

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique**  
**Centre Universitaire Belhadj Bouchaib Ain Temouchent**



**Institut des sciences**  
**Département des sciences de la matière**  
**Spécialité : Chimie Macromoléculaire**

**Mémoire de fin d'études**

*En vue d'obtention d'un diplôme du Master en Chimie Macromoléculaire*

*Thème :*

---

**Étude gravimétrique de l'inhibition de corrosion de l'acier XC 38  
par la povidone iodée en milieu HCl 1M**

---

*Présenté Par :*

SEGHIUER Imane  
ZENASNI Mohamed Amine

Soutenu publiquement le 22 septembre 2020

**Devant le jury composé de :**

<b>Présidente</b>	Mme. CHAKER Hanane	M.C.B	C.U.B.B.A
<b>Examineur</b>	M. CHIKHI Ilyas	M.C.A	C.U.B.B.A
<b>Encadrant</b>	M. ATTAR Tarik	M.C.A	E.S.S.A-Tlemcen
<b>Co-encadrant</b>	M. BOUSALEM Smain	Pr	C.U.B.B.A

**Année Universitaire : 2019 - 2020**

## ***Remerciements***

*Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire Toxicomed à l'Université de Tlemcen.*

*Au terme de ce mémoire, nous tenons à remercier notre Dieu le tout puissant qui nous a donné la force, le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur Attar Tarik enseignant à l'école supérieure en sciences appliquées d'avoir l'honneur de nous accepter pour l'encadrement, et pour leur aide et ces conseils, sans oublier Monsieur Benchadli qui nous a aidés durant le déroulement de ce travail.*

*Nous n'oublions pas certainement à remercier Monsieur Bousalem Smain Professeur au sein du Centre Universitaire d'Ain Temouchent et co-encadreur qui nous a conseillé de travailler avec Monsieur Attar, nous remercions Madame la directrice du laboratoire Toxicomed de l'Université de Tlemcen pour nous accepter de travailler dans leur laboratoire.*

*Nos remerciements s'adressent aux membres des jurys M. Chikhi Ilyas et Mme Chaker Hanane pour avoir accepté de juger ce travail.*

*Notre profonde gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.*

## ***Dédicace***

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à mes très chers parents pour leur soutien, affection et amour, et leur confiance et patience et pour leurs sacrifices infinis.*

*Une immense dédicace mes très chères frères et ma sœur, et mon chère oncle qui mon toujours encouragé et m'aidées à écrire ce mémoire ;*

*Aussi à ma chère copine Barnoussi Meriem, pour m'encourager et m'aidée à organiser mon travail.*

*Sans oublier mon binôme Zenasni Mohammed Amine*

*Seghiouer Imane*

***Je dédie ce travail:***

*En hommage à la mémoire de mon cher père.*

*À ma chère mère.*

*À mes frères.*

*À toute ma famille.*

*À mon binôme " Imane " et sa famille.*

*À tous les personnes qui ont m'aide de près ou de loin.*

*Et à tous ceux qui m'ont enseigné tout au long de ma vie scolaire.*

*Zenasni Mohammed Amine*

## Liste des figures.

- Figure 1** : Exemples de matériaux soumis aux phénomènes de corrosion p. 3.
- Figure 2** : Formation des couches barrières, anodiques, avec l'intervention des réactions électrochimique dans un milieu acide p. 7.
- Figure 3** : La structure moléculaire de la povidone iodée p. 16.
- Figure 4** : La corrosion du fer dans l'acide chlorhydrique (HCl) p. 18.
- Figure 5** : Les pièces en acier au carbone XC38 avant et après le polissage p. 21.
- Figure 6** : Balance analytique p. 21.
- Figure 7** : Dégagement de gaz dans la solution d'HCl 1M à 303K durant 2h p. 22.
- Figure 8** : Variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de différentes concentrations du PVPI p. 23.
- Figure 9** : Variation de la vitesse d'inhibition en fonction de la concentration de l'inhibiteur PVPI p. 24.
- Figure 10** : La variation de la vitesse de corrosion de l'acier XC38 en présence et en absence d'inhibiteur PVPI en fonction de temps d'immersion t(h) p. 26.
- Figure 11** : La variation de perte de masse de l'acier XC38 a la présence et a l'absence d'inhibiteur PVPI en fonction de temps d'immersion t(h) p. 26.
- Figure 12** : La variation de l'efficacité inhibitrice de PVPI en fonction de temps d'immersion t(h) p. 27.
- Figure 13** : Présente la vitesse de corrosion de l'acier XC38 en fonction de la température p. 28.
- Figure 14** : La variation de l'efficacité inhibitrice de l'inhibiteurs PVPI en fonction de la température p. 28.
- Figure 15** : La variation du logarithme de la vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de la température absolue (Droites d'Arrhenius) p. 30.
- Figure 16** : La variation du logarithme de la vitesse de corrosion/temps en fonction de l'inverse de la température absolue (Droites d'Arrhenius) p. 31.
- Figure 17** : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier XC38 dans HCl 1M en présence PVPI à différentes températures p. 34.
- Figure 18** : Isotherme de Temkin de l'acier XC38 dans l'HCl 1M en présence d'inhibiteur PVPI avec des différentes concentrations à 293 K p. 35.
- Figure 19** : Isotherme de Frumkin de l'acier XC38 dans l'HCl 1M en présence d'inhibiteur PVPI avec des différentes concentrations à 293 K p. 35.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Les deux types d'adsorption	p. 12.
<b>Tableau 02</b> : La composition chimique d'acier XC38	p. 15.
<b>Tableau 03</b> : Propriétés d'acide chlorhydrique	p. 17.
<b>Tableau 04</b> : Les matériaux et les produits utilisés dans l'étude de l'inhibition	p. 20.
<b>Tableau 5</b> : L'efficacité inhibitrice du PVPI obtenue par la méthode gravimétrique à différentes concentrations pour différents valeurs de température	p. 23.
<b>Tableau 06</b> : La variation d'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur PVPI et la perte de masse et la vitesse de corrosion et d'inhibition en fonction du temps d'immersion	p. 25.
<b>Tableau 07</b> : Les valeurs de facteur pré-exponentiel et des énergies d'activation de dissolution de l'acier XC38	p. 32.
<b>Tableau 08</b> : Paramètres thermodynamiques d'adsorption de l'inhibiteur PVPI dans la solution HCl 1M à différentes températures	p. 36.

# Sommaire

I- Introduction générale	1
<b>II -Chapitre I : Étude bibliographique</b>	
1- Introduction	3
2- Définition de la corrosion	3
3- Modes de corrosion	4
4- Les formes de corrosion	5
5- Les méthodes d'étude de corrosion	5
6- Les facteurs qui influencent la vitesse de corrosion	7
7- Généralité sur l'inhibiteur	8
7-1- Définition d'inhibiteur	8
7-2- Propriétés et classification d'inhibiteur	8
7-3- Mécanisme d'inhibition en milieu acide	11
8- Adsorption des inhibiteurs	11
8-1- Généralité sur l'adsorption	11
8-2- Les types d'adsorption	11
8-3- Les facteurs influencent l'adsorption d'inhibiteur	12
8-4- Les isothermes d'adsorption	13
<b>II- Chapitre II : Partie expérimentale, Résultats et discussions</b>	
1- Introduction	15
2- Généralité	15
2-1- L'acier au carbone XC38	15
2-2-Povidone iodée PVPI	15
2-3- Le choix d'un inhibiteur	16
2-4- Les domaines d'utilisation des inhibiteurs de corrosion	16
2-5- La relation entre la structure moléculaire de l'inhibiteur et l'efficacité inhibitrice	17
2-6- L'acide chlorhydrique ou chlorure d'hydrogène (HCL)	17
2-7- La corrosion et l'acide chlorhydrique	18
3- Étude gravimétrique	18
3-1- Les conditions expérimentale	20
3-2- Étude de l'effet d'inhibiteur du PVPI sur la corrosion d'acier XC38 dans HCl	22
3-2-1- Influence de la concentration	22

3-2-2- Influence du temps d'immersion	25
3-2-3- Influence de la température	27
3-3- Paramètres thermodynamiques d'activation	29
3-3-1- Les énergies d'activation	29
3-3-2- L'Enthalpie et l'Entropie d'activation	33
3-3-3- Isotherme d'adsorption	33
2-2 Conclusion	38
III- Conclusion générale	39
Références bibliographiques	40

## ملخص

ركزنا في هذا العمل على دراسة معدل التثبيط و تأثير تثبيط بوليفيدون اليود (PVPI) على تآكل الفولاذ الكربوني XC38 في وسط حمض الهيدروكلوريك (1مول). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة طريقة قياس الوزن تأثيرا وقائيا مثيرا للاهتمام لهذا المنتج المانع, على الرغم من عدوانية البيئة المسببة للتآكل. أظهرت دراسة الديناميكية الحرارية أن عملية التثبيط تخضع لخط تحاور لانغموير من جانب مختلط للامتزاز (الامتزاز الفيزيائي و الامتزاز الكيميائي).  
**الكلمات المفتاحية:** الفولاذ الكربوني, المانع, طريقة قياس الوزن, معدل التثبيط, بوليفيدوناليود, المعلمات الديناميكية للامتزاز

## Résumé

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude du taux d'inhibition et l'effet d'inhibiteur povidone iodée (PVPI) sur la corrosion de l'acier au carbone XC38 dans un milieu d'acide Chlorhydrique HCl (1 M). Les résultats obtenus par la méthode gravimétrique montrent un effet protecteur intéressant de cet inhibiteur, malgré l'agressivité du milieu corrosif. L'étude thermodynamique a montré que le processus d'inhibition obéit à l'isotherme de Langmuir avec un aspect mixte d'adsorption (physisorption et chimisorption).  
**Mots clés :** Corrosion, Acier au carbone XC38, Méthode gravimétrique, Taux d'inhibition, Povidone iodée (PVPI), Acide chlorhydrique (HCl), Isotherme d'adsorption, Les paramètres thermodynamique.

## Abstract

In this works, we are interesting by studying the inhibitor effect of povidone iodine PVPI on the corrosion of carbon steel XC38 in chlorhydric acid HCl (1 M). The results got by the weight loss method, show an interesting protective effect of the inhibitor product, despite the aggressiveness of the corrosive environment. The thermodynamic study has shown that the inhibition process obeys the isothermal of Langmuir with a mixt adsorption (physical adsorption and chemical adsorption).  
**Keywords:** Corrosion, Inhibitor, Povidone iodine, Carbon steel XC38, Hydrochloric acid, Weight loss method. Adsorption isotherm. Thermodynamic parameters.

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Aujourd'hui, l'acier au carbone a pris une place prépondérante dans la vie; en particulier dans le domaine industriel en raison de son faible coût de fabrication, et même de ses différentes propriétés, et de sa résistance mécanique et thermique. Ce matériau est disponible dans de nombreuses formes et tailles pour de nombreuses applications. Malgré ces bonnes propriétés, il est exposé au problème de la corrosion; ce qui entraîne plusieurs conséquences dans les industries (arrêt de production, accident et risque de pollution, etc.); qui sont des événements fréquents à fort sur l'impact économique [1].

L'acier est toujours exposé à la corrosion et les pertes indirectes causées par ce phénomène sont souvent plus importantes que les pertes directes, selon une étude américaine sur la corrosion le coût direct de la corrosion est 276 milliards de dollars, une base annuelle cela présente 3,1% du produit intérieure brut américain [2].

Si, par exemple, une centrale nucléaire doit être arrêtée pour intervenir sur un échangeur corrodé, le coût de l'intervention peut être faible par rapport à la perte de revenus due à l'interruption de production, de même, pour remplacer une conduite d'eau chaude encastrée dans le mur de béton d'un bâtiment, les charges de réparation dépassent de loin le prix du composant. La corrosion des métaux entraîne un gaspillage de matières premières et d'énergie [3]. Parmi les facteurs qui provoquent la corrosion des métaux dans les installations industrielles, les solutions acides qui sont largement utilisées dans les industries, ses principaux domaines d'applications étant le décapage ou le nettoyage et l'élimination de dépôts localisés (dépôts bactériens) [4]. En matière de protection, les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique d'après l'association nationale des ingénieurs en corrosion (NACE) un inhibiteur est une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement à faible concentration [5]. Il peut être destiné soit à une protection permanente de la pièce, 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) [4].

Notre objectif général de ce travail est étudier expérimentalement l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu d'acide chlorhydrique d'une concentration de 1M par la technique gravimétrique, nous avons choisi la povidone iodée pour la

## Introduction générale

première fois comme inhibiteur de la corrosion métallique dans l'acide chlorhydrique sur la base d'études antérieures [6].

C'est un complexe chimique d'un polymère qui soluble dans l'eau, composé d'iode et de polyvinylpyrrolidone, ce produit est largement utilisé en médecine et connu sous le nom de Bétadine [7].

Le présent mémoire est réparti en deux chapitres :

**Le premier chapitre** est consacré pour une étude bibliographique sur la corrosion, l'inhibiteur et le phénomène d'adsorption.

**Le second chapitre** résume la partie expérimentale et la méthode utilisée pour étudier la corrosion d'acier au carbone, les résultats obtenus.

Nous avons terminé avec une conclusion générale.

J'espère que cette étude pour la profession nous permettra de revoir l'importance des inhibiteurs de corrosion des métaux, sur le plan économique.

