



UNIVERSITE DE EL-OUDE

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS ET RAFFINAGE

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCIE

Spécialité Raffinage

Présenté par :

LABBI Siham

BELBEY Assma

Thème

**Étude du pouvoir inhibiteur d'une formulation
inhibitrice utilisée dans les champs pétrolier de
la région de Houde-Berkaoui**

Encadre par :

- **BEN MAYA AMMAR**
- **ZAIZ TOUFIK**

2013-2012

Remerciements

*Au terme de ce travail, on exprime notre gratitude au **Allah** de nous avoir donné la force et la patience, ces fabuleuses valeurs sans lesquelles on n'aurait pu puiser de nouvelles forces pour mener à bien notre tâche.*

*Ce travail a été réalisé sous l'encadrement de mes chers professeurs **ZAIZ Toufik** et professeurs **BEN MAYA Ammar** à l'université de EL-OUED, a qui je voudrais exprimer ma profonde gratitude pour leurs disponibilités, leurs aides et leurs conseils pour réaliser ce travail.*

Je tiens à remercier toutes les personnes qui pour leurs aides, leurs réflexions ou leurs remarques, ont pu contribuer à la réussite de ce modeste travail.

Je veux remercier tout particulièrement et l'équipe du laboratoire de l'électrochimie de l'université de EL-OUED.

Je ne voudrais pas oublier mes collègues ingénieurs de la Sonatrach Haoud-Berkaoui,.

Je tiens à remercier toutes les amies de la promotion du licence en raffinage de l'université de EL-OUED .

Je remercie vivement le jury qui à accepter de juger ce modeste travail .

Dédicaces

- *A ma Mère.*

- *A mon défunt père.*

*Je dédie ce modeste travail à l'être qui m'est le plus cher sur
cette terre, celle qui a tant donné pour ses enfants :*

Ma Mère.

*A Mon Père. J'espère toutefois qu'il serait fier de mes
choix ,*

*A toute ma famille, cet ensemble de personnes qui forment
comme une forteresse au fond de nous et où l'on peut se
réfugier à tout moment.*

A tous les amis que j'ai eu la chance d'avoir.

A tous ceux que j'aime.

Assma

Dédicaces

- *A ma Mère.*

- *A mon défunt père.*

*Je dédie ce modeste travail à l'être qui m'est le plus cher sur
cette terre, celle qui a tant donné pour ses enfants :*

Ma Mère.

*A la mémoire de Mon Père. J'espère toutefois qu'il serait
fier de mes choix s'il était présent aujourd'hui.*

*A toute ma famille, cet ensemble de personnes qui forment
comme une forteresse au fond de nous et où l'on peut se
réfugier à tout moment.*

A tous les amis que j'ai eu la chance d'avoir.

A tous ceux que j'aime.

Siham

SOMMAIRE

CHAPITRE I : Historique de la récupération assistée A HAOUD-BERKAOUI et la corrosion	
1	I.I.ASSISTEE A HAOUD-BERKAOUI
1	I.I.1.INTRODUCTION
7	I.I.2.SYSTEME DE RECUPERATION ASSISTEE A HAOUD-BERKAOUI
11	I.I.3.HISTORIQUE DE RECUPERATION ASSISTEE A HAOUD-BERKAOUI
15	I.I.4.Problématique
15	I.I.4.1.Description du champ de Haoud Berkaoui
16	I.I.4.2.Description des puits
17	I.II.la corrosion
17	I.II.1.Introduction sur la corrosion
17	I.II.2.Définition de la corrosion
18	I.II.3.Différentes formes de corrosion
19	I.II.3.7.Différents types de corrosion
19	I.II.3.7.1.Corrosion électrochimique
19	I.II.3.7.2.Corrosion chimique
20	I.II.3.7.3.Corrosion bactérienne
20	I.II.3.7.3.1.Les ferrobactéries
20	I.II.3.7.3.2..Les sulfatoréductrices (BSR)
21	I.II.3.7.3.3.Les sulfobactéries
23	I.II.3.8.Corrosion par les eaux
23	I.II.3.9.Traitement de l'eau

CHAPITRE II : Aspect thermodynamique et cinétique de la corrosion électrochimique

25	II.1.Introduction
25	II.2.Thermodynamique de la corrosion
26	II.2.1. Diagramme de Pourbaix
28	II.3.Cinétique de la corrosion
28	II.3.1.Différents types de polarisations
28	II.3.2.Courbe de polarisation
29	II.3.3.Equation Butler –Volmer
32	II.3.4.Droites de Tafel

CHAPITRE III : Les inhibiteurs et Protection contre la corrosion

35	III.1.introduction des inhibiteurs
35	III.2.Degré d'inhibition
35	III.3.Classement des inhibiteurs
36	III.4.par domaine d'application
36	III.4.1.Par réaction partielle
37	III.4.2.Par mécanismes d'inhibition
37	III.5.Inhibition en milieu acide
37	III.5.1.Structure moléculaire des inhibiteurs
38	III.5.2.Influence de la densité électronique
38	III.5.3.Influence de la concentration d'inhibiteur
38	III.5.4.Formation de couches de précipitation
39	III.6.Inhibition en milieu neutre
39	III.7. Protection par inhibition
41	III.7.1.Efficacité d'un inhibiteur
41	III.7.2.Action sur les réactions électrochimiques
42	III.7.3.Mécanisme réactionnel mis en jeu
43	III.8.Les bactéricides
43	III.9.Protection électrique (active)
44	III.9.1.Protection cathodique
44	III.9.2.Protection anodique
45	III.10.Revêtements protecteurs
45	III.10.1.Revêtements métalliques
46	III.10.2.Revêtements non métalliques
46	III.10.3.Revêtements chimiques

CHAPITRE IV : Résultats expérimentaux et discussion	
47	IV.1.Matériels et logiciels utilisés
47	IV.1.1.Potentiostat/galvanostat type PGZ 301
47	IV.1.2.Cellule électrochimique
47	IV.1.3.Electrodes utilisez
47	IV.1.4.Micro-ordinateur
47	IV.1.5.Logiciel Volta master 4
48	IV.1.6. Logiciel Original. version 8
48	IV.2.Produits utilisés
48	IV.2.1.Milieu corrosif
48	IV.2.2.Inhibiteurs
48	IV.3.l'acier
48	IV.4.Mode opératoire
48	IV.4.1.Préparation d'Electrode
49	IV.4.2.Polissage
50	IV.5. Conditions expérimentales
50	IV.5.1.Mesure de potentiel libre
50	IV.5.2.Choix de la vitesse de balayage
50	IV.5.3.Condition de polarisation
50	IV.7. Etude de l'effet inhibiteur du composé

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Historique de la récupération assistée	
Fig.1	Evolution de la production en pétrole en fonction du temps d'exploitation
Fig.2	Répartition des puits injecteurs en cas d'injection périphérique
Fig.3	Répartition des puits injecteurs en cas d'injection centrale avec des lignes coupe le gisement
Fig.4	Répartition des puits injecteurs en cas d'injection en bordure de contour du gisement
Fig.5	Répartition des puits injecteurs en cas d'injection en nappe triangulaire et carrée
Fig.6	Coupe chrono stratigraphique type de Haoud-Berkaoui
Fig.7	Schéma d'un puits producteur d'eau Albien
Fig.8	Unité de pompage d'eau de Haoud-Berkaoui
Fig.9	Unité de traitement chimique des puits producteur d'eau de Haoud-Berkaoui
Fig.10	Schéma d'un puits injecteur d'eau
Fig.11	Evolution de débit d'eau injecté d'un puits injecteur GLA22
Fig.12	Schéma des phénomènes intervenant dans la bio corrosion Bactérienne.

CHAPITRE II : Facteurs et aspects électrochimiques de la corrosion	
Fig.13	.Diagramme E – pH du fer (T = 25°C)
Fig.14	Courbe de polarisation
Fig.15	Influence du potentiel $\Delta\phi$ sur l'énergie d'activation d'une réaction électrochimique
Fig.16	évolution des densités de courant i_a et i_c en fonction du potentiel E
Fig.17	Courbe de Tafel

CHAPITRE III : Protection contre la corrosion	
Fig.18	Formation des couches barrières a) cathodiques et b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide
Fig.19	Protection cathodique
Fig.20	Protection anodique

CHAPITRE IV : Résultats expérimentaux et discussion

Fig.21	Micrographie de la surface de l'acier XC70 brut
Fig.22	Micrographie de la surface de l'acier XC70 après polissage
Fig.23	Micrographie de la surface (référence)
Fig.24	Courbe de polarisation de l'acier XC70 dans eau Albien
Fig.25	Courbe de Tafel de l'acier XC70 dans un milieu eau Albien
Fig.26	Courbe de polarisation de l'acier XC70 dans un milieu eau Albin
Fig.27	Courbe de Tafel de l'acier XC70 dans un milieu eau Albin
Fig.28	Courbe de variation de rendement de l'inhibition en fonction de la concentration de composé
Fig.29	Courbe de variation du potentiel de corrosion en fonction de la concentration d'inhibiteur.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : Historique de la récupération assistée	
Tableau I	Statistiques des interventions pour changements des concentriques de traitement des puits producteurs d'eau de Guellala
CHAPITRE II : des inhibiteurs et Protection contre la corrosion	
Tableau II	classement des inhibiteurs
CHAPITRE IV : des inhibiteurs et Protection contre la corrosion	
Tableau III	Paramètres électrochimiques relatifs à l'acier XC70 dans milieu corrosif
Tableau IV	Paramètres électrochimiques relatifs à l'acier XC70 dans un eau Albin en présence de inhibiteur.
Tableau V	Paramètres électrochimiques relatifs à l'acier XC70 dans un eau Albin en présence de inhibiteur

CHAPITRE I

The image features the word 'CHAPITRE I' in a large, bold, blue, sans-serif font. Each letter has a thin yellow outline. The text is rendered in a 3D style, with a grey shadow cast beneath it, giving it a sense of depth. The shadow is composed of several parallel lines, suggesting a light source from the upper left. The entire graphic is centered horizontally on a plain white background.

I.I - ASSISTEE A HAOUD-BERKAOUI

I.I.1- INTRODUCTION

Les méthodes classiques de production primaire des gisements de pétrole brut ne permettent pas, le plus souvent, d'extraire plus de 30% du volume brut du pétrole en place par drainage naturel, car les mécanismes de drainages des puits sont liés à la perméabilité des milieux poreux qui contient le pétrole, et les caractéristiques physico-chimiques des fluides et des roches où ils se trouvent (viscosité, tension inter - faciale...) [19].

Les systèmes rationnels d'exploitation des gisements préviennent les taux maximum de récupération de pétrole du sous – sol pour un minimum de dépenses.

On distingue les taux de récupération final et courant de pétrole. Le taux final se détermine par le rapport du volume des réserves extraites à celui des réserves actives initiales, tandis que le taux courant est le rapport de la production cumulée aux réserves actives initiales du gisement. Ces taux de récupération dépendent généralement du degré de déplacement du pétrole de la couche et du rapport du volume de gisement mis en exploitation à celui du gisement tout entier [20].

Le facteur qui limite la récupération du pétrole est la diminution de la pression des fluides contenus dans le gisement au fur et à mesure de leur soutirage et pour palier à cette situation critique, plusieurs travaux de recherche ont été entrepris afin d'améliorer la récupération finale des gisements, c'est à dire pour produire, à partir d'un gisement donné, une quantité de pétrole plus importante, dans des conditions économiques satisfaisant les règles du marché sous le vocable " récupération optimisée du pétrole ". C'est pourquoi on fait appel à des moyens de récupération , qui donnent accès à des nouvelles quantités de pétrole supplémentaires à produire [19].

La nature de pétrole, les dimensions et la forme des gisement définissent l'application du système d'action sur la couche productrice ainsi que le choix de la technique à utiliser [20].

La mise en œuvre des techniques de récupérations, peuvent s'effectuer :

A - pour un pétrole brut léger :

Par l'injection de fluide dans le gisement. Les fluides injectés peuvent être de différentes natures, suivant les gisements et suivant leur disponibilité (eau, gaz naturel, fumée...). Cette injection demande le forage des puits supplémentaires qui peuvent être

situés à la périphérie ou au sein du gisement. Les fluides les plus utilisés pour ce genre d'injection sont l'eau et le gaz.

➤ Par l'utilisation des moyens artificiels de relevage qui compte deux grandes familles :

Le pompage et le gaz lift. Le pompage rassemble une grande variété de technologies des pompes (pompes à balanciers, pompes à moteur hydraulique immergé, pompes à moteur électrique immergé) qui dépendent des caractéristiques du pétrole brut produit et du débit potentiel du puits. Le gaz lift consiste à alléger le poids de la colonne de fluide contenue dans le tubing en y injectant du gaz, par l'espace annulaire, au moyen d'un système de vannes spécifiques, judicieusement positionnées.

Ce type de récupération est appelée récupération assistée secondaire [20].

B - pour un pétrole brut lourd :

La méthode de récupération pour un pétrole très visqueux, s'effectue généralement par action sur les propriétés physico – chimiques de pétrole afin de diminuer la relation entre la viscosité de pétrole et celle de l'eau du gisement par :

- La diminution de la viscosité du pétrole par augmentation de sa température in situ, soit par injection de vapeur chaude, soit par combustion au moyen d'un réchauffeur électrique ou l'air chaud.

La diminution de la tension inter - faciale entre le pétrole et l'eau, par l'injection de microémulsion (mélange ternaire de pétrole, d'eau et d'une solution alcoolique de tensioactifs).

Ce type de récupération est appelée récupération assistée tertiaire ou améliorée [20].

Quelle que soit la technique retenue, la décision est prise en fonction de la configuration du gisement, des caractéristiques physico-chimiques du pétrole et en fonction du coût de l'opération. Pour les nouveaux champs pétroliers (fig.1), l'ordre logique de récupération consiste :

- à produire par drainage naturel dans un premier temps
- à opter pour la pompe de fond de puits ou l'injection, lorsque la productivité commence à décliner.

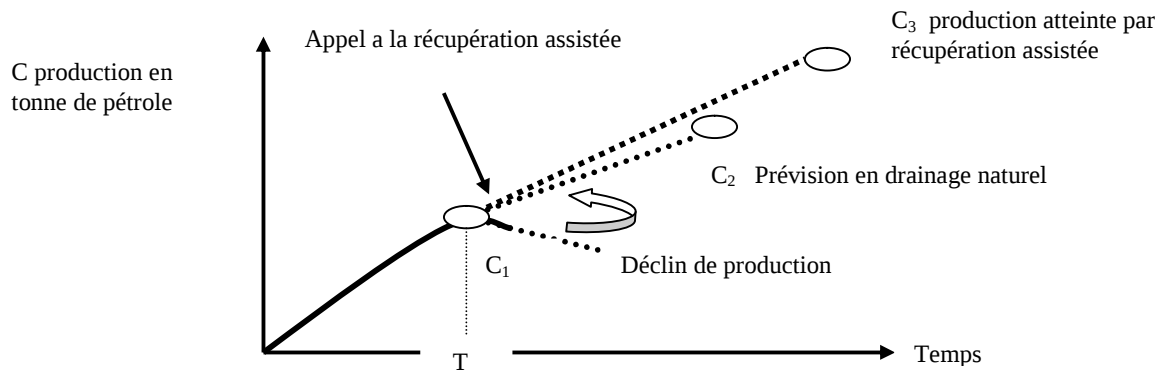


Fig .1. Evolution de la production en fonction du temps d'exploitation

Dans le cas de la figure .1, on a supposé que l'on avait produit par drainage naturel jusqu' à l'époque T, et que à partir de cet époque nous avons constaté que les prévisions de production ne sont pas atteintes, donc on doit procéder à la mise en œuvre de l'un des procédés de récupération assistée [21]. .

La plus part des gisements à grande réserves de pétrole sont exploités avec injection d'eau dans la couche qui a pour but d'augmenter et d'améliorer la récupération par le maintien de pression du gisement.

L'injection d'eau (water flood) c'est le procédé le plus ancien (fin du XIX^{ième} siècle), et le plus employé, peut s'effectuer au – delà ou en bordure du contour de la couche pétrolifère ou bien directement dans les gisement de pétrole.

En conséquence on distingue l'injection d'eau périphérique et l'injection d'eau centrale [20].

➤ Système d'exploitation avec injection d'eau périphérique :

La condition essentielle d'exploitation avec injection d'eau périphérique est l'existence d'une bonne liaison hydrodynamique entre les parties pétrolifère et aquifère de la couche sur le contour du gisement. Habituellement ce type d'exploitation est utilisé pour les gisements de pétrole à régime à expansion hydrodynamique.

Les puits d'exploitation avec ce système sont implantés suivant des lignes le long du contour interne de la zone à pétrole (fig.2).

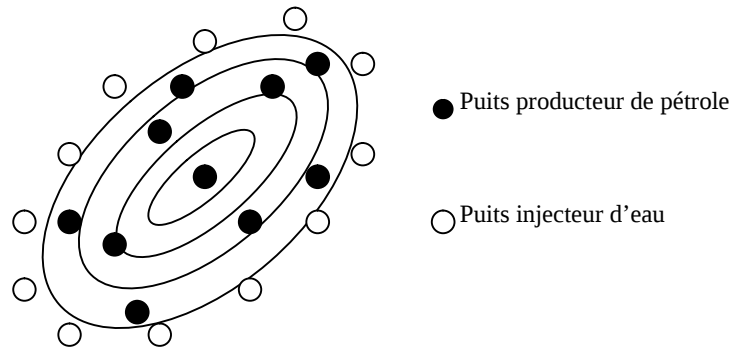


Fig.2. Répartition des puits injecteurs en cas d'injection périphérique

➤ Système d'exploitation avec injection d'eau centrale :

L'injection d'eau centrale comprend l'injection suivant des lignes de puits coupant le gisement, l'injection en bordure et en nappe.

- L'injection d'eau dans les puits coupant le gisement par des lignes est utilisée pour l'exploitation de très grands gisements de pétrole.

Dans ce cas les puits d'injection divisent les grands gisements de pétrole en champs d'exploitation (fig.3).

