

## POUVOIR INHIBITEUR DE LA CORROSION AQUEUSE PAR QUELQUES AMINES FERROCENIQUES

Oumelkheir RAHIM<sup>1</sup>, Khaoula CHAOUICHE<sup>1</sup> et Touhami LANEZ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Chimie Analytique, Faculté des Sciences et de la Technologie et des Sciences de la Matière  
Université Kasdi Merbah Ouargla. Ouargla 30000, Algérie

<sup>2</sup>Université d'El-Oued, VTRS Laboratory, B.P.789, 39000, El-Oued, Algeria

\*E-mail : [touhami-lanez@univ-eloued.dz](mailto:touhami-lanez@univ-eloued.dz)

**ملخص:** قمنا في هذا العمل بدراسة فعالية تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني X70 في محلول H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M وذلك باستعمال مركبات فيروسينية صنعت على مستوى مخبر VPRS وهي : 2-(فيرو سينيل ميثيل امينو) بنزو نتريل (Fc22) و 3-(فيرو سينيل ميثيل امينو) بنزو نتريل (Fc23) و 4-(فيرو سينيل ميثيل امينو) بنزو نتريل (Fc24). تم تحديد القدرة التثبيطية لهذه المركبات باستعمال الطريقة الالكتروكيميائية بواسطة منحنيات الاستقرار لتأجيل. أظهرت مجموع النتائج المتحصل عليها أن للمركبات المدروسة نسبة تثبيطية متفاوتة و أن إمتزاز هذه المثبطات على سطح المعدن يخضع لإزوتيرم الإمتزاز لللانغمير. أبدى المركب Fc24 في المحلول 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> أحسن قدرة تثبيطية عند التركيز 20 ppm (R=75.48%).

**كلمات دالة :** تثبيط التآكل، الفولاذ الكربوني X70 ، المشتقات الفيروسينية، إيزوتيرم الإمتزاز.

**RÉSUMÉ:** Dans ce travail, nous avons étudié l'efficacité de l'inhibition de corrosion de l'acier carboné X70 dans une solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M en utilisant des composés ferrocéniques préparés au laboratoire de VPRS. Ces composés sont : 2-(ferrocényl methyl) aminobenzonitrile (Fc22), 3-(ferrocényl methyl) aminobenzonitrile (Fc23) et 4-(ferrocényl methyl) aminobenzonitrile (Fc24). Le pouvoir inhibiteur de ces composés a été déterminé par la méthode électrochimique (extrapolations des droites de Tafel). L'ensemble des résultats montre que les composés étudiés ont des pourcentages d'inhibition variés et l'adsorption de ces composés à la surface du métal se fait selon le modèle d'adsorption de l'isotherme de Langmuir. Dans le milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M. Le composé Fc24 a présenté le meilleur pouvoir d'inhibition à une concentration de 20ppm (R=75.48%).

**MOTS-CLÉS :** Inhibition du Corrosion, Acier carboné X70, Dérivés ferrocéniques, Isothermes d'adsorption.

**ABSTRACT:** In this work, we studied the efficacy of corrosion inhibition of carbon steel X70 in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>0.5M solution using ferrocenyl compounds prepared in VPRS laboratory. These compounds are 2- (ferrocenyl methyl) aminobenzonitrile (Fc22), 3-(ferrocenyl methyl) aminobenzonitrile (Fc23) et 4-(ferrocenyl methyl) amino benzonitrile (Fc24). The inhibitory potency of these compounds was determined by the electrochemical method (extrapolation of Tafel lines). The overall results show that the compounds studied have varying percentages of inhibition and the adsorption of the inhibitor on the surface of the metal is made according to the model adsorption by the isotherm of Langmuir. In H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M, the compound Fc24 had the best ability to inhibit at a concentration of 20ppm (R = 75.48%).

