



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

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

Keddar Yasmine
Merabti Bouthaina

Le : 02/06 /2025

Etude de l'inhibition de la corrosion d'acier X70 par un dérivé d'aniline dans un milieu aqueux.

Jury :

Dr.	Asma NOUIOUA	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	Nedjema CHÉRIFI	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	Kalthoum ADAIKA	MCA	Université de Biskra	Examineur

المخلص:

يركز هذا العمل على دراسة فعالية مثبط الأسيتانيليد ضد تآكل الفولاذ X70 في الوسط المائي، ماء Albien

ينقسم هذا العمل إلى جزأين :

- الجزء الأول يتضمن تصنيع الأسيتانيليد من الأنيلين ومعرفة جزيئاته بواسطة جهاز IR ونقطة الانصهار
- الجزء الثاني هو الحصول على نتائج تثبيط التآكل بإستعما الطريقة الوزنية (فقدان الكتلة).

الكلمات المفتاحية: تآكل، أسيتانيليد، مثبط، كفاءة، طريقة الوزن، فولاذ.

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 et connaître ses particules à l'aide d'un appareil de "IR" et point du fusion
- La deuxième partie consiste à obtenir les résultats d'inhibition de la corrosion par la méthode gravimétrique (perte de masse).

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

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 and knowing its particles using an "IR" device and fusion point.
- 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, steel.

Remerciements

Tout d'abord, nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant qui nous a accordé la force et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail, en espérant que cette réalisation sera bénéfique pour nous ainsi que pour autrui.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au **Dr Nadjema CHÉRIFI-BENNADJI** pour son soutien constant, ses conseils avisés et ses orientations constructives et précieuses tout au long de ce travail.

Nous souhaitons également remercier **Dr Asma NOUIOUA** d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Nos remerciements vont aussi au **Dr Kalthoum ADAIKA** d'avoir accepté de participer en tant qu'examinatrice.

Nous remercions sincèrement l'ensemble des membres du laboratoire de chimie industrielle ainsi que toute l'équipe pédagogique pour le partage de leurs connaissances tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous n'oublions pas d'adresser nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance à nos enseignants ainsi qu'à toutes les personnes, non mentionnées ici, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Après de nombreuses années d'étude, d'efforts et de persévérance tout au long de mon parcours académique, je dédie ce modeste travail à:

- Ma mère, source d'amour et de tendresse, et mon modèle dans la vie.
- Mon père, que Dieu lui accorde Sa miséricorde et l'accueille au plus haut degré du Paradis.
- Ma sœur unique et compagne de route, Douaa.
- Mes chers frères Abdel Moneim et Abdel Latif
- Toutes mes amies proches, en particulier Bouthaina, Roufaïda, Zahia...
- Toutes mes camarades de ma promotion GP et GPE 2025.

Yasmine



Dédicaces

À moi-même,

À cette jeune femme qui a avancé, la tête haute, même lorsque les vents contraires soufflaient fort.

À celle qui a su préserver la lumière en elle, cultiver ses rêves dans le silence, et croire en demain avec élégance et foi.

Je me dédie cette étape, fruit de persévérance, de résilience et d'amour de soi.

- À mon père, pilier de sagesse, dont la présence m'a toujours guidée dans les méandres de l'incertitude.
- À ma mère, berceau de tendresse, dont la force tranquille a bercé mes peurs et nourri mon courage.
- À ma sœur, éclat d'âme, amie fidèle aux rires sincères et au regard complice.
- À mon frère, force douce et discrète, protecteur silencieux aux gestes remplis d'amour.
- Et à mes amies chères à mon cœur:
 - Salsabil, pour ta vérité lumineuse et ta loyauté constante,
 - Aya, pour ta douceur paisible et ton soutien sans faille,
 - Yasmine, pour ton énergie solaire et ton rire contagieux,
 - Lina, pour ta pensée libre qui danse avec les étoiles.
- Merci à vous, d'être les battements vivants de mon histoire. Vous en êtes la poésie.

Bouthaina

Sommaire

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des schémas

Introduction général 2

Chapitre I : Étude bibliographique

I.1	La corrosion	4
I.1.1	Définition de la corrosion	4
I.1.2.	Les types de la corrosion	4
I.1.2.1.	La corrosion chimique (sèche)	4
I.1.2.2.	La corrosion électrochimique (humide)	5
I.1.2.3.	La corrosion bactérienne (biologique)	6
I.1.3.	Les formes de la corrosion	6
I.1.4.	Facteurs de la corrosion	8
I.1.5.	Les paramètres influençant sur la vitesse de corrosion	9
I.1.5.1.	Température	9
I.1.5.2.	L'Acidité	9
I.1.6.	La corrosion de Fer	9
I.1.6.1.	La corrosion de fer en milieu aqueux	9
I.1.6.2.	La corrosion du fer en milieu aqueux corrosif (Albien)	10
I.1.6.3.	La corrosion de Fer en milieu acide	10
I.1.7.	L'acier	10
I.1.7.1.	Définition de l'acier	10
I.1.7.2.	Les différents types d'acier	10
I.1.7.3.	Les aciers X70, X42	11
I.1.7.3.1	Acier X42	11
I.1.7.3.2.	Acier X70	11
I.1.7.4.	Corrosion électrochimique de l'acier	12

I.2.	Méthodes de prévention contre la corrosion :	12
I.2.1.	Les concepts sur les inhibiteurs	13
I.2.1.1.	Définition	13
I.2.1.2.	Propriétés des inhibiteurs	13
I.2.1.3.	L'utilisation des inhibiteurs	13
I.2.1.4.	Procédure du traitement l'application des inhibiteurs	14
I.2.2.	L'Informations générales sur l'utilisation des Inhibiteurs :	15
I.2.2.1.	Classification des inhibiteurs	15
I.2.2.1.1.	Milieu d'utilisation	15
I.2.2.1.2.	Nature chimique	15
I.2.2.1.3.	Nature électrochimique	16
I.2.2.1.4.	L'inhibiteur utilisé (l'acétanilide)	17
I.2.2.1.5.	Mécanisme de réaction	18
I.2.2.2.	Les Domaines d'utilisation des inhibiteurs	19
I.2.3.	Relation entre l'efficacité inhibitrice et l'adsorption	20
I.2.4.	Méthodes de mesures de la corrosion	20
I.2.4.1.	Méthode gravimétrique	20
I.2.4.2.	Méthodes électrochimiques	21
Chapitre II : Synthèse d'inhibiteur et les tests d'immersion		
II.1.	Généralité sur l'acétanilide	25
II.2.	Synthèse de l'acétanilide (Mode opératoire)	25
II.3.	Méthodes d'analyse	27
II.3.1.	Spectrophotométrie IR	27
II.3.1.1.	Applications	27
II.3.1.2.	Le spectre IR de l'acétanilide	28
II.3.1.3.	Le spectre IR de l'aniline	28
II.3.2.	Procédure du traitement	29
II.4.	Caractéristiques physico -chimiques de l'eau d'Albien	29
II.4.1.	Electrochimie	30
II.4.2.	Volumétrie	30
II.4.3.	Spectrophotométrie	30
II.5.	Calcule du taux d'agressivité de l'eau utilisée	31
II.5.1.	Dosage de l'alcalinité totale (TAC)	31

II.5.2.	Dosage de la dureté totale (TH)	31
II.5.3.	Dosage des chlorures (Cl)	31
II.5.4.	Dosage des sulfates (SO_4^{2-})	31
II.6.	Matière étudiée	32
II.7.	Condition expérimentales	32
II.7.1.	Polissage mécanique	32
II.7.2.	Isolation d'échantillon par revêtement	33
II.7.3	La solution corrosive	33
II.7.4.	Choix de la vitesse d'écoulement	34
II.7.5.	Durée d'expérience d'immersion	34
II.8.	Les solutions électrolytiques	35
II.8.1.	Préparation des solutions	35
II.8.2.	Les milieux corrosifs	36
II.9.	Les immersions avec écoulements	36
Chapitre III : Résultats et discussion		
III.1.	La synthèse de l'acétanilide	39
III.1.1.	Classe de la réaction (basée sur la comparaison des structures)	39
III.1.2.	Mécanisme réactionnel	40
III.2.	Etude de l'efficacité inhibitrice	41
III.2.1.	Les résultats des tests d'immersion	41
III.2.1.1	La vitesse de corrosion	41
III.2.1.2.	Le rendement	44
III.2.2.	L'efficacité inhibitrice	47
Conclusion Générale		51
Références		52

Liste des Figures

I.1	La corrosion chimique	4
I.2	La corrosion électrochimique	5
I.3	C'est la forme de corrosion la plus simple	6
I.4	Exemple de la corrosion sous contrainte	7
I.5	corrosion uniforme et corrosion localisée d'un métal	7
I.6	La corrosion galvanique	7
I.7	La corrosion sélective	7
I.8	La corrosion inter granulaire	8
I.9	Corrosion érosion	8
I.10	L'effet du pH sur la vitesse de corrosion	9
I.11	Point d'injection de l'inhibiteur de corrosion au niveau du puits.	14
I.12	Pompe doseuse responsable à injecter l'inhibiteur de corrosion	14
I.13	Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion	17
I.14	Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique	19
I.15	Evolution du potentiel de corrosion en fonction du temps d'immersion	22
I.16	Détermination du courant de corrosion par la méthode des droites de Tafel	23
II.1	Le montage expérimental.	26
II.2	l'acétanilide après cristallisation	26
II.3	L'opération de filtration	27
II.4	l'acétanilide après séchage	27
II.5	L'appareil d'IR utilisé pour analyse.	28
II.6	Le spectre IR de l'acétanilide	28
II.7	Spectre IR de l'aniline.	28
II.10	La méthode de dosage des sulfates.	31
II.11	La polisseuse.	33
II.12	L'apparence de l'échantillon X70 après polissage.	33
II.13	Le revêtement.	33
II.14	L'appareil de Jar test	34
II.15	Préparation des solutions.	35
II.16	L'apparence de l'expérience d'immersion dans les premiers heures d'agitation.	36

II.17	L'apparence de l'échantillon après 3 heures d'immersion.	37
II.18	L'apparence de l'échantillon après 24 heures d'immersion	37
II.19	L'apparence de l'échantillon après 18 heures d'immersion.	37
II.20	L'apparence de l'échantillon après 6 heures d'immersion	37
III.1	La vitesse de corrosion en fonction du temps dans milieu aqueux sans inhibiteur	41
III.2	La vitesse de corrosion en fonction du temps à 0,1 ppm	41
III.3	La vitesse de corrosion en fonction du temps à 0,05 ppm	42
III.4	La vitesse de corrosion en fonction du temps à 0,02 ppm	42
III.5	La vitesse de corrosion en fonction du temps à 0,01 ppm	43
III.6	La comparaison entre les vitesses des corrosions en fonction de temps	43
III.7	Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 0,1 ppm.	44
III.8	Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 0,05 ppm	44
III.9	Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 0,02 ppm	45
III.10	Le rendement d'inhibition en fonction du temps à 0,01 ppm.	45
III.11	la comparaison entre les rendements des corrosion en fonction de temps	46
III.12	L'efficacité inhibitrice du métal X70, en fonction du temps pour 0,01 ppm	47
III.13	L'efficacité inhibitrice du métal X70, en fonction du temps pour 0,02 ppm	47
III.14	L'efficacité inhibitrice du métal X70, en fonction du temps pour 0,05 ppm	48
III.15	L'efficacité inhibitrice du métal X70, en fonction du temps pour 0,1 ppm	48
III.16	la comparaison de l'efficacité inhibitrice en fonction du temps	49

Liste des tableaux

I.1	Les formes de la corrosion	6
I.2	Milieu d'utilisation des inhibiteurs	15
I.3	Nature électrochimique des inhibiteurs	16
II.1	Caractéristiques physico -chimiques de l'eau d'Albien	29
II.2	La référence de dosage des sulfates.	31
II.3	Composition chimique de l'acier utilisé.	32
II.4	préparation des solutions.	35
II.5	Les milieux corrosifs.	36

Liste des schémas

I.1	Acétanilide amine aromatique	17
I.2	Acétanilide à base benzène	17
II.1	Structure chimique de l'acétanilide	25
III.1	La synthèse de l'acétanilide	39
III.2	Equation de la réaction de synthèse de l'acétanilide	39
III.3	Formule topologique de l'acétanilide	39
III.4	Position de ces sites sur les réactifs	40
III.5	Mécanisme réactionnel traduisant la formation de l'acétanilide	40

Introduction Général

Introduction Général

Les métaux sont des matériaux solides largement utilisés dans les industries, mais l'un des défis majeurs liés à leur utilisation est la corrosion.

Le phénomène de la corrosion constitue l'un des problèmes majeurs affectant l'industrie pétrolière en Algérie, car il a un impact significatif sur l'économie nationale à travers la dégradation des métaux, notamment de l'acier, dû à leur interaction avec l'environnement. La plupart des phénomènes de corrosion sont essentiellement de nature électrochimique.

En raison de l'importance du pétrole et de son rôle central dans l'économie algérienne, étant l'une des ressources naturelles les plus importantes au monde, et en raison de ses caractéristiques chimiques et physiques, telles que la présence d'eau, de sels, de gaz, d'acides et d'autres composants corrosifs, les pipelines de transport du pétrole sont exposés à la corrosion, ce qui peut entraîner des fuites voire de graves explosions. Pour cette raison, les chercheurs s'intéressent au développement de nouveaux inhibiteurs efficaces et économiquement viables, tels que les dérivés de l'aniline.

Jusqu'à quel point un dérivé de l'aniline peut-il inhiber efficacement la corrosion de l'acier X70 dans des milieux aqueux ?

Notre étude vise à évaluer l'effet de l'inhibiteur sur la vitesse de corrosion, et à estimer sa capacité inhibitrice en utilisant la méthode de perte de masse, qui nous permet de suivre l'évolution de l'efficacité de l'inhibiteur testé en fonction de la concentration.

Notre recherche porte sur l'étude de l'inhibition de la corrosion de l'acier X70 à l'aide d'un dérivé de l'aniline comme inhibiteur dans un milieu aqueux dans l'eau d'Albien.

Ce travail est divisé en :

- Introduction générale.
- Chapitre I : Consiste à la mise au point bibliographique.
- Chapitre II : Renferme la partie expérimentale dans laquelle une synthèse d'inhibiteur et les tests d'immersion.
- Chapitre III : Discussion des résultats obtenus.
- Conclusion générale.

Chapitre I

Étude bibliographique

1. La corrosion

1.1. Définition de la corrosion

La corrosion est définie comme la destruction des matériaux métalliques par réaction chimique avec l'environnement ambiant. La corrosion prend des formes et des niveaux divers, allant d'une simple modification mesurable de la surface du métal à la perte totale de ses propriétés. Elle est également caractérisée comme une réaction superficielle irréversible dans des conditions normales, qui se produit à l'interface qui le sépare du milieu environnant, entraînant ainsi sa dégradation chimique. Cette réaction est considérée comme une réaction d'oxydation-réduction, où l'oxydation se produit au niveau du métal, tandis que la réduction se produit pour l'un des composants du milieu qui est en contact avec lui [1].

1.2. Les types de la corrosion

Il existe trois types différents de corrosion :

1.2.1. La corrosion chimique (sèche)

La corrosion chimique est une réaction hétérogène entre une phase solide, le métal, et une phase liquide ou gazeuse. Si le réactif est gazeux, il s'agit d'une corrosion sèche, si le réactif est liquide, il se produit une attaque du métal avec formation d'un produit de corrosion à la surface. La corrosion chimique est non conductrice d'électricité, telle que l'influence de l'oxygène sur la corrosion du fer, ce dernier se corrode en surface en formant une couche d'oxyde qui n'est pas étanche, sous l'effet des températures élevées, ce qui permet à l'oxygène de pénétrer en profondeur et ainsi l'attaque se poursuit jusqu'à la destruction totale [2].



Figure I.1 : La corrosion chimique [2].

La réaction qui se produit est de la forme :



1.2.2. La corrosion électrochimique (humide)

Elle se produit en formant une pile lorsqu'il y a une hétérogénéité dans le métal ou le réactif. Appelée aussi corrosion humide.

La corrosion des métaux est due à une réaction d'oxydoréduction irréversible entre le métal et un agent oxydant contenu dans l'environnement.