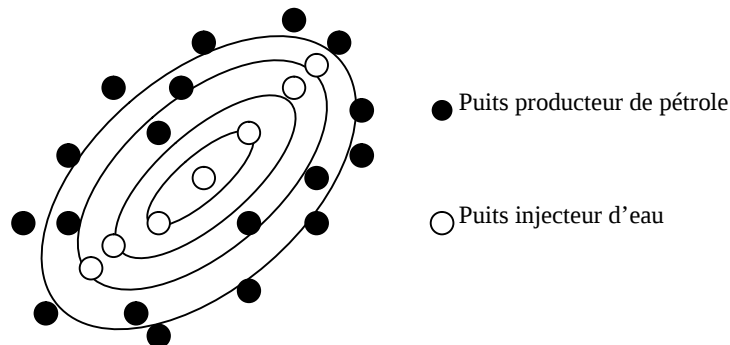


Fig.3. Répartition des puits injecteurs en cas d'injection centrale avec des lignes coupant le gisement

- L'injection en bordure est utilisée pour des gisements relativement petits où la liaison entre les parties aquifère et pétrolifère de la couche est insuffisante. Ce type d'injection a un effet important dans le cas où les puits d'injection sont implantés dans la zone de bonne roche magasin de la partie pétrolifère de la couche le long du contour de la zone à pétrole (fig.4).

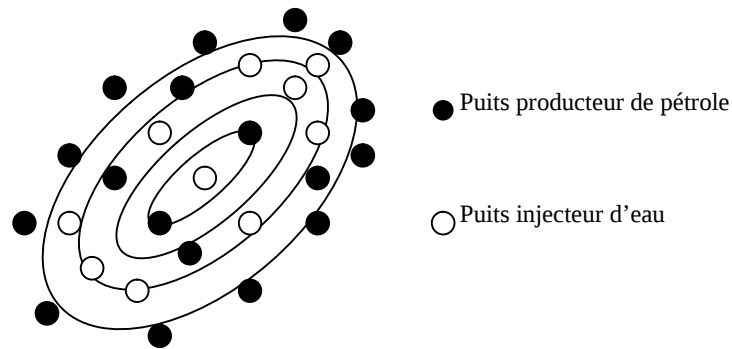


Fig.4. Répartition des puits injecteurs en cas d'injection en bordure du contour du gisement

- L'injection en nappe est utilisée pour les gisements de pétrole associés aux couches, se caractérisant par une forte hétérogénéité. En cas d'injection en nappe les puits sont implantés suivant des mailles triangulaires ou carrées (fig.5).

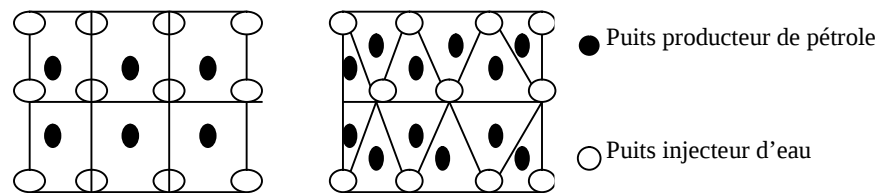


Fig.5. Répartition des puits injecteurs en cas d'injection en nappe triangulaire et carrée

Pour réaliser un moyen de récupération assistée par injection d'eau il faut avoir [21] :

- Un approvisionnement en eau suffisant en quantité, qualité et régularité.
- Des installations de pompages.
- Des installations de traitement d'eau (O_2 , bactéries, ...).
- Les moyens de contrôle de l'injection par suivi de l'indice d'injectivité des puits injecteurs.

Le choix de l'eau comme agent de balayage s'explique par :

- ❑ Sa disponibilité en volume suffisant.
- ❑ Son efficacité de balayage.
- ❑ Son faible coût.

Mais son utilisation doit satisfaire aux exigences suivantes :

- ❑ L'eau ne doit pas corroder les installations.
- ❑ les produits de corrosion par l'eau ne doivent pas colmater les installations et les perforations des puits injecteurs.

- l'eau doit être compatible avec l'eau du gisement.

Dans le domaine de récupération assistée par injection d'eau, on peut distinguer trois types de sources d'eau :

A- Les eaux de surface (mer, lac, rivière, ...)

Elles offrent l'avantage d'être disponibles facilement et à des débits élevés, mais ont les inconvénients graves suivants :

- elles sont saturées en oxygène, donc corrosives.
- elles sont généralement chargées en matières en suspension.

B- Nappes d'eau de faible profondeur (à quelques dizaines de mètres)

Il s'agit de la nappe phréatique, qui présente les avantages suivants :

- teneur en oxygène faible à nulle.
- teneur en matière en suspension généralement faible.

On peut néanmoins trouver les inconvénients suivants :

- possibilité d'entraînement de sable.
- présence de composés du fer gênants (hydroxyde ferreux).
- Possibilité de bactéries du fer.
- Présence de H_2S ou CO_2 dissous.

C- Aquifères régionaux (profondeur en centaines, voire milliers de mètres)

Cette source d'eau est généralement la plus utilisée et la meilleure pour les avantages suivants :

- teneur en oxygène quasi – nulle.
- teneur en matière en suspension très faible (hormis entraînement éventuel d'argile).

Les inconvénients peuvent être dus à la présence de :

- composés du fer susceptibles de précipiter.
- bactéries (réductrices de sulfates, du fer).
- les gaz dissous H_2S ou CO_2 .
- incompatibilité avec d'autres eaux suivant la nature des sels contenus.

I.I.2- SYSTEME DE RECUPERATION ASSISTEE A HAOUD-BERKAOUI

La direction régionale de Haoud-Berkaoui (lieu de notre étude), est située à 100 km à l'ouest de Hassi-Messaoud, à 30 km au sud-ouest de la ville d'Ouargla et à 770 km au sud-est d'Alger.

Le gisement de Haoud-Berkaoui a été découvert en mars 1965 par la société CFPA (compagnie française de pétrole Algérie). Sa mise en production a eu lieu en janvier 1967 avec une réserve importante en pétrole. La profondeur moyenne du gisement est de l'ordre de 3550 m [22] .

La région de Haoud-Berkaoui se compose de trois champs producteurs de pétrole brut : champ de Haoud-Berkaoui, Benkahla et Guellala.

La récupération de pétrole au niveau de cette gisement de nature hétérogène, de dimension moyen est assistée par l'injection d'eau depuis 1978, pour améliorer la production par :

- Le maintien de pression, pour assister l'aquifère naturel insuffisant.
- l'amélioration du balayage des zones productrices.

L'aquifère exploité actuellement à Haoud-Berkaoui est la nappe Albienne (fig.6) qui se trouve à une profondeur de 1000 à 1300 m, ayant les caractéristiques suivantes [23] :

- ❑ C'est une nappe fossile et profonde (teneur n'en oxygène nulle),
- ❑ s'étend sur une superficie de 600 000 km²,
- ❑ la capacité de réservoir est de l'ordre de 50000 milliards de m³,
- ❑ la hauteur totale moyenne de la nappe est de 450 m,
- ❑ présente une large utilisation dans le domaine pétrolier

(Lavage des puits salés, eau de refroidissement dans les procédés de séparation et traitement du gaz et de pétrole...),

- ❑ la pression de la nappe est de l'ordre de 137 bars à 1000 m,
- ❑ la température de fond est de 60 °C à 1300m,
- ❑ la salinité moyenne est de 0.6 à 2 g/l.

Aq T E R T I A I R E	Prof Moyenne		Etagé	Stratigr.	Lithologie	Epaisseu 0 à 60m	
	Mio- Pliocén		Mio-		Gres et Arailles		
C R E T A C E	SENONIE	6	S.Carbonat		Calcaire	0 à 700m	
			S.Anhydritiau		Anhydrit dolomie et		
			S.Salifer		sel massif		
	SU	75	Turonie Cenomanie		calcaire argile biche dol.marne		
		I N F E R I E U R	97	Albi en			Gres fin à mov.à interval d'ara.brun-rou et sable gr à la base
	142		Aptie		Dolomie et marne	10 à 30 m	
	144		Barremie		Sable fin à très arossier passée de dolomie.calc marne	600 à 1300m	
			Neocomie		Grès fin à moyen .passée d'argile et de		
	J U R A S S I Q U E		196	MALM		Araille silteuse à de dolomie.de calcaire marne	120
		MOY L I A S	220	Dogger		Araille	
	245		Dogaer		Anhvd. et Anhydrite intcl.de dolomie et		
	(Anhydritiau Massiv						
	Sel massif I			sel massif			
	Horizon			Araille			
	Sel			sel massif p.ara.plastique			
	Sel Massif II			Sel massif incolore à rose			
	Arailles s			Arg.plastique calcaire			
T R I A S	ARGILO- TRIA	336	Argilo- araille		sel Araille	100 à 250m	
			T		Grès fin argilo-silteux		
			T		Grès		
			Andesite		Andesite		
			Serie Infer		Grès fin à moyen		
					Araille		
					ares fin à moyen .		
GOTHLANDIE		360				300 à 900m	

Fig.6. Coupe chrono stratigraphique Type de Haoud-Berkaoui

Le dispositif de maintien de pression par injection d'eau se compose de [24] :

➤ Des puits sources :

les puits sources sont des puits producteurs d'eau Albien, forés à une profondeur de 1000 à 1300 m avec une complétion composée (fig.7) :

- d'un tubing de production de diamètre 7 pouces de nuance API5CT Grad N80 avec une longueur de 1123 m.
- d'une garniture de traitement composée de concentriques de diamètre 1.660 pouces.
- d'une crépine placée au fond pour retenir les entraînements du sable.

Le coût global d'un puits producteur d'eau est de 116.4 millions de dinars Algérien (forage + équipements) par puits.

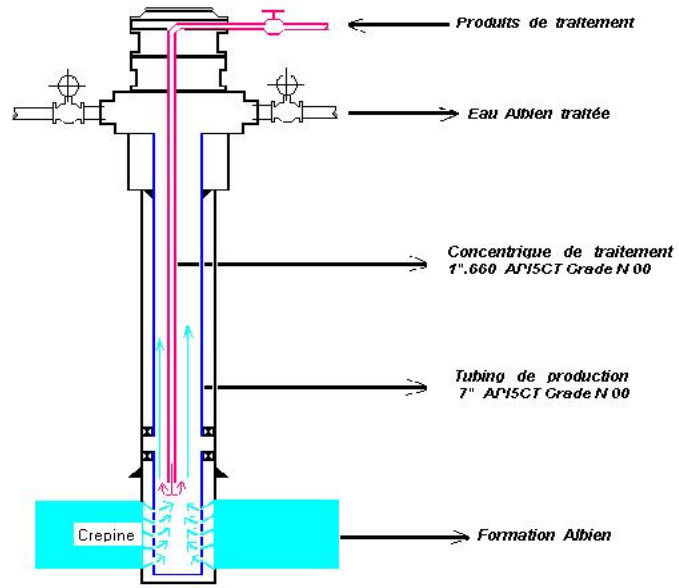


Fig.7. Schéma d'un puits producteur d'eau Albien

➤ Unité de pompage d'eau (fig.8) :

L'alimentation de l'unité de pompage est assurée par l'eau provenant des 15 puits sources d'eau Albien de la région, à une pression de 14.5 bars et un débit de 6000 m³/j. L'eau passe dans un collecteur principal pour y subir plusieurs opération (filtration, traitement chimique).

L'eau filtrée est expédiée vers les puits injecteurs à une pression de 142 bars, afin de maintenir la pression de gisement.

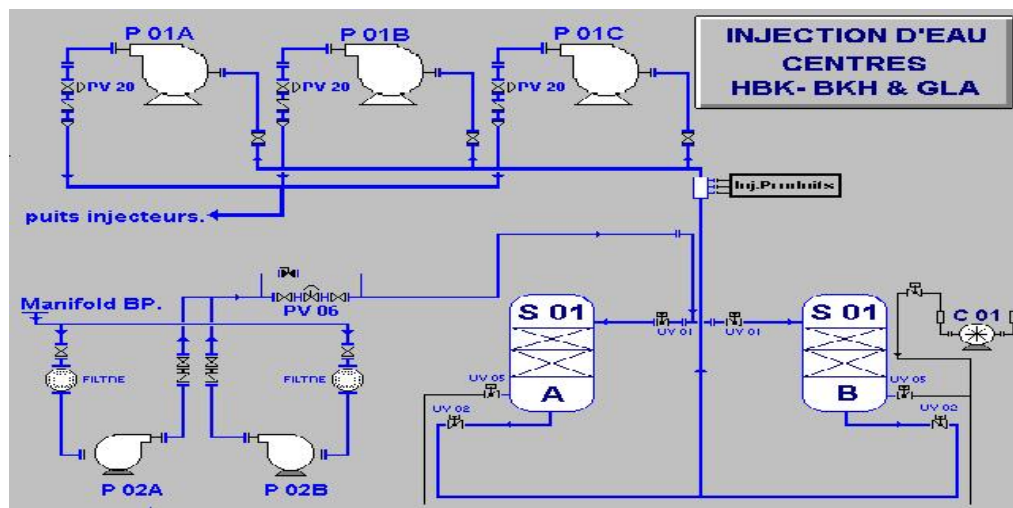


Fig.8. Unité de pompage d'eau de Haoud-Berkaoui

➤ Unité de traitement chimique (fig.9) :

L'unité de traitement chimique de l'eau est conçue pour prévoir l'injection des inhibiteurs de corrosion et bactéricides pour lutter contre la corrosion, par acheminement des produits chimiques de l'unité de pompage jusqu'au la tête de puits par des lignes de diamètres 2 pouces, pour être injecté au fond du puits sources à travers des concentriques de diamètre 1.660 pouces.

Les inhibiteurs et les bactéricides sont dilués au préalable et stockés dans des bacs tampon pour assurer le point de fonctionnement des pompes doseuses et la continuité de traitement. L'aération lors de stockage, rend la solution diluée de traitement plus aérée.

Le traitement actuel en inhibiteurs et bactéricides correspond à un décaissement annuel de 300 000 dollars US.

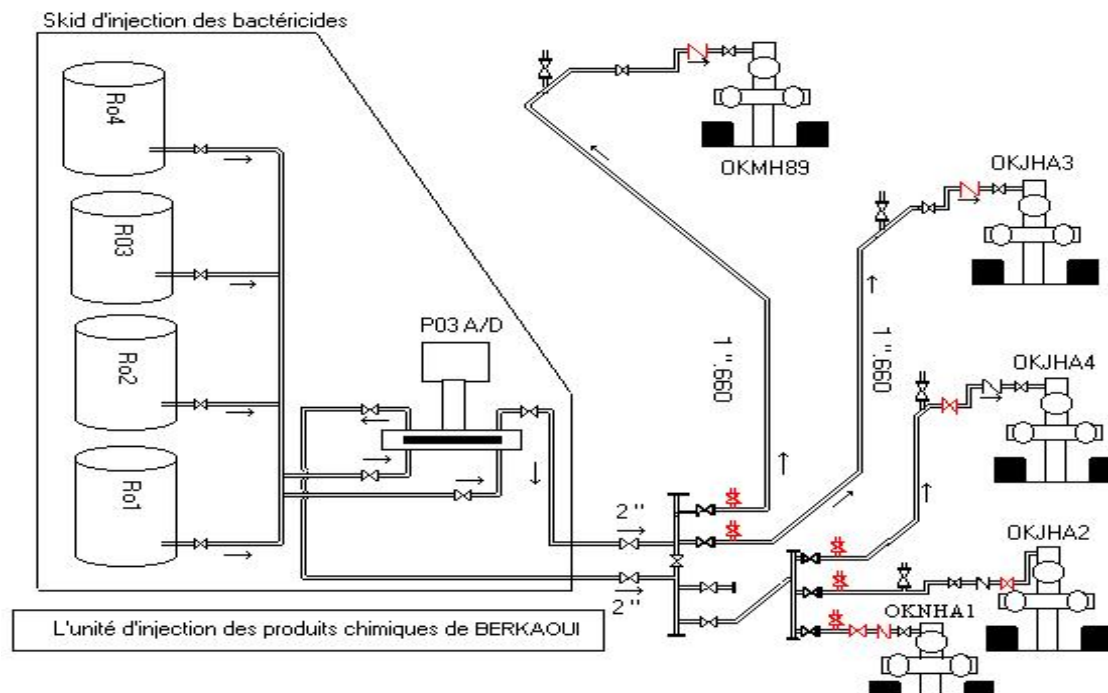


Fig.9. Unité de traitement chimique de Haoud-Berkaoui

➤ Puits injecteur d'eau (fig.10) :

Un puits injecteur d'eau est initialement un puits producteur de pétrole transformé en puits injecteurs suite à la chute de son potentiel de production. Le puits injecteur généralement sa profondeur atteint le gisement (3000 à 4000 m) afin de permettre le balayage de la zone productrice de pétrole.

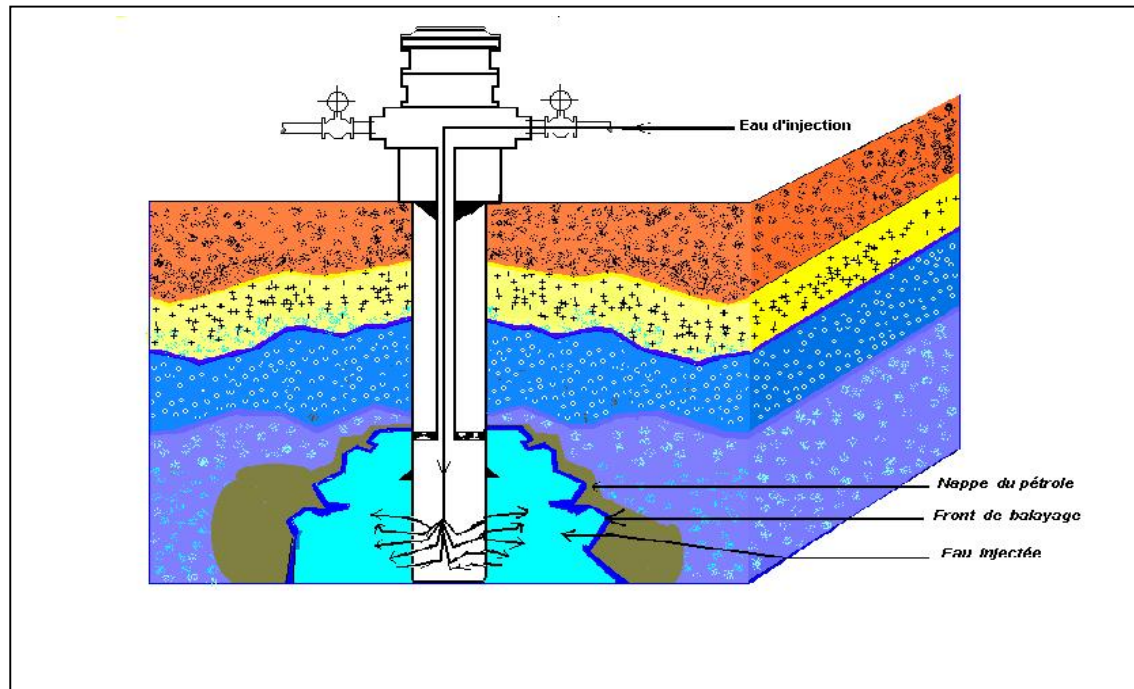


Fig.10. Schéma d'un puits injecteur d'eau Albien

I.1.3- HISTORIQUE DE LA RECUPERATION ASSISTEE A HAOUD-BERKAOUI

La production pétrolière dans la région de Haoud-Berkaoui est assistée par l'injection d'eau sous pression dans les formations géologiques, afin d'augmenter par balayage la production en pétrole brut et pour palier au déclin de la pression du gisement.