**KEY WORDS:** inhibition of corrosion, carbon steel X70, ferrocene derivatives, adsorption isotherms.

### 1. Introduction générale

La corrosion touche toutes les réalisations de l'ingénieur, des plus grandes aux plus petites : production d'énergie [1], génie civile [2], transport, machines, matériaux médicaux [3], composants micro-électroniques, etc. Dans les pays industrialisés les couts économiques de corrosion représentent trois à quatre pour cent du produit national brut. La corrosion n'est pas seulement une source de gaspillage de matières premières et d'énergie, elle peut en plus provoquer des accidents aux conséquences graves et, dans certains cas, contribuer à la pollution de l'environnement naturel [4]. Pour procéder à l'inhibition de la corrosion la science a développé plusieurs méthodes de protection telles que : la protection par revêtement [5], la protection électrochimique [6, 7] et la protection par les inhibiteurs [8 - 10].

Nous avons proposé cette recherche qui représente l'étude de l'efficacité inhibitrice de corrosion de l'acier carboné X70 dans une solution  $H_2SO_4$  0.5M, en utilisant des composés ferrocéniques 2, 3 et 4-(ferrocénylméthyl) aminobenzonitrile. L'étude a été faite par une méthode électrochimique.

## 2. L'expérimental

### 2.1. Instrumentation et techniques

Ce travail a été réalisé à l'aide d'un dispositif expérimental constitué par un Potentiostat-Galvanostat (marque TACUSSEL, type PGP 201), un micro-ordinateur avec une interface adéquate piloté par le logiciel « Volta Master de Radiomètre analytical ».

Les expériences électrochimiques sont effectuées dans une cellule en verre pyrex de forme cylindrique, d'une capacité de 500ml, munie de cinq rodages coniques permettant l'introduction des électrodes. Après plusieurs essais et d'après des études antérieures<sup>[5] [6]</sup> nous avons choisi une vitesse de 30 mV/min. Le tracé des courbes de polarisation a été effectué dans un domaine de potentiel de -800 mV/ECS jusqu'à -200 mV/ECS.

### 2.2. Électrodes, électrolytes et additifs

Électrode de référence : Une électrode au calomel saturée en chlorure de potassium(KCl).

Électrode auxiliaire : Une plaque de platine polie de  $1\text{cm}^2$  de surface.

Électrode de travail : Un échantillon d'acier X70 de la composition chimique mentionnée dans le tableau (1) a été utilisé pour préparer l'électrode de travail.

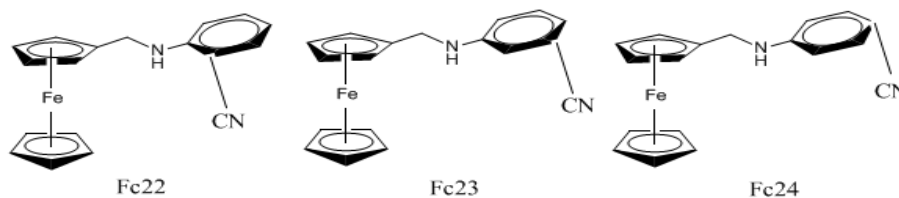
**Tableau 1 : La composition chimique de l'acier X70**

Élément	C	P	S	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	V	Ti	Mo	Fe
Valeur $\%(\times 10^{-3})$	65	2	1	245	1685	42	26	10	42	67	14	19	5	Reste

Ce matériau (X70) est largement utilisé dans l'industrie du pétrole et du gaz. Nous utilisons l'acier sous forme cylindrique de surface active  $1\text{cm}^2$ , un prétraitement indispensable doit être fait avant chaque expérience électrochimique sur la surface de travail de l'électrode. L'électrode est introduite dans un porte échantillon, L'étanchéité est assurée par un joint de téflon qui délimite une surface active de  $1\text{cm}^2$ . Les produits utilisés sont :

Le milieu corrosif : Acide sulfurique 0.5M, préparé à partir d'acide concentré et l'eau distillée

Les inhibiteurs : Sont les composés suivants : Fc22, Fc23 et Fc24 (figure 1).