L'oxydation du métal implique la réduction de l'agent oxydant :



La nature électrochimique de la corrosion en milieux aqueux d'un métal **M** de valence **z** qui se corrode est le siège de deux réactions simultanées :

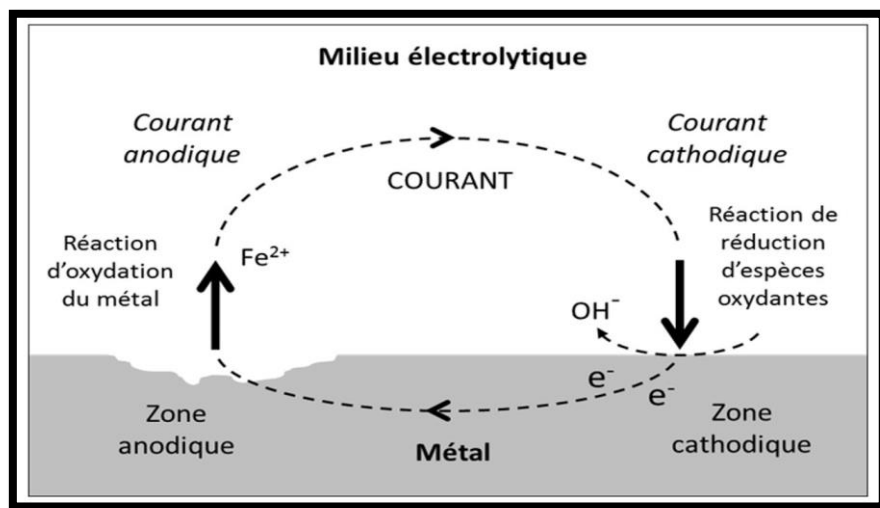


Figure I.2 : La corrosion électrochimique [3].

- a. **La réaction anodique d'oxydation** : qui correspond à la dissolution du métal dans la solution ou l'électrolyte avec libération d'électrons :



A l'anode se produit la réaction d'oxydation (dissolution du métal), où le courant passe du métal vers la solution.

- b. **La réaction cathodique de réduction** : d'un oxydant dissous dans la solution s'écrit de manière générale :



A la cathode se produit la réaction de réduction (déposition à la surface du métal), où le courant passe de la solution vers le métal [2].

1.2.3. La corrosion bactérienne (biologique)

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

- a. Chimique par production de substances corrosives telles que CO_2 , H_2S , H_2SO_4 , NH_3 , ou d'un acide organique, le cas le plus répandu est celui rencontré dans les canalisations enterrées et déterminé par la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal.
- b. Certaines bactéries peuvent réduire les sulfates par l'intermédiaire d'hydrogène.



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



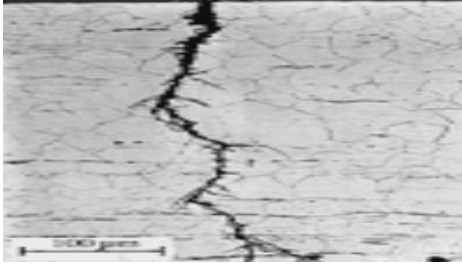
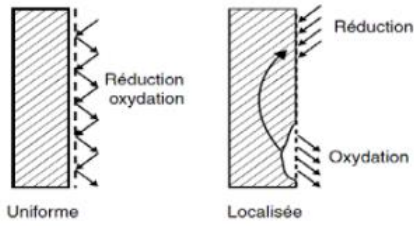
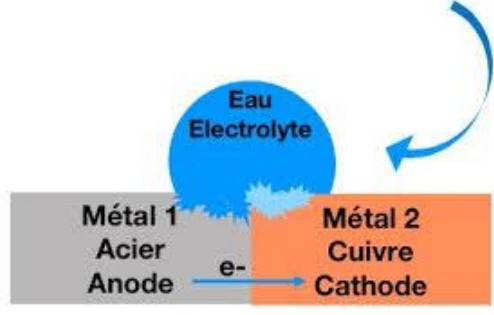
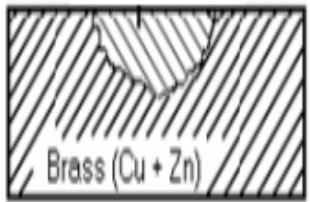
- c. Dans certains cas, on peut observer sur les canalisations des dépôts adhérents résultant de l'attaque, non pas du métal lui-même, mais celle de certains constituants du milieu ambiant par des bactéries. Il en résulte la formation de piqûres sur le métal, à l'endroit où s'est produit le dépôt, suivant un processus de corrosion par différence de concentration en oxygène [3].

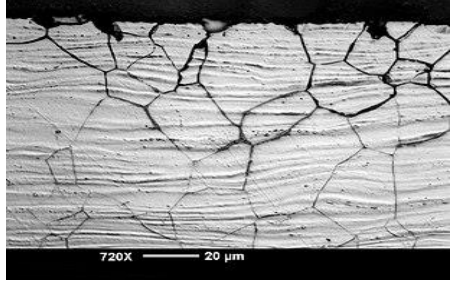
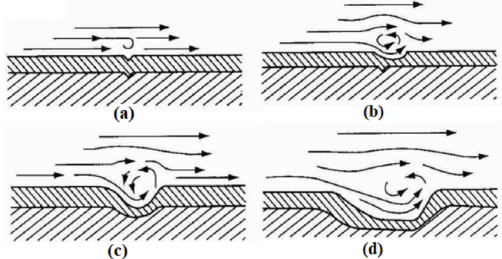
1.3. Les formes de la corrosion

Montrer quelques formes courantes de corrosion:

Tableau I.1 : Les formes de la corrosion

la forme	Définition de la forme	La figure
La corrosion Général ou uniforme	La corrosion généralisée ou uniforme est une corrosion progressant approximativement à la même vitesse sur la totalité de la surface d'un métal donné en contact avec un milieu environnant corrosif [4].	 Figure I.3 : la forme de corrosion la plus simple [4].

La corrosion sous contrainte	Elle est définie comme un processus de développement de fissures sous l'action combinée d'une tension mécanique et d'un milieu corrosif [5].	 Figure I.4 : Exemple de la corrosion sous contrainte [5].
Corrosion localisée	ce phénomène survient au contraire lorsque le matériau est mis en présence d'un environnement présentant vis-à-vis de lui un comportement sélectif [6].	 Figure I.5 : corrosion uniforme et corrosion localisée d'un métal [6].
La corrosion galvanique	C'est ce qu'on appelle la corrosion bimétallique ou corrosion des métaux et elle se produit en raison de la formation d'une cellule électrochimique. Entre deux métaux différents en présence d'un électrolyte, se produit lorsque des métaux différents entrent en contact [7].	 Figure I.6 : La corrosion galvanique [7].
La corrosion sélective	Comme son nom l'indique, ce mode de corrosion se traduit par la dissolution sélective de l'un des éléments de l'alliage si celui-ci est homogène, ou de l'une des phases si l'alliage est polyphasé [8].	 Figure I.7 : La corrosion sélective [8].

La corrosion inter granulaire	La corrosion inter granulaire est une attaque sélective aux joints de grains ou à leur voisinage immédiat, alors que le reste du matériau n'est pas attaqué [4].	 Figure I.8 : La corrosion inter granulaire [4].
Corrosion érosion	La corrosion-érosion résulte du mouvement relatif d'un fluide corrosif et d'une surface métallique [6].	 Figure I.9 : Corrosion érosion [6].

1.4. Facteurs de la corrosion

L'un des facteurs affectant la corrosion des métaux :

- Le degré de concentration de la solution
- Température : Plus la température est élevée, plus la corrosion est importante
- Effet du temps et la pression
- Conditions de travail
- état de surface
- taux d'inhibition
- présence de soudure
- Nature du métal : dépend de ses composants, l'état de surface
- Des facteurs liés au milieu de corrosion [9], dont :
 - Milieu aqueux : la présence d'eau au contact du métal entraîne la corrosion.
 - PH du milieu : L'acidité du milieu a un rôle majeur dans la vitesse de corrosion, selon la nature du métal, car il a été constaté que dans le cas des métaux nobles comme l'or et le platine, la vitesse de corrosion est constante avec l'évolution Le pH, puisqu'il s'agit de la vitesse de corrosion en milieu acide, est estimé faible en milieu basique. Nous donnons également la figure suivante qui montre l'évolution de la vitesse de corrosion des métaux en fonction du pH des différents métaux :

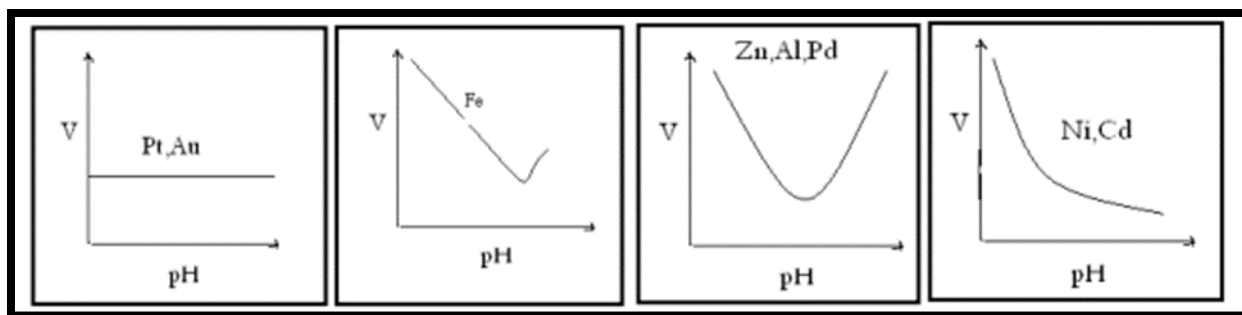


Figure I.10 : L'effet du pH sur la vitesse de corrosion [10].

- Oxygène dissous : dans ce cas, on parle de corrosion par l'oxygène.
- La présence de certains électrolytes, notamment le chlore : la présence de ces éléments augmente la vitesse de sabotage.
- Présence de bactéries : au milieu, par ex. Le BSR ainsi que certains autres composés présentent un autre type de corrosion appelée corrosion bactérienne [10].

1.5. Les paramètres influençant sur la vitesse de corrosion

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend de plusieurs paramètres

1.5.1. Température

L'augmentation de la température accélère la cinétique de la réaction et les phénomènes de corrosion, et par conséquent diminue le domaine de stabilité des métaux [11].

1.5.2. L'Acidité

L'agressivité d'un électrolyte est en fonction de son pH, une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu. Donc la vitesse de corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu [12].

1.6. La corrosion de Fer

1.6.1. La corrosion de Fer en milieu aqueux

Les phénomènes de corrosion sont importants lorsque le métal est placé au contact de solutions aqueuses. Cette corrosion humide est dans la plupart des cas de nature électrochimique : elle se manifeste lorsque le métal et l'électrolyte en présence. Elle résulte de courants locaux dus à l'existence de piles locales [12], la réaction cathodique et anodique étant localisées en deux zones distinctes selon les deux réactions suivantes :



1.6.2. La corrosion du fer en milieu aqueux corrosif (Albien)

Un phénomène chimique et électrochimique où le fer (ou l'acier) se dégrade lorsqu'il est exposé à de l'eau contenant des agents corrosifs comme des sels, des acides, ou des composés organiques. Ce processus est particulièrement fréquent dans des environnements comme les installations marines, les canalisations, les réservoirs d'eau, et d'autres infrastructures exposées à l'humidité.

1.6.3. La corrosion de Fer en milieu acide

Dans les milieux acides, les inhibiteurs les plus fréquemment utilisés sont des molécules de type organique. Ces inhibiteurs agissent d'abord à la surface des métaux avant même d'intervenir dans les processus réactionnels de corrosion pour en diminuer la vitesse.

1.7. L'acier

1.7.1. Définition de l'acier

Un acier est un alliage de fer et de carbone, acier un matériau dont le fer est l'élément prédominant, sa teneur en carbone est généralement inférieure à 2 % et il contient d'autres éléments [14].

1.7.2. Les différents types d'acier

Les aciers sont classés selon leur composition chimique et microstructure en plusieurs catégories, nous citons les principales variétés des aciers [33] :

- Les aciers au carbone d'usage général.
- Les aciers de traitement thermique et thermochimique, alliés ou non,
- Les aciers inoxydables
- Les aciers à outils
- Les aciers réfractaires
- Les aciers à ressorts
- Les aciers à roulements

1.7.3. Les aciers X70, X42

Les aciers X70 et X42 sont tous deux des types d'acier au carbone et font partie de la classification des aciers API (American Petroleum Institute), utilisés dans l'industrie pétrolière et gazière, et sont définis par leur résistance minimale à la traction.

1.7.4. Acier X42

- **Propriétés :**

- Acier avec une excellente soudabilité
- Résistance à la traction de 42 000 psi soit environ 290 MPA
- Bonne résistance à la corrosion, notamment lorsqu'il est traité ou revêtu dans des environnements agressifs.

- **Utilisations :**

- Principalement utilisé dans la fabrication de tuyaux pour le transport de gaz ou de pétrole
- Applications nécessitant une résistance raisonnable à la corrosion et à la pression.

1.7.5. Acier X70

- **Propriétés :**

- Spécialement conçu pour résister à des conditions de haute pression et à des environnements plus difficiles que les aciers de qualité inférieure tels que X42, X46
- Il a une résistance à la traction de 70 000 psi, soit environ 485 MPA.
- Il présente une excellente résistance à la rupture tout en conservant une bonne ductilité et une bonne résistance à la fissuration sous contrainte. Excellente soudabilité.

- **Utilisations :**

- Il est utilisé dans la fabrication de tuyaux à haute pression, ainsi que dans les environnements où la résistance mécanique est élevée. Il est particulièrement adapté aux canalisations de grandes dimensions et à celles installées dans des conditions climatiques et de terrain difficiles.
- Nous en concluons que l'acier X70 est plus résistant que l'acier X42, ce qui offre de meilleures performances pour les applications à haute pression et dans les environnements plus exigeants [39].

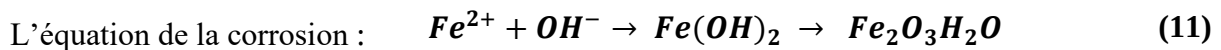
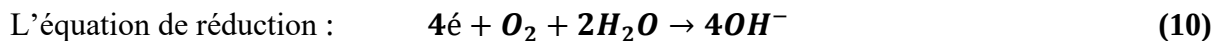
1.7.4. Corrosion électrochimique de l'acier

Lorsque des particules de fer ont été exposées à l'oxygène et à l'humidité, la corrosion commence à se former.

Les particules de fer sont ensuite oxydées, formant Fe^{2+} . Lorsque Fe^{2+} est formé, 4e- sont libérés et les électrons libres sont transférés vers des sites moins actifs, puis l'oxygène est converti en ion oxygène.

La recombinaison de ces ions produit un hydroxyde ferreux produit de corrosion du fer, Cette réaction est communément appelée flux de courant de l'anode à la cathode [15].

L'équation d'oxydation :



2. Méthodes de prévention contre la corrosion

Les inhibiteurs de corrosion agissent pour réduire le taux et la vitesse de corrosion du matériau.

Donc la protection contre la corrosion a pour but de garantir une certaine durée de vie à un matériau pour un coût minimal. Les méthodes essentielles de protection et de prévention contre la corrosion sont les suivantes :

- Protection électrochimique.
- Prévention par une forme adaptée des pièces.
- Prévention par un choix judicieux des matériaux.
- Protection par revêtements.
- Protection par inhibiteurs de corrosion.

2.1. Les concepts sur les inhibiteurs

2.1.1. Définition

La National Association of Corrosion Engineers (NACE) a défini l'inhibiteur de corrosion comme suit : « un inhibiteur de corrosion est une substance chimique qui, ajoutée à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu » [16].

Le processus d'inhibition de la corrosion consiste à utiliser Produits chimiques appelés inhibiteurs de corrosion, qui sont ajoutés en petites quantités à l'environnement corrosif, qui réduit la vitesse de corrosion des métaux en affectant l'environnement ou la surface métallique [17].

2.1.2. Propriétés des inhibiteurs

Compte tenu de la définition d'un inhibiteur de corrosion, pour que l'inhibiteur soit efficace, il doit un grand nombre des caractéristiques de base suivantes :

- Abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans en affecter les caractéristiques physicochimiques, en particulier la résistance mécanique.
- Être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants ;
- Être stable aux températures d'utilisation.
- Être efficace à faible concentration [19].
- Peu onéreux par rapport aux économies.
- Être compatible avec les normes en vigueur de non-toxicité et de protection de l'environnement [18].

