur la corrosion des metaux et alliages',Article, LE LAIT,N°507, JUILLET-AOUT,1971.
- [7] : Y. Lazhar , 'Etude de la corrosion localisée par piqûres des aciers inoxydables 304L et 430: effet de la déformation à froid par traction et laminage', Thèse de Doctorat, Université Costantine 1, 2013.
- [8] B. Grosogeat, P. Colon, Cours, 'La corrosion', Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, Université Médicale Virtuelle Francophone , 2010.
- [9] : B. Hireche , H. Ferhat, 'Etude de l'effet inhibiteur des huiles essentielles de cyprès (*cupressus sempervirens.L*) sur la corrosion de l'acier X70 (sans et avec soudure)', Diplôme de Master ,Université de Mouhamed khider, Biskra , 2019.
- [10] : B. Guebli , H. Gassarellil,'Etude des Phénomènes de Corrosion liés à la détérioration des Aciers pour tubes Galvanisés', Mémoire de Master, Université Arbi Tbessi, Tebessa, 2016.
- [11]: A.Djennelbaroud , H. Boukabouya, 'Synthèse et caractérisation des hétérocycles azotés à partir des chalcones et l'hydrazine : Application à l'inhibition de la corrosion des aciers', Diplôme de Master, université de Moulay Tahar , Saïda ,2017.

[12] :R. Sadoun,'Synthèse de quelque dérivé de nitrobenzène et l'étude de leur inhibition de la corrosion d'un joint soudé X42 dans un milieu aqueux', Diplôme de Master, Université de Mouhamed khider, Biskra, 2018.

[13] :H-B.Ouici, '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', Thème de Doctorat, Université Abou-Bekre Belkaid, Tlemcen, 2013.

[14] : H. Hamani, 'Synthèse, caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules bases de Schiff', Thème de Doctorat, Université Ferhat Abbas, SETIF-1, 2015.

[15] : A . Benyounes, S. Aouididi, 'Effet des ions chromates sur La corrosion par piqûre d'alliage d'Aluminium-6060', Diplôme de Master, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2018.

[16] : H. Brahim Ladouani, 'Inhibition de la corrosion du cuivre en milieu acide par les dérivés de dithioacétal de cétène', Mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine, 2011.

[17] : R. Bouachrine, A. Boussoufa, 'Etude de l'inhibition de corrosion de l'acier par un inhibiteur vert dans les milieux HCl 0.5M et NaCl à 3%', Diplôme d'ingénieur d'état en génie des procédés, 2009.

[18] : S. Aouadhi, 'Atlas des risques de la phytothérapie traditionnelle étude de 57 plantes recommandées par les herboristes', Diplôme de Master, Faculté de Médecine de Tunis, 2010.

[19] : F. Constantin, 'Etude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement', Thèse de Doctorat, Université de Pitești, Roumaine, 2011.

[20] : M. Benarioua, 'Inhibition de la corrosion d'un acier ordinaire par les chromates et les molybdates', Diplôme de Magistère, Université Hadj Lakhdar, Batna, 2013.

[21] : Z. Khiati, 'Inhibition de la corrosion du cuivre en milieux chlorure et sulfate neutres par une nouvelle molécule dérivée de 1,2,4-triazole', Thèse de Doctorat Université Paris 6 - Pierre et Marie Curie, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2013.

[22] : S. Boudries, A. Trabelsi, 'Etude de l'inhibition de la corrosion d'un acier dans NaCl 3% par différents cations métalliques', Diplôme de Master, 2017.

[23] :S.Labed, 'Effet inhibiteur de l'acier sulfanilique contre la corrosion X42 dans le milieu aqueux', Diplôme de Master, Université Mouhamed Khider, Biskra, 2016.

[24] : Kh. Meddahi , 'Contribution à l'étude de l'incompatibilité entre un inhibiteur de corrosion et un inhibiteur de dépôt', Diplôme de Magister, Université de Mouhamed Bougara , Boumerdes, 2014.

[25] : K. Bouhrira , 'Etude d'une application des composés organiques contenant des hétéroatomes a l'inhibition des aciers faiblement et fortement alliés contre la corrosion par les milieux acides et marins', Thèse de Doctorat , Université de Mohamed Boudiaf, Oran, 2013.

[26] : N. Saigaa, 'Etude physicochimique de l'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone en milieu acide sulfurique ', Diplôme de Master, Université de Tébessa, 2016.

[27] : K. Morakchi, ' Caractérisation par la spectroscopie d'impédance électrochimique de l'électrode en platine modifiée par une membrane polymérique destinée à la détection ionique', Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar , Annaba, 2010.

[28] : studylibfr.com, Chapitre C12, 'Sélectivité en chimie organique : Synthèse du paracétamol ou de l'acétanilide', 22 :00, 11/06/2020.

[29] : R. Habchi, 'La synthèse d'un dérivé d'aniline et l'étude de son efficacité inhibitrice sur corrosion d'acier X42 dans l'eau Albien', Diplôme de Master, Université de Mouhamed Khider, Biskra, 2019.

[30] : L.Perrotti, 'La recristallisation de l'acétanilide', Travaux Pratiques de Chimie Organique IA , Section ès Sciences Chimiques , Université de Genève, 2006.

[31] : http://eduscol.education.fr/ressources_physique-chimie-TS, 'Synthétiser des molécules, fabriquer de nouveaux matériaux : sélectivité et chimiosélectivité', 21:45, 11/06/2020.