**Figure 1 : Les composés utilisés**

Les principaux caractères des composés utilisés sont :

<p><b>Fc22</b></p> <p>2-cyanophenylferrocènylméthylamine</p> $C_{18}H_{16}N_2Fe$ $C_5H_5FeC_5H_4CH_2NH(2-C_6H_4CN)$ <p>M=315.847g/mol m=4.68g, R=95.5%</p> <p>Recristallisation, Éthanol 95%-eau (2/1)</p> <p>Pastilles jaune bouton d'or</p> <p>Point de fusion=128°C</p>	<p><b>Fc23</b></p> <p>3-cyanophenylferrocènylméthylamine</p> $C_{18}H_{16}N_2Fe$ $C_5H_5FeC_5H_4CH_2NH(3-C_6H_4CN)$ <p>M=315.847g/mol R=57%</p> <p>Recristallisation (Acétone)</p> <p>Cristaux citrouilles orangé (héraldique)</p> <p>Point de fusion=171°C</p>
<p><b>Fc24</b></p> <p>4-cyanophenylferrocènylméthylamine</p> $C_{18}H_{16}N_2Fe$ $C_5H_5FeC_5H_4CH_2NH(4-C_6H_4CN)$ <p>M=315.847g/mol m=4.54g, R=92.7%</p> <p>Recristallisation, (Éthanol 95%-eau, acétone) (1.1.1)</p>	

### 3. Résultats expérimentaux et discussions :

Au début de l'étude électrochimique effectuée, il faut établir la courbe de stabilisation de l'acier X70 dans le milieu corrosif  $H_2SO_4$  0.5M et la courbe de polarisation de l'acier X70. Après plusieurs essais, nous avons obtenu la courbe  $i=f(E)$  (Figure 2).

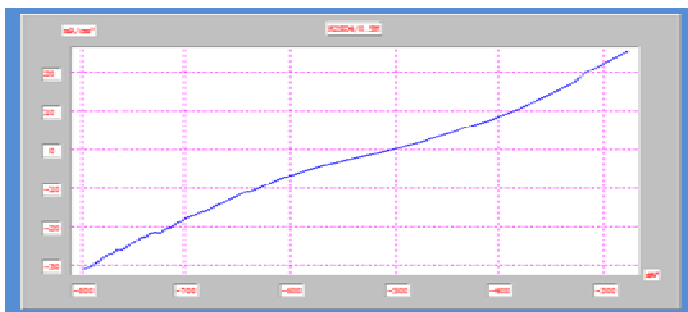


Figure (2) : La courbe de polarisation de l'acier X70 dans une solution de  $H_2SO_4$  0.5M

Les composés étudiés sont peu solubles dans les solutions acides. Afin de surmonter cette difficulté, nous les avons dissolus dans des petites quantités de méthanol ; Fc22 dans 5%, Fc24 dans 11% et Fc23 dans 12%.

Les valeurs électrochimiques les plus importantes extraites à partir des deux courbes de polarisation anodique et cathodique et les droites de Tafel de l'acier X70 dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M sans méthanol et à différentes concentrations de méthanol sont présentées sur le tableau (3).

**Tableau (3) : Les valeurs électrochimiques les plus importantes de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M à différents pourcentages en méthanol (5, 11 et 12%)**

	R <sub>p</sub> (ohm.cm <sup>2</sup> )	IE% (R <sub>p</sub> )	E <sub>corr</sub> (mV)	i <sub>corr</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	IE% (i <sub>corr</sub> )	V <sub>corr</sub> (mm/an)	R%	β <sub>a</sub> (mV)	β <sub>c</sub> (mV)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.5M(s)	14.92	-	-500.4	0.7781	-	9.101	-	68.4	-77.6
(s)5%MeOH	23.14	35.52	-491.6	0.4513	42	5.278	42	49.2	-82.7
(s)11%MeOH	31.3	52.33	-497	0.3462	55.50	4.049	55.51	53.3	-79.3
(s)12%MeOH	18.31	18.51	-507.7	0.5166	33.60	6.042	33.61	52.9	-57.5

(s) : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>0.5M

- ✓ Les valeurs de R<sub>p</sub>, E<sub>corr</sub>, V<sub>corr</sub>, β<sub>a</sub> et β<sub>c</sub> sont extraites a partir des courbes de Tafel.
- ✓ Les valeurs de IE% (R<sub>p</sub>), IE% (i<sub>corr</sub>) et R% sont calculées a partir des équations suivantes :

$$R \% = \left[ 1 - \left( \frac{V_{corr}}{V_{corr}^0} \right) \right] \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$IE \% (i_{corr}) = \left[ 1 - \left( \frac{i_{corr}}{i_{corr}^0} \right) \right] \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