2.1.3. L'utilisation des inhibiteurs

L'inhibiteur de corrosion est utilisé comme outil ou moyen de protection des métaux :

- Protection permanente : l'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métalliques dans des conditions satisfaisantes de résistance à la corrosion.
- Protection temporaire pendant une période pendant laquelle la pièce ou l'installation est particulièrement sensible à la corrosion. Dans ce cas, le contrôle du système est a priori plus simple, la prévision du comportement de l'inhibiteur dans le temps étant plus facile à réaliser [22].

- Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux de procédés industriels, eaux de chaudières, etc.).
- L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport [20].
- L'inhibiteur peut être associé à un autre moyen de protection : Comme alliage supplémentaire à haute résistance à la corrosion, en complément de la peinture (les inhibiteurs sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux), de la graisse, de l'huile, etc [21].

2.1.4. Procédure du traitement l'application des inhibiteurs :

Le traitement par inhibiteur de corrosion est réalisé par une injection continue dans la première manchette située en aval de la porte-Duse, à l'aide d'une pompe doseuse réglée pour fournir la concentration optimale de l'inhibiteur. Ce traitement se déroule en deux étapes :

- Première étape : un traitement choc est effectué afin de permettre la formation du film protecteur de l'inhibiteur. Cette phase peut durer jusqu'à 24 heures.
- Deuxième étape : elle vise à maintenir le film formé. La concentration de l'inhibiteur est alors réduite à une faible dose. Durant cette phase, l'opérateur doit s'assurer du bon fonctionnement des pompes doseuses et de la disponibilité constante de l'inhibiteur de corrosion.



Figure II.11 : Point d'injection de l'inhibiteur de corrosion au niveau du puits.



Figure II.12 : Pompe doseuse responsable à injecter l'inhibiteur de corrosion

2.2. L'Informations générales sur l'utilisation des inhibiteurs

2.2.1. Classification des inhibiteurs

Les inhibiteurs de corrosion sont classés selon plusieurs facteurs, notamment :

2.2.1.1. Milieu d'utilisation

Les inhibiteurs classés selon de le Milieu d'utilisation

Tableau I.2 : Milieu d'utilisation des inhibiteurs

Milieus	Définition de Milieu
Milieu aqueux	il existe des inhibiteurs utilisés dans les milieux acides et d'autres utilisés dans les milieux neutres [23].
Milieu organique	des quantités considérables de corrosion sont utilisées dans les huiles lubrifiantes, les moteurs et le carburant. [23].
Milieu gazeux	utilisés pour protéger les appareils délicats et sensibles, ainsi que les pièces électroniques pendant le transport ou le stockage, afin de les protéger de la corrosion qui peut être causée par l'humidité [23].

2.2.1.2. Nature chimique

Organique : il est composé de chaînes carbonées qui contiennent des centres actifs tels que O, N, S, qui se mélangent à la surface du métal, formant une couche de protection contre la corrosion et les sites efficaces qu'il comprend [24].

Inorganiques : Ce sont principalement des composés d'origine organique, ne contenant généralement pas de carbone dans leur structure, et sont souvent des sels cristallins, comme le chromate de sodium... Ces inhibiteurs sont largement utilisés, notamment en milieu basique, mais en milieu acide, le plus largement utilisés sont ceux qui portent un ion Iode (I), tandis que les milieux neutres contiennent du lithium (Li^{3+}) et du magnésium (Mg^{2+}) [25].

Minéraux : Ils sont utilisés dans des milieux neutres, alcalins et rarement en milieux acides. Les phénomènes d'inhibitions sont assurés par la dissociation de ses molécules en donnant des cations tels que les Ca^{2+} , Zn^{2+} et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions comme l'hydroxyde OH^- , et des anions, le plus souvent de type oxo-anions (XO_4^{n-}) tels que les chromates, les molybdates, les phosphates, les silicates,...etc [25].

Les inhibiteurs naturels : Chaque matériau possède une combinaison d'inhibiteurs qui conduit à une protection satisfaisante contre la corrosion. Toutes ces molécules inhibitrices permettant de bonnes performances en termes d'inhibition des métaux ferreux, leur principal inconvénient est que la plupart de ces inhibiteurs sont toxiques ou Il est cancérigène et nocif pour l'environnement, même si son efficacité est bonne [27].

2.2.1.3. Nature électrochimique

Tableau I.3 : Nature électrochimique des inhibiteurs

Inhibiteurs	Définition d’Inhibiteurs
anodique	Les inhibiteurs anodiques agissent sur les sites anodiques microscopiques en réduisant la densité du matériau du micro courant anodique et en déplaçant le potentiel de corrosion dans le sens positif. Car il doit être utilisé avec prudence. En effet, si la couche protectrice est modifiée à cause d'une rayure ou En se dissolvant, ou si la quantité d'inhibiteur est insuffisante pour restaurer le film, La partie exposée est érodée dans des fosses profondes. Ils sont donc classés comme inhibiteurs dangereux tels que : ortho phosphaté, nitrite et silicates [27].
cathodiques	Ils agissent au niveau des sites cathodiques microscopiques en diminuant la densité du courant partiel cathodique et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens négatif. Ceci se produit par la précipitation des espèces insolubles sur les sites cathodiques. Des ions du cuivre sont utilisés en tant qu’inhibiteurs cathodiques en raison de la précipitation de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ aux sites cathodiques [28].
mixte	Ils agissent à la fois sur l’anode et la cathode, par la combinaison d’agent oxydant et non oxydant qui précipitent tels que les ortho-phosphates ou les silicates. Quelle que soit la réaction électrochimique contrôlant la corrosion, un inhibiteur cathodique n’est jamais dangereux, même en grande quantité. En revanche, dans le cas de contrôle de corrosion par la réaction anodique .une quantité très faible d’inhibiteurs anodiques favorise la corrosion par piqûres [28].

La figure principale représentant en détail les types d'inhibiteurs électrochimiques est :

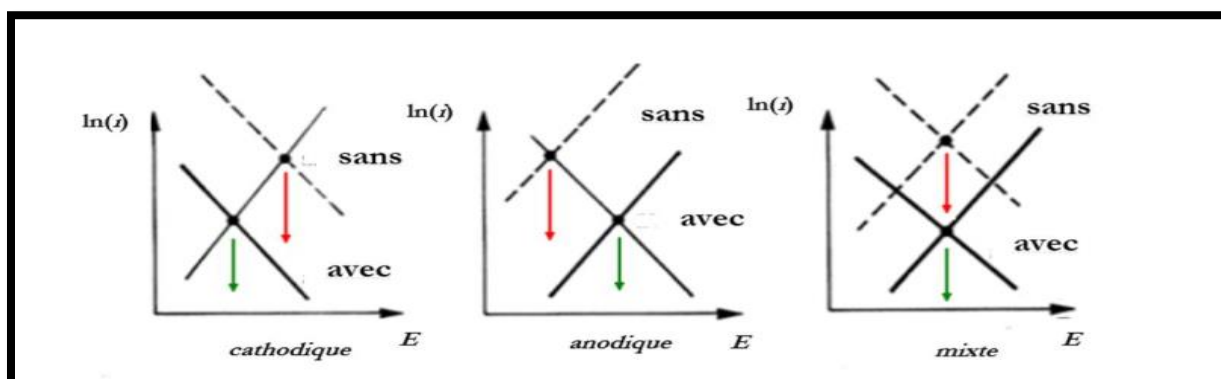


Figure I.13 : Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion [29].

2.2.1.4. L'inhibiteur utilisé (l'acétanilide)

L'acétanilide est un composé chimique qui peut être utilisé comme inhibiteur de corrosion dans certains environnements. Il existe deux formes chimiques célèbres :

- **Acétanilide à base benzène :** Cette forme d'acétanilide a une structure chimique basée sur un noyau benzénique avec un groupe acétanilide ($-\text{NH}-\text{CO}-\text{CH}_3$) attaché à l'un des atomes de carbone du cycle benzénique.
- **Acétanilide amine aromatique :** Cette forme d'acétanilide a une structure chimique qui inclut un groupe amine ($-\text{NH}_2$) aromatique en plus du groupe acétanilide.

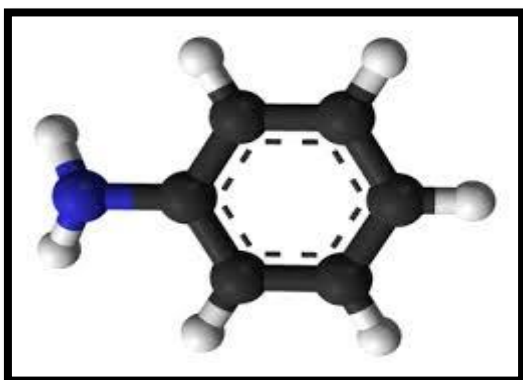


Schéma I.1 : Acétanilide amine aromatique

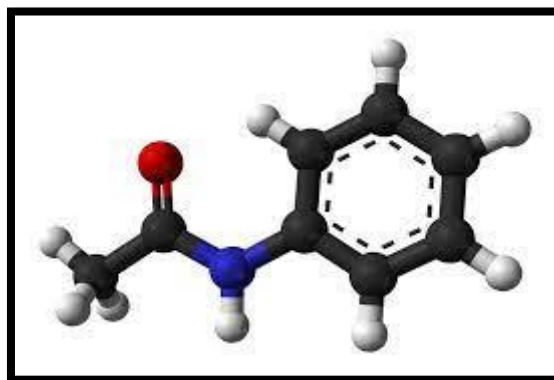


Schéma I.2 : Acétanilide à base benzène

a. Point d'injection de l'inhibiteur de l'acétanilide

Le point d'injection de l'inhibiteur de l'acétanilide dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- Type de système : le point d'injection peut varier en fonction du type de système où l'inhibiteur est utilisé, tel que les systèmes de refroidissement, les pipelines, les réservoirs, etc.
- Conception du système : la conception du système, y compris la géométrie, les matériaux et les conditions de fonctionnement, peut influencer le point d'injection optimal.
- Objectif de l'inhibition : l'objectif de l'inhibition, qu'il s'agisse de protéger contre la corrosion générale ou localisée, peut également influencer le choix du point d'injection.

b. Exemples de points d'injection possibles

- Injection directe dans le système : l'inhibiteur peut être injecté directement dans le système, par exemple, dans un pipeline ou un réservoir.
- Injection dans un flux de circulation : l'inhibiteur peut être injecté dans un flux de circulation, tel qu'un flux d'eau ou de gaz, pour assurer une distribution uniforme.
- Utilisation d'un système de dosage : un système de dosage peut être utilisé pour injecter l'inhibiteur à une concentration spécifique et à un débit contrôlé.

2.2.1.5. Mécanismes réactionnels (adsorption ou formation de film)

a) 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 [32].

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

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

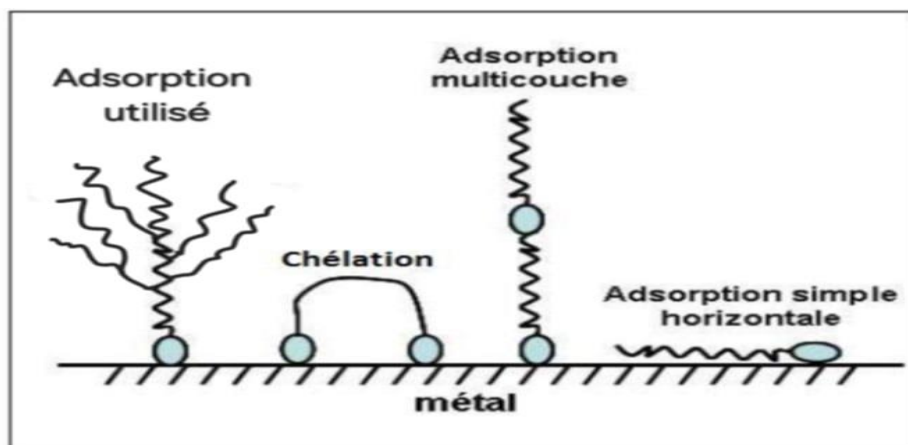


Figure I.14 : Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique.

b) Formation d'un film intégrant les produits de dissolution du substrat

L'inhibition interphasique reflète la formation d'un film tridimensionnel entre le substrat corrodé et les molécules inhibitrices. Étant donné que les inhibiteurs ne sont pas absorbés à partir de l'interphase uniquement aux interfaces (métal/oxyde) et (oxyde/électrolyte), mais sont également incorporés dans des couches barrières (formation de complexes). Les molécules inhibitrices d'interphase forment des réseaux homogènes et denses de bonne stabilité et de faible porosité [31].

2.2.2. Les Domaines d'utilisation des inhibiteurs

Les inhibiteurs sont souvent classés selon leur domaine d'application :

- En milieu aqueux, les inhibiteurs pour milieu acide sont employés, pour éviter une attaque électrochimique de l'acier lors du décapage. mais Dans l'industrie pétrolière on les ajoute aux fluides de forage. Pour milieux neutres servent surtout à protéger des circuits de refroidissement.
- En milieu organique, de grandes quantités d'inhibiteurs de corrosion sont utilisées dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence. Par exemple, Les inhibiteurs utilisés pour peintures sont essentiellement des pigments inorganiques [30].
- les inhibiteurs pour les phases gazeuses sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport et le stockage comme instrument de précision, composants électroniques, machines, etc.

Les inhibiteurs inorganiques sont plus couramment utilisés que les inhibiteurs organiques car ils peuvent fonctionner dans des environnements neutres ou basiques grâce à deux mécanismes de base. Le premier est celle où l'inhibiteur forme une couche superficielle protectrice homogène, et la seconde est celle où il forme des composés insolubles qui ferment les points faibles de la couche superficielle précédente [31].

2.3. Relation entre l'efficacité inhibitrice et l'adsorption

L'efficacité inhibitrice est évaluée en comparant les vitesses de corrosion avec et sans ajout de l'inhibiteur. Le taux d'inhibition P est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$p(\%) = \frac{V_0 - V_{inhib}}{V_0} \cdot 100 \quad (12)$$

Où V_0 et V_{inhib} représentent respectivement les vitesses de corrosion ($\text{mg.cm}^3.\text{h}$).

En absence et en présence de l'inhibiteur. L'efficacité des inhibiteurs de corrosion est influencée par plusieurs facteurs, notamment :

À l'échelle macroscopique, la vitesse d'écoulement, la chimie de la solution, la température et la pression ; à l'échelle moléculaire, le nombre de sites d'adsorption, la densité de charge de l'inhibiteur, la taille des molécules inhibitrices, le mode d'interaction avec la surface du métal et la structure électronique des molécules [38].

2.4. Méthodes de mesures de la corrosion

Il existe deux méthodes populaires que nous mentionnons ci-dessous :

2.4.1. Méthode gravimétrique

Cette méthode est considérée comme facile à mettre en œuvre car elle ne nécessite pas d'équipements importants, nécessitant uniquement une balance électronique sensible pour des mesures de masse petites. Bien qu'elle représente une méthode directe pour déterminer le taux de corrosion, et donc l'efficacité inhibitrice dans le cas de l'utilisation d'inhibiteurs, son principe repose sur la mesure de la perte de masse (Δm) subie par un échantillon de surface (S), pendant un temps d'immersion (t) dans une solution corrosive maintenue à une température constante (il est nécessaire d'utiliser un bain thermostat pour permettre le maintien de l'électrolyte à la température désirée). L'objectif de cette méthode est d'évaluer le taux de corrosion V_{corr} , qui est défini comme la perte de masse par unité de surface et de temps, et peut être exprimé en ($\text{m cm}^{-2}\text{h}^{-1}$) par la relation suivante [43] :

$$V_{corr} = \frac{(\Delta m)}{(S \cdot t)} \quad (13)$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 \quad (14)$$

Où : m_1 : Masse de l'échantillon avant l'immersion en mg.

m_2 : Masse de l'échantillon après l'essai en mg.

S : surface totale exposée de l'échantillon en cm².

t : temps d'immersion de l'échantillons dans la solution.