L'injection d'eau à Haoud-Berkaoui a démarrée en 1978. L'eau utilisée est soustraite de la nappe jurassique à une profondeur de 2882 m à travers des puits producteurs d'eau pour alimenter l'unité d'injection composée de plusieurs motopompes diesel et une batterie de filtration à cartouche. L'eau filtrée est expédiée vers les puits injecteurs d'eau de la région afin de maintenir la pression du gisement.

Ce système de maintien de pression avec l'eau du jurassique était abandonné en 1993 pour les raisons suivantes :

- Corrosion des installations suite à une très forte concentration en H_2S dans l'eau,
- bouchages des puits injecteurs par le sulfure de fer (FeS),
- problèmes sur les garnitures mécaniques des motopompes suite à l'agressivité de l'eau du jurassique.

Ce changement a donné un grand souffle pour le maintien de pression dans le gisement de Haoud-Berkaoui, concrétiser par une nette amélioration de l'indice d'injectivité, suite

à la réduction des temps d'arrêts de l'unité et la mise en place d'une nouvelle unité composée des électropompes à hautes pressions et des filtres à sable avec une finesse de filtration de 2 μ .

L'eau produite à travers les 15 puits producteurs d'eau Albien, est filtrée et expédié vers les 32 puits injecteurs d'eau de la région.

Les équipements de surface et du fond du système d'injection, doivent être protégés contre le phénomène de corrosion, afin d'éviter le percement des tubages de production, qui peuvent conduire à des catastrophes écologiques majeures comme le cas du puits OKN32 de Haoud-Berkaoui en 1986 (lessivage de la couche du sel du sénonien par la remontée de l'eau de la nappe Albienne vers la nappe de sénonien). Cette protection est assurée par l'injection des inhibiteurs et des bactéricides à partir de l'unité d'injection d'eau à travers des concentriques de traitement. Après une période d'exploitation, cette protection s'avère insuffisante est confirmée par :

- Les concentriques remontés des puits producteurs d'eau étaient dans un état de corrosion.

Très avancée avec des percements apparents,

- La fréquence de changement des concentriques chaque deux ans, montre une corrosion.

Très rapide qui a réduit la durée de vie des concentriques à deux ans d'exploitation au lieu cinq années recommandées,

- Le bouchage des puits injecteurs par les produits de corrosion devient alarmant (fig.11).

Tous ces problèmes réduisent la production en pétrole et augmentent les charges directes liées aux opérations de stimulation (acidification des puits) pour déboucher les perforations des puits injecteurs, et les frais de remontés des concentriques par l'opération de snubbing (opération de remontée des concentriques) sont évalués à 7 millions de dinars algérien par opération.

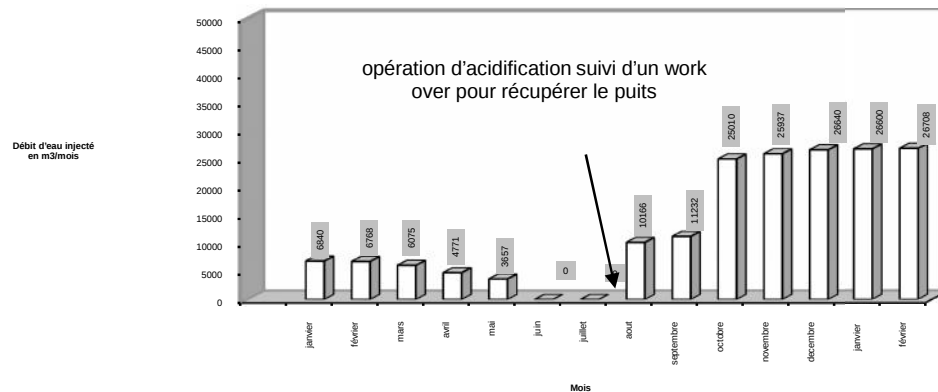


Fig.11. Evolution de débit d'eau injecté d'un puits injecteur (GLA22)

Afin de réduire l'effet néfaste de cette corrosion, une étude a été réalisée par le centre de recherche et de développement de l'entreprise CRD de Boumerdes, suite à une demande de travail émanant de la direction régionale de Haoud-Berkaoui.

L'objectif de cette étude est d'optimiser le système de traitement actuel par :

- ✓ Redimensionnement de circuit actuel d'injection d'inhibiteur.
- ✓ Etude technico-économique des modes d'injection individuel et le collectif.
- ✓ Etude de l'efficacité de plusieurs inhibiteurs et bactéricides.
- ✓ optimisation des produits efficaces par des tests industriels sur site et au laboratoire, et ce.

Dont le but de sélectionner le produit le plus efficace pour les eaux d'injection de Haoud-Berkaoui.

Les traitements des eaux d'injection par les inhibiteurs et les biocides apportés par l'étude de CRD, demeurent insuffisant et le problème de changement des concentriques persiste toujours avec la même cadence (chaque deux ans) .

Cette insuffisance est confirmée par les statistiques des interventions pour le changement des concentriques des puits producteurs d'eau pour le champ de Guellala résumé dans le tableau I.

Tab I. Statistiques des interventions pour changements des concentriques de traitement des puits producteurs d'eau de Guellala.

<u>Puits</u>	Avant l'optimisation du traitement par CRD			Après l'optimisation du traitement par CRD		
	Date de changement concentrique	Cadence (ans)	Etat	Date de changement concentrique	Cadence (ans)	Etat
GLAHA2	97 , 99	2	Corrosion très avancée avec des percements apparents	2001 , 2003	2	Corrosion très avancée avec des percements apparents
GLAHA3	97 , 99	2		2002 , 2004	2	
GLAHA4	97 , 99	2		2002 , 2004	2	

Actuellement, les efforts sont concentrés sur la recherche des causes de cette corrosion très rapide et de proposer des solutions efficaces pouvant résoudre ce problème. C'est dans cette optique et dans le cadre d'une collaboration entre la Sonatrach et l'université de Ouargla plusieurs études antérieures ont été réalisées dont :

- ❖ L'étude de l'effet de traitement thermique de l'acier API5CT Grad N-80 Par le département de physique de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur [25] .
- ❖ Simulation des écoulements et étude de la corrosion des concentriques dans un puits producteur d'eau Albien, par le département de l'hydraulique et génie civil de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur [26].

En complément à ces études , nous allons dans le présent travail, approfondir la recherche des causes de la corrosion très avancée en se rapprochant plus de la réalité industrielle par la mise en évidence d'un facteur thermique qui est le gradient de température le long d'un puits producteur d'eau Albien.

Cette étude est intitulée “ L'effet du gradient de température sur la vitesse de corrosion des concentriques de traitement des puits producteurs d'eau Albien à Haoud-Berkaoui.

Notre travail portera sur les investigations suivantes selon deux axes :

- ❖ Axe I : les investigations sur chantier :
 - ☞ Examen visuel des concentriques remontées d'un puits producteur d'eau.
 - ☞ L'analyse des dépôts récupérés des concentriques remontés à différentes côtes du puits.

- ☞ Evaluation de l'agressivité de l'eau Albien.
- ☞ Analyse des gaz dissous dans l'eau.
- ❖ Axe II : les investigations au laboratoire :
 - ☞ Thermométrie pour déterminer le profil de température le long du puits producteur d'eau.
 - ☞ Etudes électrochimiques de l'effet de gradient de température sur la vitesse de corrosion des concentriques dans un puits avec et sans traitement par inhibiteur et bactéricide.

I.I.4 - Problématique

Dans la région de Haoud Berkaoui, l'eau de l'Albien est utilisée à une grande échelle ; elle est utilisée pour le lavage des puits salés, dans les opérations de dessalage; dans les piscines des tours de refroidissement ; dans les échangeurs de chaleurs et elle est aussi réinjectée dans le gisement pour le maintien de pression pour récupérer les quantités de pétrole restant dans les puits.

Dans le dernier cas l'eau est traitée au niveau de chaque puits par des produits de traitement (inhibiteurs de corrosion, bactéricides,...). Ce traitement a pour but de prolonger la durée de vie des équipements pétroliers ; si non l'eau résidaires peut endommager les parois des puits ; producteur d'eau, injecteur d'eau, producteur d'huile, les pompes, les bacs de stockages ...etc. (L'influence sur la qualité de pétrole).

Pour améliorer les conditions d'exploitation et augmenter les capacités d'injection d'eau d'Albien et la durée de vie des équipements pétroliers; des mesures prises par le SONATRACH tel que des installations de concentriques appelées macaronis pour l'acheminement des produits de traitement au fond des puits producteurs d'eau.

Un autre problème majeur est apparais ; la durée de vie des macaronis devient 18 mois au lieu de 6 ans.

Notre projet de recherche est de prolonger la durée de vie des macaronis, pour cette raison des inhibiteurs organiques ont été proposés.

I.I.4.1- Description du champ de Haoud Berkaoui

Le gisement de HAOUD BERKAOUI fut découvert en MARS 1965 par la CFPA (compagnie française de pétrole –Algérie) par le 1^{er} Forage du puits OK101,

l'exploitation de ce gisement à commencé aux champs HBK, BENKEHLA en1967 et au champ GELALLA en1973.

Les réserves d'hydrocarbures sont situées au niveau de TAG :(Trie. Argileux. Gréseux) à une profondeur moyenne de 3500 m et une hauteur totale moyenne de 50 m [19].

I.I.4.2- Description des puits

Dans la région de HBK se trouvent 03 types de puits :

- Les puits producteurs d'huile.
- Les puits injecteurs d'eau.
- Les puits producteurs d'eau.

I.I.4.2.1- Les puits producteurs d'huile

Il y a des puits éruptifs (salé ou non) et des puits non éruptifs produisant par gaz- lift. Puits éruptifs : le puits éruptif produit avec sa propre pression.

Puits éruptifs non salés : Leur complétion est simple.

Puits éruptifs salés : Leur complétion est simple mais avec un concentrique (macaroni).

* puits non éruptifs (en gaz- lift) :

Les puits sont équipés en gaz- lift quand leur pression est chutée de façon qu'elle ne permette pas aux bruts à atteindre la surface [19].

I.I.4.2.2 - Les puits injecteurs d'eau

La complétion de ces puits est simple (complétion des puits éruptifs non salés), mais au lieu de produire l'huile elle reçoit l'eau traitée sous pression, certains de ces puits se situent généralement à la périphérie du champ pour mieux balayer les réserves d'hydrocarbures [19].

I.I.4.2.3- Les puits producteurs d'eau

Se sont des puits forés sur l'Albien et alimentent les puits injecteurs d'eau ou la pression d'injection est assurée par le pompage dans les centres de production (HBK, BKH, GLA).

La présence d'eau, dans le puits peut provoquer une corrosion des équipements des puits, donc il faut traiter l'eau de préférence au niveau des puits producteurs avant d'être injectée dans le gisement.

Actuellement ce traitement est présent dans l'injection des Bactéricides aux têtes des puits producteurs d'eau, à travers un macaroni [19].

I.II - la corrosion

I.II.1 - Introduction sur la corrosion

La corrosion présente une grande importance; ses conséquences sont multiples et très variées de l'activité humaine surtout dans le domaine de pétrole. Par exemple, les dommages causés par la corrosion chaque année sur les : puits (tubbing) ; macaronis ; pompes ; bacs de stockage ; transport..., ont une incidence très grave et non négligeable sur l'établissement des prix de revient. Le remplacement de l'équipement pétrolier corrodé constitue donc pour l'industrie en particulier une charge financière très élevée à laquelle il faut ajouter le manque à gagner correspondant à l'arrêt des installations, nécessaire pour effectuer les réparations. Par exemple le remplacement d'un concentrique coûte beaucoup d'argent (7000000,00 DA).

Cependant les recherches sur la corrosion sont véritablement très compliquées et leur but est double; déterminer le processus des phénomènes afin de leur trouver un remède, et définir les matériaux susceptibles d'être utilisés dans des conditions données pendant une durée qui est parfois de plusieurs décennies, c'est bien le cas de notre domaine de recherche.

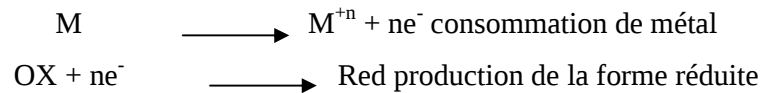
L'étude de la corrosion constitue une branche de la chimie puisqu'elle correspond à des réactions qui fondent intervenir un métal et un réactif. Mais, pour résoudre les problèmes qu'elle pose, on ne peut pas se contenter d'appliquer les lois classiques de la chimie. En effet, de nombreux facteurs spécifiques, se rapportant au métal ou au réactif, peuvent avoir une grande influence sur la genèse et le développement des phénomènes de corrosion, si bien qu'il est indispensable pour les étudier de faire également appel aux lois de la métallurgie et de l'électrochimie [27]

I.II.2 - Définition de la corrosion

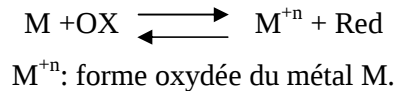
La corrosion est définie comme étant un ensemble de processus de détérioration d'un métal sous l'effet des actions physique, chimiques ou électrochimiques du milieu qui l'entoure. Le métal ainsi corrodé tend à réagir pour former un composé (oxyde, sulfate, carbonate... etc.) plus stable [28].

D'autre façon on peut définir la corrosion comme étant une réaction inter faciale irréversible d'un métal ou alliage métallique avec un agent corrosif de son

environnement. Qui implique une consommation de métal et une production d'une forme réduite de l'agent corrosif [29].



L'équation générale de la corrosion est :



OX: oxydant existe dans l'environnement du métal.

Red: forme réduite.

I.II.3 - Différentes formes de corrosion

La classification de la corrosion suit l'apparence de métal corrodé, chaque forme peut être identifiée par simple observation visuelle.

Les formes les plus courantes de la corrosion sont indiquées ci-après :

I.II.3.1- Corrosion galvanique

La présence de deux matériaux métalliques au contact d'un même électrolyte (comme l'eau de mer contenant 3% de NaCl) a pour effet de déséquilibrer les potentiels propres de chaque élément dans cette solution : C'est le principe même du couplage galvanique que l'on retrouve dans le nombreuses applications industrielles (accouplements acier-laiton, assemblage soudés de différentes natures...)[30].

I.II.3.2- Corrosion uniforme

Elle représente environ 35% des cas de corrosion rencontrés dans l'industrie. Elle est la conséquence de la dissolution de tous les points constitutifs de la surface du matériau qui sont attaqués sensiblement à la même vitesse par le milieu corrosif. Ceci se traduit, à l'échelle macrographique, par une diminution globalement régulière de l'épaisseur, par opposition à la corrosion localisée [27].

I.II.3.3- Corrosion inter granulaire

Il s'agit de la corrosion électrochimique qui est apparue lors du développement des aciers inoxydable. Elle consiste en une dissolution préférentielle des zones inter granulaires, souvent très pénétrante, provoquant une décohésion des grains et une perte

complète des propriétés mécaniques du matériau. Le type le plus courant de cette corrosion apparaît sur des structures soudées, dans la zone affectée thermiquement.

De nombreux milieux sont susceptibles de provoquer son apparition tels que les acides (nitrique, sulfurique, phosphorique, lactique, fluorhydrique), les milieux chlorurés (eau de mer, milieux chlorurés acides), les milieux de l'industrie alimentaire [31].

I.II.3.4 - Corrosion par piqûres

La corrosion par piqûres peut se produire en tout point de la surface d'un acier inoxydable exposée à un milieu chloruré. Elle se caractérise par une dissolution très localisée et très rapide de zones de petites dimensions dépassant rarement 1 à 2 mm.

La piqûre peut se produire à température ambiante mais les risques sont très nettement accrus par une augmentation de température. Ils sont aussi accrus par une augmentation de la teneur en ions Cl^- , par un mauvais état de surface (rayure, amorce d'arc lors du soudage,...etc.)

La présence d'oxydant dans le milieu accroît également les risques de piqûres [28].

I.II.3.5 - Corrosion par érosion

Les métaux se trouvant dans des conditions d'écoulement rapide d'un fluide dans les canalisations par exemple, subissent une dégradation mécanique: c'est l'enlèvement mécanique de la matière. La réaction chimique s'ajoute à ce transport de matière en constituant le phénomène corrosion- érosion [28].

I.II.3.6 - Corrosion sous contrainte

Ce type de corrosion est généré par l'action simultanée de contraintes de tension (les contraintes de compression ne provoquent aucun dommage) et d'un milieu agressif. Elle se caractérise par le développement de fissures branchées qui peuvent être soit trans granulaires soit inter granulaires dont la propagation peut être très rapide (quelque mm/h).

I.II.3.7 - Différents types de corrosion

On classe les types de corrosion selon le mode d'action de leurs milieux

I.II.3.7.1- Corrosion électrochimique

La corrosion est toujours le résultat de la présence simultanée de deux partenaires : le métal et le milieu corrosif. Lorsque l'on met un métal en contact avec l'eau, il apparaît des zones de potentiels différents (zones positives et zones négatives) qui on pour

conséquence la formation de micro- piles électrochimiques, et un courant électrique circule entre anode et cathode [28].

I.II.3.7.2- Corrosion chimique

Il s'agit d'une réaction hétérogène entre deux phases, une phase solide (métal) et une phase liquide ou gazeuse. Si le réactif est en phase gazeuse, il apparaît un phénomène dit corrosion sèche, si le réactif est en phase liquide, il se produit une attaque du métal avec formation d'un produit de corrosion à sa surface [28].

I.II.3.7.3- Corrosion bactérienne

Les bactéries peuvent être responsables de corrosion par l'intermédiaire des substances qu'elles consomment (formation d'une pile d'aération différentielle dans le cas de consommation d'oxygène ou dépolarisation cathodique dans le cas de consommation d'hydrogène).

- Des substances qu'elles rejettent (acide ou composés complexant l'hydrogène sulfuré).
- Ou de leur simple présence (formation de dépôts créant des hétérogénéités).

Les différents types de bactéries susceptibles de provoquer des nuisances dans l'industrie pétrolières.