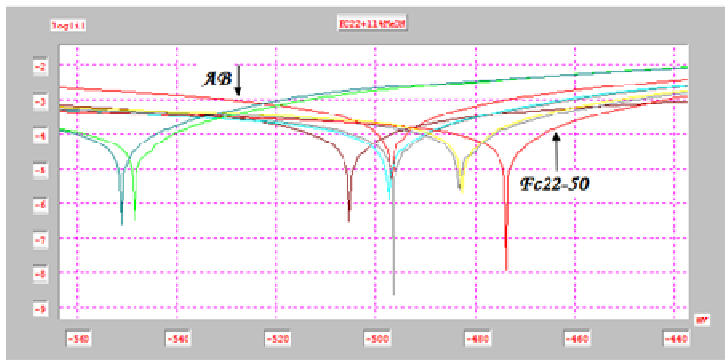
$$IE \% (R_p) = \left[ 1 - \left( \frac{R_p^0}{R_p} \right) \right] \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

- i<sub>corr</sub> et i<sub>corr</sub><sup>0</sup> sont les densités du courant de corrosion respectivement dans la présence et l'absence de l'inhibiteur.
- V<sub>corr</sub> et V<sub>corr</sub><sup>0</sup> sont les vitesses de la corrosion respectivement dans la présence et l'absence de l'inhibiteur.
- R<sub>p</sub> et R<sub>p</sub><sup>0</sup> sont les résistances de polarisation respectivement dans la présence et l'absence de l'inhibiteur [11].

D'après les courbes obtenues et les valeurs qu'on a illustré dans le tableau 3 ; le méthanol inhibe les sites cathodiques à des concentrations bien précises (s) : (s)5%MeOH et (s)11%MeOH et les sites anodiques à la concentration (s)12%MeOH.

**3.1.1. Étude du pouvoir inhibiteur de Fc22**

En étudiant l'effet inhibiteur de Fc22 dans des concentrations allant de 10 à 80ppm. Nous avons obtenu les courbes suivantes (figure 3) :

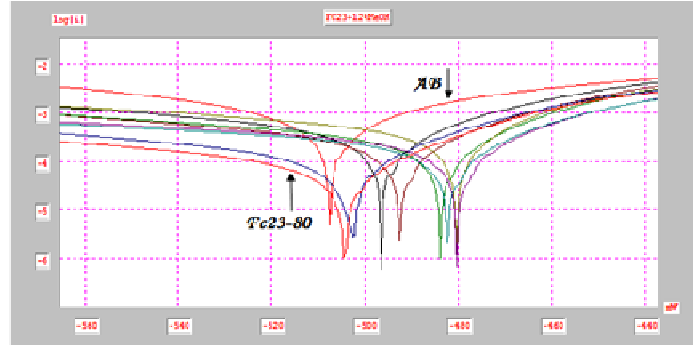


**Figure (3) : Superposition des courbes de polarisation à différentes concentrations de Fc22 dans une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M**

D'après les courbes, on observe que le composé Fc22 inhibe les sites cathodiques à des concentrations bien précises et les sites anodiques à d'autres concentrations.

### 3.1.2. Étude du pouvoir inhibiteur de Fc23

En étudiant l'effet inhibiteur de Fc23 avec des concentrations de 10 à 80 ppm et on a obtenu les courbes (figure 4) :

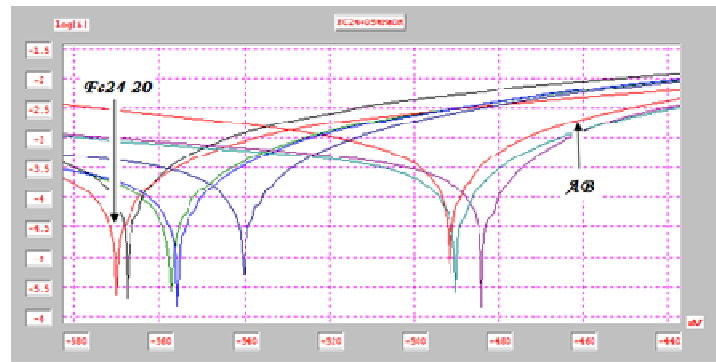


**Figure (4) : Superposition des courbes de polarisation à différentes concentrations de Fc23 dans une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M**

D'après les courbes, le déplacement anodique des courbes montre que Fc23 est déposé sur les sites anodiques de la surface de métal et en l'inhibant ; le composé Fc23 se comporte comme un inhibiteur anodique.