L'efficacité inhibitrice est donnée par la relation suivante :

$$R(\%) = \frac{V_{corr}^{\circ} - V_{corr}^{inh}}{V_{corr}^{\circ}} \cdot 100 \quad (15)$$

V_{corr}° et V_{corr}^{inh} sont les vitesses de corrosion en absence et en présence de l'inhibiteur Respectivement.

Néanmoins cette méthode ne permet pas d'accéder à des paramètres cinétiques, tel que la vitesse des réactions électrochimique, elle ne permet pas aussi l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Le recours donc à des techniques électrochimiques s'avère nécessaire pour compléter l'étude de la corrosion et l'inhibition contre la corrosion.

2.4.2. Méthodes électrochimiques :

- **Le Suivi du potentiel de corrosion :**

Le potentiel de corrosion il s'agit de la grandeur électrochimique la plus immédiatement mesurable. Cette technique simple apporte des informations préliminaires sur la nature des processus en cours à l'interface métal/électrolyte : corrosion, passivation....

L'essai consiste simplement à mesurer le potentiel entre l'électrode de travail et une électrode de référence sans appliquer de courant [35].

Les courbes de la figure III.1 illustrent les différents cas du potentiel de corrosion [41].

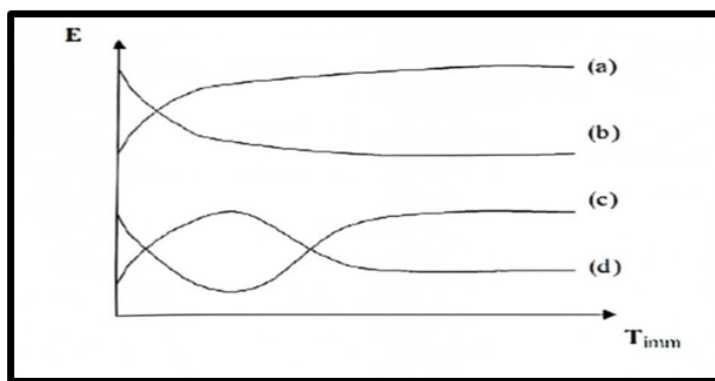


Figure I.15 : Evolution du potentiel de corrosion en fonction du temps d'immersion [41].

(a): Le potentiel devient plus cathodique, il y a formation d'un film protecteur, dit film de passivation.

(b): Destruction de l'oxyde métallique, le potentiel devient de moins en moins noble.

(c): Passivation apparaissant après un début d'attaque.

(d): Disparition d'un film protecteur préexistant à l'immersion.

Le suivi du potentiel de corrosion en circuit ouvert nous donne également une indication sur le type de l'inhibiteur (anodique-cathodique) suivant le sens de déviation du potentiel par rapport au potentiel mesuré en absence d'inhibiteur. Si l'inhibiteur est à caractère mixte, aucune indication n'est donnée par la faible variation de potentiel [42].

- **Les courbes de polarisation :**

La courbe de polarisation de l'interface métal-solution est une caractéristique fondamentale de la cinétique électrochimique, mais ne rend compte que de l'étape la plus lente du processus global à l'interface électrochimique.

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte à savoir la densité du courant de corrosion (i), le potentiel de corrosion (E) et les pentes de Taffel. Ces paramètres peuvent être déterminés graphiquement en exploitant la forme de la courbe courant-tension A l'échelle semi logarithmique (courbe **Log (i) - E**) par la méthode d' d'extrapolation des droites.

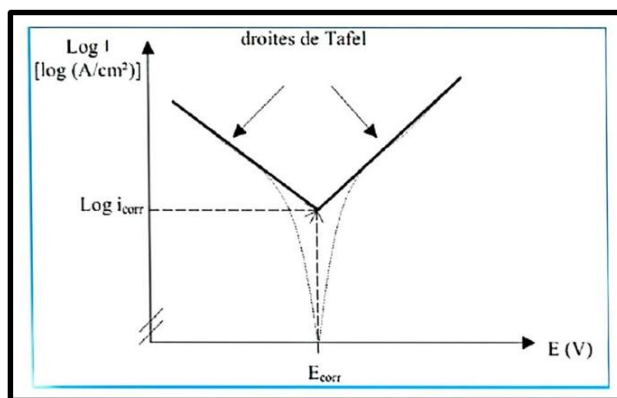


Figure I.16 : Détermination du courant de corrosion par la méthode des droites de Tafel [37].

La courbe de polarisation $i = f(E)$ d'un métal dans une solution aqueuse est composée de deux branches :

- Une branche anodique correspondant à la superposition des courants résultant des réactions d'oxydations :



- Une branche cathodique correspondant à la superposition des courants résultant des réactions de réduction du proton d'hydrogène dans le milieu acide suivant la réaction :



Les courbes de polarisation (courant-tension) permettent aussi d'appréhender la formation de films inhibiteurs. En effet, la présence d'un film peut se caractériser sur ces courbes par la diminution de la densité de courant de corrosion sur un large domaine de potentiel [42].

Chapitre II

Synthèse d'inhibiteur et les
tests d'immersion.

1. Généralité sur l'acétanilide

L'acétanilide, également connu sous les noms d'acétylaniline ou d'acétylaminobenzène, est un composé qui présente des propriétés analgésiques. Il appartient à la même catégorie de médicaments que le paracétamol et a été commercialisé sous le nom d'antifébrile.

Cependant, en 1948, Julius Axelrod et Bernard Brodie ont découvert que l'acétanilide était beaucoup plus toxique que les autres médicaments, entraînant notamment des dommages au foie et aux reins. En conséquence, il a été abandonné en tant que médicament. De plus, ce composé est souvent responsable de méthémoglobinémie mortelle.

L'acétanilide, ou N-phényléthanamide, est une molécule organique obtenue par substitution de l'aniline sur l'atome d'azote. Sa formule chimique est C_8H_9NO . Il est utilisé comme produit de départ dans la synthèse de nombreux produits pharmaceutiques, tels que le paracétamol, ainsi que des colorants, comme l'hélianthine, et des inhibiteurs de corrosion [36].

Formule : C_8H_9NO

Masse molaire : 135,1632 g/mol

Température d'ébullition : 304 °C

Température de fusion : 113 °C -115 °C

Densité : 1.219

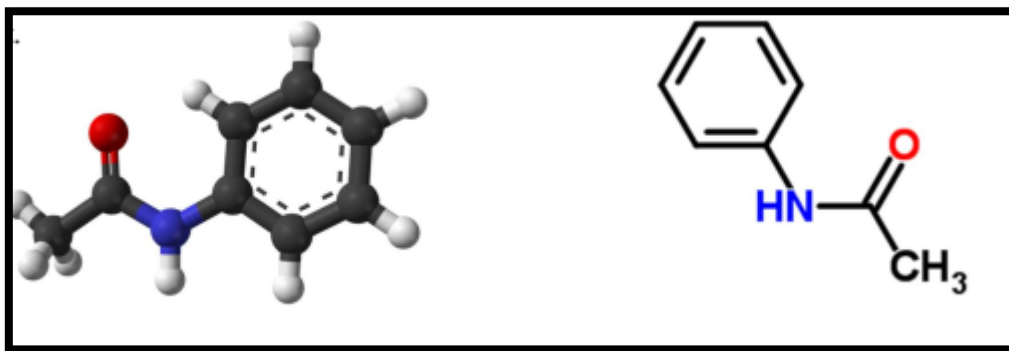


Schéma II.1 : Structure chimique de l'acétanilide

2. Synthèse de l'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.

Mode opératoire

- Dans un bécher de 250 ml sec, on introduit 30 ml d'aniline et 30 ml d'acide acétique. On ajoute lentement et en agitant 45 ml d'anhydride acétique. Le mélange est chauffé doucement, à reflux, pendant 30 min.

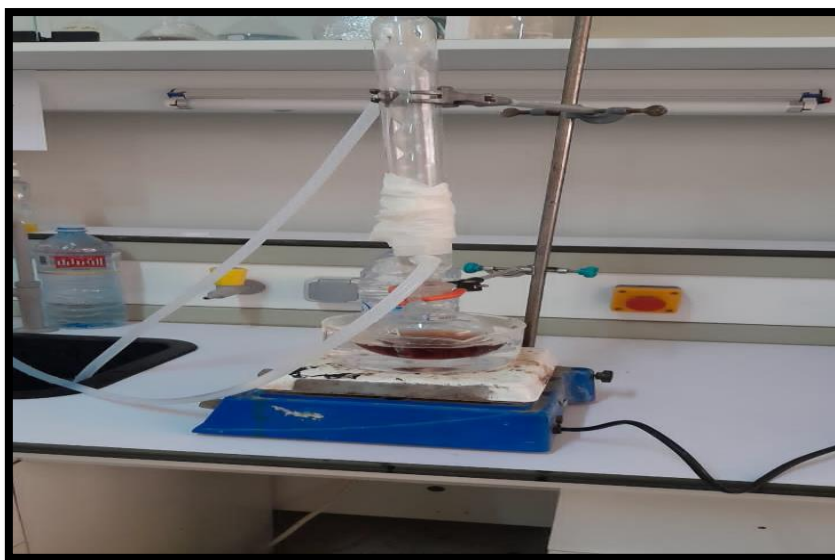


Figure II.1 : Montage expérimental.

- Après un refroidissement à température ambiante, on verse le mélange dans 300 ml d'eau distillée froide, L'acétanilide se cristallise, Après on filtre les cristaux d'eau distillée froide.

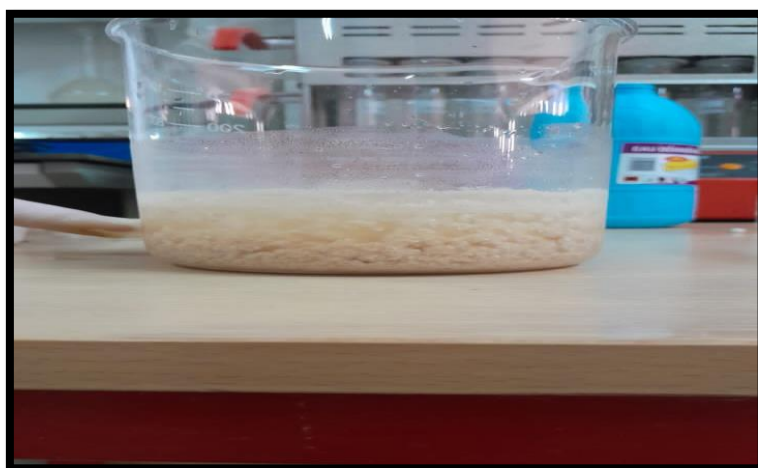


Figure II.2 : L'acétanilide après cristallisation.

- puis on lave deux fois à l'eau distillée, on sèche soigneusement pendant 15 min à l'étuve.
- on obtient un solide blanc d'un point de la fusion 114 °C corespond à un rendement de 90% et un point de fusion de p.f 113-115 °C.

- en utilisant l'éther diéthylique comme éluant.



Figure II.3 : L'opération de filtration.



Figure II.4 : l'acétanilide après séchage.

3. Méthodes d'analyse

3.1. Spectrophotométrie IR

La spectrométrie infrarouge est une technique d'analyse qui permet de déterminer la nature des liaisons chimiques présentes dans une molécule. Cette méthode repose sur l'absorption de la lumière infrarouge par les molécules, qui résulte des phénomènes de vibration et de rotation. La spectrométrie infrarouge permet de mesurer la réponse d'un échantillon exposé à la lumière infrarouge, offrant ainsi une analyse non invasive et des déterminations quantitatives avec une préparation minimale des échantillons.

3.1.1. Applications

La spectrométrie infrarouge est adaptée à diverses applications industrielles, notamment :

- L'analyse de surface dans l'industrie des semi-conducteurs.
- La détermination rapide de la quantité d'eau dans les semences pour l'agriculture.
- L'identification des matières premières et composantes dans l'industrie chimique, la cosmétique, la plasturgie et l'industrie pharmaceutique [37].



Figure II.5 : L'appareil d'IR utilisé pour analyse.

3.1.2. Le spectre IR de l'acétanilide

Le spectre IR représenté dans la figure suivante :

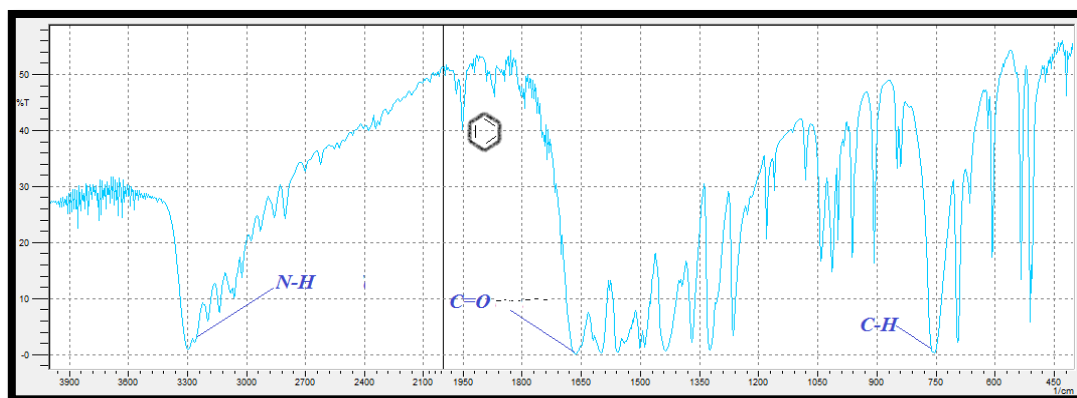


Figure II.6 : Spectre IR de l'acétanilide.

3.1.3. Le spectre IR de l'aniline

Le spectre IR représenté dans la figure suivante :

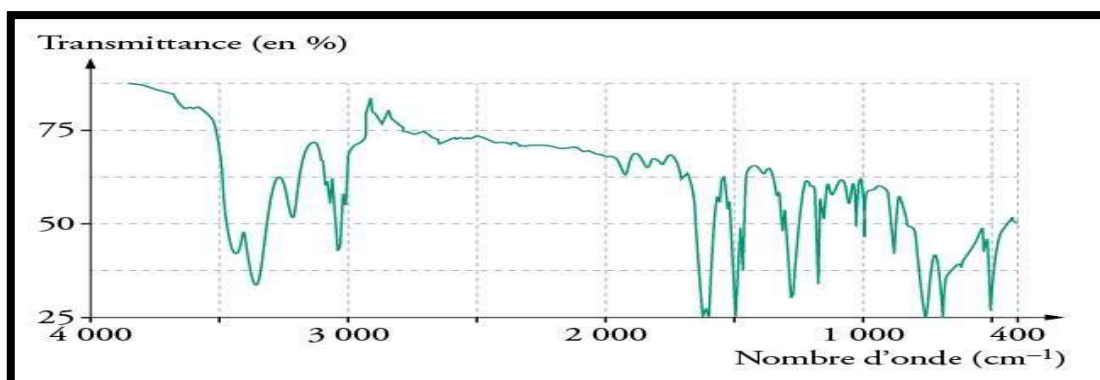


Figure II.7 : Spectre IR de l'aniline.

4. Caractéristiques physico -chimiques de l'eau d'Albien

L'eau utilisée dans notre travail est l'eau de robinet de faculté des sciences et de la technologie (FST) ancienne, université de Biskra, Les analyses physico-chimiques de cette eau sont effectuée au mois de Février 2025, au sein du laboratoire ENTREPRISE PUBLIC ALGERIENNE DES EAUX - BISKRA

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Caractéristiques physicochimiques de l'eau d'Albien.

4.1. Electrochimie

paramètres	valeurs	normes
T (°C)	24	25
Sal %	2.4	-
TDS mg / l	2400	-
Cond µs/cm	5760	2800
pH	7.3	6.5-8.5

4.2. Volumétrie

paramètres	valeurs	normes
Cl ⁻ (mg/l)	757	500
TAC (°F)	10.7	-
HCO ₃	280	250
TH (°F)	117	500
Ca ²⁺ (mg/l)	272	200
Mg ²⁺ (mg/l)	184	150
Turbidité	1.2	5
M ₂ O	0	5
F ⁻	0	1.5

4.3. Spectrophotométrie

paramètres	valeurs	normes
NO ₂ ⁻	0	0.1
NO ₃ ⁻	10.2	50

Fe total	0.02	0.3
NH₄⁺	0.01	0.5
PO₄³⁻	0.02	0.5
SO₄²⁻	327	250
Na⁺	247	200
K⁺	15	12

5. Calcule du taux d'agressivité de l'eau utilisée

5.1. Dosage de l'alcalinité totale (TAC)

L'échantillon d'eau à analyser est additionné de quelque 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 8.5

5.2. 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 pincé de l'indicateur Noir d'urochrome, titrant par la solution d'EDTA (0.02 N) avec agitation, 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 testée est très dures car °TH est supérieur à 50.