Les bactéries prolifèrent dans de très nombreux milieux et dans des conditions très variées : elles se développent en milieu aéré (aérobioses) comme en absence d'oxygène (anaérobioses) elles peuvent être en trois catégories suivant leurs métabolismes [32].

I.II.3.7.3.1 -Les ferro-bacteries

Les ferrobactéries tirent l'énergie nécessaire à leur synthèse de la transformation des sels ferreux en sels ferriques. Or, dans les canalisations en métal ferreux, il y a toujours formation, en un point non protégé ou altéré de la surface, d'une légère attaque du métal au contact de l'eau avec formation d'hydroxyde ferreux. La présence de ferrobactéries au point d'attaque va entraîner la mobilisation des ions ferreux et leur transformation en ions ferriques, et ceci rapidement, tant que le milieu contiendra des ions ferreux. Il y a alors formation d'amas volumineux de <<rouille>> renfermant les corps bactériens suivis d'une dissolution du métal [33].

3.7.3.2 -Les sulfato réductrices (BSR)

Les bactéries sulfato réductrice sont des anaérobies strictes sont l'une des formes de vie les plus anciennes sur la terre ; contrairement aux autres bactéries dont le besoin en sulfates sert uniquement à la formation des composés soufrée pour la voie assimilatrice. Les BSR utilisent les sulfates comme accepteurs d'électron au cours de l'oxydation des substrats organiques. Ce sont des agents actifs dans la production et la transformation des gisements minéraux. On les rencontre dans les eaux douces ; et salées. Particulièrement d'eau désaérée ou des canalisations de transport de pétrole. Ces bactéries sont fragiles ; la taille variant entre 1 à 5 μm de long et 0,5 à 1 μm d'épaisseur.

Les pH qui leur sont les plus favorables sont voisins de la neutralité ; au-dessous de 5,5 et au-dessous de 9,5 les bactéries sont inactives. Leur température de développement varie entre 5°C et 55°C ; mais leur température optimale de croissance est de 37°C.

Donc les BSR sont capables de réduire les ions sulfates en sulfures qui augmente considérablement la vitesse de corrosion et les risques de fragilisation de l'acier [34].

I.II.3.7.3.3 -Les sulfo-bactéries

Ces bactéries réagissent avec le soufre. Soit elles le métabolisent à partir de composés réduits et le rejettent dans le milieu ambiant ou l'emmagent dans leurs cellules, soit elles l'oxydent ainsi que ses composés, en formant des produits acides (H_2SO_4).

Dans le premier cas, il y aura formation de boues. Dans le second, une acidification corrosive avec modification importante du pH du milieu [34].

Mécanisme réactionnel

La figure I.1 met en évidence toutes les réactions dues aux ferrobactéries et aux bactéries sulfato réductrices. Celles dues aux sulfatobactéries n'interviennent pas directement dans le processus de corrosion mais modifiant le milieu environnant[34].

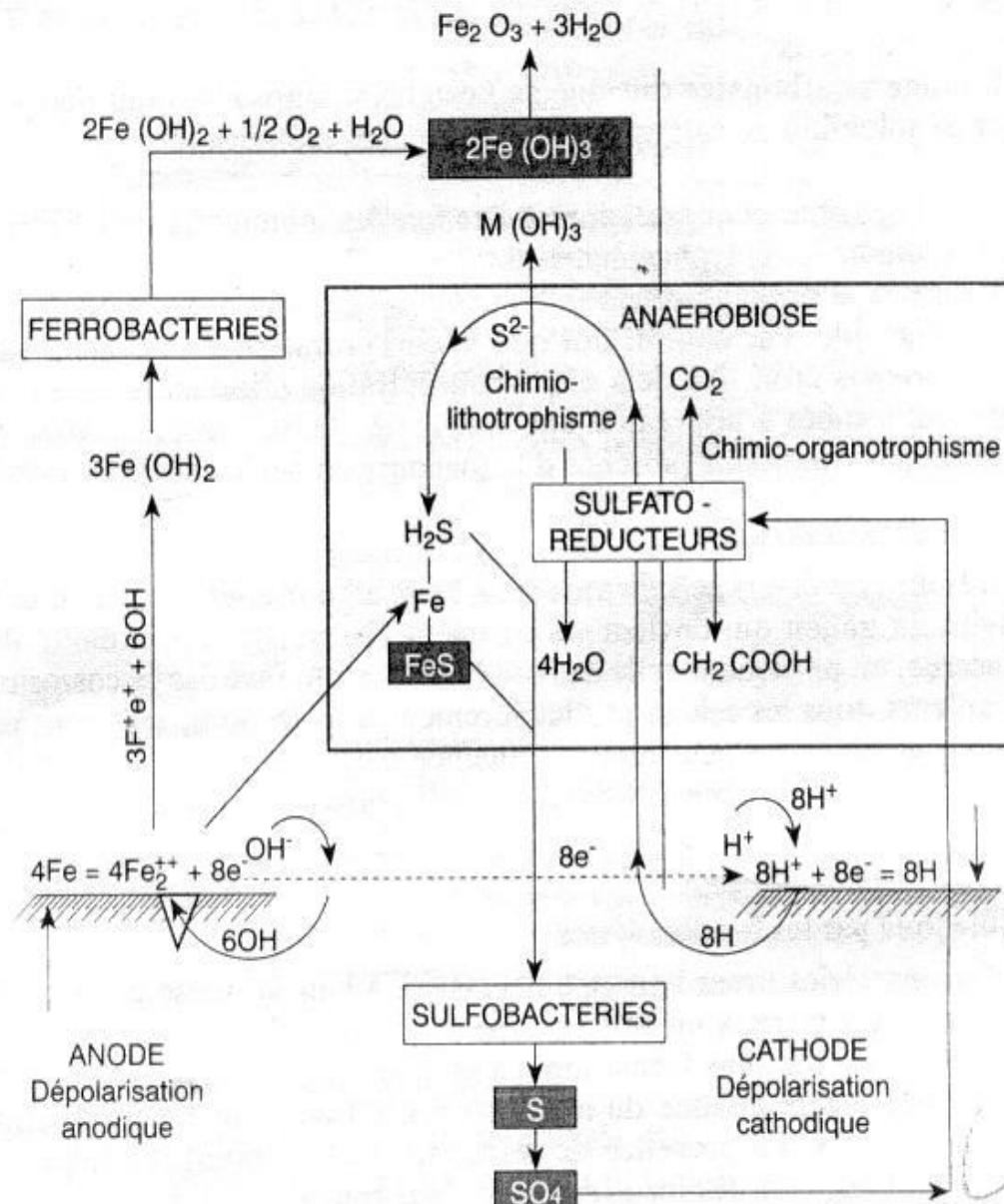


Fig.12. Schéma des phénomènes intervenant dans la bio corrosion Bactérienne.

I.II.3.8 - Corrosion par les eaux

- L'eau de mer est très corrosive
- l'eau douce, peu minéralisée, est moyennement corrosive
- l'eau dure est entartrant. Le dépôt de calcaire qu'elle forme protège généralement les conduites de la corrosion [30].

I.II.3.8.1- Corrosion par l'eau de mer

Caractéristiques de l'eau de mer

-Salinité : c'est la quantité totale (en g) de matières solides contenues dans un kg d'eau de mer.

Elle est de l'ordre de 35 g/litre.

Les principaux ions présents dans l'eau de mer sont par ordre d'importance :

Cl^- , Na^+ , SO_4^{--} , Ca^{++} , K^+ , HCO_3^- , Br^- , Sr^{++}

NaCl représente 77,8% en poids des sels dissous

MgCl_2 10,9%

MgSO_4 4,7%

CrSO_4 3,16%

K_2SO_4 2,5%

I.II.3.8.2 - Corrosion par l'eau douce

Parmi les milieux corrosifs, l'eau constitue un environnement responsable d'une grande partie des cas de corrosion des matériaux métalliques.

Pourbaix indique par exemple qu'une eau de distribution urbaine comporte plus de 15 entités différentes partagées entre substances dissoutes, corps solide et corps gazeux.

I.II.3.9 - Traitement de l'eau

N'importe qu'elle eau, assez éloignée de la saturation en NaCl peut convertir en théorie pour diluer une eau de gisement saturée ou presque saturée. On emploie de l'eau douce, en particulier au Sahara ou l'eau de l'Albien utilisée a une salinité de 1,8 g/l pour ne pas créer des problèmes nouveaux plus graves qu'eux des dépôts de sel, l'eau injectée doit subir des traitements complémentaires.

Il faut d'abord éviter la formation de dépôts par incompatibilité de l'eau de gisement et de l'eau de lavage et d'injection.

Dans tous les cas il faudra :

- Eviter d'introduire des bactéries (sulfato-réductrices en particulier) dans le circuit de traitement de brut.
- Eviter que l'eau injecter ne forme une émulsion stable avec le brut.
- Prévenir la corrosion interne du réseau d'amenée de l'eau du dispositif d'injection et du réseau de collecte du brut.
- Limiter la quantité de solides en suspension dans l'eau injectée de façon à ne pas endommager les pompes. On bouche le réseau dans les points bas.

Le concours d'un laboratoire est nécessaire pour :

- Effectuer les analyses d'eau.
- Définir les traitements nécessaires selon les moyens de sa mise en place.
- Sélectionner les puits.
- Définir les contrôles nécessaires sur place et leur périodicité : contrôles bactéries, coupons de corrosion [35].

CHAPITRE II

The text 'CHAPITRE II' is rendered in a bold, blue, sans-serif font. Each letter has a thin yellow outline. The text is presented in a 3D style, with a soft grey shadow cast beneath it, giving it a sense of depth and making it appear to float above the white background.

II.1. Introduction

Lorsqu'un métal est mis en contact avec une solution corrosive, il subit soit une corrosion, soit une immunité ou une passivation

Pour bien comprendre laquelle des diverses possibilités peuvent se produire, on fait appel à la thermodynamique électrochimique.

II.2. Thermodynamique de la corrosion

Pour qu'un métal soit thermodynamiquement corrodable dans un milieu corrosif donné, il faut qu'il puisse subir une réaction conduisant à une diminution d'énergie libre du système, ainsi la réaction



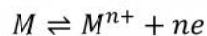
Donc le fer est oxydable à température ambiante.

Contrairement l'or ne peut donc pas être attaqué par oxydation à température ordinaire.



La thermodynamique fournit une première règle pour évaluer la résistance à la corrosion des métaux, comme les métaux pour lesquels ΔG est positif sont les métaux nobles [14].

La variation de l'énergie libre qui accompagne la corrosion d'un métal selon la réaction :



S'écrit comme suit :

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln[M^{n+}] \quad (1)$$

Avec : ΔG la variation de l'enthalpie libre entre les ions métalliques en solution et les atomes métallique

ΔG^0 la variation de l'enthalpie libre standard, correspond à une activité des ions métalliques en solution égale à l'unité.

R : constante des gaz parfait (8,3142 J/mol.K).

T : température en kelvin (298°K dans les conditions standard).

Les variations de l'enthalpie libre et l'enthalpie libre standard sont reliées au potentiel qui prend le métal vis-à-vis à la solution par la relation suivante :

$$\Delta G = -nFE \quad (2)$$

$$\Delta G_0 = -nFE_0 \quad (3)$$

Portant les relations (2) et (3) dans (1) on obtient:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln[M^{n+}] \quad (4)$$

Avec :

E : potentiel d'équilibre.

E_0 : potentiel standard.

n : nombres d'électrons échangés.

F : faraday ($1F=96500 \text{ C.mol}^{-1}$).

L'équation(4) est appelée relation deNernst reliant le potentiel du métal à ça concentration. Elle est très utile pour faire l'étude thermodynamique de nombreux systèmes électrochimiques [15].

II.2.1. Diagramme de Pourbaix

Ce sont des diagrammes d'équilibres électrochimiques qui indiquent, pour différentes conditions de tension d'électrode (potentiel) et de pH, les réactions énergétiquement possibles.

$$E = E_{app} + \frac{0.059}{n} \log \frac{[Ox]}{[Red]}$$

$$E_{app} = E_0 + KpH$$

Pourbaix a eu l'idée de tracer ces diagrammes pour chaque métal, à partir de la loi de Nernst donnant l'expression du potentiel d'équilibre.

Avec :

K : constant dépend des coefficients stœchiométriques de la réaction de corrosion.

On peut appliquer ces diagrammes seulement pour les métaux purs, mais pour le même métal, le diagramme peut changer si on ajoute une substance à l'électrolyte considéré.

De tels diagrammes indiquent notamment en fonction du pH de la solution, et de la tension d'électrode du métal, les limites thermodynamiques de stabilité du métal vis-à-vis de ces ions, vis-à-vis des ions de l'eau et vis-à-vis des produits de réactions de ces ions.

Le plan du diagramme se divise par les courbes obtenues en différenciant régions correspondantes aux différentes possibilités de comportement du métal.

Le comportement à la corrosion du fer est particulièrement important ; on tient compte de deux oxydes le $Fe(OH)_2$ et le $Fe(OH)_3$.

On distingue trois domaines de stabilité.

- **Corrosion** : celle ci intervient en milieu acide, le fer étant oxydé en ion Fe^{2+} puis éventuellement en ion Fe^{3+} .
- **Immunité** : s'étend dans tout le domaine de stabilité du métal.
- **Passivité** : résulte de la formation d'une couche d'oxyde ferrique protectrice pour des pH intermédiaires [14].

Pour cette raison on superpose sur le diagramme le domaine de stabilité thermodynamique de l'eau.

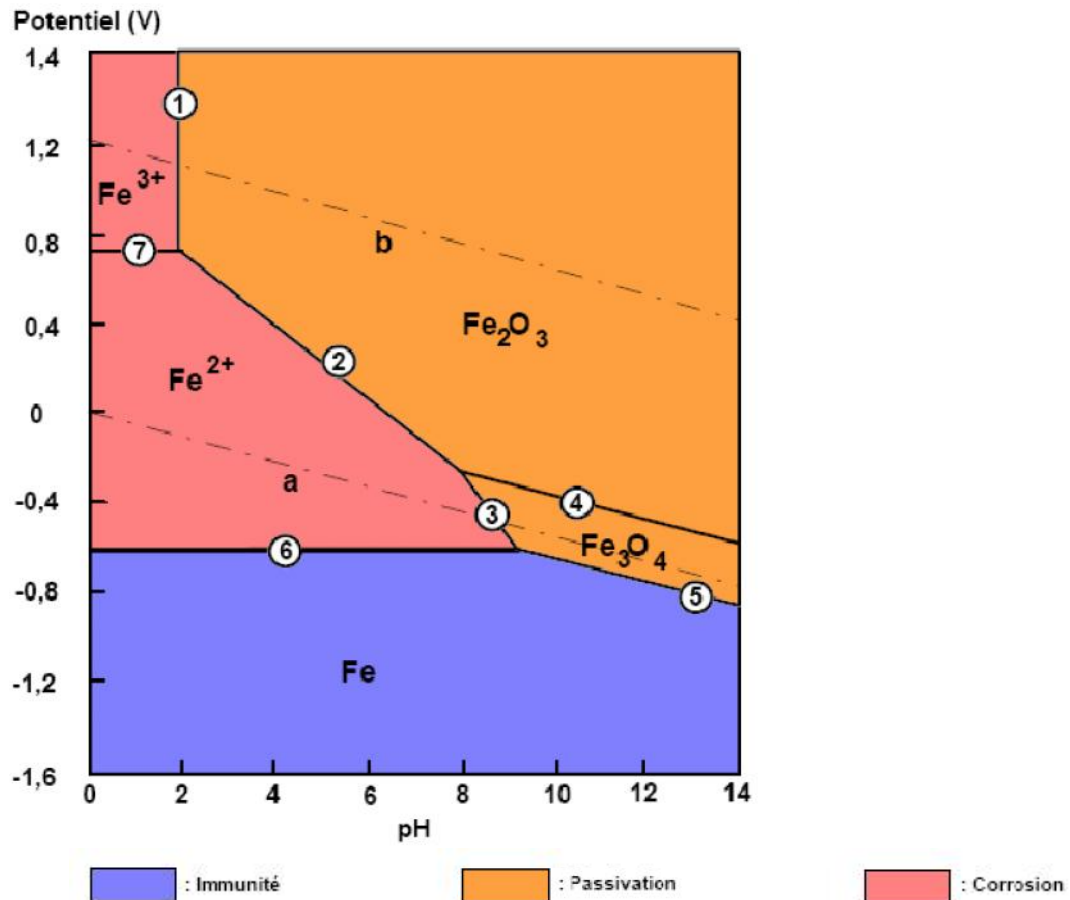


Fig.13. Diagramme E - pH du fer ($T = 25^\circ C$)

Les travaux de Pourbaix ne peuvent nous donner que des renseignements thermodynamiques sur ces phénomènes et nous ne pouvons avoir aucune donnée sur la cinétique de la corrosion.

La relation de Nernst ou plus précisément le potentiel du métal peut renseigner sur la thermodynamique de la réaction de corrosion mais elle ne permet pas de prévoir la cinétique de la réaction de corrosion.

II.3. Cinétique de la corrosion

La présence de deux matériaux métalliques au contact d'un même électrolyte (comme l'eau de mer contenant 3% de $NaCl$) a pour effet de déséquilibrer les potentiels propres de chaque élément dans cette solution : C'est le principe même du couplage galvanique que l'on retrouve dans de nombreuses applications industrielles (accouplements acier laiton, assemblages soudés de différentes natures...).

Il s'établit alors un courant électrique qui tend à rééquilibrer le système ; la valeur de la variation de potentiel, causée par un courant qui entre où qui sort d'une électrode est appelée polarisation. On définit alors la surtension, notée η , comme la différence entre le potentiel de l'électrode lorsque le courant n'est pas nul et son potentiel d'équilibre.

II.3.1. Différents types de polarisations

On distingue :

- ✓ La polarisation de concentration, qui dépend de l'évolution de la concentration en ions métalliques de la solution entourant l'électrode.
- ✓ La polarisation d'activation : c'est une polarisation provoquée par une réaction d'électrode lente, nécessitant une énergie d'activation pour se produire.
- ✓ La polarisation de résistance : elle est la conséquence de la chute de potentiel due à l'électrolyte entourant l'électrode et/ou au film produit par la réaction du métal à la surface de celui-ci [5].