### 3.1.3. Étude du pouvoir inhibiteur de Fc24

En étudiant l'effet inhibiteur de Fc24 avec des concentrations allant de 10 à 80ppm, nous avons obtenu les courbes (figure 5) :



**Figure (5) : Superposition des courbes de polarisation à différentes concentrations de Fc24 dans une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M**

D'après les courbes, le composé Fc24 inhibe les sites cathodiques à des concentrations bien précises et les sites anodiques à d'autres concentrations.

### 3.2. Comparaison entre les composés

Pour simplifier la comparaison entre les composés, nous traçons la variation de rendement

(R) en fonction des concentrations des composés (Figure 6).

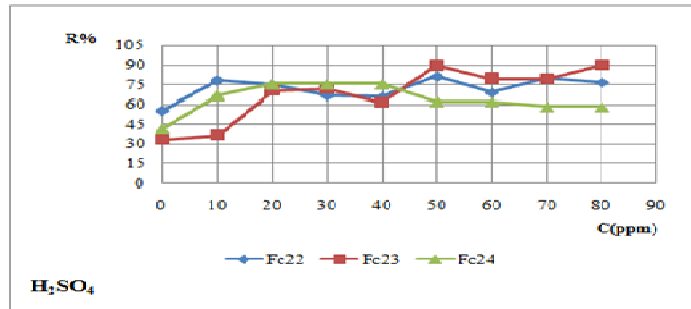


Figure (6) : Variation de rendement (R) en fonction des concentrations de Fc22, Fc23 et Fc24 dans une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M

En comparant l'effet inhibiteur des composés Fc22, Fc23 et Fc24, on remarque que Fc23 a le meilleur pouvoir inhibiteur (89.57% à 80ppm), mais comme valeur économique de l'inhibiteur on peut choisir le composé Fc24 (75.48% à 20ppm) comme un bon inhibiteur.

### 3.2. Potentiels de corrosion (E<sub>corr</sub>)

L'effet de la concentration des composés sur les valeurs de E<sub>corr</sub> obtenues dans la solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M est présenté sur la figure(7).

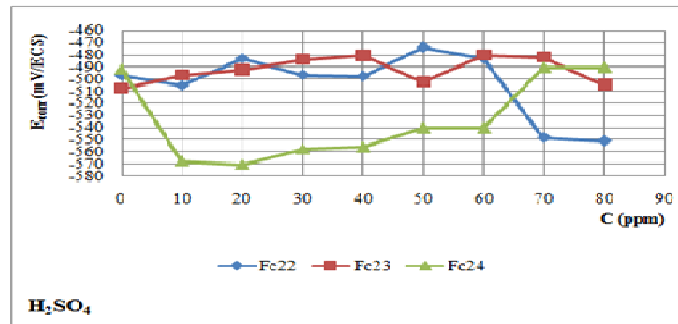


Figure (7) : Variation de E<sub>corr</sub> en fonction des concentrations de Fc22, Fc23 et Fc24 dans une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M

La figure (7) montre que :

- **Fc22** : Le transfert positif de E<sub>corr</sub> indique que Fc22 est adsorbé sur les sites anodiques de la surface de l'acier à des concentrations (20,50ppm) mais adsorber sur les sites cathodiques à des concentrations par exemple (10, 70...ppm).
- **Fc23** : Le transfert positif de E<sub>corr</sub> indique que Fc23 est principalement adsorbé sur les sites anodiques de la surface de l'acier.
- **Fc24** : Le transfert positif de E<sub>corr</sub> indique que Fc24 est adsorbé sur les sites anodiques à des concentrations supérieur de 60ppm, mais adsorber sur les sites cathodiques à des concentrations inférieur de 60ppm.