### Les références

- [1] F. Ouali, H. Chemache, N. Brinis. Elaboration d'un revêtement à base de poly pyrrole dopé par des contre ions, *Université de Bejaia* 2019.
- [2] T. Ross, N. Lott. Billion Dollar U.S. weather disasters, 1980-2001, (Asheville, nc: national climatic data center, national oceanic and atmospheric administration, 2001).
- [3] A. Benchadli, T. Attar, E. Choukchou-Braham. Corrosion inhibition of carbon steel (XC38) in hydrochloric acid by potassium iodide. *Journal of advances research in science and technology*, 5(2018)834-844
- [4] Traisnel, M. Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M. *Université des Antilles et de la Guyane, France*, 2013.
- [5] C. Chinogurei. Propriétés inhibitrices de l'huile décade sur la corrosion de l'aluminium. p24, 2018.
- [6] A. Valbona, M. Azevedo Nevesb, A. Echevarriaa. Anticorrosive Effect of PVP 40000 Against AISI 1020 Carbon Steel in HCl. *Materials Research*. 2018, e20170847.
- [7] C. Mermet, D. Dondia, J. Partrat, K. Titier, J.M. Gaulier, M. Labadie. A propos d'un cas d'ingestion accidentelle de Bétadine : le succès d'une méthode d'épuration digestive peu banale. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 27(2015) S14-S15.

*Chapitre I :*  
*Étude bibliographique*

# CHAPITRE I : Étude bibliographique

## 1- Introduction :

La corrosion du latin corroder qui signifie ronger, attaque. C'est un phénomène qui détruit un quart de la production annuelle mondiale d'acier; ce qui représente environ 150 millions de tonnes par an ou encore 5 tonnes par second. Or, la corrosion ne se limite pas à l'acier, mais affecte tous les métaux ainsi que les polymères et céramiques. Elle résulte d'interactions chimiques et/ou physiques entre le matériau et son environnement [1].

Selon la thermodynamique, les métaux ne sont pas stables en contact avec l'air et avec l'eau, à quelques exceptions. Mais, si la vitesse des réactions de corrosion est lente et si on emploie des techniques de protection adéquates (traitement de surface, protection électrochimique, etc...); ils peuvent remplir leur fonction pendant la durée de vie prévue d'une réalisation technique [1].

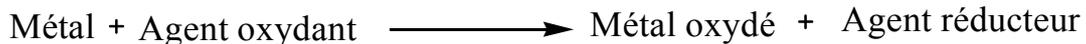


**Figure 1 :** Exemples de matériaux soumis aux phénomènes de corrosion

## 2- Définition de la corrosion

La corrosion est une dégradation du matériau (interaction ou réduct) par réaction chimique irréversible (selon IUPAC) ou électrochimique (physico-chimique) avec l'environnement [1-2]. On peut la définir aussi par la désintégration des minéraux ou de la zone du métal, et ce qui facilite la corrosion de certains métaux ce sont leurs composants chimiques et la nature des réactions électrochimiques elles-mêmes et d'autres facteurs [2]. La réaction de corrosion due à une réaction d'oxydoréduction irréversible entre le métal et un agent oxydant contenu dans l'environnement [3]. L'oxydation du métal implique la réduction du l'agent oxydant selon la réaction [3]:

## CHAPITRE I : Étude bibliographique



### 3- Modes de corrosion

On peut distinguer trois types de corrosion qu'on peut les caractériser selon différents processus :

#### ➤ Corrosion chimique

La corrosion chimique est le résultat d'une réaction hétérogène; est l'attaque directe du métal par son environnement, ce type se développe selon une solution non électrolytique ou par action de gaz ( $O_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ) [4].

- Si le réactif est gazeux ou cette corrosion se produise dans un milieu agressif, non conducteur du courant électrique ou à une haute température s'appelée " Corrosion sèche ou corrosion à haute température "[4-5]
- Si l'attaque du métal se fait par un autre métal liquide (Hg), par un sel fondu ou par une solution non aqueuse (Al dans  $CCl_4$ ) peut être considéré comme corrosion chimique. Elle est généralement rencontrée dans les industries produisant ou utilisant les acides [6].

#### ➤ Corrosion électrochimique

Corrosion électrochimique ou corrosion humide est une réaction électrochimique qui implique un transfert de charge à l'interface entre un conducteur électronique appelé 'électrode' et 'électrolyte' [7].

Le passage en solution des ions métalliques peut être expliqué par les mécanismes suivants :

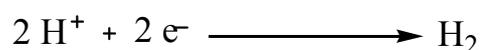
Réaction anodique (oxydation du métal):



Réaction cathodique :

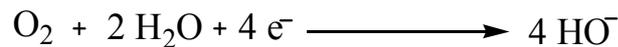
La réaction précédente est nécessairement couplée à une réaction cathodique (réduction).

- En milieu acide :



- En milieu basique :

## CHAPITRE I : Étude bibliographique



### ➤ Corrosion biochimique

C'est l'attaque bactérienne des métaux en particule dans les canalisations enterrées ; ce type de corrosion est rencontré dans les installations d'injection d'eau. Le mécanisme de ce mode de corrosion peut être de plusieurs types [8] :

- Chimique par production de substances corrosives telles que  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_3$  ou d'un acide organique.
- Certaines bactéries peuvent réduire les sulfates par l'intermédiaire d'hydrogène.



- Formation des piqûres sur le métal par différence de concentration d'oxygène.

### 4- Les formes de corrosion [9, 10]

Il existe plusieurs formes de corrosion :

1. Corrosion uniforme.
2. Corrosion localisée.
3. Corrosion galvanique.
4. Corrosion cavernueuse.
5. Corrosion par piqûre.
6. Corrosion inter granulaire.
7. Corrosion sélective.
8. Corrosion érosion.
9. Corrosion sous contrainte.

### 5- Les méthodes d'étude de corrosion

La corrosion dépend d'un système extrêmement complexe dont les effets se manifestent en pratique sous une multitude d'aspects parfois inattendus. Dans tous les cas, pour connaître le type de corrosion on utilise la méthode gravimétrique et électrochimique [11] :

## CHAPITRE I : Étude bibliographique

### ➤ Méthode gravimétrique

Le principe de cette méthode est basé sur les mesures de perte de masse  $\Delta m$  exposé par la surface  $S$  pendant un temps d'immersion dans une solution d'acide dans des différentes concentrations et températures dépend de chaque essai avec la présence et l'absence d'inhibiteur utilisé [11]. La vitesse de corrosion de l'acier est déterminée par méthode gravimétrie après certain temps d'immersion dans les deux acides en présence et en absence d'inhibiteur testés à différentes concentrations.

$$W = \frac{\Delta m}{S \cdot t}$$

$W$  peut être exprimé par  $mg.cm^{-2}.h^{-1}$ .

L'efficacité inhibitrice ( $E \%$ ) de ces composés est calculée à partir de la relation suivante :

$$\%E = (W_{corr} - W_{inh}/W_{corr}) \times 100$$

- ❖ Où  $W_{inh}$  et  $W_{corr}$  représentent respectivement la vitesse de corrosion de l'acier en milieu acide sans et avec inhibiteur. [11]

### ➤ Méthode électrochimique

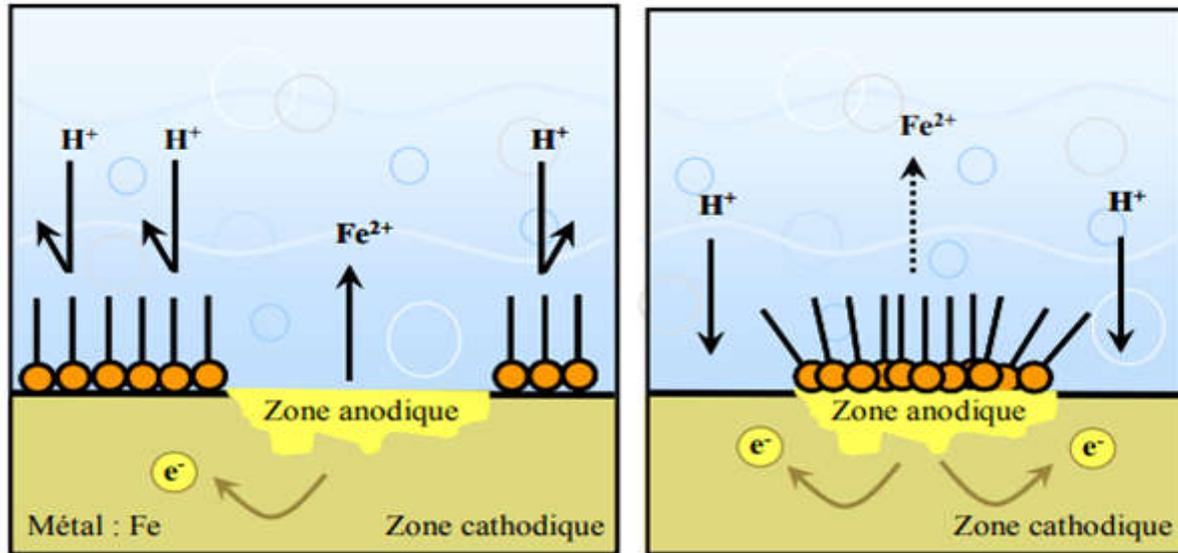
Dans la méthode électrochimique on a trois types d'inhibiteurs par classification au mode d'action électrochimique : les inhibiteurs anodiques, les inhibiteurs cathodiques et les inhibiteurs mixtes qui combinent les deux propriétés d'inhibiteurs.

Le travail de ces inhibiteurs c'est de former une couche barrière dans la surface de l'acier pour bloquer les sites cathodiques ou les sites anodiques.

$$\%E = (1 - i_{inh}/i_0) \times 100$$

- ❖ Où  $i_{inh}$  et  $i_0$  sont les densités de courant de corrosion sans et avec l'addition d'inhibiteur [12].

## CHAPITRE I : Étude bibliographique



**Figure 2 :** Formation des couches barrières, anodiques, avec l'intervention des réactions électrochimiques dans un milieu acide.

### 6 - Les facteurs influençant la vitesse de corrosion

Puisque la corrosion résulte des interactions chimiques et /ou physique entre le matériaux et son environnement, il s'avère indispensable de mettre au point une méthodologie d'expertises des incidents de corrosion rencontrés et de prendre en compte en plus des facteurs métallurgiques ou d'alliage du métal mis en cause [13] :

- ✓ **Facteurs métallurgiques** : la structure et composition du métal, grosseur de grain, procédés d'élaboration, présences ou absences des impuretés, traitement thermique et mécanique.
- ✓ **Facteurs du temps** : vieillissement, tensions mécaniques, modification des revêtements protecteurs.
- ✓ **Facteurs qui déterminants les conditions de réaction** : le type d'inhibiteur, la forme de l'acier utilisé, processus d'assemblage, l'état de surface.
- ✓ **Facteur du milieu corrosif** [13] :
  - Effet de température

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion même les cinétiques de réactions et de transport ; car elle diminue la stabilité des métaux.

## CHAPITRE I : Étude bibliographique

- Effet d'acidité

Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie l'équilibre des réactions chimiques et électrochimique, la corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu.

- Effet de salinité

La présence des ions chlorures en solution provoque une agressivité (solution s'accompagnent des effets complémentaires) du milieu électrolytique qui peut être l'origine de la corrosion localisée ; d'une part leurs concentrations locales induites une acidification du milieu même une influence sur la conductivité du milieu aqueux.

- Influence d'oxygène

La présence d'oxygène dissout dans l'électrolyte favorise et accélère la corrosion électrochimique, en plus et indispensable à la formation de rouille.

### 7- Généralités sur les inhibiteurs

#### 7-1- Définition d'inhibiteur

Selon la norme ISO8044 l'inhibiteur défini comme « Substance chimique ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité et qui entraîne une diminution de la vitesse de corrosion sans modifier de manière significative la concentration d'aucun agent corrosif contenu dans le milieu agressif » [14].

Un inhibiteur est un produit chimique qui est ajouté en faible quantité au milieu corrosif (généralement liquide, rarement milieu gazeux) et qui protège le métal contre la corrosion par recouvrement par une barrière isolante vis-à-vis du milieu agressif [14].

#### 7-2- Propriétés et classifications des inhibiteurs

- ❖ D'après cette définition, un inhibiteur de corrosion doit donc vérifier un certain nombre de propriétés fondamentales [15].
  - ✓ Abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier.
  - ✓ Être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants et aux températures d'utilisation.

## CHAPITRE I : Étude bibliographique

- ✓ Être efficace à faible concentration.
- ✓ Être compatible avec les normes de non-toxicité.
- ❖ On peut classer les inhibiteurs par différents façons :

- **Selon la nature des molécules d'inhibiteurs**

- **Inhibiteurs organiques**

Ce sont des molécules organiques qui promises à un développement plus que certain en terme d'inhibition de corrosion ; ils possèdent au moins un centre actif susceptible d'échanger les électrons avec le métal tel que : l'azote, l'oxygène, le phosphate ou le soufre [15].

Les groupements fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal sont [10]:

- Amine (-NH<sub>2</sub>).
- Mercapto (-SH).
- Hydroxyle (-OH).
- Carboxyle (-COOH).

⇒ Généralement, l'action inhibitrice de ces composé organique est indépendante aux processus anodiques et cathodiques de corrosion qui sont liées à la formation par adsorption d'une barrière plus au moins continue, mais d'épaisseur fine, qui empêche l'accès de la solution au métal [15].

- **Inhibiteur inorganique [15]:**

- Les molécules minéralisées ou inorganique sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité. Voir en milieu alcalin et plus rarement en milieu acide.
- Les produits se dissocient en solution et leurs produits assurent l'inhibition (anion ou cation).