5.3. 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.

5.4. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

Le dosage est effectué grâce à un photomètre PALINTEST réglé à une longueur d'onde de 520 nm, la gamme de mesure varie de 0 à 200 mg/l [38].



Figure II.10 : La méthode de dosage des sulfates.

Références Subalterne de la méthode de dosage des sulfates

Tableau II.2 : La référence de dosage des sulfates.

mg/l	SULPHATE SULFAAT			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	10	103	107
								0		
20	110	11	11	120	12	12	13	13	143	148
		3	6		4	8	3	8		

10	155	16	17	178	18	19	20	-	-	-
		2	0		5	3	0			

6. Matière étudiée

Le matériau de notre étude est un acier au carbone-manganèse utilisé pour le transport des hydrocarbures sous une pression de service de 70 bars. de dénomination APIX70, il répond à la spécification imposée par la norme API 5L.

- API : institut américain du pétrole.
- 5L : spécification pour les pipelines.
- X : désignation de catégorie pour le pipeline de haute résistance.

Les deux nombres après le X sont la valeur de la limite élastique minimale. Par exemple X70 a une limite élastique minimale de 70 psi (483 MPA).

Tableau II.3 : Composition chimique de l'acier utilisé.

Elément	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
X70 %	0,125	1,68	0,27	0,051	0,04	0,021
Elément	S	Cu	Ti	Nb	Al	P
X70 %	0,005	0,045	0,003	0,033	0,038	0,012

7. Condition expérimentales

7.1. Polissage mécanique

Le polissage est un usinage de surface, au moyen d'abrasifs de plus en plus fins. Il consiste à polir les surfaces par la suppression des anfractuosités et des aspérités superficielles à l'aide des machines rotatives.

Les abrasifs sont collés sur des disques métalliques ou de feutre animés d'un mouvement de rotation rapide, comme les meules. L'état de la surface à polir dépend de la dureté du métal et la qualité finale désirée.

L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif de différentes granulométries : 400, 800, 1000 et 1200 afin d'obtenir un état de surface adéquat. Cette technique de préparation est indispensable pour des revêtements protecteurs durables [40].



Figure II.11 : La polisseuse.



Figure II.12 : L'apparence de l'échantillon X70 après polissage.

7.2. Isolation d'échantillon par revêtement

Afin de protéger l'échantillon contre la corrosion dans un milieu aqueux, nous avons appliqué un vernis non dégradable sur toutes les surfaces, à l'exception d'une seule surface transversale.



Figure II.13 : Le revêtement.

7.3. La solution corrosive

La solution corrosive retenue est l'eau du robinet du laboratoire de la Faculté des Sciences et de la Technologie, Université Mohamed Khider de Biskra.

7.4. Choix de la vitesse d'écoulement

On a choisi une vitesse d'écoulement de 120 tours par minute (t/min) pour réaliser les expériences de corrosion (L'appareil de Jar test ne fonctionnait pas correctement, alors nous avons stabilisée à l'aide des capuchons de stylos, avec la professeure).

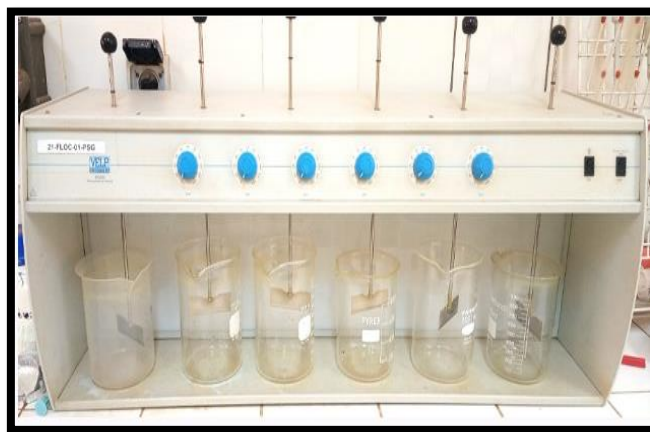


Figure II.14 : L'appareil de Jar test

7.5. Durée d'expérience d'immersion

Dans notre étude, nous avons sélectionné quatre durées d'immersion différentes :

3, 6, 18 et 24 heures.

Cela nous a permis de mieux comprendre et observer le phénomène d'adsorption de l'inhibiteur et son efficacité à minimiser la corrosion en formant un film inhibiteur sur la surface métallique des échantillons, à température ambiante et en milieu aqueux.

8. Les solutions électrolytiques

8.1. Préparation des solutions

On va préparer les solutions inhibitrices de concentrations suivantes : 0.1, 0.05, 0.02 et 0.01 ppm.

Tableau II.4 : préparation des solutions.

(solution mère) 6ppm	Solution 0.1ppm	Solution 0.05 ppm
On prend 6 mg de notre inhibiteur l'acétanilide dans une fiole de 1 litre puis on complète jusqu'à le trait de jauge avec de l'eau de robinet.	On prend 8 ml de solution mère (6 ppm) dans une fiole de 500 ml puis on complète jusqu'à le trait de jauge avec de l'eau de robinet.	On prend 250 ml de solution mère (0.1 ppm) dans une fiole de 500 ml puis on complète jusqu'à le trait de jauge avec de l'eau de robinet.

Solution 0.02ppm	Solution 0.01ppm
On prend 100 ml de solution mère (0.1 ppm) dans une fiole de 500 ml puis on complète jusqu'à le trait de jauge avec de l'eau de robinet.	On prend 50 ml de solution mère (0.1 ppm) dans une fiole de 500 ml puis on complète jusqu'à le trait de jauge avec de l'eau de robinet.

Les solutions :

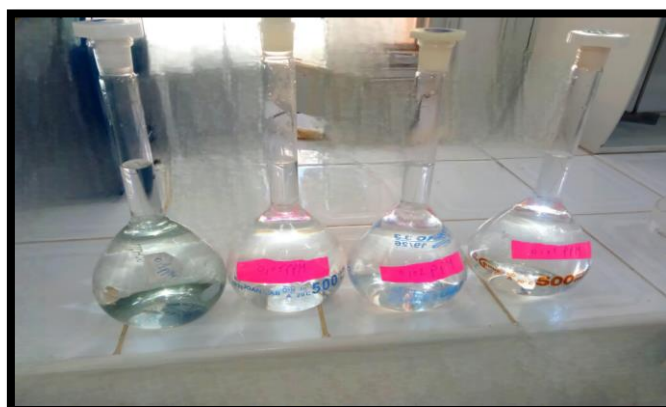


Figure II.15 : Préparation des solutions.

8.2. Les milieux corrosifs

On a préparé 5 bains corrosifs d'un milieu aqueux d'eaux d'Albien, le premier sans inhibiteur et les quatre autres avec notre inhibiteur l'acétanilide, d'une concentration de 0.01, 0.02, 0.05 et 0.1ppm, comme le présente le tableau suivant :

Tableau. II.5 : Les milieux corrosifs préparés.

Sans inhibiteur	
Bain 1	L'eau d'albien
Avec inhibiteur	
Bain 2	Solution de 0.01 ppm de concentration de l'acétanilide
Bain 3	Solution de 0.02 ppm de concentration de l'acétanilide
Bain 4	Solution de 0.05 ppm de concentration de l'acétanilide
Bain 5	Solution de 0.1 ppm de concentration de l'acétanilide

9. Les immersions avec écoulements

Les échantillons sont immergés dans des cristallisoirs contenant des solutions inhibitrices aqueuses préparées, puis placés dans l'appareil de Jar test, tel que présenté dans la photographie ci-dessous :

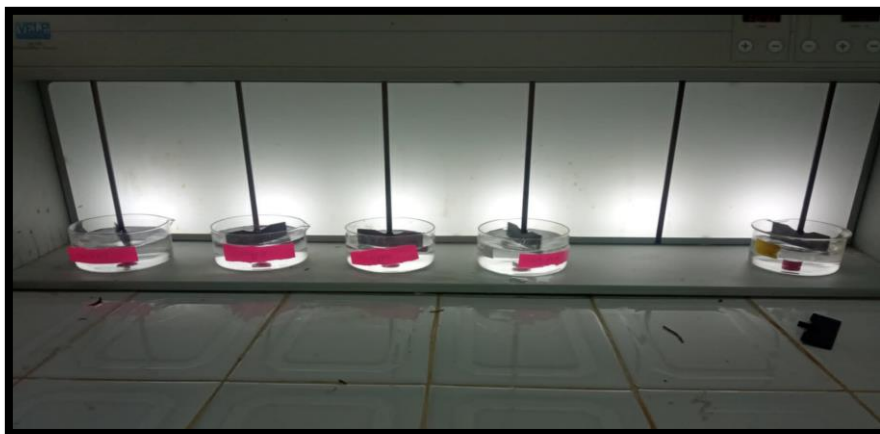


Figure II.16 : L'apparence de l'expérience d'immersion dans les premiers heures d'agitation.

- Les échantillons après immersion dans des milieux aqueux

Chaque immersion donne les photographies suivantes :

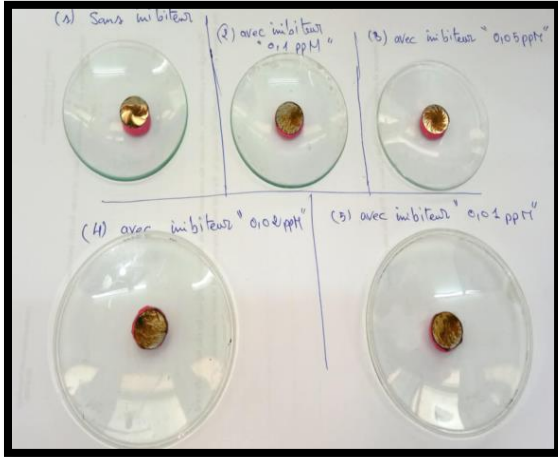


Figure II.17 : L'apparence de l'échantillon après 3 heures d'immersion.

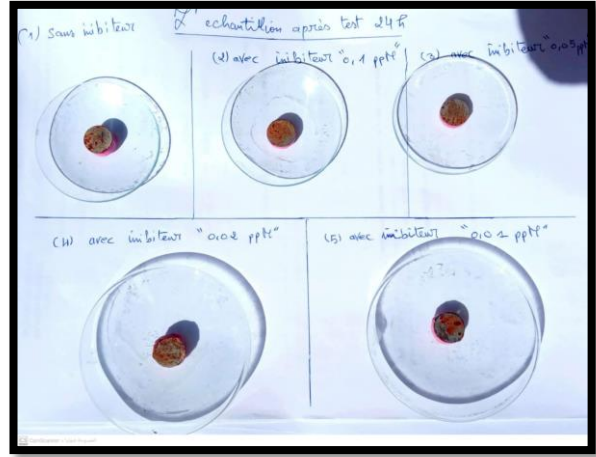


Figure II.18 : L'apparence de l'échantillon après 24 heures d'immersion.

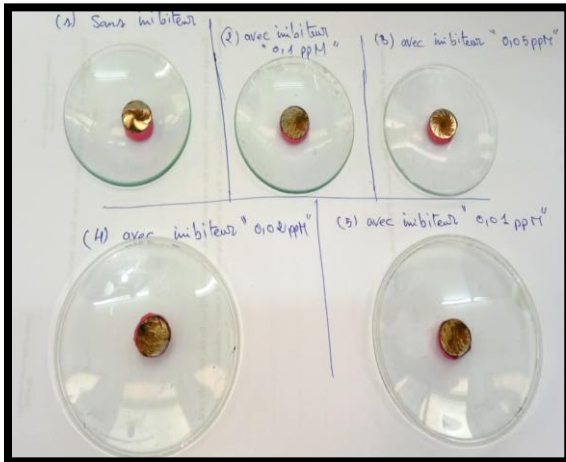


Figure II.19 : L'apparence de l'échantillon après 18 heures d'immersion.



Figure II.20 : L'apparence de l'échantillon après 6 heures d'immersion.

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Le mécanisme réactionnel de la synthèse de l'acétanilide

Classe de la réaction (basé sur la comparaison des structures) :

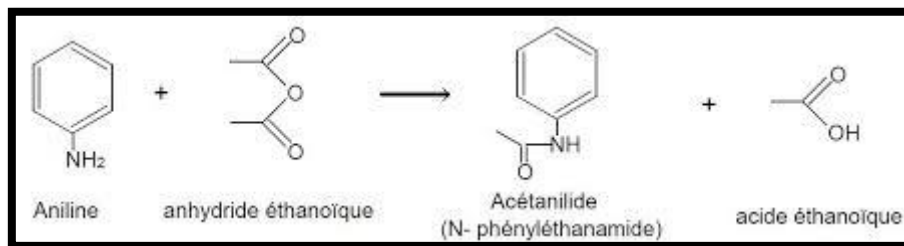


Schéma III.1 : La synthèse de l'acétanilide [38].

1.1. Classe de la réaction (basée sur la comparaison des structures)

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.

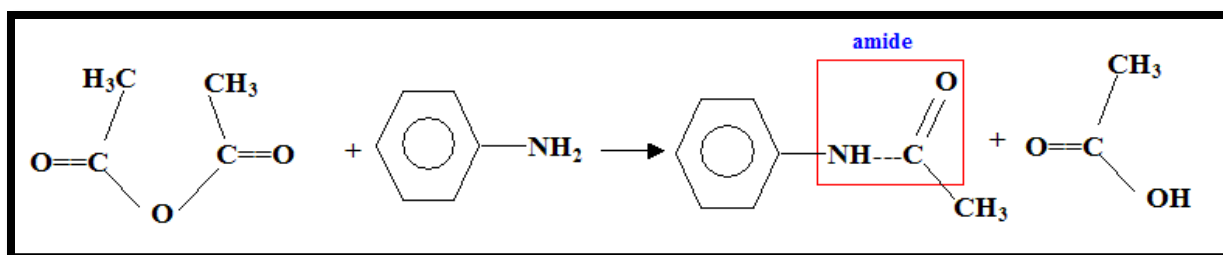


Schéma III.2 : Equation de la réaction de synthèse de l'acétanilide [38].

La Formule topologique :

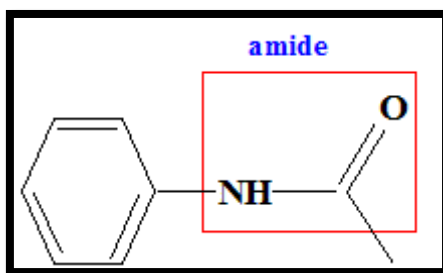


Schéma III.3 : Formule topologique de l'acétanilide [38].

Pendant cette transformation chimique, le groupe fonctionnel amino présent sur le réactif principal, l'aniline, est transformé et remplacé par un groupe amide. Cette modification résulte d'une réaction de substitution nucléophile.

1.2. Mécanisme réactionnel

Etape1 :

" site électrophile " : (ami des électrons négatifs) site appauvri en électrons.

"site nucléophile" :(ami des noyaux positifs) site riche en électrons.

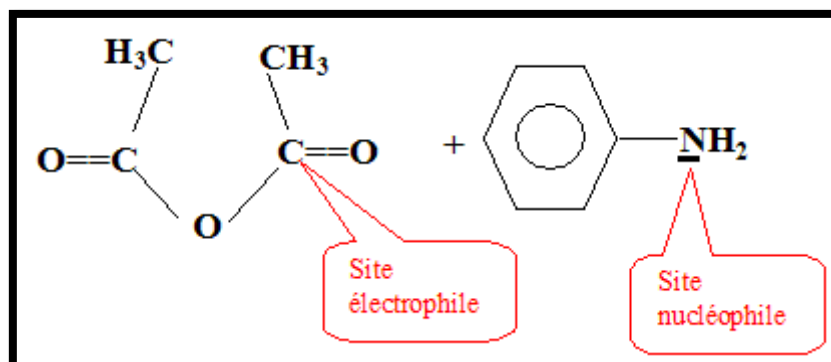


Schéma III.4 : Position de ces sites sur les réactifs [38].