### 3.3. L'efficacité d'inhibition (IE% (Rp))

Les valeurs de IE% (Rp) des composés du ferrocène sont calculées à partir de l'équation (3). La figure (8) montre la variation d'IE (Rp) en fonction des concentrations des composés dans la solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M.

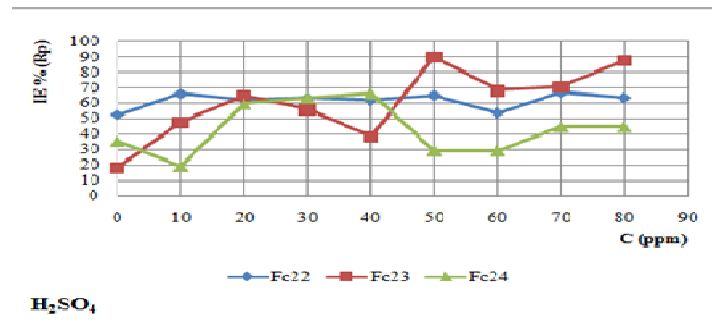


Figure (8) : Variation de IE%(Rp) en fonction des concentrations de Fc22, Fc23 et Fc24 dans une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M

Dans la solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M les valeurs de IE%(Rp) montrent que :

- **Fc22** : est un bon inhibiteur (IE = 66.84%) à 70 ppm.
- **Fc23** : est un bon inhibiteur (IE = 89.83-87.72%) à (50-80ppm) et un faible inhibiteur (IE = 38.43%) à 40ppm.
- **Fc24** : est un bon inhibiteur (IE = 66.21%) à 40 ppm et un mauvais inhibiteur (IE = 18.80%) à 10ppm.

A partir des résultats de IE% (Rp), le composé Fc23 peut être considéré comme le meilleur inhibiteur dans le milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M (89.83% à 50ppm), mais comme valeur économique de l'inhibiteur on peut choisir le composé Fc24 (57.34% à 20ppm) comme un bon inhibiteur dans ce milieu.

### 3.4. L'efficacité d'inhibition (IE% (i<sub>corr</sub>))

L'efficacité d'inhibition IE% (i<sub>corr</sub>) des composés du ferrocène est calculée à partir de l'équation (2). La figure (9) montre les variations d'IE% (i<sub>corr</sub>) en fonction des concentrations des inhibiteurs dans la solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M.

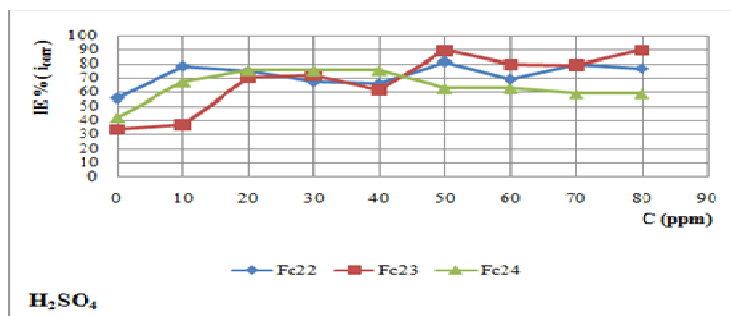


Figure (9) : Variation de IE% (i<sub>corr</sub>) en fonction des concentrations de Fc22, Fc23 et Fc24 dans une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M

La figure (9) montre que Fc23 est le meilleur inhibiteur (89.56% à 80), mais comme valeur économique on peut choisir le composé Fc24 (75.49% à 20ppm) comme un bon inhibiteur.