II.3.2. Courbe de polarisation

La vitesse des réactions d'électrode dépend du potentiel. Par ailleurs, elle varie linéairement avec la densité de courant, selon la loi de Faraday. La densité de courant mesuré en fonction du potentiel donne une courbe de polarisation qui renseigne sur la cinétique des réactions d'électrode en jeu. Selon la méthode employée, contrôle du potentiel ou contrôle du courant, on obtient respectivement les courbes de polarisation potentiostatique $i = f(E)$ ou de polarisation galvanostatique $E = f(i)$. La figure.14 suivante représente un schéma expliquant la Courbe de polarisation[5].

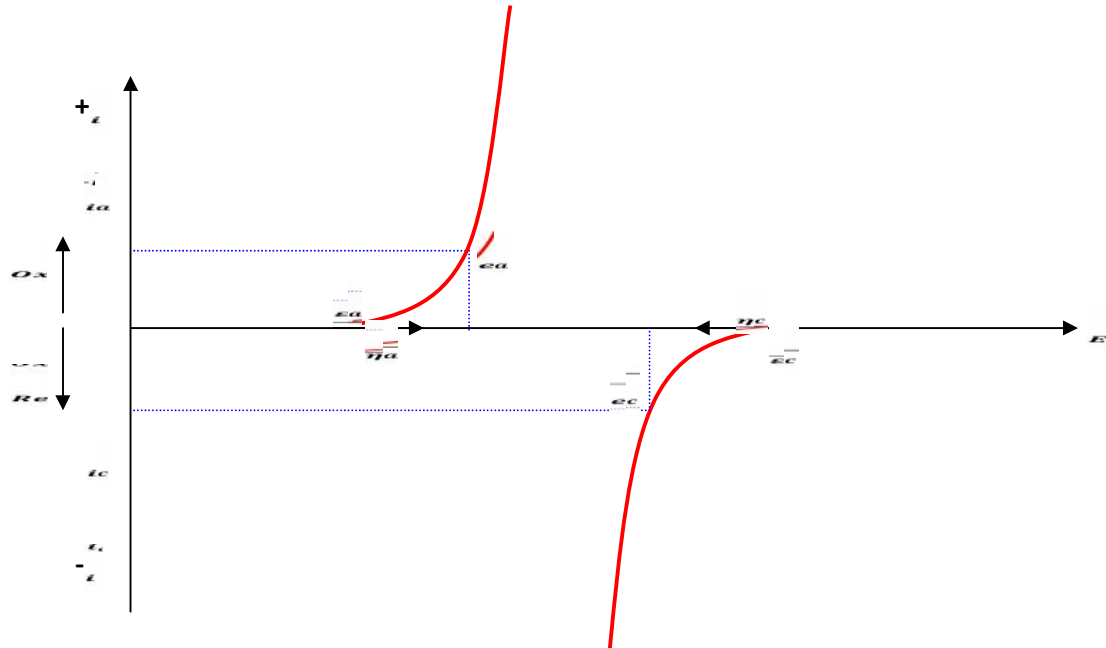


Fig.14. Courbe de polarisation

II.3.3. Equation Butler -Volmer

La vitesse d'une réaction de corrosion électrochimique est définie comme le nombre d'électrons échangés par unité temps ou le nombre de coulombs de charge électrique qui circulent par unité de temps. Elle est ainsi égale à l'intensité du courant électrique qui circule dans le circuit d'électrolyse et qui est le même à tout instant en tous points du circuit.

C'est donc une grandeur mesurable, le nombre d'électrons échangés étant proportionnel à la place de l'intensité ; la densité de courant I ; rapport de l'intensité i à la surface s d'électrode ($i = I/s$).

Les relations suivantes établissent la proportionnalité entre le courant faradique et la vitesse de l'électrolyte[16].

$$I(\text{c/sec}) = \frac{dq}{dt}$$

$$I(\text{mol/sec}) = \frac{dn}{dt}$$

$$V(\text{mol.s}^{-1}.\text{cm}^2) = \frac{I}{nFs} = \frac{i}{nF}$$

$$i = nFV(5)$$

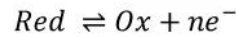
n : nombre d'électrons échangé.

F : le faraday.

s : surface d'électrode (métal) (cm^2).

V : vitesse de la réaction.

Si l'on applique cette formulation à la relation traduisant la réaction d'oxydoréduction représentative de la corrosion d'un métal,



on définit une vitesse de réaction anodique v_a et une vitesse de réaction cathodique V_c auxquelles correspondent respectivement les densités de courants i_a et i_c (à l'équilibre électrochimique on a en valeurs absolues $V_a = V_c$ et $i_a = i_c$).

Les vitesses de réaction sont proportionnelles aux concentrations des espèces régissantes et dépendent de la barrière d'énergie correspondant à la rupture des liaisons atomiques (enthalpie libre d'activation) en suivant la loi d'Arrhenius :

$$\text{Soit pour la réaction anodique : } V_a = k_{\text{Red}} C_{\text{Red}} \exp\left(-\frac{\Delta G_a^*}{RT}\right) \quad (6)$$

$$\text{et pour la réaction cathodique : } V_c = k_{\text{Ox}} C_{\text{Ox}} \exp\left(-\frac{\Delta G_c^*}{RT}\right) \quad (7)$$

Où k_{Red} et k_{Ox} sont des constantes, C_{Red} et C_{Ox} les concentrations en espèces réagissantes, ΔG_a^* et ΔG_c^* les variations d'enthalpie libre électrochimique d'activation des réactions anodique et cathodique, R la constante des gaz parfaits et T la température (en K).

L'enthalpie libre électrochimique d'activation peut se décomposer en l'enthalpie libre chimique d'activation ΔG_{ch}^* (qui ne dépend pas du potentiel) et l'énergie électrique du transfert des charges au potentiel $\Delta\phi$ qui se répartit, pour les réactions partielles, selon les relations :

$$\text{Réaction partielle anodique : } \Delta G_a^* = \Delta G_{a,ch}^* - \alpha n F \Delta\phi \quad (8)$$

$$\text{Réaction partielle cathodique : } \Delta G_c^* = \Delta G_{c,ch}^* - (1 - \alpha) n F \Delta\phi \quad (9)$$

$\Delta\phi$ représente la variation de potentiel à l'interface métal-solution et a le *coefficient de transfert de charges* ($0 < \alpha < 1$) traduisant le rapport de transfert de charges entre les deux réactions partielles anodique et cathodique comme schématisé à la figure.15 ci dessous.

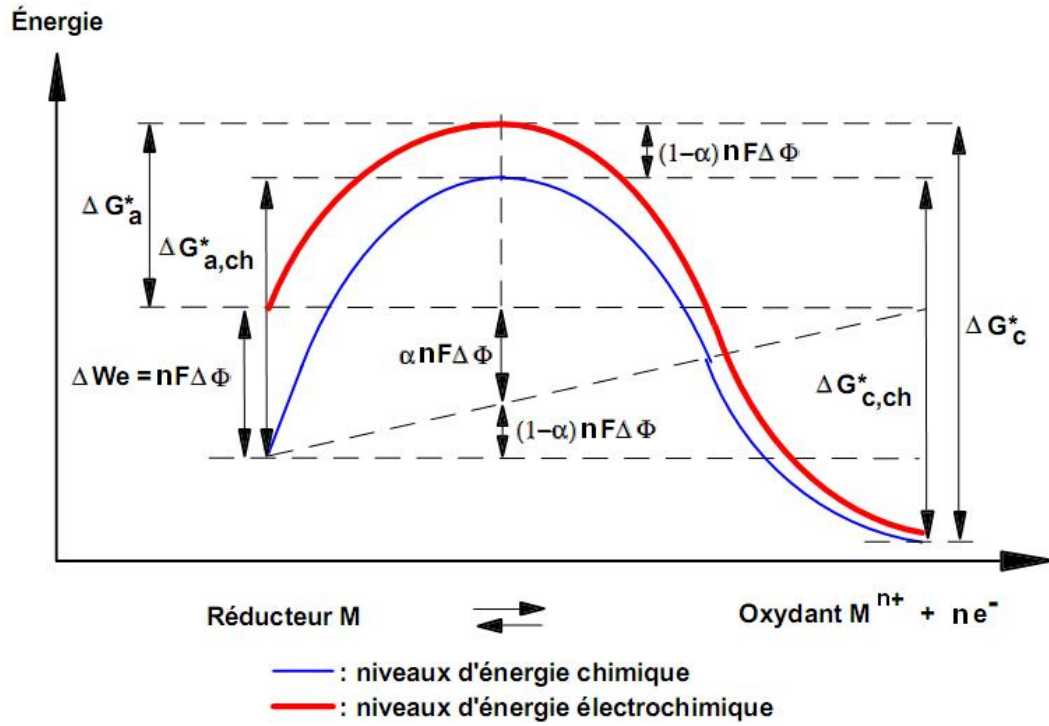


Fig.15. Influence du potentiel $\Delta\Phi$ sur l'énergie d'activation d'une réaction électrochimique

Si l'on applique à l'électrode M un potentiel $\Delta\Phi > 0$, l'énergie de n moles d'électrons dans le métal diminue d'une quantité $\Delta We = nF\Delta\Phi$. Le métal accepte alors plus facilement de céder des électrons et l'énergie d'activation de la réaction anodique de dissolution décroît de $\alpha nF\Delta\Phi$ alors que celle de la réaction inverse augmente de $(1 - \alpha)nF\Delta\Phi$ (courbe en trait gras).

Le cas particulier $\alpha = 1/2$ correspond à une courbe symétrique par rapport à l'axe passant par son sommet, et l'énergie ΔWe fournie se répartit alors pour moitié dans chaque réaction partielle. En reportant les relations (8) et (9) dans les expressions des vitesses de réaction (6) et (7) et en utilisant l'expression de la densité de courant (5) on obtient pour les valeurs absolues des densités de courants anodique et cathodique :

$$i_a = nFk_{Red}C_{Red}\exp\left(-\frac{\Delta G_{a,ch}^*}{RT}\right)\exp\left(\frac{\alpha nF}{RT}\Delta\Phi\right) \quad (10)$$

$$i_c = nFk_{Ox}C_{Ox}\exp\left(-\frac{\Delta G_{c,ch}^*}{RT}\right)\exp\left(\frac{(1 - \alpha)nF}{RT}\Delta\Phi\right) \quad (11)$$

La vitesse V de la réaction électrochimique est donnée par $V = V_a - V_c$ ou encore, en termes de densité de courant d'échange :

$$i = i_a - i_c$$

D'autre part, le potentiel de l'électrode E est mesuré par rapport à une électrode de référence dont le potentiel E_{ref} est constant. On a donc :

$$E = \Delta\phi - E_{ref} \quad (12)$$

En utilisant les relations (10), (11) et (12) et en regroupant les termes qui ne dépendent pas du potentiel E dans les constantes k'_{Red} et k'_{Ox} on obtient : $i = i_a - i_c = nFk'_{Red}C_{Red}\exp\left(\frac{\alpha nF}{RT}E\right) - nFk'_{Ox}C_{Ox}\exp\left(-\frac{(1-\alpha)nF}{RT}E\right)$ (13)

Avec :

$$k'_i = k_i \exp\left(-\frac{\Delta G_i^* + \chi_i E_{ref}}{RT}\right), \chi_{Red} = -\alpha nF \text{ et } \chi_{Ox} = (1-\alpha)nF$$

Lorsque la réaction d'oxydo-réduction est à l'équilibre, la densité de courant d'échange i (ou la vitesse globale V) est nulle. Cela ne signifie pas "qu'il ne se passe rien" mais seulement qu'il y a égalité des réactions partielles anodique et cathodique, soit $|i_0| = |i_a| = |i_c|$.

i_0 est la densité de courant d'échange de la réaction d'électrode à l'équilibre. Par définition, le potentiel E est alors égal au potentiel d'équilibre E_{eq} de l'électrode tel que défini par la relation de Nernst (4). En utilisant les expressions de (13):

$$i_0 = nFk'_{Red}C_{Red}\exp\left(\frac{\alpha nF}{RT}E_{eq}\right) = nFk'_{Ox}C_{Ox}\exp\left(-\frac{(1-\alpha)nF}{RT}E_{eq}\right) \quad (14)$$

Si l'on introduit l'expression de i_0 dans (13) on obtient :

$$i = i_0 \left[\exp\left(\frac{\alpha nF}{RT}\eta\right) - \exp\left(-\frac{(1-\alpha)nF}{RT}\eta\right) \right] \quad (15)$$

Avec $\eta = E - E_{eq}$, surtension ou écart de potentiel par rapport à la valeur d'équilibre E_{eq} pour laquelle $|i_0| = |i_a| = |i_c|$, et $i = 0$.

La relation (15) est appelée l'équation de Butler-Volmer de l'électrode.

II.3.4. Droites de Tafel

Pour une surtension η suffisamment élevée, l'une ou l'autre des réactions anodique et cathodique de la relation (15) devient rapidement négligeable. Ceci est illustré à la

Figure I.4 où l'on a représenté l'évolution des densités de courant i_a et i_c en fonction du potentiel E .

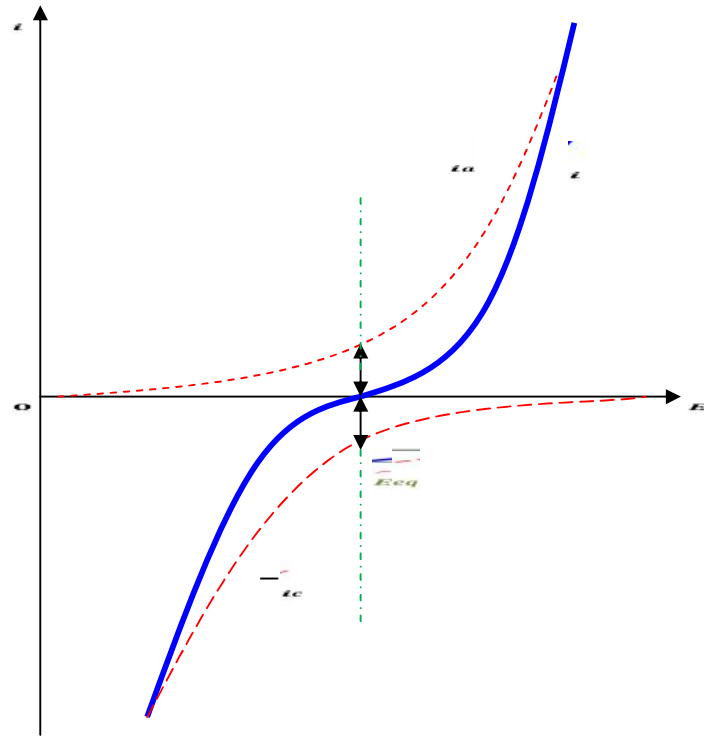


Fig.16. évolution des densités de courant i_a et i_c en fonction du potentiel E

Dans le cas d'une surtension η_a anodique, on aura donc :

$$i = i_a = i_0 \exp\left(\frac{\alpha n F}{RT} \eta_a\right) \quad (16)$$

et pour une surtension η_c cathodique :

$$i = i_c = i_0 \exp\left(-\frac{(1 - \alpha) F}{RT} \eta_c\right) \quad (17)$$

Dans les relations (16) et (17) on peut définir les *coefficients de Tafel* anodique et cathodique par :

$$\beta_a = \frac{RT}{\alpha n F} \quad (18)$$

$$\beta_c = \frac{RT}{(1 - \alpha) n F}$$

On a dans ce cas :

$$\begin{aligned}\eta_a &= \beta_a \ln \left(\frac{i_a}{i_0} \right) \\ \eta_c &= -\beta_c \ln \left(\frac{i_c}{i_0} \right)\end{aligned}\quad (19)$$

Soit encore pour la branche anodique :

$$\log_{10}(i_a) = \frac{\eta_a}{2.3\beta_a} \ln(i_0) \quad (20)$$

et pour la branche cathodique :

$$\log_{10}(i_c) = -\frac{\eta_c}{2.3\beta_c} \ln(i_0) \quad (21)$$

Les relations (20) et (21) sont les *droites de Tafel* anodique et cathodique qui décrivent les limites anodique et cathodique de l'équation générale de Butler-Volmer (15). La représentation $\log_{10}(i)$ en fonction de E est couramment utilisée pour la détermination des paramètres cinétiques i_0 , β_a et β_c . L'intersection des droites de Tafel (20) et (21) qui correspond à $|i_0| = |i_a| = |i_c|$ et à des surtensions η_a et η_c nulles $E = E_{eq}$ permet en effet, sur une représentation de ce type, une détermination graphique de la valeur de la densité de courant d'échange à l'équilibre. Le type de diagramme ainsi obtenu est schématisé à la Figure.17. Les domaines de potentiels pour lesquels la courbe rejoint les droites de Tafel sont les *domaines de Tafel* anodique et cathodique. [9, 15, 18]

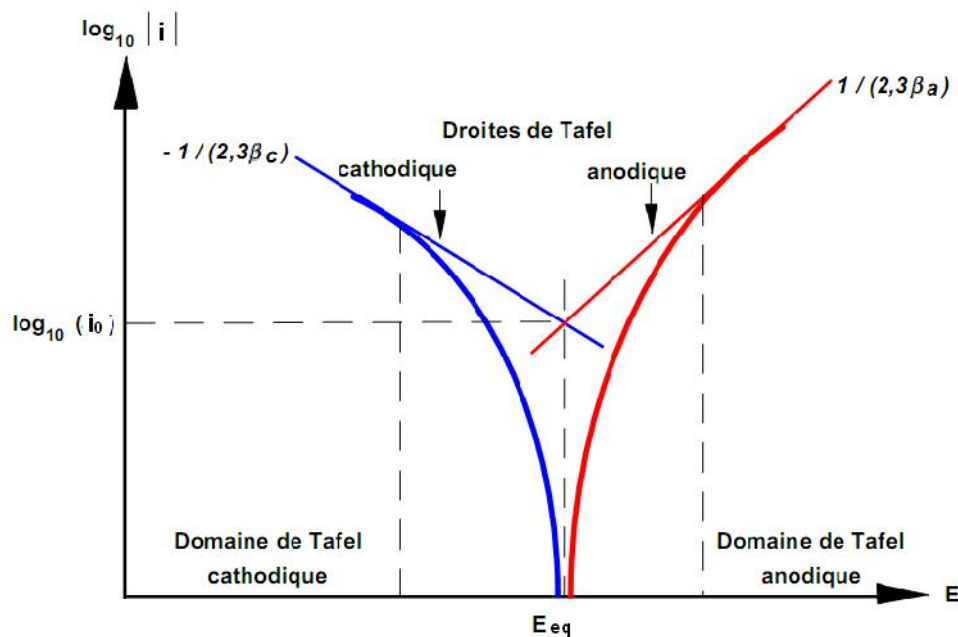


Fig.17. Courbe de Tafel

CHAPITRE III

The text 'CHAPITRE III' is rendered in a bold, blue, sans-serif font. Each letter has a thin yellow outline. The text is presented in a 3D style, with a soft grey shadow cast beneath it, giving it the appearance of being a physical object floating above the page.