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

- **Selon le mécanisme d'action**

-  Mécanisme électrochimique

On différencie trois types d'inhibiteurs:

- **Inhibiteurs anodiques**

## CHAPITRE I : Étude bibliographique

- Se causent un déplacement de potentiel de corrosion dans le domaine cathodique en réduisant la surface anodique.
  - Ils sont très efficaces et même ils ont des propriétés indésirables [14-15].
- Inhibiteurs cathodiques
- Se ralentissent la réaction cathodique.
  - Diminuent la densité de courant partiel cathodique et déplace le potentiel de corrosion dans le sens négatif [15].
- Inhibiteurs mixtes
- Diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion.
  - Ils portent à la fois les propriétés d'inhibiteurs anodiques et cathodiques [15].
- ✚ Mécanisme réactionnel

On peut façonner l'action d'inhibiteur par : [15]

- ⇒ L'interposition d'une barrière entre le métal et le milieu corrosif.
- ⇒ Par ajout des agents qui augmentent le pH près de la surface métallique et favorisent la passivation dans certains cas.
- ⇒ La formation de films superficiels par précipitation de sels minéraux ou de complexe organiques peu solubles.

### ▪ Classification selon le domaine d'application [14]

- Inhibiteur en milieu aqueux :
- Les inhibiteurs pour milieu acide sont employés entre autre pour éviter l'attaque électrochimique d'acier lors de décapage.
- Inhibiteurs en milieu neutre :
- Servent surtout pour la protection des circuits de refroidissement.
- Inhibiteurs en milieu organique :
- Utilisées dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence puisque ces liquides contiennent souvent des traces d'eau et des espèces inorganiques qui peuvent provoquer une corrosion.

## CHAPITRE I : Étude bibliographique

➤ Inhibiteurs pour phase gazeuse :

- Généralement, sont employés pour une protection temporaire de différents objets emballés (les machines, les composants électroniques) pendant le transport et le stockage.

### 7-3- Mécanisme d'inhibition en milieu acide

Les inhibiteurs les plus utilisés sont des molécules de type organique, ils agissent d'abord par l'adsorption à la surface des métaux, avant d'intervenir dans les processus réactionnels de corrosion pour diminuer la vitesse [16].

## 8- Adsorption des inhibiteurs

### 8-1- Généralités sur l'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface exothermique, qui consiste en l'accumulation d'une substance à l'interface entre deux phases (gaz-solide, gaz-liquide, liquide-solide, liquide-liquide, solide-solide). Son origine réside dans les forces d'attraction intermoléculaires, de nature et d'intensité variées, qui sont responsables de la cohésion des phases condensées, liquides ou solides [16].

⇒ L'adsorption d'un gaz ou liquide se diminue l'énergie de la surface.

⇒ La chaleur d'adsorption  $Q_{ads}$  ( $Q_{ads} = -\Delta H_{ads}$ ) dépend de l'énergie des liaisons formées entre les atomes adsorbés et la surface.

⇒ La valeur de  $\Delta H_{ads}$  permet de distinguer le type d'adsorption.

### 8-2- Les types d'adsorption

Ce phénomène résulte de l'existence des forces à la surface du solide, qui sont de nature physique ou chimique. Ces forces conduisent respectivement à deux types d'adsorption :

## CHAPITRE I : Étude bibliographique

Tableau 01 : Les deux types d'adsorption [17].

	Adsorption chimique	Adsorption physique
<b>Nature des interactions</b>	Liaisons fortes (grande affinité adsorbant / adsorbé)	Liaisons faibles (force de Vander Waals)
<b>Quantité adsorbée</b>	Déterminée par le nombre de sites de la surface (monocouche au maximum)	Possibilité de superposition de plusieurs couches d'atomes adsorbés
<b>Caractère de la surface</b>	Hétérogène (les sites ne sont pas équivalents de point de vue énergétique)	Plus au moins homogène
<b>Caractéristique du phénomène</b>	Spécifique	Non spécifique
<b>Chaleur d'adsorption</b>	Ne dépassent pas $50 \text{ kJ.mol}^{-1}$	De 100 à $500 \text{ kJ.mol}^{-1}$
<b>Vitesse d'adsorption</b>	Parfois lente à cause de la grande barrière d'énergie d'activation	Rapide sauf s'il y a diffusion dans des micropores
<b>Réversibilité du phénomène</b>	Limité	Très marquée
<b>Mobilité des espèces adsorbées</b>	Limité	Très grande
<b>Influence de l'élévation de la température</b>	Faible et parfois favorable suite à l'activation de la surface	Diminue avec l'augmentation de la température

### 8-3- Les facteurs qui influencent l'adsorption d'inhibiteur

#### ➤ Influence de la densité électronique [17]

- Généralement, l'inhibition d'inhibiteur implique une chimisorption.
- Plus les atomes fonctionnels ont tendance à former des liaisons avec le métal en donnant des électrons, plus les inhibiteurs sont efficaces.

## CHAPITRE I : Étude bibliographique

- La variété d'efficacité de l'inhibiteur est inversement avec l'électronégativité des atomes fonctionnels des molécules organiques.
- La structure moléculaire de la partie non polaire peut également influencer la capacité des atomes fonctionnels à donner des électrons.
- La présence d'une liaison insaturée peut donc être très favorable à l'efficacité inhibitrice d'une molécule organique en milieu acide (puisque'elle peut adsorber indifféremment sur une surface chargée positivement (électron  $\pi$ ) ou négativement (cation) [17].

### ➤ Influence de concentration [17]

- Généralement, la quantité adsorbée d'une espèce est exprimé par le couvrement de la surface qui représente la fraction des sites occupés par la surface :

$$\theta = \frac{N_i}{N_0}$$

$N_i$  : représente le nombre des sites occupés par l'espèce adsorbée.

$N_0$  : le nombre total des sites par unité de surface.

### 8-4- Les isothermes d'adsorption

La relation entre la quantité d'une espèce adsorbée et son activité dans la phase gazeuse ou liquide en contact avec la surface s'appelle isotherme d'adsorption [18] :

#### ⇒ Isotherme de Langmuir

Le modèle de Langmuir suppose qu'il existe à la surface un nombre fixe de sites, chacun de ces sites ne peut adsorber qu'une seule particule, il se conduit aussi à un recouvrement monocouche d'adsorption à la surface recouverte  $\theta$  et que la fraction non recouverte ( $1 - \theta$ ) réagit avec l'acide comme s'il n'y avait pas d'inhibiteur. Si on néglige les interactions entre les particules adsorbées, l'énergie d'adsorption est constante.

L'équation d'isotherme de Langmuir est la suivant :

$$\frac{\theta}{(1 - \theta)} = \frac{K_{ads}}{K_{des}} C_{inh} = K \cdot C_{inh}$$

$\theta$  : Le taux de recouvrement.  $C_{inh}$  : Concentration d'inhibiteur.  $K$ : Coefficient d'adsorption.

Le taux de recouvrement de la surface est donné par la formule :

## CHAPITRE I : Étude bibliographique

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

Le taux de recouvrement peut être déterminé par :

$$\theta = 1 - \frac{V_{corr}}{V_{corr 0}} \quad \text{Ou} \quad \theta = 1 - \frac{I_{corr}}{I_{corr 0}}$$

### Isotherme de Fumkin

Ce type s'exprime par la relation suivante :

$$\frac{\theta}{(1 - \theta)} = \exp(-f \theta) = K_{ads} \cdot C_{inh}$$

$K_{ads}$  : est la constante d'équilibre de la réaction d'adsorption,  $C_{inh}$  : la concentration en produit adsorbé, et  $f$  est un paramètre relié à la variation de l'énergie libre d'adsorption avec .

- L'allure de courbe  $\theta$  en fonction de  $\ln C$  a la forme d'un «S».
- Cette isotherme dépend des interactions moléculaires dans la couche d'adsorption et le degré d'hétérogénéité de la surface.
- La constante  $K_{ads}$  est reliée à l'énergie d'adsorption par la relation suivante :

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

### ⇒ Isotherme de Temkin

- L'énergie libre d'adsorption de l'adsorbat est une fonction linéaire de  $\theta$  (les constantes de vitesse sont en fonction de  $\theta$ ).
- L'existence d'une attraction ou répulsion entre les espèces adsorbées.
- L'équation d'isotherme est :

$$K \cdot C_{inh} = \frac{\exp(a \theta) - 1}{1 - \exp[-a(\theta - 1)]}$$

$K$  : Constante d'adsorption ;

$\theta$  : Taux de recouvrement de la surface par l'inhibiteur ( $0 < \theta < 1$ ) ;

$C$  (**inh**) : Concentration d'inhibiteur ;

$a$  : Constante d'interaction entre les particules adsorbées.

*Chapitre II :*  
*Partie expérimentale,*  
*Résultats et discussions*

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

Dans ce chapitre, on va étudier les conditions opératoires utilisées à savoir l'action inhibitrice d'inhibiteur PVPI avec des différentes concentrations sur l'acier au carbone XC38, dans le milieu corrosif acide chlorhydrique HCl (1M) utilisant la technique gravimétrique afin d'exprimer la perte de masse et connaître le taux d'inhibition dans différentes conditions (la concentration, le temps d'immersion, et la température). Des études antérieures, qui montrent que la polyvinylpyrrolidone est un inhibiteur de corrosion efficace [19], nous avons testé la povidone iodée comme un inhibiteur contre la corrosion métallique. Généralement le rôle d'inhibiteur est d'abaisser la vitesse de corrosion des métaux pour une protection permanente ou durant une période où le métal est particulièrement sensible à la corrosion [20].

En conservant les caractéristiques physico-chimiques et sa stabilité à la température d'utilisation et efficace à faible concentration [21].

### 2- Généralités

#### 2-1- L'acier au carbone (XC38)

L'acier au carbone est un alliage métallique des métaux et le carbone, appelé aussi C38 d'usage courant, de bonne usinabilité, soudabilité médiocre, possédant de bonnes caractéristiques mécanique, mais une faible résistance aux chocs et possède une bonne aptitude au traitement thermique. Domaine d'application de ce type d'acier : la mécanique générale (manette, levier, visserie) [18].

**Tableau 02** : La composition chimique d'acier XC38 [18].

Éléments	C	Mn	Cu	Cr	Ni	Si	S	Ti	Co	Fe
% En poids	0,37	0,68	0,16	0,077	0,059	0,023	0,016	0,011	0,009	-

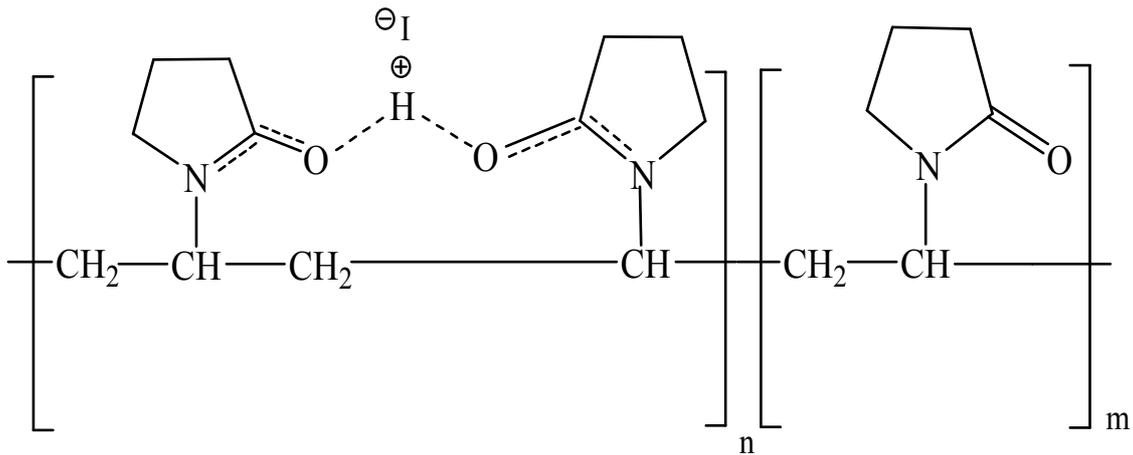
#### 2-2-Polyvidone iodée ou polyvinylpyrrolidone(PVPI) :

Dans notre étude on a utilisé la povidone iodée pour la première fois comme inhibiteur de la corrosion métallique étant donné l'impact significatif de la polyvinylpyrrolidone et l'iode sur la capacité inhibitrice contre la corrosion dans les études précédentes [19, 22]. Il appartient à la famille des iodophores ce sont des complexes qui lâches d'iode élémentaire et d'un support,

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

généralement un polymère neutre. Celui-ci permet la solubilisation de l'iode dans l'eau et constitue un "réservoir" d'iode libéré progressivement. Il est plus employé et instable dans le pH alcalin.

Il est composé de l'iode et de polyvinylpyrrolidone et il est employé dans la pharmacopée comme antiseptique topique et antifongique. Le médicament est commercialisé sous le nom "Bétadine" [23].



**Figure 3 :** La structure moléculaire de la povidone iodée.

### 2-3-Le choix d'un inhibiteur

Les propriétés physicochimiques sont les plus importants pour choisir un inhibiteur efficace [24] :

- La stabilité thermique est importante surtout dans le domaine de traitement des puits.
- Il doit être efficace à faible concentration.
- Il doit être stable en présence des autres constituants du milieu comme les oxydants.
- Réduire la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter les propriétés.
- Être soluble et dispersible dans le milieu.

### 2-4-Les domaines d'utilisation des inhibiteurs de corrosion :

Parmi les domaines d'utilisation des inhibiteurs de corrosion. L'industrie pétrolière (extraction, raffinage, stockage), les peintures ou les inhibiteurs de corrosion sont sous forme des additifs qui ont le pouvoir de protection les métaux contre la corrosion et les traitements des eaux (comme les eaux de procédé industriel) [10].