**3.5. Isothermes d'adsorption**

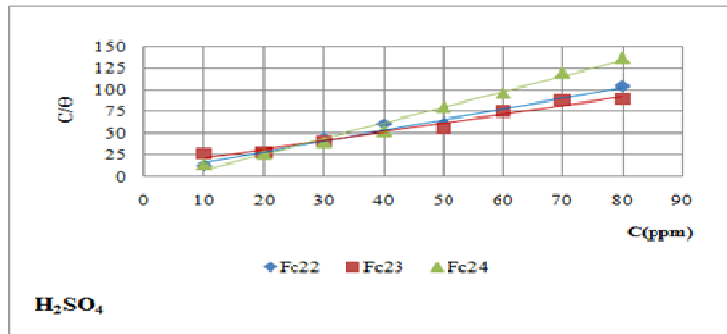
L'action d'un inhibiteur dans l'acide, est supposée être en raison de son adsorption à l'interface métal/solution.

Le processus d'adsorption dépend des caractéristiques électroniques de l'inhibiteur, de la nature de surface des métaux, de la température, des effets stériques et des divers degrés de l'activité d'un site [12].

Afin d'évaluer le processus d'adsorption des inhibiteurs Fc22, Fc23 et Fc24 sur la surface de l'acier carboné XC70, on a calculée les valeurs du taux de recouvrement  $\theta$  relative à chaque concentration d'inhibiteur; pour déterminer quelle isotherme d'adsorption qui correspond le mieux à la couverture de surface et calculer l'énergie libre d'adsorption qui nous permet de déduire le type d'adsorption (chimisorption, physisorption).

La fraction  $\theta$  a été calculée à partir de l'équation [13] :  $\theta = [1 - (i_{corr} / i_{corr}^0)]$ .....(4).

Pour tous les produits testés, les valeurs du taux de recouvrement  $\theta$ , sont présentées graphiquement selon l'isotherme d'adsorption de Langmuir (Figure 10).



**Figure (10) : Isotherme d'adsorption de Fc22, Fc23 et Fc24 en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M selon le modèle de Langmuir**

Toutes les courbes de  $C_{inh} / \theta = f(C_{inh})$  sont des droites d'équation générale  $\theta/c = gc + 1/k$  ou g et k sont respectivement la pente de droite qui signifie les interactions entre les adsorbats et l'inverse de l'ordonnée à l'origine qui traduit la constante d'équilibre adsorption/ désorption. Cela montre que l'adsorption du Fc22, Fc23 et Fc24 sur la surface de l'acier en milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

Pour Fc22, on a trouvé  $k = 97481,5 \text{mM}^{-1}$  et  $g = 1,278$ .

Pour Fc23, on a trouvé  $k = 21793,935 \text{mM}^{-1}$  et  $g = 0,986$ .

Pour Fc24, on a trouvé  $k = 31155,668 \text{mM}^{-1}$  et  $g = 1,7990$ .

$g_{fc22}$  et  $g_{fc24}$  sont supérieurs à l'unité (>1), ce qui traduit une répulsion ou attraction des molécules adjacentes adsorbées entre elles.

$g_{fc23}$  est égale à l'unité (=1), cela explique que Fc23 est adsorbé à la surface d'acier suivant l'isotherme de Langmuir sans interaction entre les molécules adsorbées<sup>[14]</sup>.

L'énergie libre d'adsorption ( $\Delta G_{ads}^{\circ}$ ) a été calculée à partir de la courbe de l'isotherme selon l'équation suivante :  $K = (1/55.5) \exp(-\Delta G_{ads}^{\circ} / RT)$

Où 55,5 est la concentration de l'eau, R la constante universelle de gaz, T la température thermodynamique et k la constante d'équilibre adsorption/ désorption. A partir des valeurs de k de chaque inhibiteur, on a déduit l'énergie libre ( $\Delta G_{ads}^{\circ}$ ) :  $(\Delta G_{ads}^{\circ})_{fc22} = -38,41 \text{KJmol}^{-1}$ ,  $(\Delta G_{ads}^{\circ})_{fc23} = -34,70 \text{KJmol}^{-1}$  et  $(\Delta G_{ads}^{\circ})_{fc24} = -35,58 \text{KJmol}^{-1}$ .

A partir de ces résultats, on peut dire que les inhibiteurs ont été chimiquement adsorbés à la surface de l'acier.