III.1. Introduction des inhibiteurs

Les inhibiteurs de corrosion sont des composés chimiques qu'on ajoute aux milieux corrosifs pour diminuer la vitesse de la corrosion. Tandis que les inhibiteurs minéraux doivent être utilisés en grande quantité sinon seront très corrosifs. Les inhibiteurs organiques présentent l'avantage de pouvoir être utilisés en faible quantité. Ces inhibiteurs ne sont pas toxiques.

III.2. Degré d'inhibition

Appelé aussi degré ou rendement d'inhibition :

$$IE = (V_0 - V)/V_0$$

V_0 : vitesse de la corrosion en absence d'inhibiteur.

V : vitesse de la corrosion en présence d'inhibiteur.

III.3. Classement des inhibiteurs

Les inhibiteurs peuvent être classés par différentes façons. Le Tab.III.1 regroupe un ensemble d'inhibiteurs classés selon leur mode d'action. Le classement des inhibiteurs est très important pour ceux qui travaillent dans le domaine d'inhibiteurs. Chaque milieu est caractérisé par ses propres inhibiteurs.

Tab.II. classement des inhibiteur

Mode d'action	Espèce	Classification
Anodique	Chromates	Passivation
	Nitrates	
	Phosphates	Passivation sans oxydation
	Molybdates	
	Tungstates	
Cathodique	Arséniates	Poison cathodiques
	Carbonates	Précipité de ca.mg.
	ZnSO ₄	Précipité de Zn(OH) ₂
Précipitations	Phosphates silicates	Effets cathodique et anodique
Réducteur d'oxygène	Sulfure d'hydrogène	Effets cathodique
Volatil/phase vapeur	Cyclohexylamine	Passivation (sel de NO ₂)
	Morpholine	
Filmant	Amines Imidazolines Quaternaires Alcools Acétylénique	Adsorption organique

III.4. Par domaine d'application

Selon domaine d'application, on peut classer l'inhibiteur comme suit :

- Les inhibiteurs pour milieu acide : on peut citer l'industrie pétrolière ou on les ajoute aux fluides de forage.
- Les inhibiteurs pour milieu neutre : comme dans le circuit d'eau de refroidissement.
- Les inhibiteur pour milieu organiques : dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence
- Les inhibiteurs pour les peintures : comme par exemple les pigments inorganiques.
- Les inhibiteurs pour phase gazeuses : généralement pour une protection temporaire pendant le transport et le stockage.

III.4.1. Par réaction partielle

- Les inhibiteurs de corrosion peuvent être classés à partir des réactions partielles. On peut distinguer les trois classes suivantes.
- Les inhibiteur anodiques : déplacent le potentiel de la corrosion vers le sens positif et diminuent la densité de courant partielle anodique.
- Les inhibiteur cathodiques : déplacent le potentiel de la corrosion dans sens négatif et diminuent la densité de courant partielle cathodique.
- Les inhibiteur mixtes une modifient que très peu le potentiel de corrosion mais diminuent la vitesse des deux réactions.

La distinction entre les inhibiteurs cathodique et anodique reste valable quelle que soit l'étape militante.

III.4.2. Par mécanismes d'inhibition

Les mécanismes d'inhibition dépendent de plusieurs facteurs, mais peut distinguer parmi les mécanismes d'inhibition les suivant :

-L'adsorption se fixe à la surface en formant une liaison fort avec le métal .ces inhibiteur sont les plus connus, cependant leur modes d'action présentes toujours quelques ignorances.

-Passivation : les inhibiteur forment ou aident à formes une couche de passivation qui protège le métal.

-Précipitation : ces inhibiteur précipitent à la surface du métal pour le protèges.

Elimination de l'agent corrosif : pour protéger le métal on peut aussi charger le milieu corrosif en ajoutant un composé qui consomme l'agent corrosif. La corrosion peut donc diminuer.

Ce classement est global, on peut que rarement trouver le mécanisme exact d'action d'un inhibiteur. Le manque des modèles théorique qui permettent une prédiction exacte, justifie le recoure aux modèles empirique et semi-empirique. Ces modèles sont largement adoptés dans les travaux de la recherche dans ce domaine.

III.5. Inhibition en milieu acide

III.5.1. Structure moléculaire des inhibiteurs

Les molécules organiques contiennent une partie non polaire. La partie polaire se lie à la surface, alors que la partie non polaire souvent volumineuse bloque partiellement la surface active.

Il y a beaucoup de molécules qui peuvent inhiber la corrosion. Ces molécules sont en générale polaires ou contiennent une partie polaire ou plus. On donne comme exemple de partie polaire:

- NH₂: amine
- SH: mercapto,
- OH: hydroxyle,
- COOH: carboxyle,
- PO₃: phosphate,

III.5.2. Influence de la densité électronique

Plus les atomes fonctionnels constituant la partie polaire ont tendance à former des liaisons avec le métal plus les inhibiteurs sont efficaces .

Donc l'efficacité de l'inhibiteur est inversement proportionnelle avec l'électronégativité de ses atomes fonctionnels. En tenant compte de la structure moléculaire de la partie non polaire, cette dernière peut influencer la capacité des atomes fonctionnels pour donner des électrons. Il y a bien sûr d'autres facteurs comme l'effet stérique qui peuvent influencer l'adsorption des molécules organiques .Tous ces facteurs seront pris en considération lors de présentation du modèle.

III.5.3. Influence de la concentration d'inhibiteur

On décrit souvent la variation du recouvrement de la surface par un inhibiteur θ en fonction de sa concentration dans un milieu à l'aide d'une isotherme d'adsorption. Si par exemple on utilise l'isotherme de Langmuir, donc :

$$\theta = b_L C_{inh} / (1 + b_L C_{inh}).$$

b_L : coefficient d'adsorption,

C_{inh} : concentration d'inhibiteur dans l'électrolyte,

En première approximation, on peut écrire le courant comme :

$$i_{cor}(\theta) = (1 - \theta) i_{cor}(0) + i_{cor}(1).$$

D'où :

$$\theta = [i_{cor}(0) - i_{cor}(\theta)] / [i_{cor}(0) - i_{cor}(1)].$$

En mesurant la vitesse de corrosion en fonction de la concentration de l'inhibiteur, on peut déterminer θ à partir de la formule précédente.

On peut aussi déterminer θ à partir de la capacité de la double couche C , on a donc :

$$\theta = [C(0) - C(\theta)] / [C(0) - C(1)].$$

III.5.4. Formation de couches de précipitation

Parfois, l'inhibiteur forme des complexes peu solubles avec les ions provenant de la dissolution du métal ; ensuite les complexes précipitent à la surface en formant des couches superficielles et la dissolution est relativement ralentie.

III.6. Inhibition en milieu neutre

En milieu neutre la corrosion est due normalement à l'oxygène dissous. On peut diminuer cette attaque par différentes manières.

*En empêchant l'oxygène d'accéder à la surface (inhibition cathodique)

*En diminuant la vitesse de la réaction partielle anodique en rendant le métal passif (inhibition anodique)

*En bloquant les sites de réaction par des substances qui s'adsorbent à la surface.

Deux types d'inhibiteurs de passivation sont utilisés dans les milieux neutres :

-Les inhibiteurs oxydants : qui augmentent la densité de courant partiel cathodique permettant une passivation spontanée. Le potentiel de corrosion se situe donc au potentiel de domaine passif.

-Les agents tampons : qui maintiennent un pH élevé au voisinage de la surface du métal facilitant la passivation en abaissant la densité de courant de passivation et le potentiel de passivation.

L'inhibition par précipitation en milieu est assurée par des couches superficielles de composés précipités ou polymérisés. Agissant sur la réaction cathodique certains composés réduisent la vitesse de corrosion en présence d'oxygène. Pratiquement, des mélanges adéquats d'inhibiteurs regroupent plusieurs modes de protection sont souvent utilisés.

III.7. Protection par inhibition

Un inhibiteur de corrosion est une substance qui, ajoutée à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact avec ce milieu.

Il agit directement sur le mécanisme réactionnel en intervenant dans la région interface métal-solution et modifiant ainsi le courant d'échange, les coefficients de Tafel et les surfaces actives. Un inhibiteur peut être utilisé comme unique moyen de protection :

- Soit comme protection permanente.
- Soit comme protection temporaire, par exemple pendant une période où la pièce est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage...)

Il peut également être combiné à d'autres moyens de protection tels que les peintures, les revêtements métalliques...

Pour être considéré comme bon inhibiteur, un produit doit abaisser la vitesse de corrosion sans affecter les caractéristiques physico-chimiques du métal. De plus il doit

être stable en présence des autres constituants du milieu et aux températures d'utilisation. En outre, il doit être efficace à faible concentration et être faiblement toxique. Enfin, il ne doit pas engendrer un surcoût trop important.

Bien que leur utilisation puisse être théoriquement envisagée dans la plupart des cas de corrosion, les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

- le traitement des eaux notamment dans les chaudières industrielles
- l'industrie du pétrole pour sauvegarder les installations de la corrosion
- la protection temporaire des métaux, que ce soit pendant le décapage acide ou le nettoyage des installations
- l'industrie des peintures sur métaux où les inhibiteurs sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux.

Nous nous intéressons dans notre étude essentiellement à des inhibiteurs organiques. Ce paragraphe a pour objet de rappeler les principaux mécanismes connus des inhibiteurs organiques.

Le mécanisme d'inhibition comprend l'adsorption de l'inhibiteur à la surface métallique qui peut être de deux types : électrostatique ou chimique. Dans le cas d'une interaction électrostatique, les liaisons vont dépendre de la charge de la surface et de celle de l'inhibiteur. Pour l'interaction chimique, les liaisons s'effectuent par l'intermédiaire d'un centre actif de la molécule.

Deux contributions de l'inhibiteur peuvent être avancées :

- un effet de blocage de la surface sans modification des réactions anodiques et cathodiques.
- un effet énergétique, l'adsorption de l'inhibiteur s'accompagnant d'une modification des cinétiques réactionnelles de nombreuses molécules organiques peuvent être utilisées comme inhibiteur. Par ailleurs, la commercialisation d'un produit dépend en grande partie de son prix de revient (la préférence étant donnée aux sous-produits de l'industrie pétrolière). En général, les composés susceptibles de fonctionner comme inhibiteur possèdent un centre actif susceptible d'échanger des électrons avec le métal. Il contiendra donc un ou plusieurs atomes d'azotes, oxygène, soufre ou phosphore [10, 12].

III.7.1. Efficacité d'un inhibiteur

Un inhibiteur est efficace si son degré d'inhibition IE (rendement d'inhibiteur) qui caractérise le ralentissement de la corrosion dû à la présence d'un inhibiteur est maximal [12].

$$IE = (V_0 - V)/V_0$$

Où V_0 et V désignent respectivement les vitesses de corrosion en l'absence et en présence de l'inhibiteur.

III.7.2. Action sur les réactions électrochimiques

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique, on peut distinguer les inhibiteurs anodique, cathodique ou mixte (regroupant alors les deux premières propriétés). L'inhibiteur de corrosion forme une couche barrière sur la surface métallique, qui modifie les réactions électrochimiques en bloquant soit les sites anodiques (siège de l'oxydation du métal) soit les sites cathodiques (siège de la réduction de l'oxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide), voire les deux (fig.18).

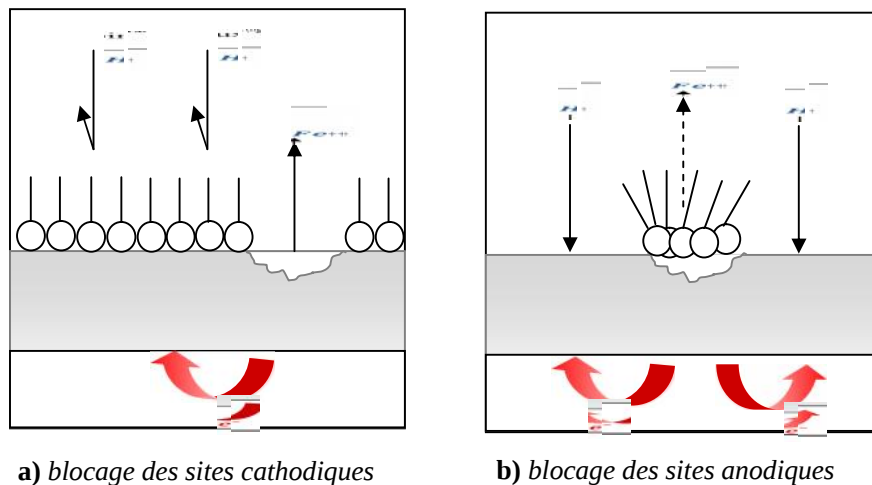


Fig.18. Formation des couches barrières a) cathodiques et b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide

- **Les inhibiteurs anodiques :** diminuent la densité de courant partiel anodique et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif. Les inhibiteurs anodiques doivent être utilisés en quantité suffisante, car les surfaces anodiques étant de faibles dimensions vis-à-vis des surfaces cathodiques, la corrosion sera fortement localisée sur les sites non protégés. Des piqûres en résulteront.

- **Les inhibiteurs cathodiques :** contrairement aux inhibiteurs anodiques, les inhibiteurs cathodiques agissent sur les surfaces cathodiques des systèmes de corrosion électrochimique. Ils stoppent le transfert d'électrons et donc à la poursuite de la corrosion. Toute substance susceptible d'interface avec la réaction de réduction cathodique entre dans cette catégorie.
- **Les inhibiteurs mixtes :** diminuent la densité de courant des deux réactions partielles, mais ils modifient peu le potentiel de corrosion [10].

III.7.3. Mécanisme réactionnel mis en jeu

On distingue différent mode d'inhibition:

➤ Inhibition par adsorption:

Ce sont des substances qui empêchent l'action du milieu agressif en se fixant sur le métal, la corrosion est ralentie suite à cette adsorption. Le degré d'inhibition dépend alors de l'équilibre entre espèces dissoutes et adsorbées. Ce mécanisme est particulièrement important en milieu acide, la fixation sur la surface se fait par la fonction active de l'inhibiteur, celui-ci est plus efficace s'il agit par adsorption chimique plutôt que par adsorption physique qui ne met en jeu que des forces électrostatiques faibles.

➤ Inhibition par passivation:

Certains inhibiteurs oxydants provoquent une passivation spontanée du métal diminuant ainsi la vitesse de corrosion, ils complètent la couche d'oxyde plus ou moins protectrice formée naturellement sur le métal, ils agissent en s'adsorbant sur les pores de cette couche d'oxyde incomplète et s'y réduisent.

➤ Inhibition par précipitation:

Certains inhibiteurs provoquent la formation de films superficiels par précipitation de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles. Ces films réduisent l'accessibilité de la surface vis-à-vis de l'oxygène et en plus bloquent la dissolution anodique.

➤ Inhibition par élimination de l'agent corrosif:

Cette inhibition n'est applicable que dans des systèmes fermés, elle se pratique notamment dans des circuits d'eau chaude fermée des centrales thermiques, une faible quantité d'inhibiteur est ajoutée à l'eau, préalablement dégazée et déionisée, afin de supprimer les dernières traces d'oxygène et en empêcher ainsi la corrosion.

III.8. Les bactéricides

Lorsqu'un individu souffre d'une infection, son médecin lui prescrit un traitement antibiotique qui a pour but de stopper le développement des micro-organismes à l'origine des symptômes observés. Lorsqu'une installation industrielle est contaminée par des bactéries, le responsable du traitement va utiliser des « bactéricides » qui ont le même objectif.

Les produits utilisés en médecine sont très actifs, et pourraient de ce point de vue reprendre aux besoins des traitements industriels. Les médecins n'emploient que très rarement des antibiotiques à titre préventif, en milieu industriel par contre, la prévention doit être la règle. Les installations industrielles n'ont pas ce système naturel de défense (immunité) : En absence de prévention.

En règle générale dans l'industrie il y a adsorption du bactéricide par la bactérie, qui bloque le processus du métabolisme bactérien à un niveau bien spécifique (enzyme). Après un temps donné, la bactérie meurt.

Donc la nécessité de laisser un temps de contact suffisant pour détecter s'il y a ou non une efficacité du produit.

- Si la quantité de bactéricide est faible, la bactérie a la capacité de bloquer elle-même ses échanges avec l'extérieure en attendant qu'elle ne soit pas tuée, et dès la disparition du produit la prolifération reprend.
- Si l'utilisation du produit est permanente, cela entraîne des phénomènes d'accoutumances c'est à dire que la bactérie apprend à contourner le blocage enzymatique et le produit perd totalement son efficacité. Pour cela il est nécessaire d'utiliser deux produits différents ou traiter d'une manière discontinue avec un seul produit ou d'utiliser des inhibiteurs de corrosion.

III.9. Protection électrique (active)

Il s'agit de modifier le comportement électrochimique du métal dans le milieu corrosif, par l'intermédiaire d'un courant électrique.

III.9.1- Protection cathodique

La protection cathodique est la plus importante de tous les moyens de protection contre la corrosion. Par l'application d'un courant électrique ou l'emploi d'un métal moins noble, la corrosion peut être réduite à zéro et une surface d'un métal peut être maintenue

dans un milieu corrosif sans aucune détérioration. Il y a deux types de protection cathodique.

➤ **Protection par anode sacrificielle**

Ce procédé met à profit le phénomène de corrosion bimétallique en connectant électriquement la structure à protéger à des masses d'un métal moins noble (aluminium, zinc ou magnésium dans le cas de protection de l'acier) celles-ci vont le corroder préférentiellement et fournir un courant cathodique à la structure.

➤ **Protection par courant imposé**

Dans ce mode de protection, on fait passer un courant dans une pile constituée par le métal à protéger placé à la cathode et une anode suivant le cas en alliage Fe 12% Si, en graphite, en plomb élémentaire n'a pas lieu [10,8]. La figure II.I suivante représente un schéma expliquant la protection cathodique

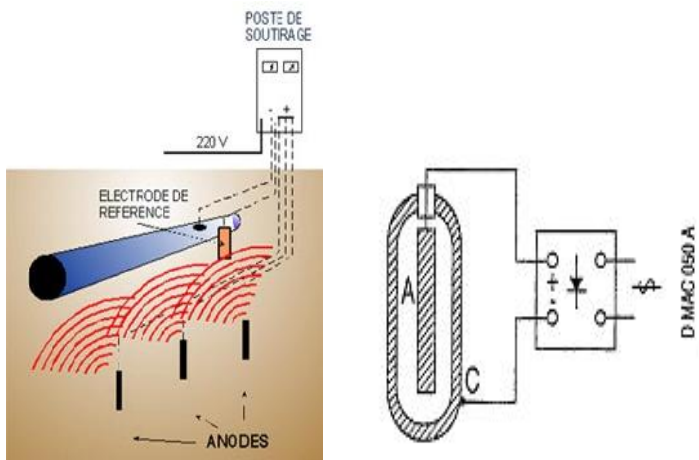


Fig.19. Protection cathodique

III.9.2- Protection anodique

La protection anodique consiste à maintenir le potentiel d'un alliage passivable (le métal n'a aucune influence) dans un domaine de passivité stable en éliminant son potentiel sous l'effet d'un faible courant anodique.