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

### 2-5 -La relation entre la structure moléculaire de l'inhibiteur et l'efficacité inhibitrice

Il y a un nombre importants des inhibiteurs de substances organiques et aussi des molécules aromatiques et des macromolécules sous forme des chaines. D'une façon générale les inhibiteurs s'adsorbent sur les sites actifs de surface de l'acier pour bloquer ses sites et permettre de retarder la corrosion de l'acier [25].

L'efficacité inhibitrice dépend de deux facteurs :

- La structure moléculaire de l'inhibiteur.
- La concentration de l'inhibiteur.

### 2-6-L'acide chlorhydrique ou chlorure d'hydrogène (HCl)

Acide fort, incolore d'une odeur très forte et étouffante ; il est très soluble dans l'eau. Mais il est très toxique par inhalation, provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux. Cet acide est utilisé dans des différents domaines comme : nettoyant domestique, utilisé dans un grand nombre de procédés industriels dont : construction, traitement de cuir, fabrication d'engrais, production du pétrole, décapage et détartrage des métaux, production des composés inorganique, régénération des résines échangeuses d'ions [26].

Voici le tableau suivant qui représente quelque propriété d'acide chlorhydrique :

**Tableau 03** : Propriétés d'acide chlorhydrique [3].

Forme	Liquide
Couleur	incolore à jaunâtre
Odeur	Piquante
pH	(à 20 °C) < 1
Viscosité dynamique	(à 15 °C) 1,9 mPa.s
Point de fusion	-40 °C
Point de solidification	~ 50 °C
Densité	(à 20 °C) 1,16 g/cm <sup>3</sup>
Solubilité dans Eau	(à 20 °C) soluble

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

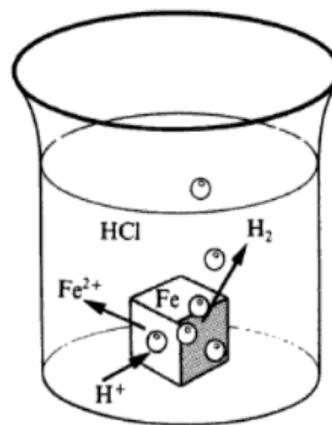
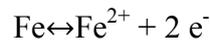
### 2-7-La corrosion et l'acide chlorhydrique

Au niveau thermodynamique les métaux ne sont pas stables au contact avec l'air, avec de l'eau et avec les acides comme l'acide chlorhydrique, on peut utiliser des techniques de protection adéquate (inhibiteurs ou protection électrochimique) dans les cas de la corrosion lente [3].

La corrosion des métaux dus à la réaction de corrosion du fer dans l'acide chlorhydrique [3] :



La corrosion d'un métal comme le fer est la résultante d'un processus schématisé par l'équation suivante [27] :



**Figure 4 :** La corrosion du fer dans l'acide chlorhydrique (HCl) [3].

### 3- Étude gravimétrique

C'est l'une des méthodes les plus anciennes utilisées pour étudier la vitesse et le taux de corrosion, même l'efficacité inhibitrice d'inhibiteur. Son principe est basé sur les calculs de perte de masse  $\Delta m$  par rapport à la surface exposé  $S$  pendant un temps désiré dans une solution corrosif.

L'utilisation de cette méthode reste limitée à cause de sa productibilité qui n'est pas toujours appréciable [28].

La vitesse de corrosion est calculée à partir de la relation suivante :

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

$$W_{\text{corr}} = \frac{m_i - m_p}{S \cdot t} = \frac{\Delta m}{S \cdot t}$$

$\Delta m$  : Perte de masse en **mg**;

$S$  : Surface exposé en **cm<sup>2</sup>**

$t$  : Temps d'exposition dans la solution en **heure**

$W_{\text{corr}}$  : Vitesse de la corrosion en **mg.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>**.

L'efficacité inhibitrice (% E) du composé étudié calculée par la relation :

$$\%E = \frac{W_{\text{corr}} - W_{\text{inh}}}{W_{\text{corr}}} * 100$$

$W_{\text{corr}}$  et  $W_{\text{inh}}$  représentent la vitesse de corrosion en absence et présence d'inhibiteur [28].

### Les avantages de la méthode

- ✓ Elle donne des informations sur le taux moyen de la perte de masse due à la corrosion.
- ✓ Elle peut aussi fournir des informations sur la nature de la corrosion à travers l'analyse de ses produits de corrosion.
- ✓ Elle est une méthode spontanée.

### Les inconvénients de la méthode

- ✓ Elle exige un temps considérablement long pour avoir une différence de poids mesurable.
- ✓ Elle utilise un grand nombre des échantillons métallique destinés aux tests de corrosion et une grande quantité du milieu corrosif.

Le paramètre utilisé pour l'étude du phénomène de corrosion d'acier au carbone XC38 est la technique gravimétrique dans un milieu acide **HCl 1M** en absence et en présence d'inhibiteur **PVPI** à différentes concentrations.

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

### 3-1-Les conditions expérimentales

a. Les matériaux et les produits utilisés :

**Tableau 04** : Les matériaux et les produits utilisé dans l'étude.

Les matériaux	Les produits
Balance analytique, spatule, flacons, béchers, barreaux magnétiques, plaque chauffante et agitateur, papiers abrasifs, polisseuse, bain marie, pied à coulisse, éprouvette, fioles jaugé de 500 mL, un fil de potence, des plaquettes en acier au carbone XC38.	L'acétone, l'acide chlorhydrique, Poudre de povidone iodée (PVPI), l'eau distillée.

b. Procédure expérimentale

#### b.1.Préparation des solutions

##### Solution d'acide chlorhydrique

Dans une fiole jaugé de **500 mL** on prépare une solution de **HCl** de concentration **C = 1 M** par une concentration initial  $C_i = 11,81 \text{ M}$  de **HCL** liquide (degré de pureté = 37% ; densité = 1,18) et un volume  $V_i = 84,67 \text{ mL}$  et on complète par l'eau distiller jusqu'à trait de jauge et on agite bien.

##### Solution de la povidone iodée :

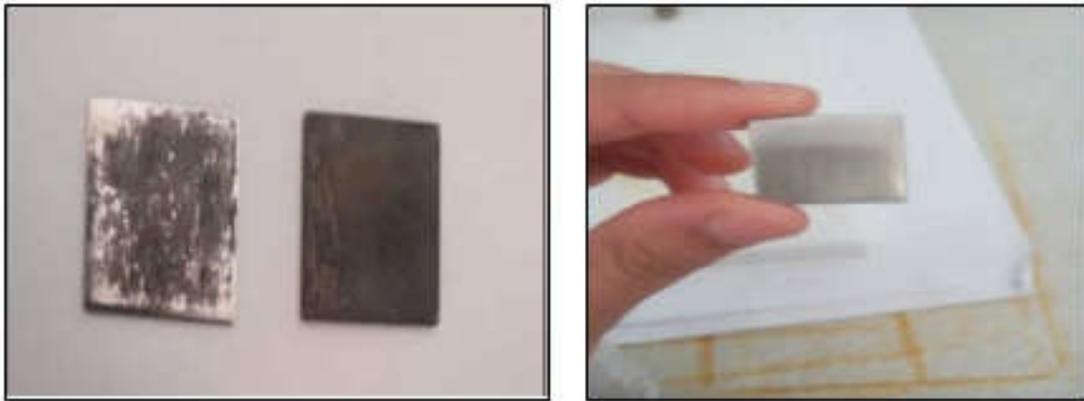
On prépare les solutions de l'inhibiteur dans la solution **HCl 1M**.

#### b.2.Préparation des échantillons

- La préparation de surfaces des plaquettes en acier XC38 est effectuée par le papier abrasif de la granulométrie décroissante : 400, 1000, 1200 afin d'obtenir une surface lisse et homogène ayant un aspect d'un miroir. Ensuite, avec le pied à coulisse, on prend les mesures des plaquettes (longueurs **L**, largeurs **l**, épaisseurs **e**) puis on les pèse avec une balance analytique de précision et on calcule la surface selon la relation suivante:

$$S = 2 \times ((L * l) + (L * e) + (l * e))$$

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions



**Figure 5 :** Les pièces en acier au carbone XC38 avant et après le polissage.

- En outre, Dans des flacons de 50 mL on met différentes concentrations de PVPI allant de 0,25 à 10 mg/L avec des différentes températures (293 à 333 K).
- Les surfaces préparées sont rincées et dégraissées avec l'acétone pour éliminer toutes les traces, puis ils sont lavés avec l'eau distillée, séchées puis immergés une fois dans les flacons de la solution corrosif et une autre fois dans la solution inhibitrice dans une position incliné, après sont mis dans un bain-marie réglé à chaque essai à une température à des temps précis.

A la fin de chaque test les pièces testées sont rincées avec de l'eau distillée et séchées ensuite, les pièces sont pesées.



**Figure 6 :** Balance analytique

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

### Les observations :

- ❖ Aux cours des expériences on observe :
- Dégagement de gaz comme le montre la figure 7
- Formation d'une couche noir sur la surface du métal comme le montre la figure 7.



**Figure 07 :** Le dégagement de gaz et la formation de la couche noire dans la solution d'HCl 1 M à 303 K après 2 h.

### 3-2- Étude de l'effet d'inhibiteur du PVPI sur la corrosion d'acier XC38 dans HCl 1M

Nous avons mis les pièces en acier dans les solutions HCl 1 M, sans et en présence des concentrations différentes de PVPI à différentes températures allant de 298 à 333 K. La température est parmi les facteurs qui peuvent modifier le comportement d'un matériau dans un milieu corrosif, l'influence de la température sur l'efficacité des inhibiteurs, spécialement en milieu acide, à température croissante, peu de molécules conservent leur pouvoir inhibiteur [29].

#### 3-2-1 Influence de la concentration

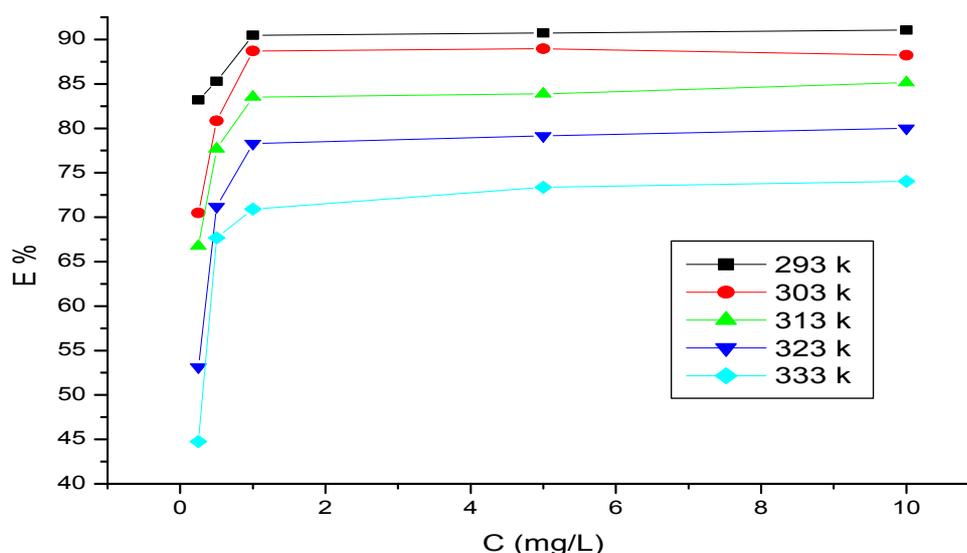
Le Tableau 5 résume les valeurs de l'efficacité inhibitrice obtenues par gravimétrie à différentes concentrations en PVPI dans HCl 1 M. La figure 8 montre que ce matériau inhibe la corrosion de l'acier dans le milieu considéré et que l'efficacité inhibitrice

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

augmente avec la concentration en inhibiteur pour atteindre une valeur maximale égale à 91,01% à 10 ppm et à 293 K.

**Tableau5:** L'efficacité inhibitrice du PVPI à différentes concentrations à différentes valeurs de température.

Concentration (mg/L)	Température (K)				
	293	303	313	323	333
<b>0,25</b>	83,21	70,49	66,75	53,15	44,76
<b>0,5</b>	85,30	80,84	77,69	71,19	67,68
<b>1</b>	90,47	88,72	83,53	78,29	70,91
<b>5</b>	90,73	88,97	83,88	79,16	73,37
<b>10</b>	91,05	88,22	85,15	80,02	74,05



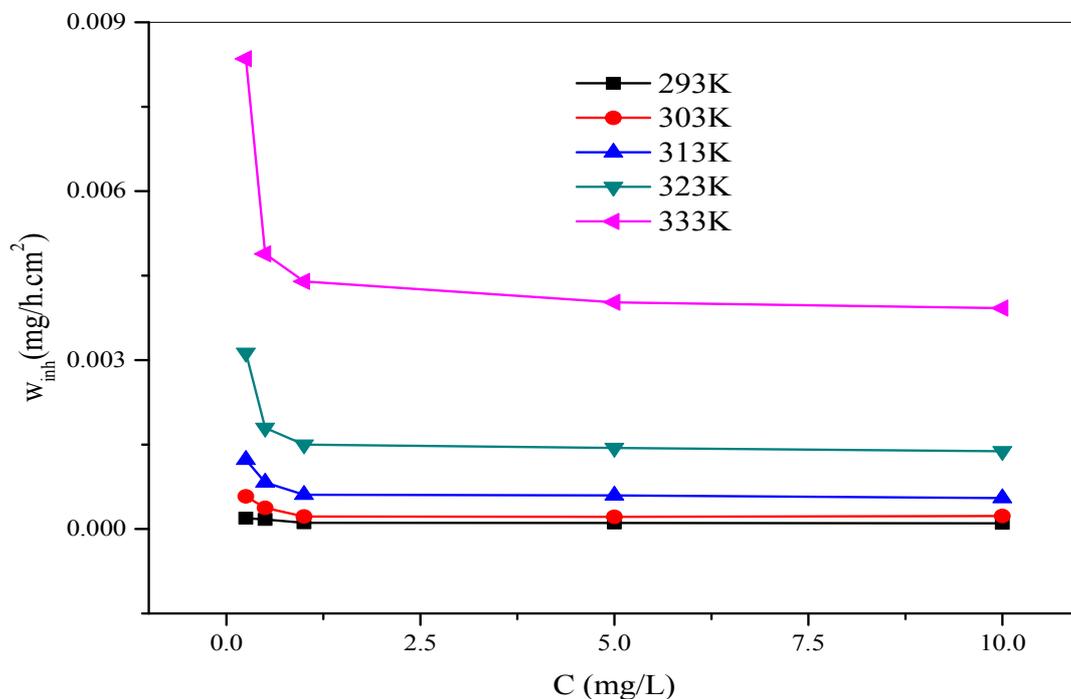
**Figure 08 :** Variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de différentes concentrations en PVPI.