#### 4. Conclusion générale

Au cours de ce travail nous avons suivi l'action inhibitrice de trois composés ferrocéniques utilisés comme des inhibiteurs sur la corrosion de l'acier carboné XC70. Les composés sont : 2, 3 et 4-(ferrocenylmethyl) aminobenzonitrile. L'étude a été réalisée dans le milieu : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M. Les mesures ont été réalisées par la méthode électrochimique (Extrapolation des droites de Tafel). Les résultats nous ont permis de déduire la vitesse de corrosion de l'acier ainsi que d'autres paramètres électrochimiques. Les résultats expérimentaux trouvés d'après cette étude sont mentionnés dans les points suivants :

- Le déplacement anodique des courbes montre que le composé est déposé sur les sites anodiques de la surface du métal et en l'inhibant.
- Le déplacement cathodique des courbes montre que le composé est déposé sur les sites cathodiques de la surface du métal et en l'inhibant.
- Le composé Fc23 se comporte comme un inhibiteur anodique, mais les composés Fc22 et Fc24 inhibent les sites cathodiques à des concentrations bien précises et les sites anodiques à d'autres concentrations.
- Sur la base des résultats obtenus nous pouvons conclure que : Comme valeur économique de l'inhibiteur on peut choisir le composé Fc24 (75.48% à 20ppm) comme un bon inhibiteur dans le milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5M.

Tous les produits obéissent à l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Avec des valeurs d'énergie libre ( $\Delta G_{ads}^{\circ}$ ) : ( $\Delta G_{ads}^{\circ}$ )<sub>fc22</sub> = -38,41KJmol<sup>-1</sup>, ( $\Delta G_{ads}^{\circ}$ )<sub>fc23</sub> = -34,70KJmol<sup>-1</sup> et ( $\Delta G_{ads}^{\circ}$ )<sub>fc24</sub> = -35,58KJmol<sup>-1</sup>, on peut dire que les inhibiteurs ont été chimiquement adsorbés à la surface de l'acier.

#### Références bibliographiques

- [1] K. Mocachi, A. Hamel, A. Zazoua et R. Kherrat ; *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. **11** N° 3, pp 357-362(2008).
- [2] AFGC. Cefracor : *Réhabilitation du biton armé dégradé par la corrosion*. (Centre Français Anticorrosion). (2003).
- [3] B. Grosogeat et P. Colon ; « *La corrosion* » Université Médicale Biomatériaux Dentaires Virtuelle Francophone, (2010).
- [4] D. Landolt ; " *Corrosion et Chimie de Surfaces des Métaux*" ; Vol. **12**, Presse Polytechniques et Universitaire Ramandes, (1993).
- [5] D. L. GRAVER EDITOR ; *Corrosion Data Survey*, 6th edition, NACE, Houston, 1985.
- [6] H. H. Uhlig et R.W. Revie ; *Corrosion and Corrosion Control*, 3rd edition, John Wiley, New York, 1985, p. 96.
- [7] R. J. Chin et K. Nobe ; *J. Electrochem. Soc.* **118**, p. 545 (1971).
- [8] O. Rahim, A. Ben Chenna, T. Zaiz, K. Chaouch et T. Lanez ; *J. Fund. Appl. Sci.*, Vol. **3**, N 2, pp 85-98 (2011).
- [9] T. Zaiz et T. Lanez ; *J. Fund. Appl. Sci.*, Vol. **4**, N 2, pp 38-47 (2012)
- [10] S. Chihi, N. Gherraf, B. Alabed et S. Hameurlain ; *J. Fund. Appl. Sci.*, Vol. **1**, N 2, pp 31-40 (2009).
- [11] Yaunyuan Feng, Shenhao Chen, Wenjuan Guo, Yuexing Zhang, Guangzeng Liu. *Journal of Electroanalytical Chemistry* **602**, pp 115-122 (2007).
- [12] O. Benali, L. Larabi. S. M. Mekelleche et Y. Harek ; *J. Mater Sci.*, **41**, pp 7064-7073 (2006).
- [13] A. A. El-wady, B. A. Abd-El-Nabey et S. G. Aziz ; *J. Electrochem. Soc.*, Vol. **139**, pp 2149-2154 (1992).
- [14] M. S. Morad and A. A. O. Sarhan ; *Corrosion Science*, Vol. **50**, 744-753 (2008).