Etape 2 :

puis réaction acide base entre $\text{C}_6\text{H}_5\text{-}^+\text{NH}_2\text{-CO-CH}_3$ et CH_3COO^- .

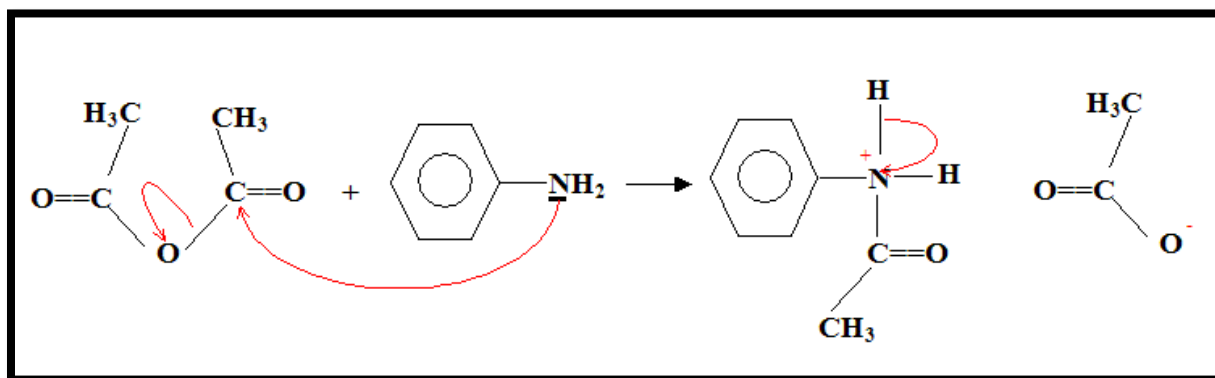


Schéma III.5 : Mécanisme réactionnel traduisant la formation de l'acétanilide [38].

2. Etude de l'efficacité inhibitrice

2.1. Les résultats des tests d'immersion

2.1.1. La vitesse de corrosion

Les résultats obtenus sont représentés dans les figures suivantes :

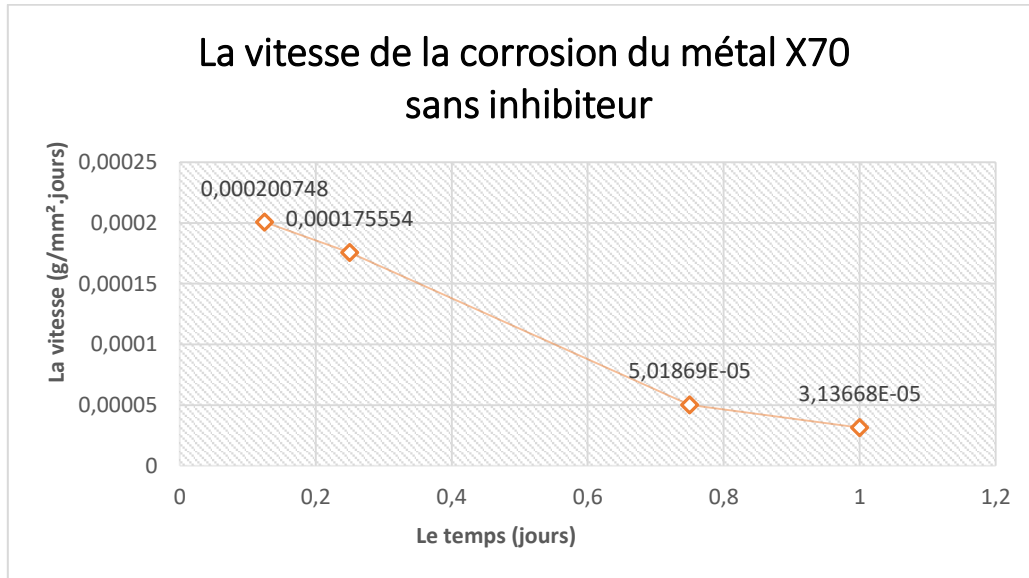


Figure III.1 : La vitesse de corrosion en fonction du temps dans milieu aqueux sans inhibiteur.

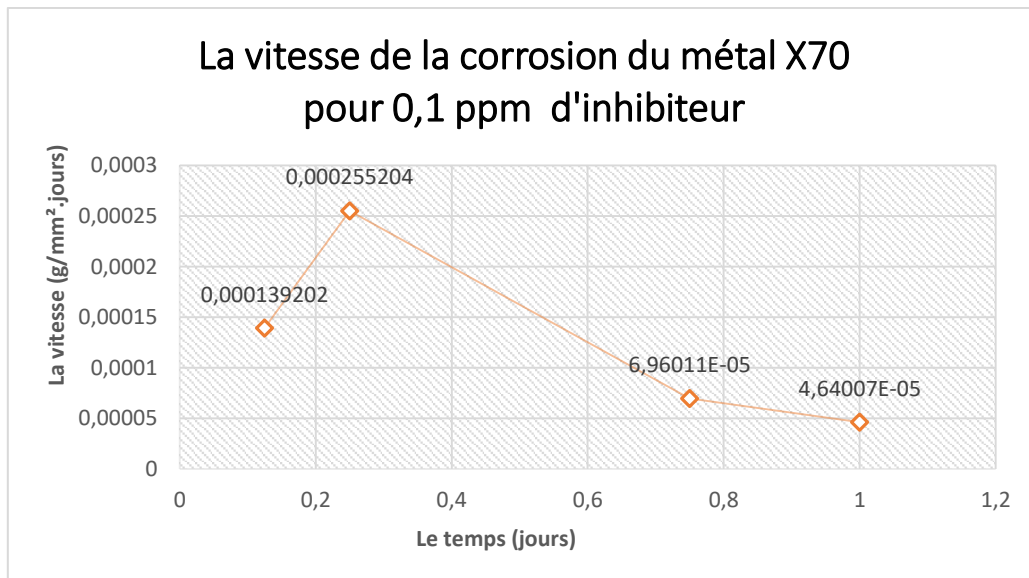


Figure III.2 : La vitesse de corrosion en fonction du temps pour 0,1 ppm.

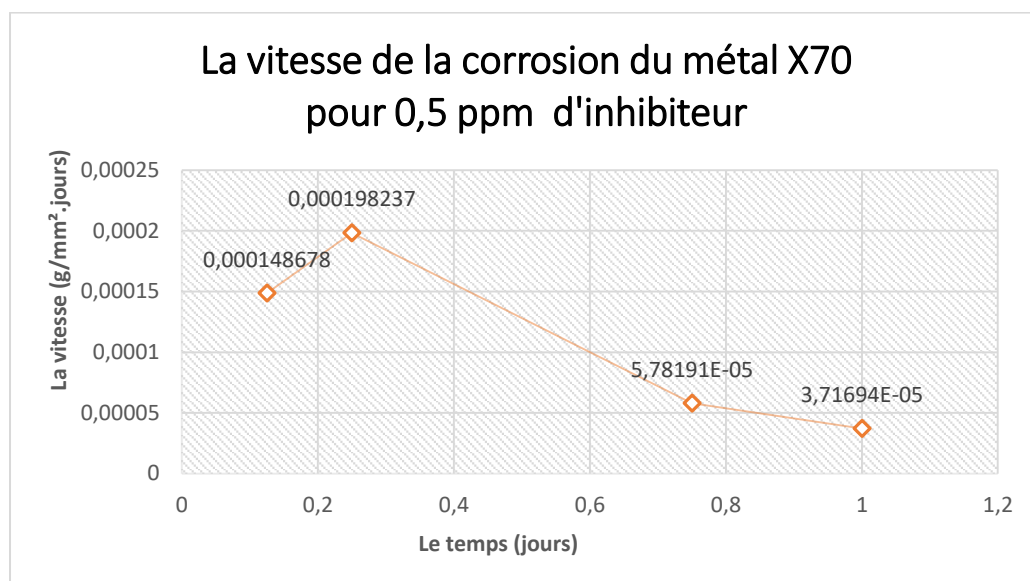


Figure III.3 : La vitesse de corrosion en fonction du temps pour 0,05 ppm

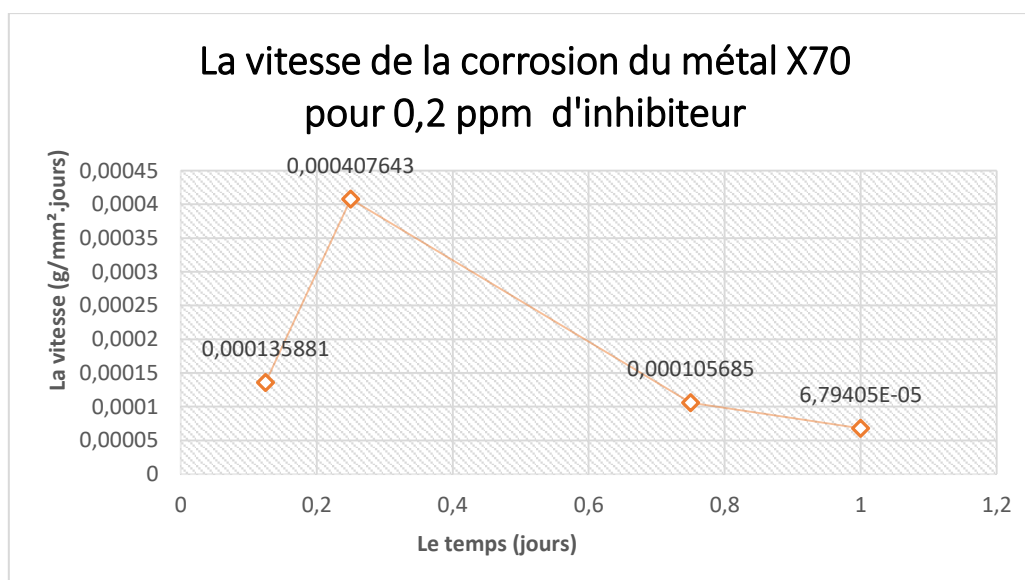


Figure III.4 : La vitesse de corrosion en fonction du temps pour 0,02 ppm

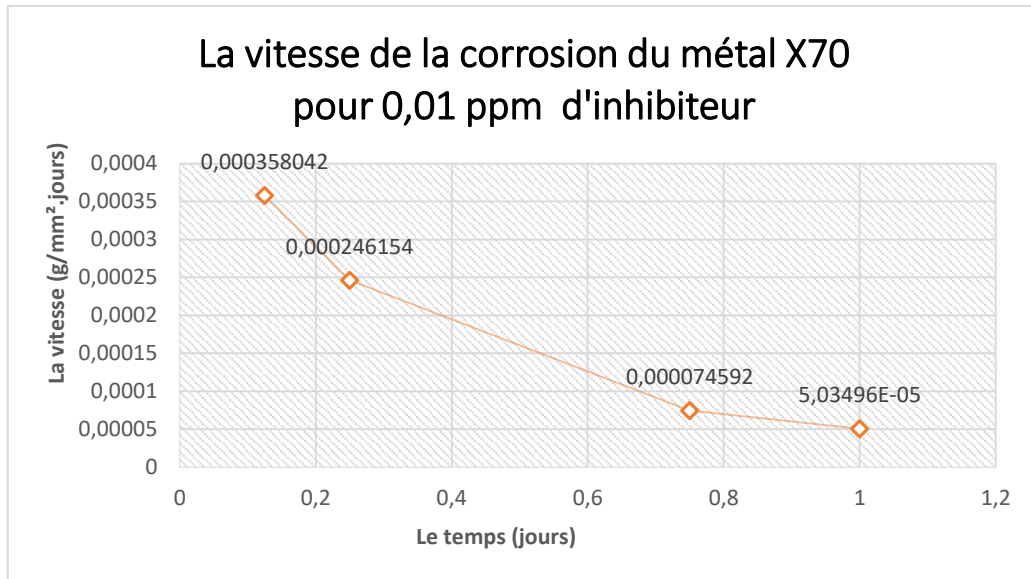


Figure III.5 : La vitesse de corrosion en fonction du temps pour 0,01 ppm.

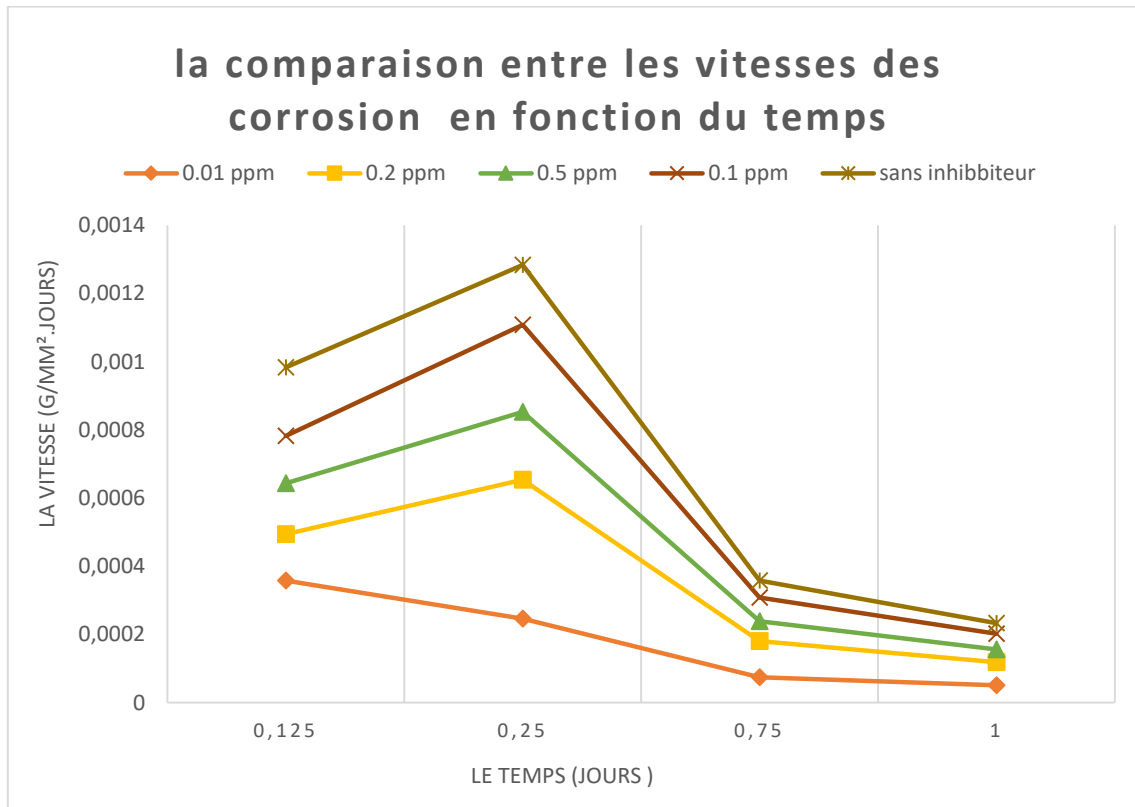


Figure III.6 : La comparaison entre les vitesses des corrosions en fonction du temps

On remarque que :

- la vitesse maximale de corrosion est $0.000407643 \text{ g/mm}^2 \cdot \text{jour}$, mais elle diminue avec le temps jusqu'à une vitesse $0.0000679405 \text{ g/mm}^2 \cdot \text{jours}$ pour une concentration de 0,02 ppm.

- La vitesse minimale de la corrosion c'est $0.0000313668 \text{ g/mm}^2$. Jours sans inhibiteur

2.1.2. 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.