Les résultats de la figure 8 montre que la concentration d'inhibiteur a un effet important sur le pouvoir inhibiteur car les taux d'inhibitions augmentent en parallèle avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur et atteint a **91,05%**. On remarque que l'efficacité inhibitrice de

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

PVPI diminue à 44,76 % pour les petites valeurs de concentration de l'inhibiteur PVPI. On peut dire que la concentration de 1 mg/L est la concentration optimale car l'efficacité inhibitrice dans cette concentration est dépassée 90%. L'augmentation de l'efficacité inhibitrice de PVPI avec la concentration de PVPI résulte de l'interaction entre les molécules d'inhibiteurs et la surface du métal, les molécules d'inhibiteur s'adsorbant sur la surface de métal et forment une couche protectrice contre la corrosion [12].

- La variation de la vitesse d'inhibition en fonction de la concentration de l'inhibiteur PVPI est représentée sur la figure 09.



**Figure 09** : Variation de la vitesse d'inhibition en fonction de la concentration de l'inhibiteur PVPI.

Selon la figure 09, on constate une diminution de la vitesse de corrosion cela est probablement due à l'adsorption de ces composés à la surface métallique et la réaction de réduction de l'acide chlorhydrique sera donc freinée. La vitesse d'inhibition de PVPI augmente pour les grandes valeurs de températures et concentrations.

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

On peut classer le PVPI comme un bon inhibiteur anticorrosion, car il répond aux exigences la National Association of Corrosion Engineers (NACE). Un inhibiteur est une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement à faible concentration [30], car la concentration du PVPI de 1 mg /L est compensée par une efficacité supérieure à 90%.

### 3-2-2 Influence du temps d'immersion

Afin de déterminer le temps d'immersion optimal, nous avons effectué des mesures gravimétriques de l'acier en milieu HCl 1M pour une seule concentration de 5 mg/L en PVPI à différents temps d'immersion varie entre 0,5 h à 24 h sous une température de 303 K.

Le tableau 06 englobe la variation d'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur PVPI, la perte de masse, la vitesse de corrosion et d'inhibition en fonction du temps d'immersion.

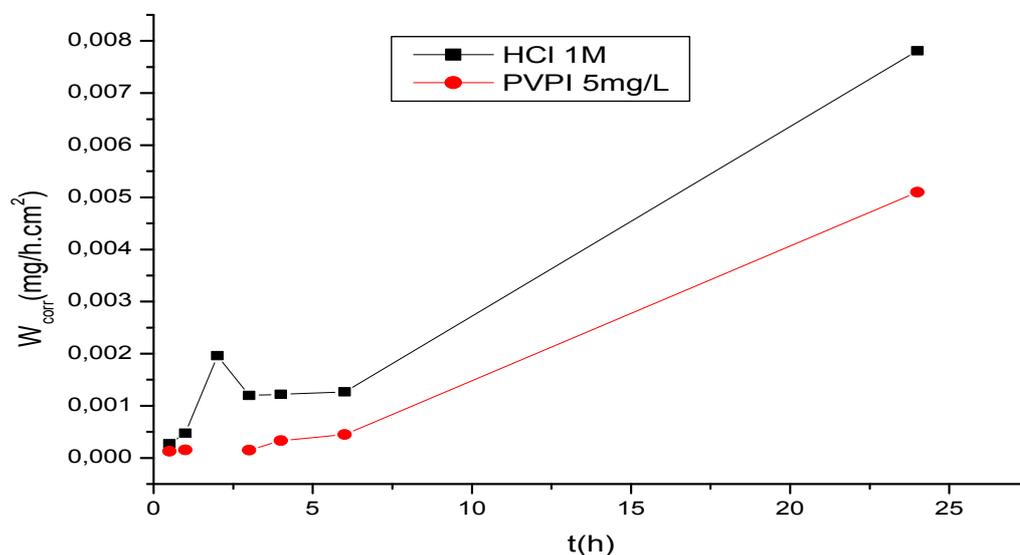
**Tableau 06** : La variation d'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur PVPI, la perte de masse, la vitesse de corrosion et d'inhibition en fonction du temps d'immersion.

t(h)	$W_{corr}(mg/h.cm^2)$	$\Delta m/S (mg/cm^2)$	$W_{inh} (mg/h.cm^2)$	$\Delta m/S (mg/cm^2)$	E %
0,5	$2,69271.10^{-4}$	$1,34636.10^{-4}$	$1,28841.10^{-4}$	$6,44205.10^{-5}$	52,15
1	$4,75205.10^{-4}$	$4,75205.10^{-4}$	$1,53736.10^{-4}$	$1,53736.10^{-4}$	67,65
2	0,00196	0,00392	$2,16188.10^{-4}$	$4,32376.10^{-4}$	88,97
3	0,0012	0,0036	$1,50178.10^{-4}$	$4,50534.10^{-4}$	87,49
4	0,00122	0,00488	$3,32719.10^{-4}$	0,00133	72,74
6	0,00127	0,00762	$4,48672.10^{-4}$	0,00269	64,65
24	0,00781	0,18733	0,0051	0,12234	34,69

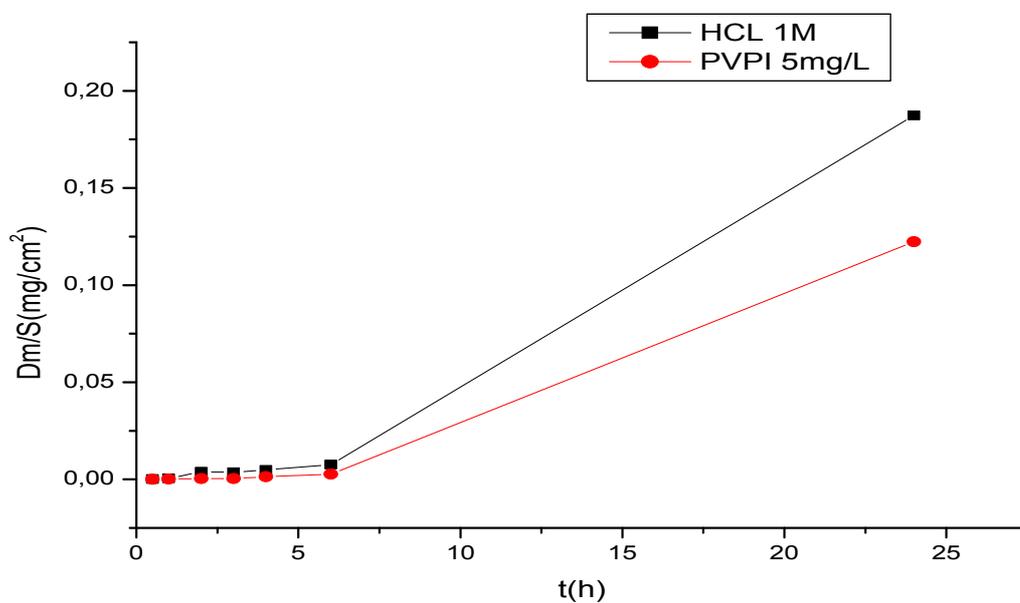
Les résultats du tableau 6 montrent que le temps d'immersion a un effet très important sur l'efficacité inhibitrice de PVPI car on observe que l'efficacité inhibitrice de PVPI augmente avec le temps d'immersion jusqu'à 2h d'immersion puis elle diminue à 34,69 % à 24h d'immersion. On note que la vitesse corrosion de l'acier XC38 et la vitesse d'inhibition de PVPI augmentent avec le temps d'immersion.

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

Les résultats de vitesse de corrosion, perte de masse et de l'efficacité inhibitrice en fonction du temps d'immersion sont présentés sur les figures 10, 11 et 12.

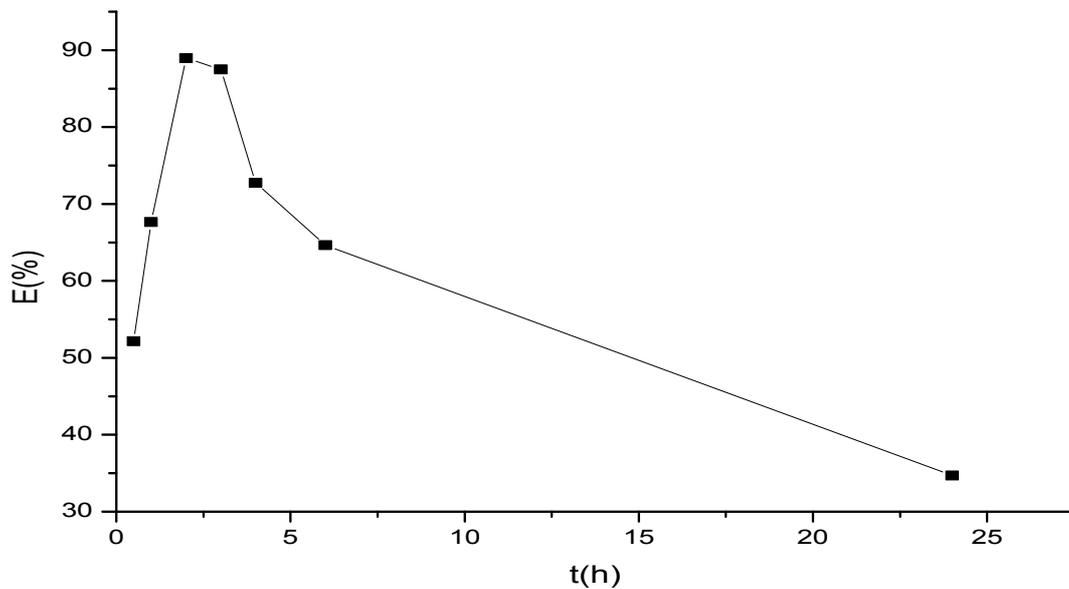


**Figure 10 :** La variation de la vitesse de corrosion de l'acier XC38 en présence et en absence d'inhibiteur PVPI en fonction de temps d'immersion t(h).



**Figure 11 :** La variation de perte de masse de l'acier XC38 en présence et en absence d'inhibiteur PVPI en fonction de temps d'immersion.

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions



**Figure 12:** La variation de l'efficacité inhibitrice de PVPI en fonction de temps d'immersion

La figure 10 montre que la vitesse de corrosion diminue en présence d'inhibiteur PVPI. Ce qui montre que l'inhibiteur a un effet protecteur contre la corrosion.

La figure 11 montre qu'il y a une perte de masse importante avec le temps dans le cas de solution acide seul tandis qu'elle est très faible dans la solution inhibitrice de PVPI. Ce qui montre l'effet d'inhibiteur PVPI et le recouvrement de l'acier XC38 et sa protection contre la corrosion.

La figure 12 montre que l'efficacité inhibitrice d'inhibiteur PVPI augmente de 52,15 % pendant 0,5h à 87,49 % pendant deux heures et reste constante jusqu'à 4h, puis le taux d'inhibition diminue jusqu'à 34,69 % en 24h.

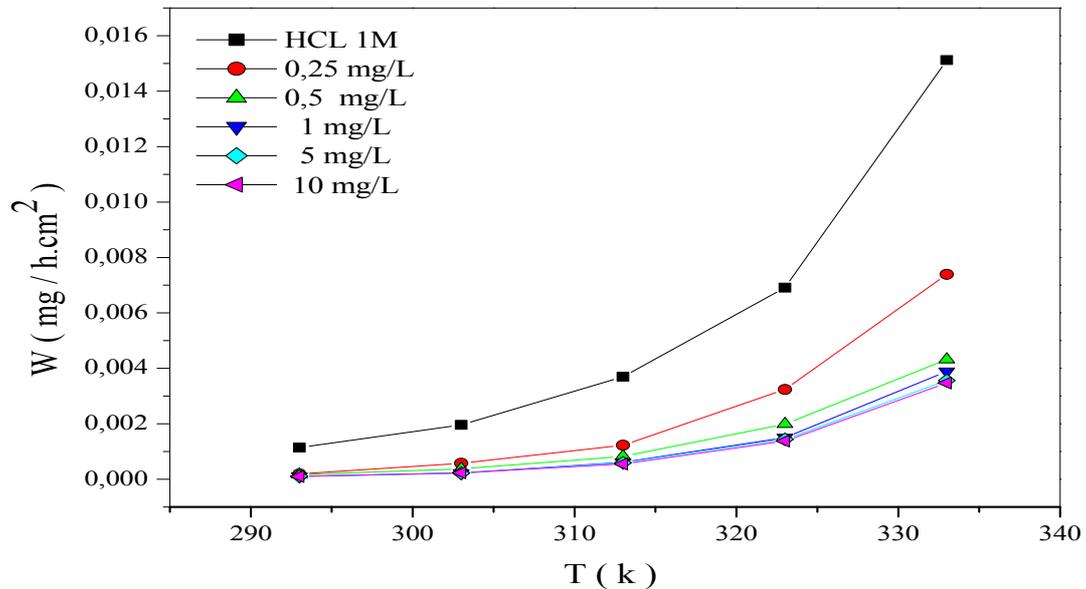
La diminution de l'inhibition, après 3h d'immersion peut être attribuée à l'épuisement des molécules inhibitrices disponibles dans la solution en raison de la formation de couche entre le métal et l'inhibiteur [31].