On utilise la protection anodique que pour protéger des sections entières d'installation chimique fabriquées avec un métal qui peut se passiver à l'intérieur de l'installation. Ceci limite donc rapidement son utilisation. De plus elle est potentiellement dangereuse par ce que si la protection se brise en un point donné, elle doit être immédiatement

remplacée sinon la dissolution en ce point sera très rapide ; en effet cette brèche offre alors un chemin de basse résistance pendant que le métal est polarisé anodiquement [10,8]. La fig.20 suivante représente un schéma expliquant la protection anodique

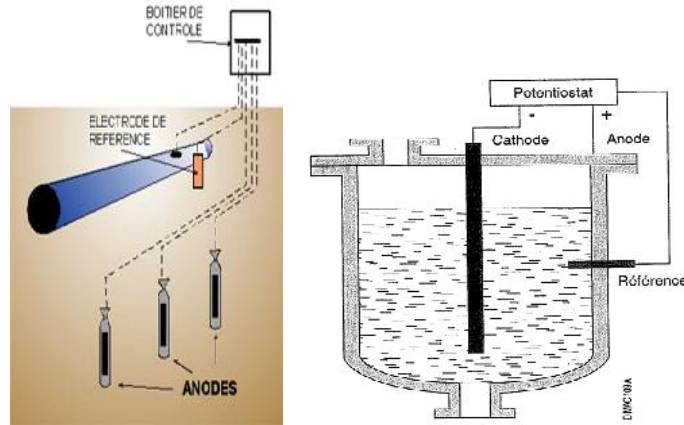


Fig.20. Protection anodique

III.10-Revêtements protecteurs

Ces revêtements isolent le matériau de l'électrolyte. Ils nécessitent toute une préparation de la surface du métal de base de façon à ce que le revêtement soit adhérent. Ils peuvent être métalliques, non métalliques, chimique.

III.10.1- Revêtements métalliques

Il existe deux types de revêtements métalliques, suivant les places relatives qu'occupe dans la classification électrochimique, le métal qui constitue le revêtement et le métal à protéger ainsi dans le cas du fer, le revêtement du zinc, cadmium et aluminium sont anodiques les revêtement de plomb, étain, nickel, cuivre, argent, or et platine sont cathodique.

III.10.2- Revêtements non métalliques

Il s'agit principalement des peintures et des matières plastiques. Elles doivent posséder un certain nombre de qualités, imperméabilité à l'eau et au gaz, grande adhérence, stabilité chimique.

III.10.3- Revêtements chimiques

L'oxydation et la phosphatation électrochimique et chimique forment les revêtements chimiques.

- **L'oxydation :** C'est l'application d'un film d'oxyde comme protection, comme l'anodisation de l'aluminium.
- **La phosphatation :** C'est l'application d'un film protecteur de phosphate améliorant l'adhérence des peintures. Ce film bleu foncé à reflets verts est poreux et fragile, il se détruit en eau basique et acide [8, 11].

CHAPITRE IV

The text 'CHAPITRE IV' is rendered in a bold, blue, sans-serif font. Each letter has a thin yellow outline. The text is presented in a 3D style, with a grey shadow cast beneath it, suggesting it is floating above a surface. The shadow is composed of several parallel lines, giving it a sense of depth and perspective.

IV.1. Matériels et logiciels utilisés

IV.1.1. Potentiostat/galvanostat type PGZ 301

Permet d'imposer un potentiel varié sur l'électrode de travail qui représente l'acier au carbone XC70 et donc la mesure du courant circulant entre l'électrode de travail et celle de référence.

IV.1.2. Cellule électrochimique

La cellule de mesure utilisée pour les essais électrochimiques est une vase en verre pyrex de forme cylindrique, à double parois thermostat Isée, de volume utile égale à 500 cc, aux coté du cylindre, des rodages coniques permettant l'introduction des électrodes.

IV.1.3. Electrodes utilisées

✓ Electrode de travail (ET) :

L'électrode de travail utilisée, dans notre travail, est l'acier XC70 découpé en petite plaque cylindrique d'une surface 14.13cm^2 .

✓ Electrode auxiliaire ou contre électrode (CE) :

Est une cylindre de platine polie de 1cm^2 de surface, son rôle est d'assurer le passage du courant électrique dans la cellule électrochimique.

✓ Electrode de référence (ER) :

Est une électrode au calomel saturée en chlorure de potassium, constituée par le système $\text{Hg}_2/\text{Hg}, \text{Cl}_2\text{KCl}$. Cette électrode de référence notée ECS est impolarisable, son potentiel rigoureusement constant, est situé à 241 mV par rapport à celui de l'électrode normal de l'hydrogène ENH.

$$E_{ECS} = E_{ENH} + 241$$

IV.1.4. Micro-ordinateur

De type de processeur Pentium ® 4 pour l'enregistrement des données

IV.1.5. Logiciel Volta master 4

Ce logiciel permet l'enregistrement de potentiel imposé sur l'électrode de travail et le courant qui circule entre l'électrode de travail et celle de référence.

IV.1.6. Logiciel Originlab. Version 8

Permettant le tracé des courbes de stabilité, les courbes de polarisation et les droites de Tafel:

- Courbe de stabilité $E = f(t)$
- Courbe de polarisation $i = f(E)$
- Courbe de Tafel $\log|i| = f(E)$

IV.2. Produits utilisés

IV.2.1. Milieu corrosif

Le milieu corrosif utilisé est constitué d'une solution aqueuse l'eau albien

IV.2.2. Inhibiteurs

- FQS 2001

IV.3. l'acier

L'acier utilisé dans notre étude est de type XC70 PSL2, sa composition chimique a été déterminée au laboratoire ANABIB à Ghardaïa

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
0,065	0,245	1,685	0,002	0,001	0,042	0,005	0,026	0,042
Cu	Nb	Ti	V	Fe				
0,010	0,067	0,019	0,014	97,77				

IV.4. Mode opératoire

IV.4.1. Préparation d'Electrode

Un morceau de l'acier XC70 est découpé sous forme de cylindre, il présente l'électrode de travail.

IV.4.2. Polissage

Ensuite, l'électrode de travail est polie à l'aide d'une polisseuse en utilisant de papiers abrasifs de grade suivant:

Un prétraitement indispensable de la surface de l'électrode de travail doit être fait avant chaque expérience électrochimique. On a utilisé un papier abrasif à finesse de 400, 600, 800 et 1000 en fin 4000 μm . En même temps un jet d'eau assure le refroidissement de l'acier pour éviter de gâcher la surface de l'électrode ; Après lavage à l'eau, l'échantillon d'acier est rincé à l'eau distillée puis dégraissé à l'aide de l'acétone et rincé à l'eau distillée de nouveau et finalement séché à l'air.

Nous avons pris une photo de la surface de l'électrode brute (avant de polissage) fig .21, et une autre après le polissage fig.22. Cette dernière est comparée avec celle du témoin, fig.23. On constat d'après les photos (fig.22) et (fig.23) une grande semblablilité entre ces deux photos.

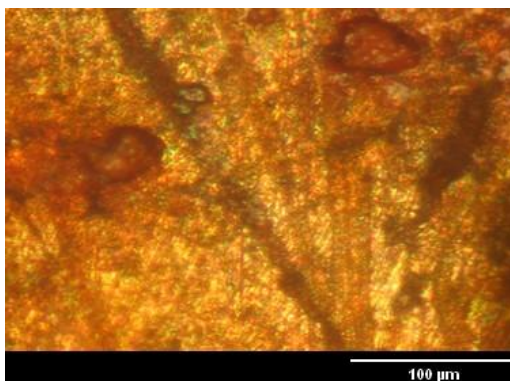


Fig.21. Micrographie de la surface de l'acier XC70 brut



Fig.22. Micrographie de la surface de l'acier XC70 après polissage

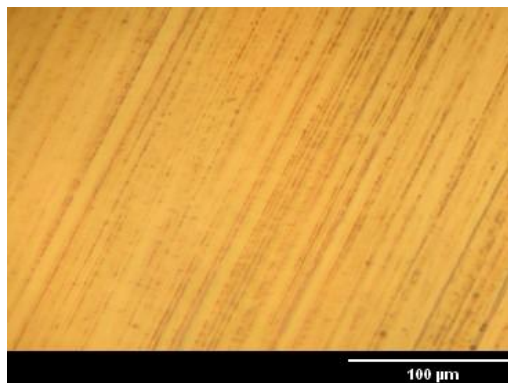


Fig.23. Micrographie de la surface (référence)

IV.5. Conditions expérimentales

IV.5.1. Mesure de potentiel libre

Les courbes de polarisation nécessitent la connaissance du potentiel libre. Après différents essais, nous avons opté pour une immersion de l'échantillon pendant une durée de 30 minutes.

Ce temps est suffisant pour obtenir une stabilisation satisfaisante du potentiel libre

IV.5.2. Choix de la vitesse de balayage

D'après une recherche bibliographique, nous avons opté à une vitesse de balayage égale à 30 mV/ min. Cette dernière nous permet une bonne reproductibilité des résultats sans masquer les phénomènes à étudier.

IV.5.3. Condition de polarisation

- ✓ **courbes de polarisation** : Le tracé de ces courbes a été effectué dans un domaine de potentiel allant de -800 à -400 mV par rapport à ESC.
- ✓ **courbe de Tafel** : Pour le tracé de ces courbes, on a choisi un segment de 9 mV, et on ne considère que le domaine de linéarité des branches cathodiques et anodiques des courbes $\log|i| = f(E)$, il est limité entre 75 et 100 mV de part et d'autre du potentiel de corrosion.

IV.7. Etude de l'effet inhibiteur du composé

Afin d'évaluer l'effet inhibiteur du composé, nous avons étudiés premièrement le comportement du métal dans un milieu constitué d'une solution eau Albien. Les résultats obtenus sont représentés dans les figures suivantes :

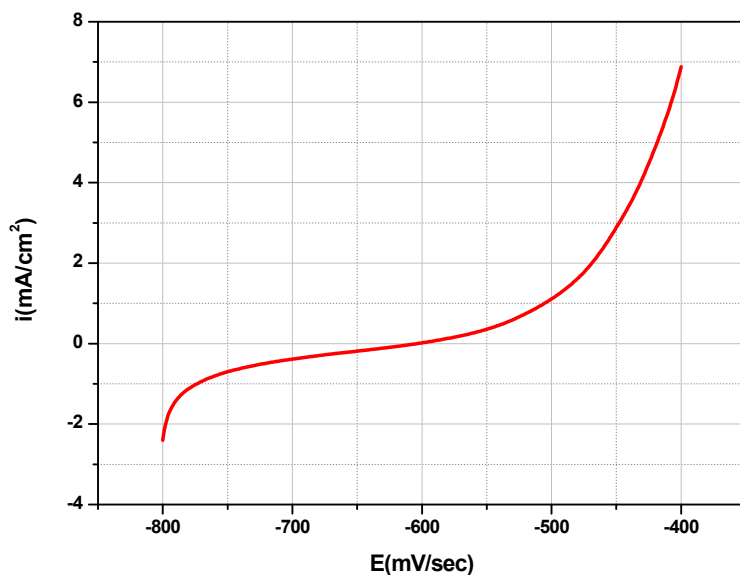


Fig.24. Courbe de polarisation de l'acier XC70 dans eau Albien

A partir de la courbe de polarisation précédente nous avons tracés, en utilisant le logiciel OriginLab, les droites de Tafel dans un domaine de 200 mV, le segment choisi est de 9 mV, la courbe obtenue est représentée dans la fig.25 suivante :

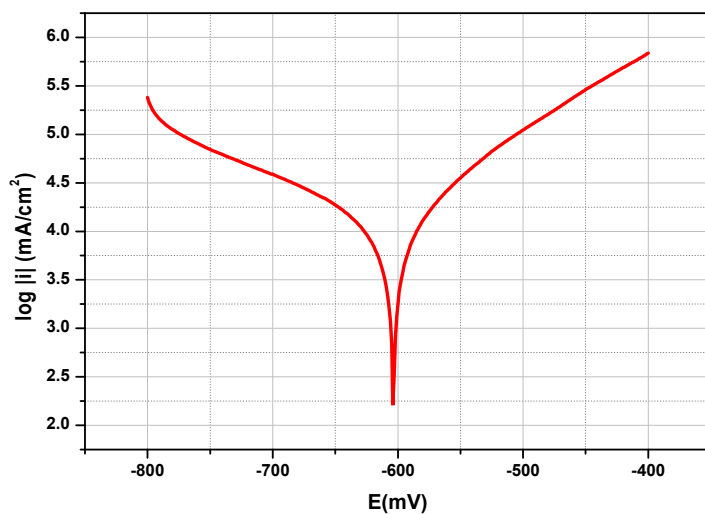


Fig.25. Courbe de Tafel de l'acier XC70 dans un milieu eau Albien

Les paramètres électrochimiques tirés de la courbe de Tafel précédente sont regroupés dans le tableau II suivant :

Tab.III Paramètres électrochimiques relatifs à l'acier XC70 dans milieu corrosif

R_p ohm.cm^2	B_a (mV)	B_c (mV)	i_{corr} (mA/cm ²)	E_{corr} (mV)	V_{corr} (mm/an)	IE (%)
20.70	95.9	-161.3	1.0088	-605.3	11.79	0

Après stabilisation de potentiel, nous avons mis le potentiostat en marche, le potentiel imposé varie de -800 à -400 mV, la vitesse de balayage de potentiel est fixée sur 30 mV/min. La courbe de polarisation ainsi obtenue est représentée dans la fig.26.suivante :

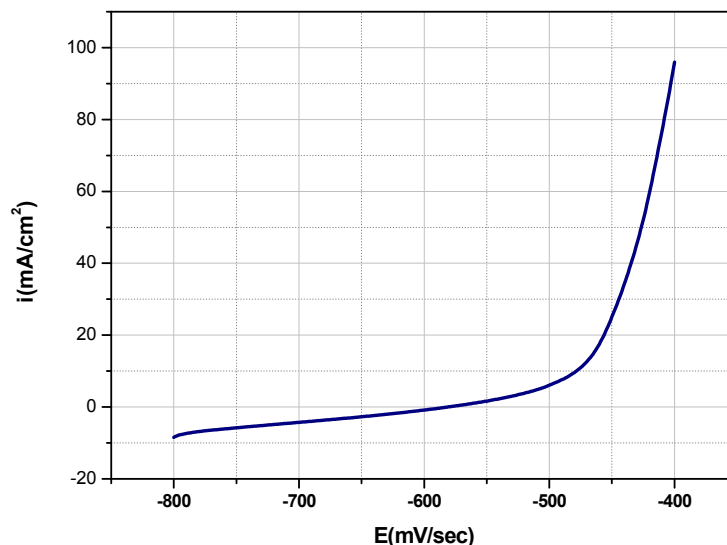


Fig.26. Courbe de polarisation de l'acier XC70 dans un milieu eau Albin

A partir de la courbe de polarisation de la fig.26 nous avons tracés, en utilisant le logiciel OriginLab 8, les droites de Tafel dans un domaine de 200 mV, le segment choisi est de 9 mV, la courbe obtenue est représentée dans la fig.27 suivante :

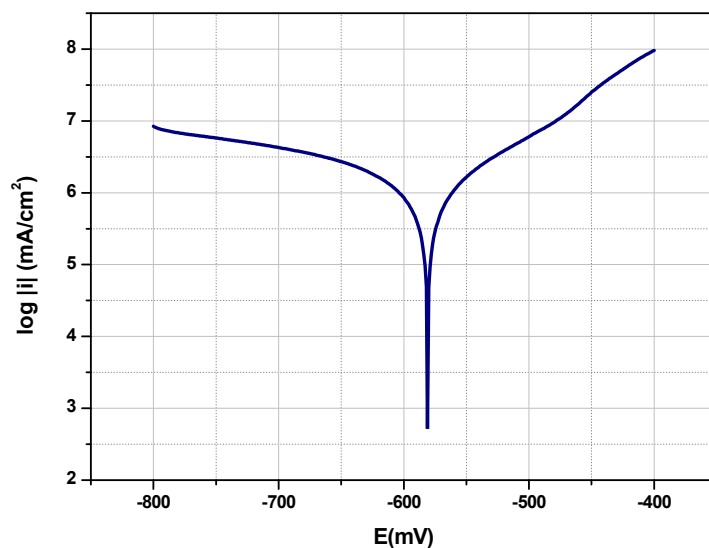


Fig.27. Courbe de Tafel de l'acier XC70 dans un milieu eau Albin

Les paramètres électrochimiques tirés de la courbe de Tafel, présenté dans la fig.27, sont regroupés dans le tableau III suivant :

Tab.IV Paramètres électrochimiques relatifs à l'acier XC70 dans une eau Albin en présence d'inhibiteur.

$C(\text{ppm})$	R_p ohm.cm^2	B_a (mV)	B_c (mV)	i_{corr} (mA/cm ²)	E_{corr} (mV)	V_{corr} (mm/an)	IE (%)
30	20.95	69.4	-87.7	0.5941	-582.7	6.948	41.06

La manipulation précédente de l'étude de l'effet inhibiteur de composé à 30 ppm est répétée pour les concentrations allant de 5 à 20 ppm et 40 à 70 ppm.

Les courbes de stabilité, polarisation ainsi que Tafel pour les concentrations de 5 à 70 ppm. Sont représentées en annexe.