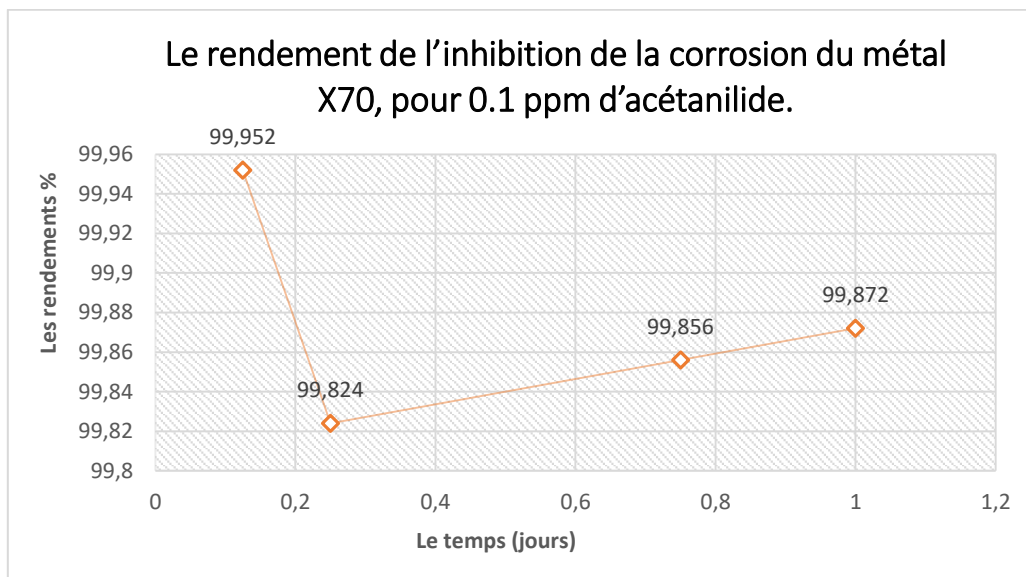


Figure III. 7: Le rendement d'inhibition en fonction du temps pour 0,1 ppm.

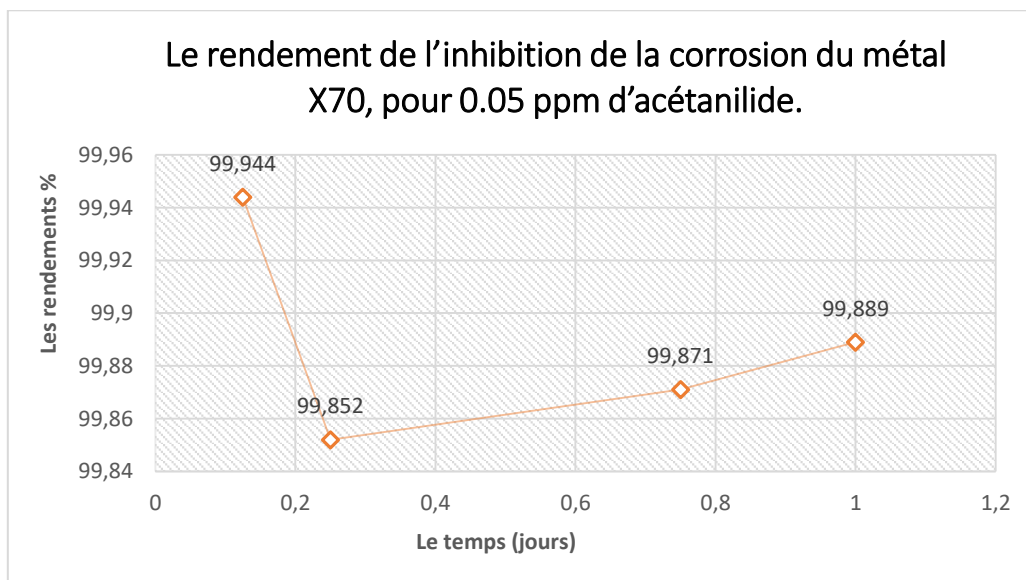


Figure III.8 : Le rendement d'inhibition en fonction du temps pour 0,05 ppm.

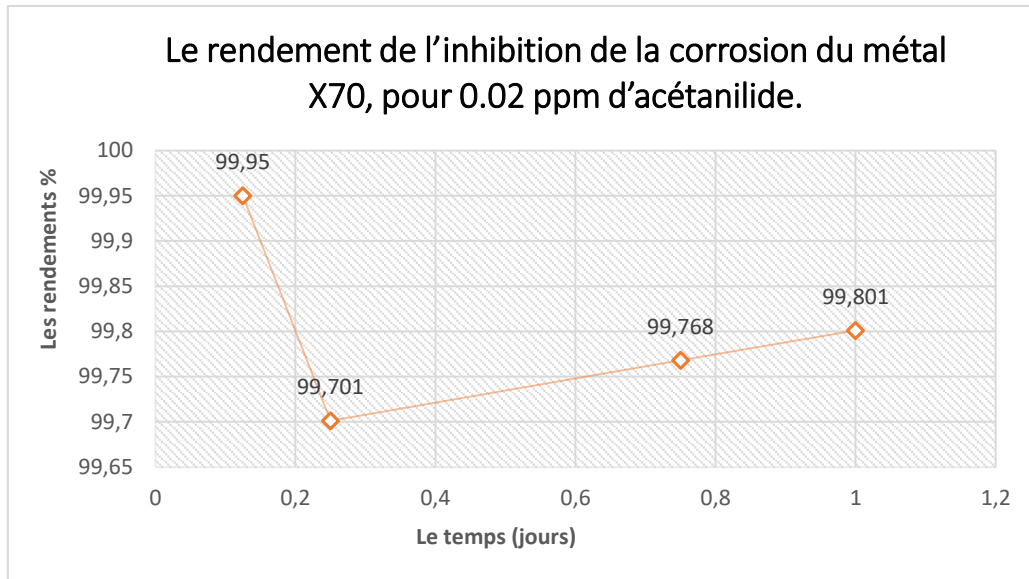


Figure III.9 : Le rendement d'inhibition en fonction du temps pour 0,02 ppm.

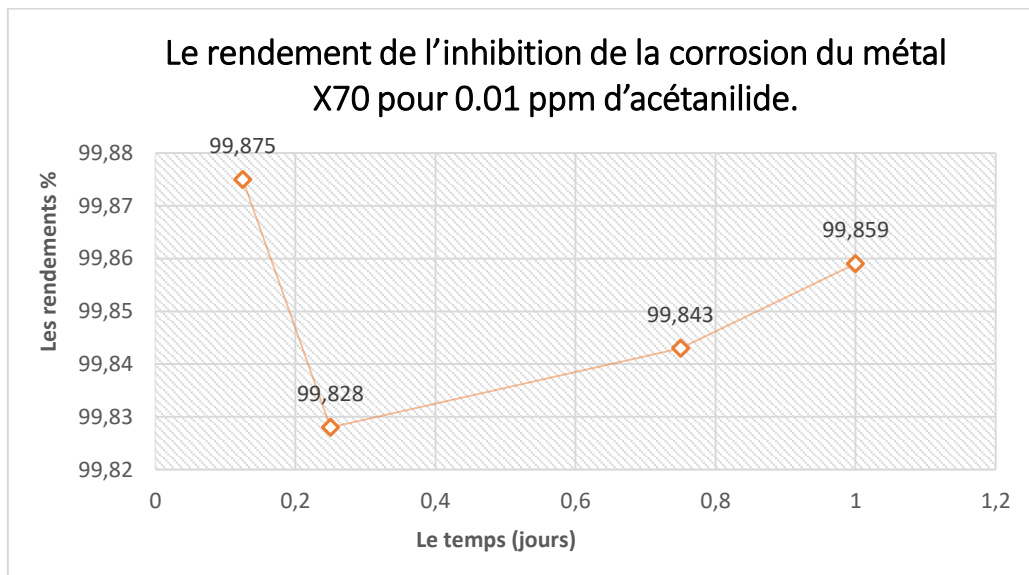


Figure III.10 : Le rendement d'inhibition en fonction du temps pour 0,01 ppm.

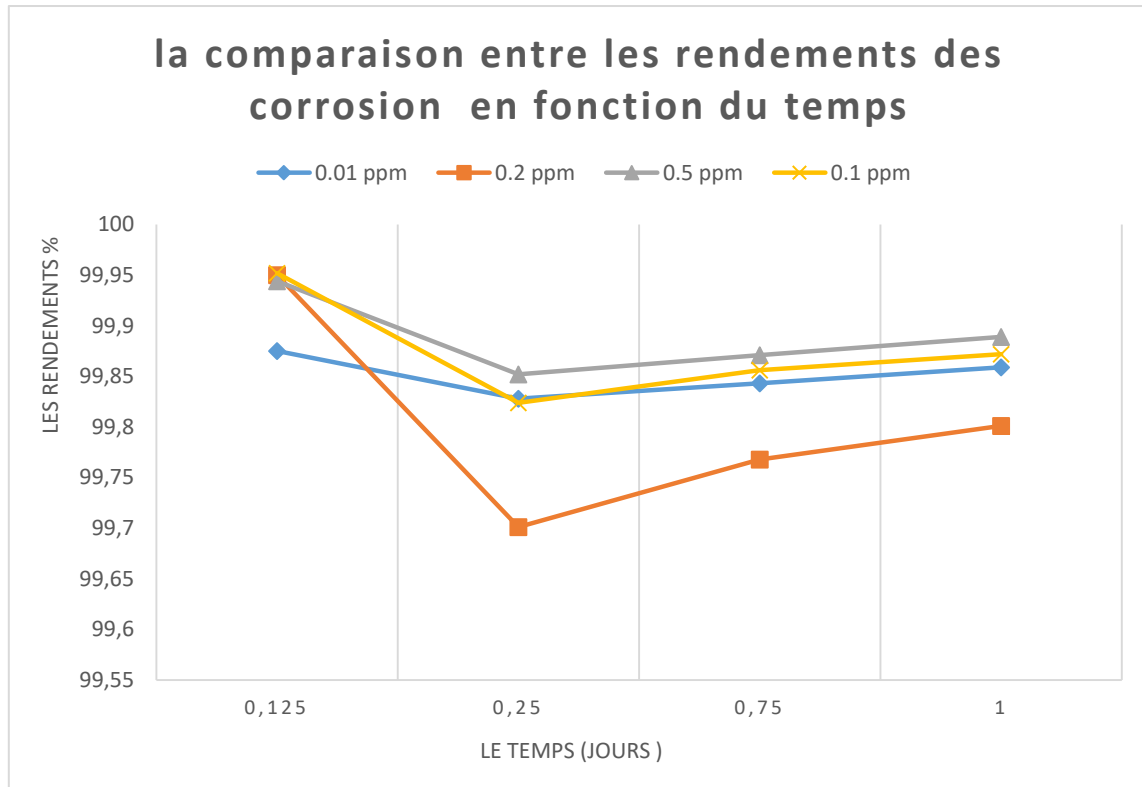


Figure III.11 : la comparaison entre les rendements des corrosion en fonction du temps

On remarque :

Pour toutes les concentrations et à toutes les durées choisies, le rendement d'inhibition est supérieur à 99.701 % cela montre que notre inhibiteur d'acétanilide est hautement efficace dans l'eau. Cette performance est attribuée à l'immersion d'un film protecteur durable à la surface du métal X70, en raison d'une bonne adhésion de notre inhibiteur dans le milieu aqueux.

2.2. L'efficacité inhibitrice

Grâce aux résultats obtenus, nous avons obtenu l'efficacité suivante :

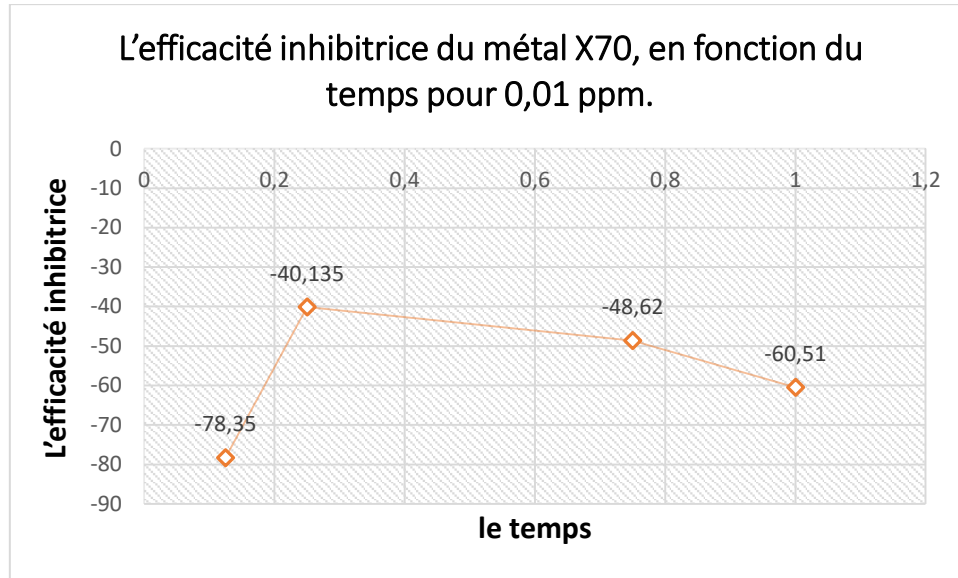


Figure III.12 : L'efficacité inhibitrice du métal X70, en fonction du temps pour 0,01 ppm.

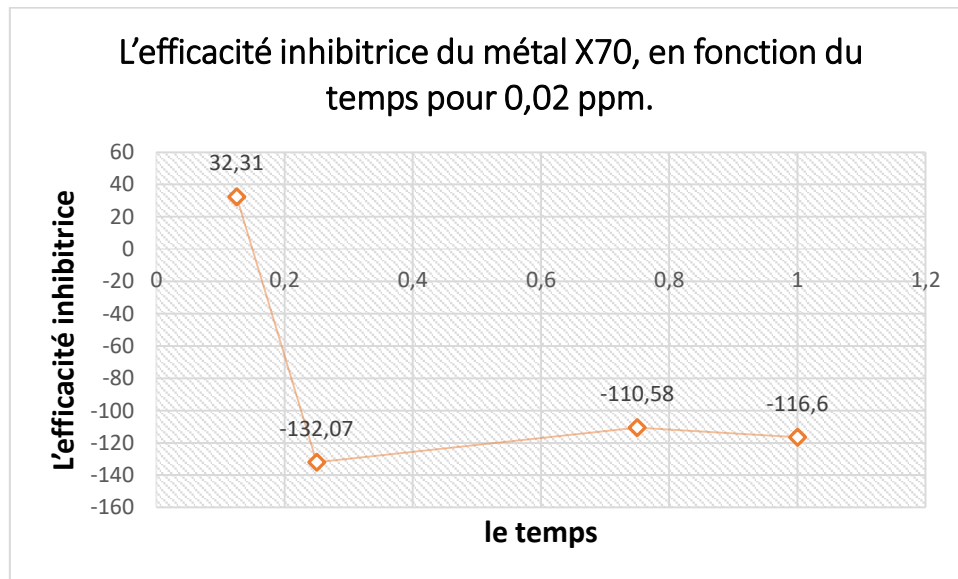


Figure III.13 : L'efficacité inhibitrice du métal X70, en fonction du temps pour 0,02 ppm.

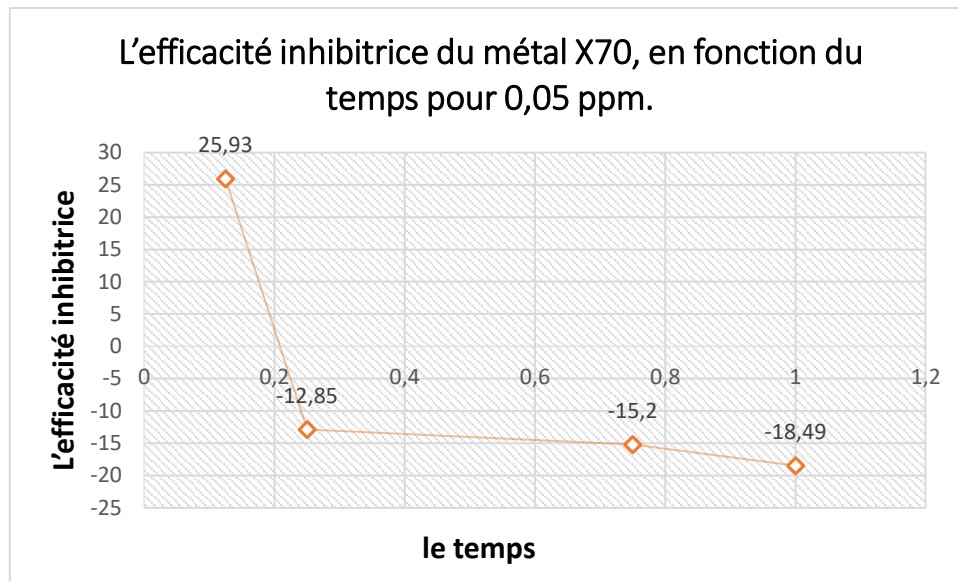


Figure III.14 : L'efficacité inhibitrice du métal X70, en fonction du temps pour 0,05 ppm.