### 3-2-3 Influence de la température.

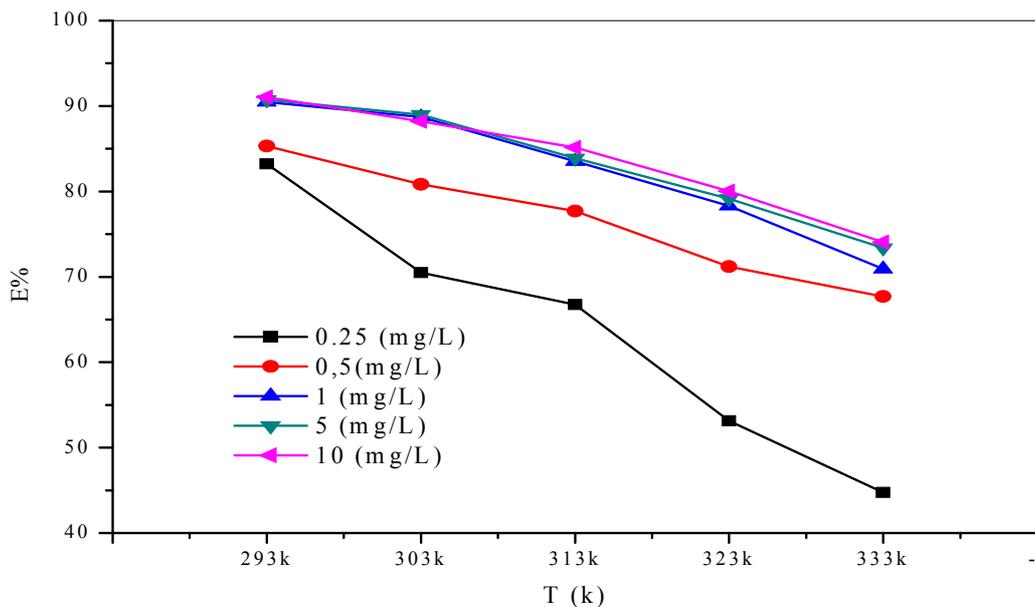
La température est l'un des facteurs susceptibles de modifier le comportement d'un matériau dans un milieu corrosif. Elle peut modifier l'interaction métal-inhibiteur dans un milieu donné. Ce paramètre peut nous montrer aussi le type d'adsorption de l'inhibiteur sur la surface métallique (chimisorption ou physisorption).

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

Pour étudier l'effet de température, on a effectué des essais de perte de masse d'acier au carbone dans la solution de HCl 1M sans et avec l'ajout d'inhibiteur à différentes concentrations en fonction de la variation de température de 293 K jusqu'à 333 K pendant 2 h d'immersion.



**Figure 13 :** Variation de la vitesse de corrosion de l'acier XC38 en fonction de la température.



**Figure 14 :** Variation de l'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur PVPI en fonction de la température.

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

La figure 13 montre que la vitesse de corrosion dans la solution acide seul (HCl) augmente avec l'augmentation de la température et atteint une vitesse de  $0,015 \text{ mg/h.cm}^2$ .

Au contraire le courant de la corrosion dans le cas de solution inhibiteur PVPI (lors de l'élévation de la température) est nettement très faible par rapport au cas d'acide seul, on remarque que  $1 \text{ mg/L}$  d'inhibiteur PVPI est suffisante pour inhiber l'acier XC 38 et pour ralentir considérablement la vitesse de corrosion.

La figure 14 montre que l'inhibiteur PVPI a un très grand effet sur l'inhibition de l'acier XC38. La variation de l'efficacité inhibitrice de PVPI diminue légèrement avec l'augmentation de la température en comparaison avec une autre étude précédente et ils ont utilisé l'iodure de potassium comme inhibiteur de la corrosion [32]. L'effet de la température peut influencer et modifier l'efficacité inhibitrice de PVPI, car il y a une diminution appréciable de l'efficacité qui montre qu'on a une adsorption des molécules à la surface métallique et une désorption des molécules de l'inhibiteur avec l'augmentation de la température, les deux processus inverses sont identiques avec des études précédentes [31].

L'augmentation de la vitesse de corrosion de l'acier XC38 en fonction de la température peut confirmer la dissolution métallique croissante avec l'augmentation de la température [33]. La concentration de l'inhibiteur a un effet important sur la vitesse de corrosion qui agit directement sur l'efficacité inhibitrice. L'efficacité inhibitrice diminue à des très petites valeurs en fonction de l'augmentation de la température. La température accélère les phénomènes de corrosion. Ceci est en accord avec les résultats bibliographiques [34].

### 3-3- Paramètres thermodynamiques d'activation

#### 3-3-1 Les énergies d'activation

En cinétique chimique, la loi d'Arrhenius permet de décrire la variation de la vitesse d'une réaction chimique en fonction de la température.

La vitesse des réactions augmente généralement avec la température.

Nous pouvons donc calculer les énergies d'activation et le facteur pré-exponentiel à partir de la relation d'Arrhenius [35].

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

$$W_{\text{corr}} = A. \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad [36]$$

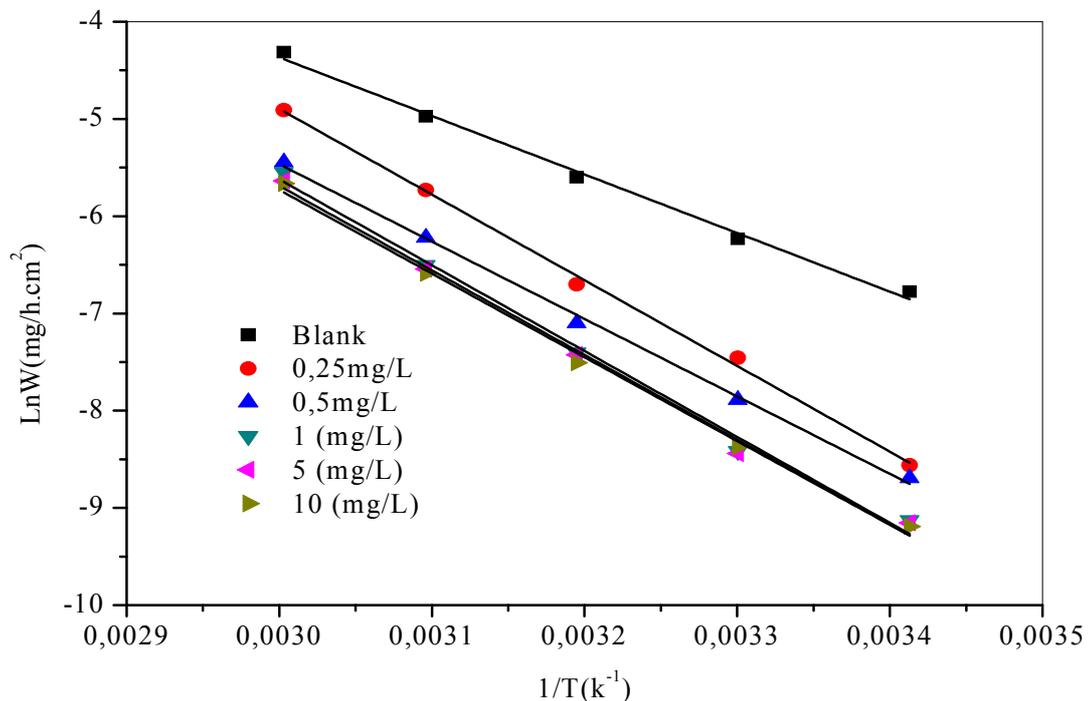
$E_a$  : énergie d'activation en  $\text{kJ.mol}^{-1}$

$R$  : constante des gaz parfaits ( $8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$T$  : température absolue (en K)

$A$  : Le facteur pré-exponentiel,

$W_{\text{corr}}$  : vitesse de la corrosion.



**Figure15** : Variation du logarithme de la vitesse de corrosion en fonction de l'inverse de la température absolue.

Selon la figure 15 Les paramètres cinétiques et thermodynamiques du processus de dissolution sont important de comprendre le mécanisme d'inhibition. D'après cette figure, on remarque que les courbes de  $\ln(W)$  en fonction de  $(1/T)$  sont linéaire et suit la loi d'Arrhenius on a  $R^2 = 0,99$  coefficient de corrélation.

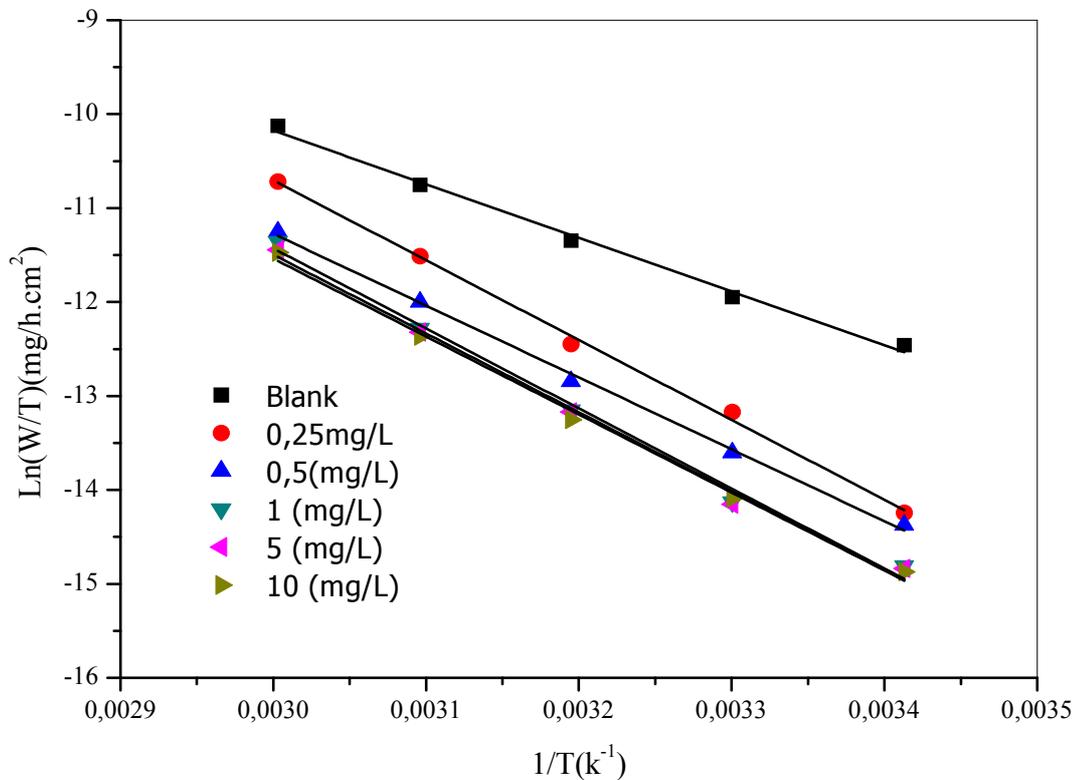
Une formule alternative de l'équation d'Arrhenius permet la détermination de l'enthalpie, l'entropie et l'énergie libre d'activation, et ce selon l'équation suivante [15] :

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

$$W_{\text{corr}} = \frac{RT}{Nh} \exp\left(\frac{\Delta S_a}{R}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H_a}{RT}\right)$$

Où h: Constante de Plank, N: Nombre d'Avogadro,  $\Delta H_a$ : Enthalpie d'activation et  $\Delta S_a$  : Entropie d'activation.

La variation du  $\ln(W/T)$  en fonction de l'inverse de la température est une droite (Figure III.17), avec une pente égale à  $(-\Delta H_a/R)$  et une ordonnée à l'origine égale à  $(\ln R/Nh + \Delta S_a/R)$ . Les valeurs des  $\Delta H_a$ ,  $\Delta S_a$  sont données dans le tableau 07



**Figure 16** : la variation du logarithme de la vitesse de corrosion/Temps  
en fonction de l'inverse de la température absolue

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

**Tableau 07 :** Valeurs de facteur pré-exponentiel et des énergies d'activation de dissolution de l'acier XC38.

T (K)	(R <sup>2</sup> )	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	ΔH <sub>a</sub> (kJ/mol)	E <sub>a</sub> -ΔH (kJ/mol)	ΔS <sub>a</sub> (J/mol K)	ΔG <sub>a</sub> (kJ/mol)
293	0,9973	73,26	70,67	2,5944	-74,52	21,90
303	0,9973	66,18	63,59	2,5944	-100,48	30,51
313	0,9911	73,42	70,82	2,5944	-80,07	25,13
323	0,9928	72,31	69,72	2,5944	-83,95	27,18
333	0,9946	71,59	69,00	2,5944	-86,45	28,85
Blanc	0,9934	50,06	47,47	2,5944	-139,71	42,38

Le tableau 07 rassemble les valeurs de facteur pré-exponentiel et des énergies d'activation de dissolution de l'acier XC38, En 1965, Radovici a proposé une classification des inhibiteurs basée sur la comparaison des énergies d'activation obtenues en l'absence et en présence de l'inhibiteur. Il a distingué [31, 37].

**\*/ E<sub>a inh</sub> > E<sub>a</sub>**

L'inhibiteur s'adsorbant sur la surface du métal par des liaisons électrostatiques faibles et sensibles à la température. Ces types de liaisons ne peuvent pas résister contre la corrosion à des températures élevées.

**\*/ E<sub>a inh</sub> < E<sub>a</sub>**

Dans ce cas l'inhibiteur a le pouvoir de résister à l'augmentation de la température. Les molécules d'inhibiteur s'accrochent à la surface de l'acier par des liaisons fortes (aspect chimisorption), les inhibiteurs de cette catégorie sont très efficaces.

**\*/ E<sub>a inh</sub> = E<sub>a</sub>**

Cette catégorie ne montre pas d'évolution du pouvoir protecteur avec la température. Très peu de composés appartiennent à cette dernière catégorie [37, 38].

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

### Résultats et discussions

- L'énergie d'activation obtenue en présence d'inhibiteur est supérieure à l'énergie d'activation dans le cas de l'acide seul qui égale 50,06 kJ/mol,  $E_{a\text{ inh}} > E_a$ .
- L'augmentation de l'énergie d'activation en présence de l'inhibiteur s'approprie à la physisorption sur la surface de l'acier [39].
- Selon l'équation d'Arrhenius, des valeurs faibles du facteur pré-exponentiel et des valeurs élevées de l'énergie d'activation induisent une diminution du taux de corrosion. La diminution du taux de corrosion de l'acier en présence de l'inhibiteur est régie par la diminution du facteur pré-exponentiel.

### 3-3- 2 L'Enthalpie et l'Entropie d'activation

Les valeurs de l'enthalpie d'activation  $\Delta H_a$  en présence de l'inhibiteur sont supérieures à celle de valeur de la solution acide seul, ceci indique qu'il y a une protection contre la corrosion [31]. Les signes positifs des enthalpies  $\Delta H_a$  montrent la nature endothermique de processus de la dissolution de métal.

On a  $E_a - \Delta H_a = 2,5944 \text{ kJ mol}^{-1}$  qui est proche de valeur  $RT = 2,602 \text{ kJ mol}^{-1}$  ( $T = 313 \text{ K}$ ) montre que le processus de corrosion est une réaction unimoléculaire caractérisé par

$$E_a - \Delta H_a = RT \quad [35]$$

### 3-3-3 Isotherme d'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface dans lequel les adsorbats se fixent sur une surface solide (adsorbant) [40].

L'inhibition de la corrosion des métaux par les inhibiteurs est expliquée par leur adsorption. Cette dernière est décrite par deux principaux types d'adsorption, à savoir, l'adsorption physique (formation de liaisons faibles) et la chimisorption (liaison forte) [15, 41]. Elle dépend de la charge du métal, de sa nature, de la structure chimique du produit organique et du type d'électrolyte. La détermination du type d'isotherme nécessite le calcul du taux de recouvrement ( $\theta$ ).

Le taux de recouvrement  $\theta$ ) est calculé à partir de la relation suivante [22]:

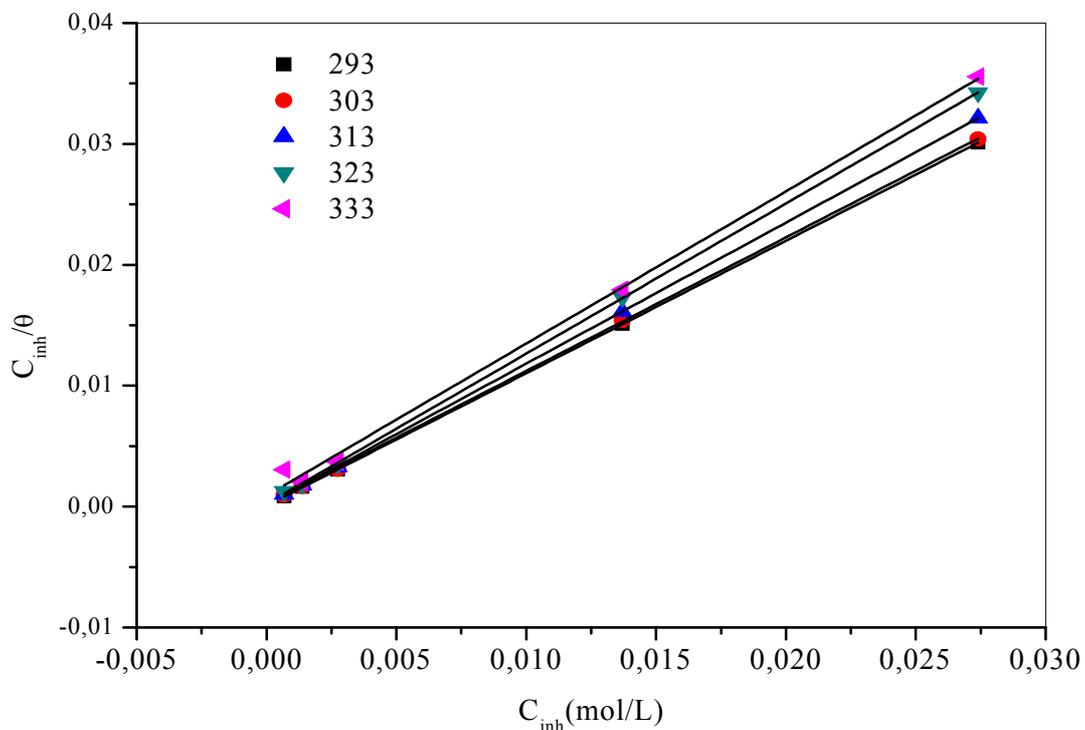
$$\theta = (1 - W_{\text{inh}}/W_{\text{corr}})$$

Où  $W_{\text{corr}}$  et  $W_{\text{corr}}$  sont les vitesses de corrosion en présence et en absence de l'inhibiteur.

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

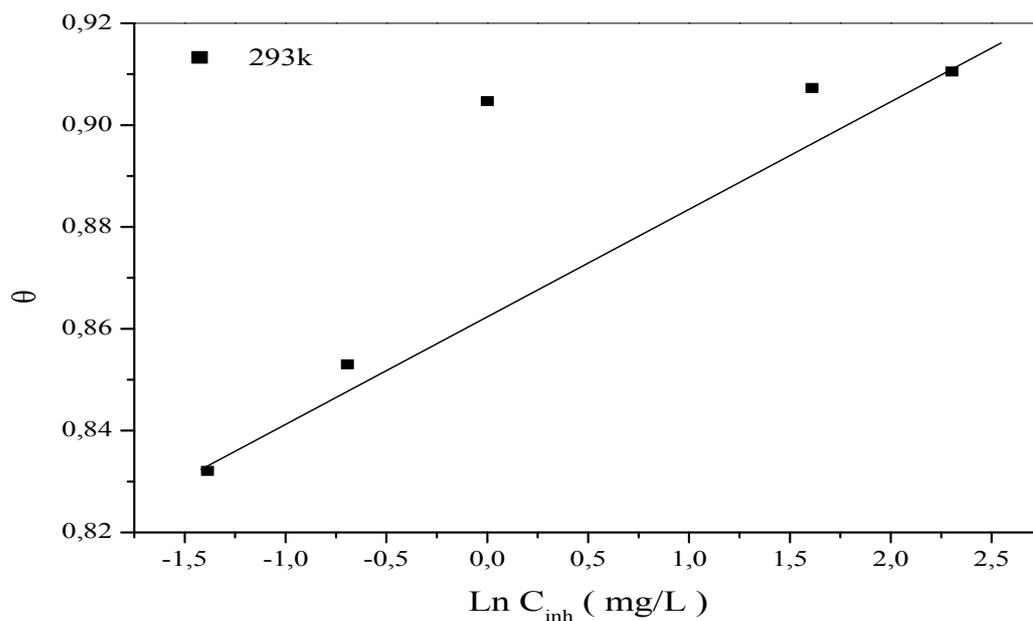
Au cours de cette étude et afin de trouver l'isotherme d'adsorption la plus significative, différents types d'isotherme ont été testés à savoir : Langmuir, Temkin et Frumkin (Figures 17, 18 et 19).

Selon ces isothermes, le taux de recouvrement ( $\theta$ ) est relié à la concentration en inhibiteur  $C_{inh}$ . Les courbes  $C_{inh}/\theta$  en fonction de  $C_{inh}$  sont linéaires aux différentes températures avec un coefficient de corrélation égal à 0,99 (figure 17), cela montre que l'adsorption du PVPI sur la surface de l'acier en milieu chlorhydrique obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir, et ceci pour toutes les températures étudiées contrairement les isothermes de Temkin et Frumkin montrés dans les figures 18 et 19 respectivement.

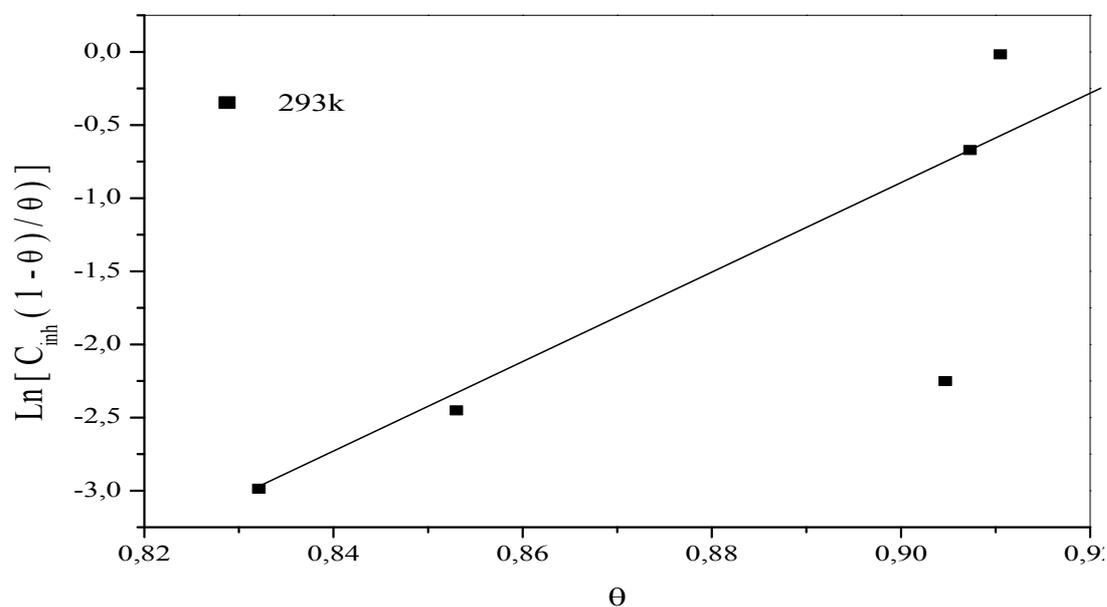


**Figure 17 :** Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier XC38 dans HCl 1M en présence de PVPI à différentes températures.

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions



**Figure 18** : L'isotherme de Temkin de l'acier XC38 dans l'HCl 1M en présence d'inhibiteur PVPI à 293 K.



**Figure 19** : L'isotherme de Frumkin de l'acier XC38 dans l'HCl 1M en présence d'inhibiteur PVPI à 293 K.

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

Les valeurs d'énergie libre d'adsorption sont obtenu à partir de l'équation de Van't Hoff [22]:

$$\Delta G^{\circ}_{\text{ads}} = -RT \ln (55,5 K_{\text{ads}})$$

R : est la constante des gaz parfaits en  $\text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$

T : la température en K.

55,5 : est la concentration de l'eau en solution ( $\text{mol.L}^{-1}$ ).

$K_{\text{ads}}$  : est le coefficient d'adsorption est déterminé par l'anticipation des droites a l'axe  $C_{\text{inh}}/\theta$ .

On peut calculer l'enthalpie standard d'adsorption  $\Delta H^{\circ}_{\text{ads}}$  et l'entropie standard d'adsorption  $\Delta S^{\circ}_{\text{ads}}$  par l'utilisation des deux équations l'équation de Gibbs Helmholtz et l'équation de Van't'Hoff :

$$\Delta G^{\circ}_{\text{ads}} = \Delta H^{\circ}_{\text{ads}} - T\Delta S^{\circ}_{\text{ads}}$$

**Tableau 08** : Paramètres thermodynamiques d'adsorption de l'inhibiteur PVPI dans la solution HCl 1M à différentes températures.

T (K)	R <sup>2</sup>	K <sub>ads</sub> (L/mol)	ΔH <sup>°</sup> <sub>ads</sub> (kJ/mol)	ΔS <sup>°</sup> <sub>ads</sub> (J/mol K)	ΔG <sup>°</sup> <sub>ads</sub> (kJ/mol)
293	0,99999	14044,41124	-43,16	-34,54	-33,04
303	0,99996	5844,8428		-36,96	-31,96
313	0,99998	6429,66906		-31,59	-33,27
323	0,99993	4333,225		-30,62	-33,27
333	0,99701	1108,83185		-37,92	-30,53
ΔG <sub>ads</sub>   > 20 KJ.mol <sup>-1</sup> ⇒ physisorption et chimisorption					

La valeur élevée de la constante d'équilibre  $K_{\text{ads}}$  reflète que la capacité d'adsorption élevée de l'inhibiteur sur la surface de l'acier au carbone [42].