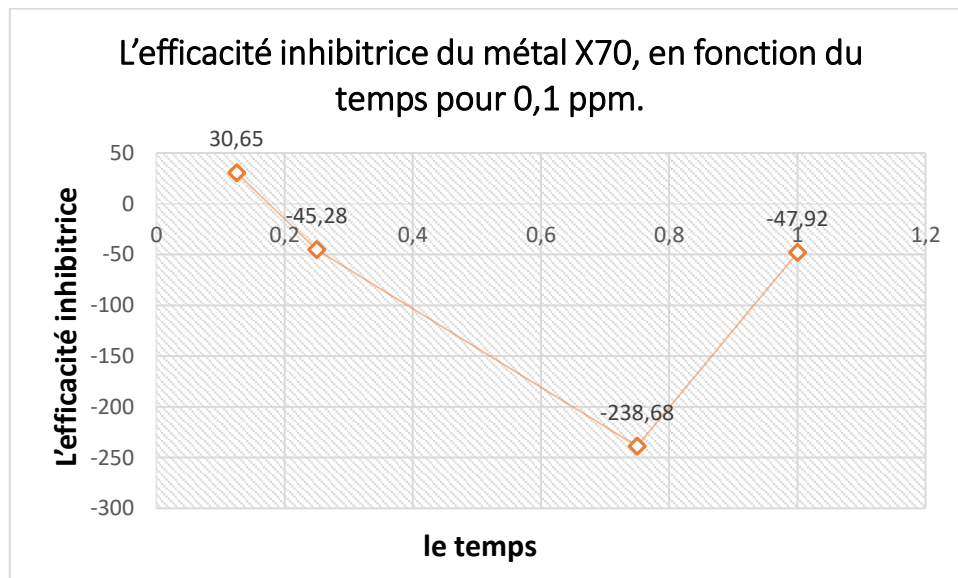


Figure III.15 : L'efficacité inhibitrice du métal X70, en fonction du temps pour 0,1 ppm.

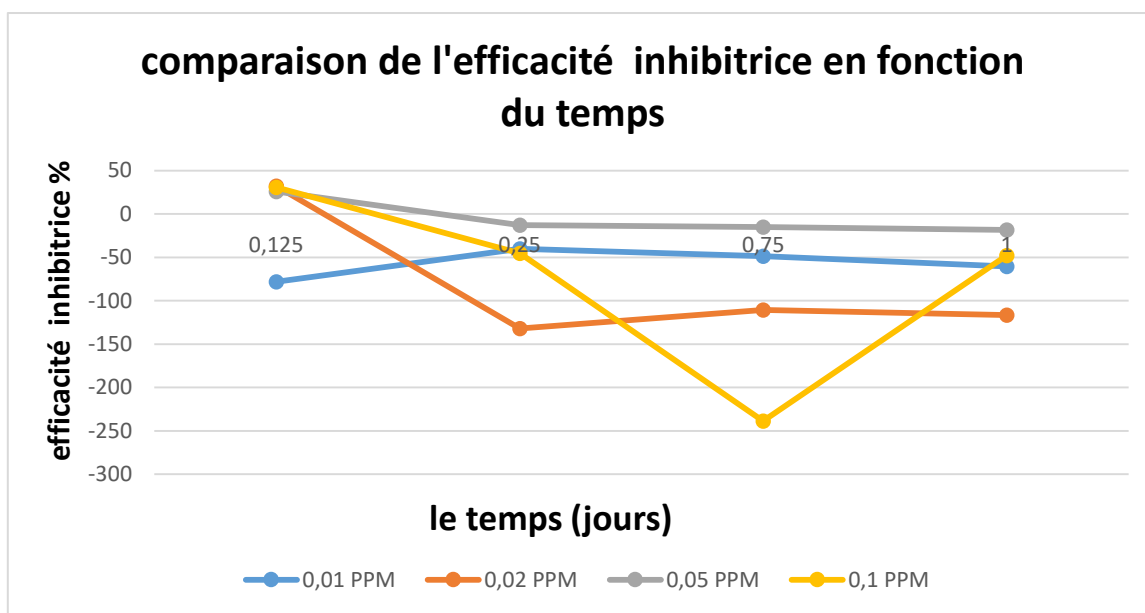


Figure III.12 : Comparaison de l'efficacité inhibitrice en fonction du temps

Après l'étude de la comparaison de l'efficacité inhibitrice de l'acétanilide contre la corrosion de l'acier X70 dans l'eau d'Albien entre les quatre concentrations choisies dans notre travail, on remarque que le meilleur résultat est de 32,31 %, pour une concentration de 0.1 ppm pour une durée correspondant 3 heures .

L'efficacité négative observée dans certains cas peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment :

Une concentration insuffisante de l'inhibiteur pour former une couche protectrice efficace sur la surface de l'acier.

Une interaction instable du composé dans le milieu aqueux, entraînant une dégradation ou la disparition progressive de la couche protectrice.

Une possible action inverse de l'inhibiteur, qui, à faibles concentrations ou dans certaines conditions, pourrait accélérer le phénomène de corrosion au lieu de le freiner.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude constitue une contribution scientifique à la compréhension du mécanisme de synthèse de l'acétanilide et de son utilisation pour l'inhibition de la corrosion de l'acier X70 dans un milieu aqueux (eau de l'Albian), en tant qu'inhibiteur organique efficace, en utilisant la méthode gravimétrique (perte de masse).

À travers les résultats obtenus, il a été confirmé que l'application de l'inhibiteur à base d'aniline sur la surface de l'acier conduit à la formation d'un film protecteur mince et homogène, empêchant l'interaction directe entre le métal et le milieu corrosif.

Les analyses électrochimiques ont montré que l'efficacité de l'inhibition est fortement liée à la concentration de l'inhibiteur ainsi qu'au temps d'exposition de la surface. Une diminution significative de la vitesse de corrosion a été observée avec l'augmentation de la concentration en aniline. Une bonne productivité a également été obtenue, atteignant 90 %, suivie d'une série d'expériences visant à évaluer l'efficacité de ce composé comme inhibiteur à différentes durées d'immersion et concentrations.

Les résultats ont montré que l'efficacité de l'inhibiteur varie considérablement en fonction de la concentration et du temps d'exposition. Bien que certaines faibles concentrations, telles que 0,01 ppm, aient entraîné une augmentation du taux de corrosion (efficacité négative), la concentration 0,02 ppm a donné le meilleur résultat après trois heures avec une efficacité d'inhibition de 32,31 %, ce qui indique que c'est la concentration la plus efficace à court terme.

La relation inversement proportionnelle entre la concentration de l'inhibiteur et la vitesse de corrosion confirme le rôle essentiel de l'acétaniline dans la protection des métaux contre la dégradation dans des environnements agressifs. Par conséquent, son utilisation peut être envisagée dans des applications industrielles pertinentes comme une solution prometteuse et efficace, ouvrant ainsi la voie au développement de nouveaux inhibiteurs organiques, écologiques et hautement performants contre la corrosion.

Références

- [1] : I. MASOUD, « fundamentals of corrosion engineering », première édition, bibliothèque nationale, benghazi, agence libyenne pour la numérotation internationale des livres, (2006).
- [2] : R. BOULMERKA, «étude de la corrosion des instruments chirurgicaux dentaires lors de la stérilisation », thèse de doctorat, université badji mokhtar, annaba.
- [3] : S. Bensaada, « cours de corrosion », université de biskra.
- [4] : B. ADJOUATI, A. ZIANE, « l'inhibition de la corrosion de l'acier par les extraits aqueux de feuilles d'olivier », mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie chimique, ecole nationale polytechnique, algérie, (2020).
- [5] : M.G. FONTANA, « ingénierie de la corrosion» , gaw-hill Livre, new york, (1986).
- [6] : I. HADDOU, A. BOUDEHANA, A.T. BENTATA, « etude de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion beker et crw 83133 utilisées dans les champs de hr et reb », memoire de master mcp, université kasdi merbah ouargla, (2021).
- [7] : S. AHMED, A.R. ABDEL KARIM, « inhibition de la corrosion des alliages d'acier au carbone en milieu acide, utilisation de l'extrait de racine de fleur du nil », Diplôme de magister en chimie, université de karbala, irak, (2011/2012).
- [8] : N. FRANKEL EDWIN, S.MEYER, « problèmes liés à l'utilisation de méthodes unidimensionnelles pour évaluer les aliments multifonctionnels et les antioxydants biologiques », revue des sciences de l'alimentation et de l'agriculture, 2000, vol. 80, n° 13, pp. 1925-1941.
- [9] : A. BEN MENIN, « l'effect inhibitrice des extrais de plantes sur la corrosion de l'acier cx 52 », diplôme de doctorat, université de ouargla, (2017).
- [10] : mécanique de production 174 mech, cursus saoudien a' propos du département des investissements dans les minéraux précieux , « le corrosion des métaux », (2009).
- [11] : P. BOUMERSBACH, C. DOUMONT, J. PMILLET, « caractérisation électrochimique d'un inhibiteur de corrosion : influence de la température sur le mécanisme d'inhibition », 207e réunion de la société électrochimique, québec (canada), 15-20 mai 2005.
- [12] : D.D.KANE, S.SRINIVASAN, « enquête sur l'expérience en matière de surveillance de la corrosion sur les oléoducs et gazoducs », article n° 83, nace, houston, (1998).

- [13] : P.L. VERONIQUE NOBEL, « étude du mécanisme d'action de monofluorophosphate de sodium comme inhibiteur de la corrosion des armatures métalliques dans le béton », université pierre & marie curie, paris (2004).
- [14] : G. MURRY, « aide », mémoire métallurgie, dunod, paris, (2004).
- [15] : ESC GROUP, « fournir des solutions techniques de haute qualité au marché mondial depuis près de 40 ans », 6 min de lecture, 16 mai 2022, <https://www.escglobalgroup.com/fr> .
- [16] : E.H. ORMAN, « glossaire des termes relatifs à la corrosion. Protection des matériaux », (1965).
- [17] : F. KHOUKHI, « étude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (eau, huile et gaz) », mémoire de magister, université mohamed bougara de boumerdes, faculté des sciences, département de chimie (2008).
- [18] : E. HEITZ, « 4e symposium européen sur les inhibiteurs de corrosion », université ann. ferrare, italie, (1975).
- [19] : JMGODINEZ, ALVAREZ, JLMORA, MENDOZA, E.RODRIGUEZ, « inhibition des métaux ferreux corrosion par les carboxylates, institut mexicain du pétrole, nace international de la corrosion », article n° 04412, houston,(2004).
- [20] : M.L. GOUGH, « développements en matière d'inhibiteurs de corrosion haute performance et respectueux de l'environnement pour les champs pétrolifères », nace international, houston, (1999).
- [21] : C. G. DARIVA ET A. F. GALIO, évolutions en protection contre la corrosion, chapitre 16, (2014).
- [22] : I. CHRISTIAN , « inhibiteurs de corrosion. techniques de l'ingénieur, matériaux métalliques », (1990).
- [23] : M. MAALOUL, « estimation de l'efficacité inhibitrice pour l'extrait aqueux pour les plantes du désert moltikia ciliata direction de la corrosion de l'acier carboné xc70 en milieu acide », mémoire de magister, université de hama lakhdar, (2017).
- [24] : I. BOUALI. étude d'inhibiteurs de corrosion métallique à base d'orthophosphates de zirconium lamellaires fonctionnalisés : synthèse, caractérisations et applications, thèse de doctorat. université de lorraine; université caddi ayyad, marrakech (maroc), (2018).

[25] : P.P. DHOLAKIYA, M.N. PATEL, « préparation, caractérisation et activités antimicrobiennes de certains complexes de ligands mixtes de Mn (II), Co (II), Ni (II), Cu (II) et Cd (II) avec une base de Schiff bidentate monobasique (ON) et des ligands bidentates neutres (NN) ». Synthèse et réactivité en chimie inorganique et organométallique, (2004).

[26] : R. BOUACHRINE, A. BOUSSOUFA, « étude 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).

[27] : KH. AL-HANASH, « les herbes comme nouveau type d'inhibiteurs verts pour la corrosion acide des aciers », Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: Entwicklung, Fertigung, Prüfung, Eigenschaften und Anwendungen technischer Werkstoffe 33, no. 9, (2002).

[28] : Z. KHIATI. « inhibition de la corrosion du cuivre en milieux chloruré et sulfaté neutres par une nouvelle molécule dérivée de 1, 2, 4-triazole ». thèse de doctorat, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, (2013).

[29] : J. P. MILLET, « durabilité et corrosion ». cours master science et technologie des matériaux, Pitesti, (2008).

[30] : D. LANDOLT, corrosion et chimie de surface des métaux, presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, (1993).

[31] : A. BELLOUFI, « comportement à la corrosion d'un acier doux, dans un milieu à différents pH, en présence de $ZnCl_2$ », mémoire de magister, université Hadj Lakhdar de Batna, (2010).

[32] : A. JAYARMAN, « corrosion inhibitors in hydrocarbon systems », Corrosion 96, paper n° 221, NACE International, Houston, TX, (1996).

[33] : cours les différents types d'aciers, chapitre 3

<https://www.scribd.com/document/808077381/cours-mfnf-chapitre-3-les-differents-types-d-aciers>, 14 :56, 03/01/2025.

[34] ASTM-International, « ASTM G31-72 (R04). Recueil annuel des normes ASTM. Pratique normalisée pour les essais de corrosion par immersion des métaux en laboratoire ». West Conshohocken, États-Unis, vol. 03-02, 2004.

[35] : A. Y. EL-ETRE, « inhibition of c steel corrosion in acidic solution using the aqueous extract of zallouh root », *corros*, (2008).

[36] : H. BARKAT , « L'étude de l'inhibition de la corrosion d'acier X42 dans un milieu aqueux d'eau d'Albien », Mémoire de master, Université Mohamed Khider, Biskra, (2019).

[37] : I. BARKAT, « l'inhibition de la corrosion d'une canalisation pétrolière par la synthèse d'un inhibiteur », Mémoire de master, Université Mohamed Khider, Biskra, (2023).

[38] : Concours Capes interne : le phosphore en chimie organique, synthèse de l'acétanilide
27/04/2007

[39] : Fabricant et fournisseur leader de tuyaux en acier en Chine ; 03/05/2025 ; 14 :03
<https://www.botopsteelpipe.com/fr/about-us/>

[40] : Un site Web officiel du gouvernement des États-Unis ;03/05/2025 ; 00 :32
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

[41] : J. Bénard, A. Michel, and J. Philibert, *Métallurgie générale* : Masson, 1984.

[42] : C. Gabrielli. "Traité analyse et caractérisation", *Techniques d'ingénieur*, CNRS Université pierre Marie Curie, Paris, no. PE2210, pp. 1-21, 2002.

بمسكرة: 29/06/2025

جامعة محمد غنير - مسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الكيمياء الصناعية

إذن بإيداع مذكرة الماستر بعد التصحيحات

أنا المضي أسفله الأستاذ: شريف بن حمزة

الترتبة: مستاد محاضر "أ"

أستاذ مشرف على مذكرة ماستر للطلاب (i): قادر ياسين

الشعبة: الكيمياء الصناعية

الموضوع: دراسة كيميائية

عنوان: "Etude de l'inhibition de la corrosion d'acier X70 par un dérivé d'aniline dans un milieu aqueux"

أرخص بإيداع المذكرة المذكورة.

رئيس لجنة المناقشة

الأستاذ المشرف

Dr Cherifi-Bennadji


ملحق القرار رقم: 933 المؤرخ في: 20 جويلية 2016

الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

مؤسسة التعليم العالي:

نموذج التصريح الشرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضى أدناه،

المسيد: محمد بن أبي بصير... الصفة: طالب، استاذ باحث، باحث دائم: حاله:

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم 229444988 والصادرة بتاريخ 2023...08...06

المسجل بكلية العلوم والتكنولوجيا قسم الكيمياء الصناعية

و المكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج ، مذكرة ماستر ، مذكرة ماجستير ، أطروحة

Etude de l'inhibition de la corrosion d'acier: كبح (أو)، عنوانها:

X76... par... un... dérivé d'aniline dans un milieu aqueux

أصرح بشرفي أنني التزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 29.6.2025

إمضاء المعنى