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

La valeur ( $\Delta H^{\circ}_{ads}$ ) donne des informations importantes sur le mécanisme d'adsorption de l'inhibiteur. Un processus endothermique d'adsorption ( $\Delta H^{\circ}_{ads} > 0$ ) est attribué explicitement à la chimisorption. Dans notre cas la valeur de  $\Delta H^{\circ}_{ads}$  est inférieure à zéro ( $-43,16 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), ceci indique que l'inhibiteur étudié est de physisorption à la surface de l'acier. Lorsque les valeurs des énergies libres d'adsorption sont voisines ou inférieures à  $-40 \text{ kJ/mole}$ , ils se forment des liaisons covalentes stables dans ce cas, on a un transfert de charge entre les molécules de l'inhibiteur et la surface de l'acier et montre qu'on a un aspect de chimisorption. Tandis que les valeurs absolues de  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  calculées (tableau 5) sont comprises entre  $-20 \text{ kJ/mol}^{-1}$  et inférieures à  $-40 \text{ kJ mol}^{-1}$ , ceci montre que l'inhibiteur est adsorbé physiquement et chimiquement [42].

La dépendance de  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  à la température, peut être interprétée comme suit :

1/ Si les valeurs de  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  augmentent en fonction de la température (deviennent moins négatifs), alors le processus d'adsorption est exothermique, l'adsorption de l'inhibiteur est influencée par l'augmentation de la température provoquant ainsi sa désorption de la surface de l'acier.

2/ Si les valeurs de  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  diminuent en fonction de la température (deviennent plus négatives), alors le processus d'adsorption est endothermique, l'adsorption de l'inhibiteur est favorisée par l'augmentation de la température.

Le cas (1) est observé pour l'adsorption de l'inhibiteur étudié PVPI à la surface de l'acier dans une solution HCl 1M en fonction de la température, indiquant ainsi que le processus d'adsorption est exothermique.

Les valeurs qui sont voisines ou supérieures à  $-20 \text{ kJ/mol}$  et sont liées à des interactions électrostatiques entre les molécules et les charge du métal (l'acier XC38) dans ce cas on a un aspect de physisorption [20, 29].

Les valeurs de l'énergie libre standard d'adsorption  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  sont négatives  $\approx 30 \text{ kJ/mol}$ , ces valeurs sont montrés que l'adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique sont spontanées [34].

## CHAPITRE II : Partie Expérimentale, résultats et discussions

### Conclusion :

\*/ La Povidone iodée est un bon inhibiteur de corrosion dans le milieu acide HCl 1M. Son efficacité dépasse 90% pour une concentration de 5 mg/L. Ceci indique que le PVPI permet un bon recouvrement dans le milieu chlorhydrique.

\*/ L'adsorption est endothermique et spontanée.

\*/ L'adsorption du PVPI suit l'isotherme de Langmuir.

\*/ Deux aspects d'adsorption pour le PVPI physisorption et chimisorption.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

L'objectif de cette étude est l'évaluation du pouvoir inhibitrice de l'inhibiteur PVPI en milieu HCl 1 M. L'influence de concentration, du temps d'immersion et de la température sur les processus de corrosion en présence et en absence de l'inhibiteur PVPI a été étudié. La méthode gravimétrique a été utilisée.

Les résultats montrent que :

- l'inhibiteur PVPI est un bon inhibiteur et il est compatible avec les exigences de l'association nationale des ingénieurs de corrosion (NACE) car par ajout d'une faible concentration en PVPI de 10 mg/L correspond à une efficacité supérieure de 91,05 % à 293 K.
- L'augmentation de l'efficacité inhibitrice avec la concentration montre qu'il y a une forte interaction d'inhibiteur avec la surface de l'acier. Une couche protectrice se forme qui protège l'acier contre la corrosion.
- L'effet du temps d'immersion a également été réalisé, cette étude effectuée pour une concentration optimale de 10 mg/L de PVPI a permis d'avoir des informations sur la stabilité de la couche inhibitrice formée sur la surface métallique.
- L'augmentation de la température dans l'intervalle de 293 K à 333 K montrent une diminution de l'activité inhibitrice. La température peut contrôler l'effet d'inhibition, mais à haute température un phénomène de désorption a été observé suite à la diminution de l'efficacité inhibitrice.
- L'inhibiteur PVPI est adsorbé à la surface du métal et suit l'isotherme de Langmuir.
- L'adsorption est exothermique.
- L'adsorption suit deux aspects la physisorption et la chimisorption.

*Références  
bibliographiques*

## Références bibliographiques

- [1] M. Smara, C. Zaoui. Étude de l'effet inhibiteur du Thymol sur la corrosion de l'acier en milieu acide chlorhydrique. Approche électrochimique et théorique (DFT), *Université de Djilali Bounaama de Khemis Miliana*, p 1-3 2018.
- [2] A. Popoola, O. Olorunniwo. Corrosion resistance through the application of anti-corrosion coatings. *developments in corrosion protection*, 2014. 2(12): p. 241-270.
- [3] D. Landolt. Corrosion et chimie de surfaces des métaux: *presses polytechniques et universitaires-romandes*, p3,2003.
- [4] T. Attar. Étude gravimétrique de l'inhibition de corrosion du fer pur et de quelques aciers par l'iodure de potassium dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M. Mémoire d'ingénieur d'état en génie des procédés, *Université Abou bekr Belkaid-Tlemcen*, Juin 2006.
- [5] R. Gateau. Comportement vis-à-vis de la corrosion à haute température de métaux (Ti, TA6V) revêtus d'aluminium de titane, *Université de Bourgogne*, p 4, 2010.
- [6] A, Habchi. Etude de l'effet de la température sur la corrosion de l'acier XC52 en présence du sulfarlem et leur sel correspondent dans un milieu h<sub>2</sub>so<sub>4</sub> 20%. *Université Kasdi Merbah Ouargla* p 4. 2013.
- [7] I. Belfilali. Synthèse, caractérisation, tests catalytiques et étude de l'inhibition de la corrosion d'un acier par des composés dérivés de l'histamine en milieu acide chlorhydrique. *Universite AboubekrBelkaid- Tlemcen*, p 126. 2014.
- [8] D. Hron. Contribution à l'étude des phénomènes de Biocorrosion des Matériaux Métalliques, p 45 ; 2004.
- [9] Z, Ahmad. Principles of corrosion engineering and corrosion control. Elsevier science, p 151, 2006.
- [10] M. Bouteldja. Contribution à l'étude de l'utilisation des inhibiteurs dans la lutte contre la corrosion. *Université Kasdi Merbah Ouargla*, p 3-8-28,2016.
- [11] L. Sail, F. Ghomari, A. Khelidj, A. Bezzar, O. Benali. La perte de masse dans l'inhibition de la corrosion d'un acier. *Lebanese Science Journal*, 14(2013) 1.
- [12] O. Bouzekri. Contribution à l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un acier c38 en milieu acide chlorhydrique molaire par deux composés organiques dérivés de pyrazoles-thiazoles. *Université Sidi Mohammed Ben Abdellah*, P 17-18,2016.

## Références bibliographiques

- [13] B. Mezhoud. Synthèse des inhibiteurs contre la corrosion des aciers. *Université Mentouri-Constantine*, p 6-7,2011.
- [14] S. Audisio, G. Béranger. Anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages industriels. *presses polytechniques et universitaires romandes*, p 213. 2010.
- [15] P. Bommersbach. Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous l'influence de la température et des conditions hydrodynamiques. Thèse de doctorat, *L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, villeurbanne*, p 16, 2005.
- [16] H. Zerrouki, H. Miliani. Etude du pouvoir inhibiteur des acides aspartique et glutamique contre la corrosion acide d'un acier doux. P 11 *Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana* 2019.
- [17] M. Hélie. Matériaux métalliques–Phénomènes de corrosion. Cours CEA/IUP Génie des Matériaux. *Université d'Evry*, p 21-17, 2015.
- [18] H. Elbakouri. Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide orthophosphorique par un antibiotique organique. Thèse de doctorat, *Université de Maroc*, p 12. 2000.
- [19] M. Bouarfa. Contribution à l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un acier doux en milieu HCl 1M par des dérivés pyrazolique, *Université Sidi Mohammed Ben Abdellah*, p 17-18, 2016.
- [20] C. Zenasni. Étude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux par des copolymères à base du poly (4-vinylpyridine). *Université Abou-bakrbelkaid –Tlemcen*, p.12 -33, 2013.
- [21] L.A. Al Juhaiman. Polyvinyl-pyrrolidone as a Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in HCl. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 11 (2016) 2247 – 2262.
- [22] G. Henia. Etude gravimétrique de l'inhibition de la corrosion de l'acier A52 en milieu acide par l'huile essentielle de l'artémisia herba p 3, *Université Mohamed Boudiaf - Msila* 2019.
- [23] T. Attar, L. Larabi, Y. Harek. The Inhibition Effect of Potassium Iodide on the Corrosion of Pure Iron in Sulphuric Acid. *Advances in Chemistry* 2014(2014)827514.
- [24] G. Labbé, P. Mahul, J. Morel, R. Jospe, A. Dumont, C. Auboyer. Intoxication à l'iode après irrigations sous-cutanées de povidone iodée Iodine intoxication after subcutaneous

## Références bibliographiques

irrigations of povidoneiodine. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 2002. 58–60.

[25] L. Boucherit. Effet anti corrosif d'une diamine aromatique et de sa base de schiff sur l'acier x52 en milieu HCl 1M. *Université Ferhat Abbas-Setif*. p 11, 2012.

[26] K. Nasri, S. Magraoui. Étude du pouvoir inhibiteur d'un composé organique synthétisé (Quinoxaline) vis-à-vis de la corrosion acide de l'acier. *Université de Djilali Bounaama de Khemis Miliana*, p25, 2017.

[27] F. Jargot, N. Marc, F.Nikolova-pavageau, S.Pillière, O. Robert. *Base de données fiches toxicologiques*, 2019.

[28] A. Mokaddem. Étude de L'effet inhibiteur d'un compose Amide vis-à-vis de la corrosion de l'acier en milieu acide HCl 1M. *Université Abou-bekrBelkaid – Tlemcen*. p 26,2019.

[29]A. Ghaffari. Étude de l'efficacité inhibitrice de tétra(2-hydroxy- 3(méthcryloyloxy)propyl benzène-1,2,4,5-tetracarboxylate (HMBC) vis-à-vis de la corrosion du cuivre en milieu d'acide chlorhydrique HCl 0,5N. *Universite Zianeachour de Djelfa*, p 29, 2015.

[30] M. Boulkroune. Inhibition de la corrosion du zinc en milieu acide. *Université de Constantine 1*, p8, 2014.

[31] W. Boukhedena. Étude de l'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu acide par des composés de type dithioacetal de cetene. *Universite Mentouri -I-Constantine*, p 66 et 126–105, 2018.

[32] T. Attar, L. Larabi, Y. Harek. Corrosion inhibition of cold rolled steel in 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> by potassium iodide. *Der Pharma Chemica*, 2014, 181-186.

[33] T. Attar, L. Larabi, Y. Harek. Inhibition effect of potassium iodide on the corrosion of carbon steel (XC38) in acidic medium. *International Journal of Advanced Chemistry*, 2014, 139-142.

[34] L. Bazzi, R. Salghi, E. Zine, S. El Issami, S. Kertit et B. Hammouti. Inhibition de la corrosion de l'alliage d'aluminium 6063 au moyen de composés inorganiques dans une solution de chlorure de sodium à 3%. *Can. J. Chem*, 2002,106–112.

[35] T. Attar, A.Benchadli, E.Choukchou-Braham. Corrosion inhibition of carbon steel in perchloricacide by potassium iodide. *International Journal of Advanced Chemistry*, 2019, 35-41.

## Références bibliographiques

- [36] I. Ichchou. Étude électrochimique de l'inhibition classique ou par des monocouches auto-assemblées d'un dérivé de la thiourée, vis-à-vis de la corrosion en milieu acide de l'acier au carbone xc38. *Université Abou-bakrbelkaid –Tlemcen*, p55, 2011.
- [37] S. Fouda, A. Attia. Thiophene derivatives as corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid. *Journal of Metallurgy*, p3, 2014. 472040.
- [38] A. Benchadli, T. Attar, E. Choukchou-braham. Inhibition of carbon steel corrosion in perchloric acid solution by povidone iodine. *Physical Chemistry Research*, 7(2019)837-848.
- [39] A.D. Mcnaught, A. Wilkinson. Blackwell Adsorption" iupac.compendium of chemical terminology, 2nd ed. (the "gold book"). *Scientific publications, oxford* (1997).
- [40] E.A. Noor, A.H. Al-Moubaraki. Thermodynamic study of metal corrosion and inhibitor adsorption processes in mild steel/1-methyl-4[4(-X)-styrylpyridinium iodides/hydrochloric acid systems *Materials Chemistry and Physics*, 2008, 145–154.
- [41] T. Attar, A. Benchadli, A. Messaoudi, N. Benhadria, E. Choukchou-braham, Experimental and theoretical studies of eosin y dye as corrosion inhibitors for carbon steel in perchloric acid solution. *Bulletin of chemical reaction engineering & catalysis*, 15 (2020) 454-464.
- [42] A.Y. Musa, A. A.H. Kadhum, A.Mohamad, A.Daud. A comparative study of the corrosion inhibition of mild steel in sulphuric acid by 4,4-dimethyloxazolidine-2-thione. *Corrosion Science*, 2009, 2393–2399.