Les paramètres électrochimiques obtenus pour l'ensemble des manipes sont regroupés dans le tableau IV suivant :

Tab.V Paramètres électrochimiques relatifs à l'acier XC70 dans une eau Albien en présence de inhibiteur

C (ppm)	R_p ohm.cm ²	B_a (mV)	B_c (mV)	i_{corr} (mA/cm ²)	E_{corr} (mV)	V_{corr} (mm/an)	IE (%)
0	20.70	95.9	-161.3	0.3901	-605.3	11.97	0
5	11.13	83.8	-80.7	0.1918	-641.9	9.491	19.49
10	12.38	51.7	-62.1	0.0879	-591.7	8.818	25.20
20	19.17	78.1	-105.0	0.1374	-610.3	8.735	25.91
30	20.95	69.4	-87.7	0.0976	-582.7	6.948	41.06
40	27.36	82.9	-111.3	0.1078	-560.0	6.564	44.32
50	8.92	23.1	-36.8	0.1085	-518.0	6.23	47.15
60	20.84	30.1	-98.7	0.0928	-498.9	6.097	48.28
70	13.88	43.9	-44.2	0.0910	-642.8	5.932	49.68

La courbe de la fig.28 représente la variation de rendement de l'inhibition en fonction de la concentration de composé.

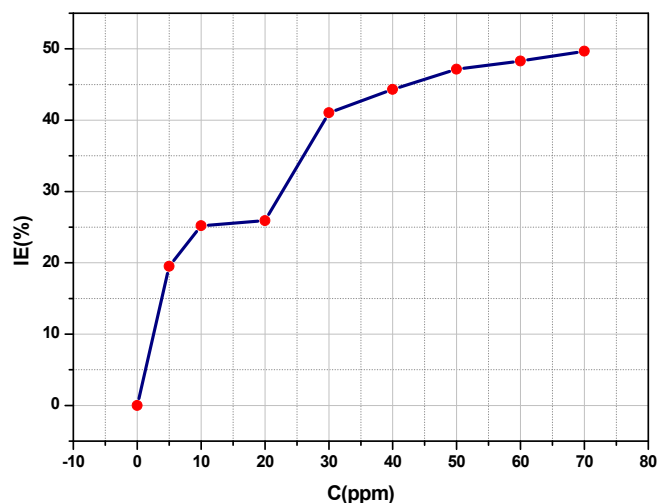


Fig.28. Courbe de variation de rendement de l'inhibition en fonction de la concentration du composé.

D'après les résultats du tabIV et de la courbe 28, on observe que l'addition du composé inhibiteur au milieu corrosif provoque une diminution de la vitesse de la corrosion pour les concentrations 30, 40 ppm, puis il y a une augmentation de la vitesse de corrosion pour des concentrations supérieures à 30 ppm (à cette concentration il y a déplacement de potentiel de corrosion vers les zones anodiques.), le taux d'inhibition à cette concentration optimal est de 41.06%.

La vitesse de corrosion la plus élevée est égale à 6.948 mm/an, elle est obtenue à une concentration de 30 ppm, alors que la plus faible est de 6.564 mm/an obtenue pour une concentration de 40 ppm. Cette dernière valeur représente une bonne protection de l'acier.

Pour déterminer l'influence de la concentration de l'inhibiteur sur le potentiel de corrosion de l'acier, nous avons tracé la courbe de variation de ce dernier en fonction de la concentration. On remarque qu'à partir d'une concentration de 5 ppm le potentiel commence à diminuer pour atteindre une valeur minimale correspondant à 70 ppm. Cette variation renseigne sur le comportement cathodique de l'inhibiteur à ces concentrations.

La courbe de la fig.29 représente la variation de potentiel de corrosion en fonction de la concentration d'inhibiteur.

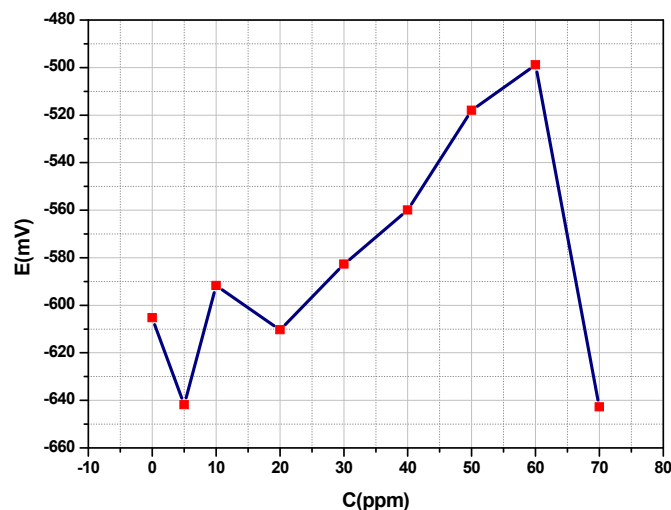


Fig.29. Courbe de variation du potentiel de corrosion en fonction de la concentration de l'inhibiteur.

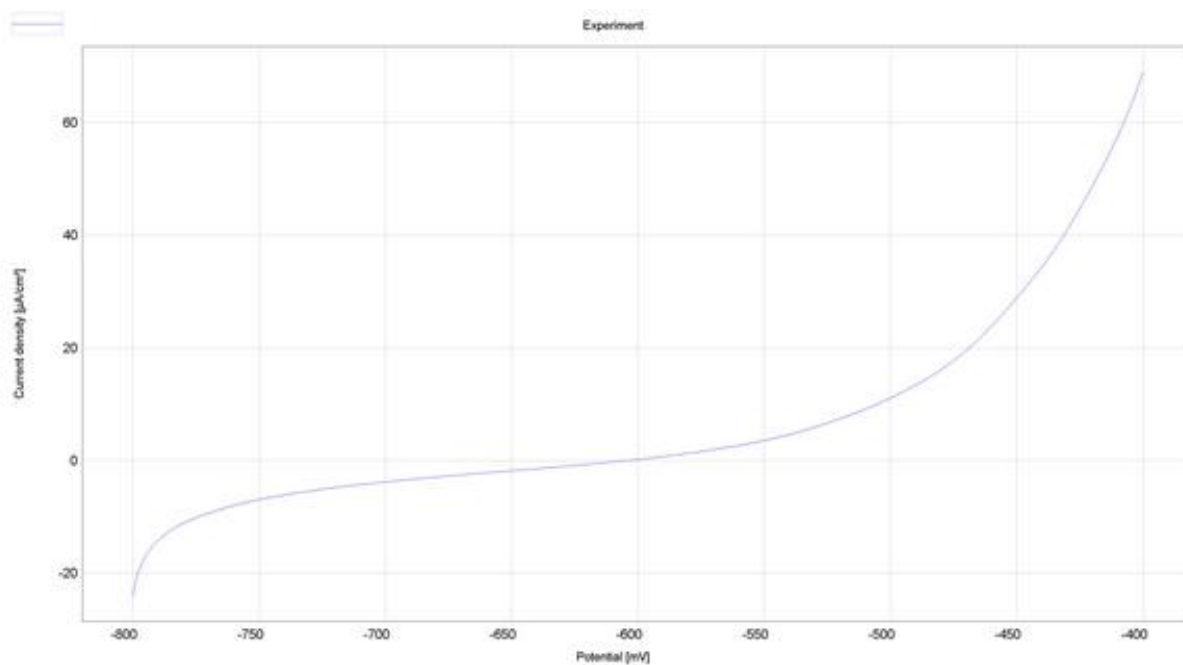
BIBLIOGRAPHIE



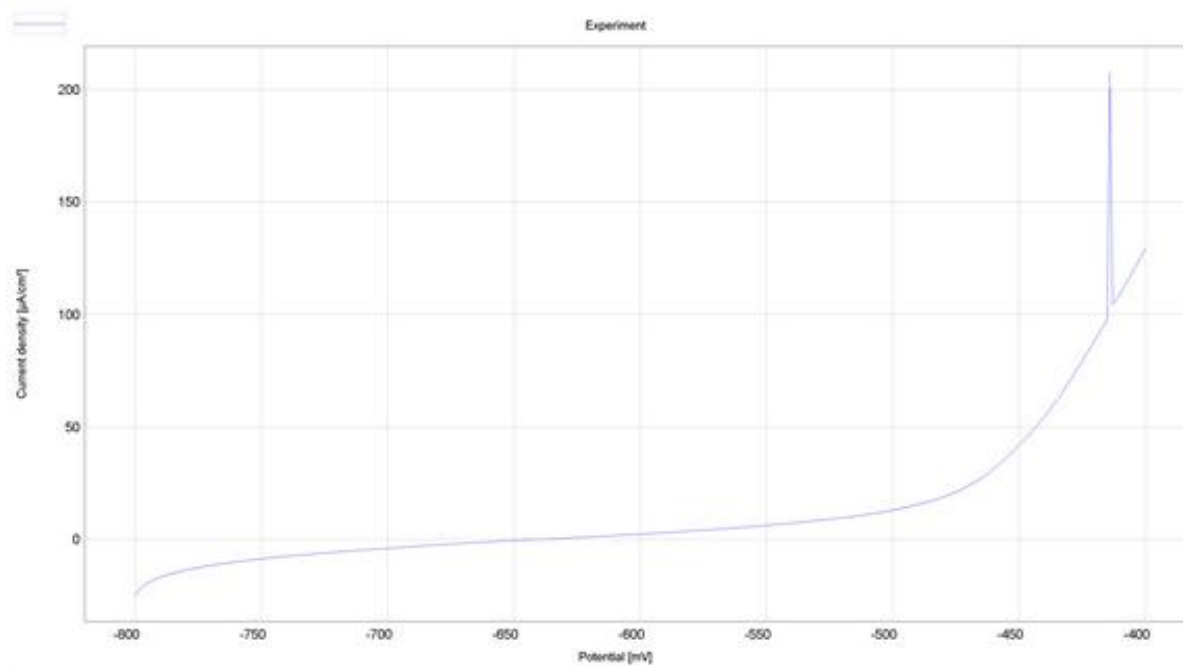
ARBAOUI Nacer-eddine , Effet du gradient de température sur la vitesse de corrosion des concentriques de traitement des puits producteurs d'eau Albien, Mémoire de fin d'étude, universitaire d'OUARGLA, 2004.	[1]
KADIRI Cheikh , modèle statistique sur le mode d'action des inhibiteurs de la corrosion, mémoire de magister, centre universitaire de LAGHOUAT 2001.	[2]
BECHKI LAZHAR , Influence des inhibiteurs organiques et inorganique sur la corrosion électrochimique d'acier en milieu acide, Mémoire de fin d'étude, Centre universitaire d'OUARGLA, 1998.	[3]
Dieter Landoll , traité des matériaux « corrosion et chimie de surface des matériaux », presse polytechnique et anniversaire Romandes, 1993.	[4]
ZAIZ TOUFIK et T.Lanez , Inhibition de la corrosion des concentriques de Traitement, Liver Editions Universitaires Europeennes, 2011	[5]
Centre de perfectionnement de l'entreprise (CPE) , corrosion bactérienne des matériaux, Sonatrach 1996.	[6]
http://www.refer.org.ma/corrosion/CE.htm 16/05/2009.	[7]
A.Hannani , journée technique corrosion et protection service S.H.D. Berkaoui, 2001.	[8]
Cours Matériaux Métalliques - Phénomènes de Corrosion / troisième partie / aspects électrochimiques de la corrosion.	[9]
John C. SCULLY , corrosion protection, principe fondamentaux, Paris 1995.	[10]
Jean-Jacques Lamoureux, Précis de corrosion, Edition Beauchemin 1994.	[11]
M.G.FONTANA , corrosion engineering, Mc Graw-Hill Book Company, N.Y, 1994.	[12]
INGE L .Ryhmnh , Dynamique des fluides, deuxième édition, Presse polytechniques et universitaires ROMANDES.	[13]
M.Pourbaix , Atlas of potentiel /PH diagrammes, Pergamon.Oxford, 1962.	[14]
M.GONIKBERG , L'équilibre chimique et les vitesses des réactions sous hautes pression, édition mir, 1974.	[15]
C. ROCHAIX , Electrochimie thermodynamique- cinétique, 1995.	[16]
G.MILAZZO , « électrochimie », Tome 1, 1996.	[17]
L.L. Shreir , CORROSION Volume I MetaV Environment Reactions.	[18]
Annuaire des technologies clés , p.317 (2004).	[19]
Méthodes d'accroissement du taux de récupération de pétrole , p.277.	[20]
Cours de production , tome VI, récupération assistée, p.13 (1975)	[21]
Historique de la région de Haoud-Berkaoui , document techniques puits (2003)	[22]
Bourenan.A , JST3, Sonatrach (1998)	[23]
Gouget, Duga , manuel de traitement des eaux d'injection, technip, (1973)	[24]
Mamanou.A , magister, université d'Ouargla (2003)	[25]
Mecheri.L , magister, université d'Ouargla (2003)	[26]
KADIRI Cheikh , modèle statistique sur le mode d'action des inhibiteurs de la corrosion, mémoire de magister, centre universitaire de LAGHOUAT 2001.	[27]
BECHKI LAZHAR , Influence des inhibiteurs organiques et inorganique sur la corrosion électrochimique d'acier en milieu acide, Mémoire de fin d'étude, Centre universitaire d'OUARGLA 1998.	[28]
Dieter Landoll , traité des matériaux « corrosion et chimie de surface des matériaux », presse polytechnique et anniversaire Romandes, 1993.	[29]

ESIREM Modèle de première année Ma 10 Electrochimie, corrosion, protection et cinétique chimique.htm.	[30]
INGE L .Ryhminh , Dynamique des fluides, deuxième édition, Presse polytechniques et universitaires ROMANDES.	[31]
Centre de perfectionnement de l'entreprise (CPE) , corrosion bactérienne des matériaux, Sonatrach 1996.	[32]
Jérôme Monod ; mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement,tome 1.	[33]
A.Hannani , journée technique corrosion et protection service S.H.D. Berkaoui, 2001.	[34]
Chambre syndical de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel	[35]

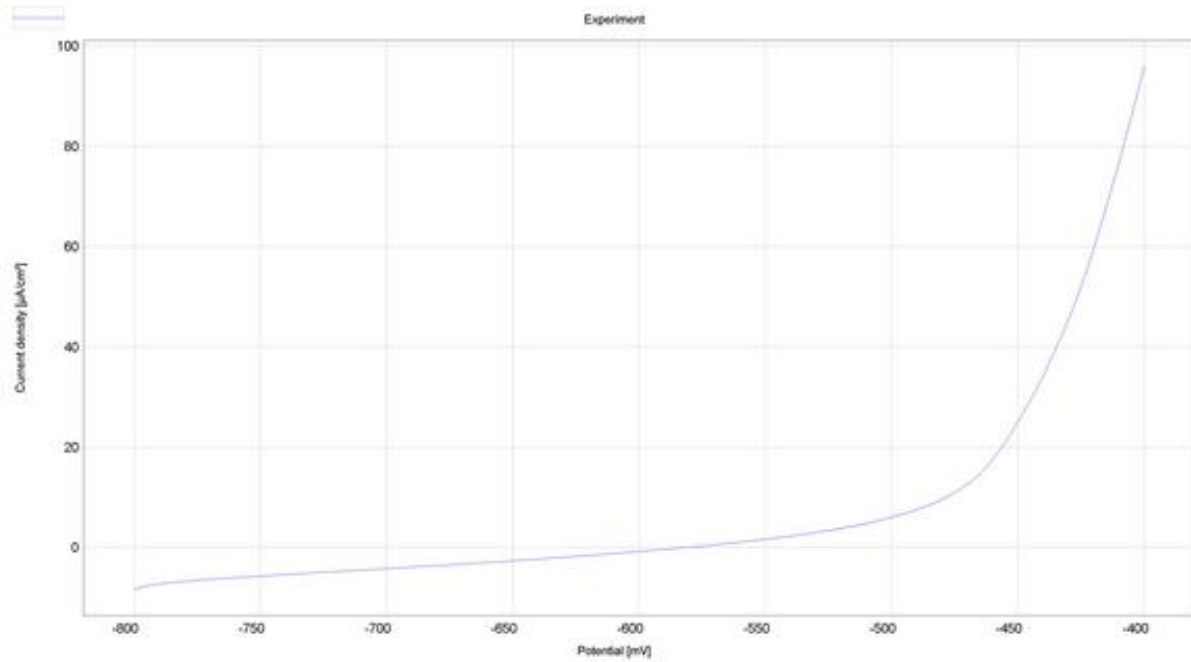
ANNEXE



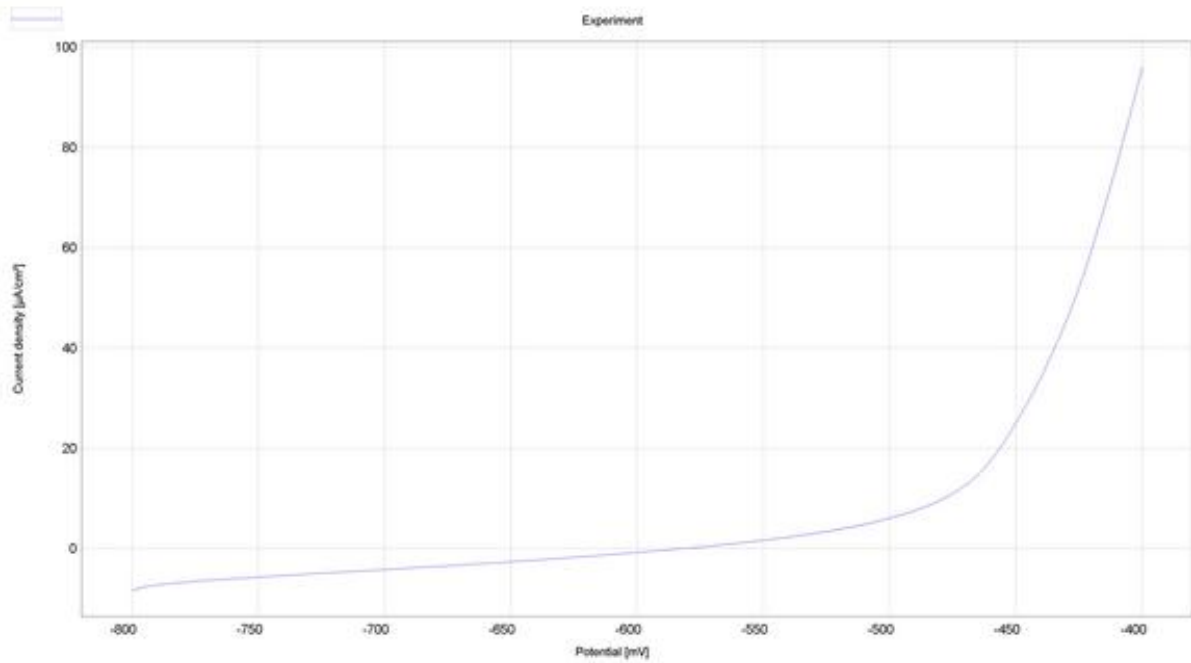
00PPM



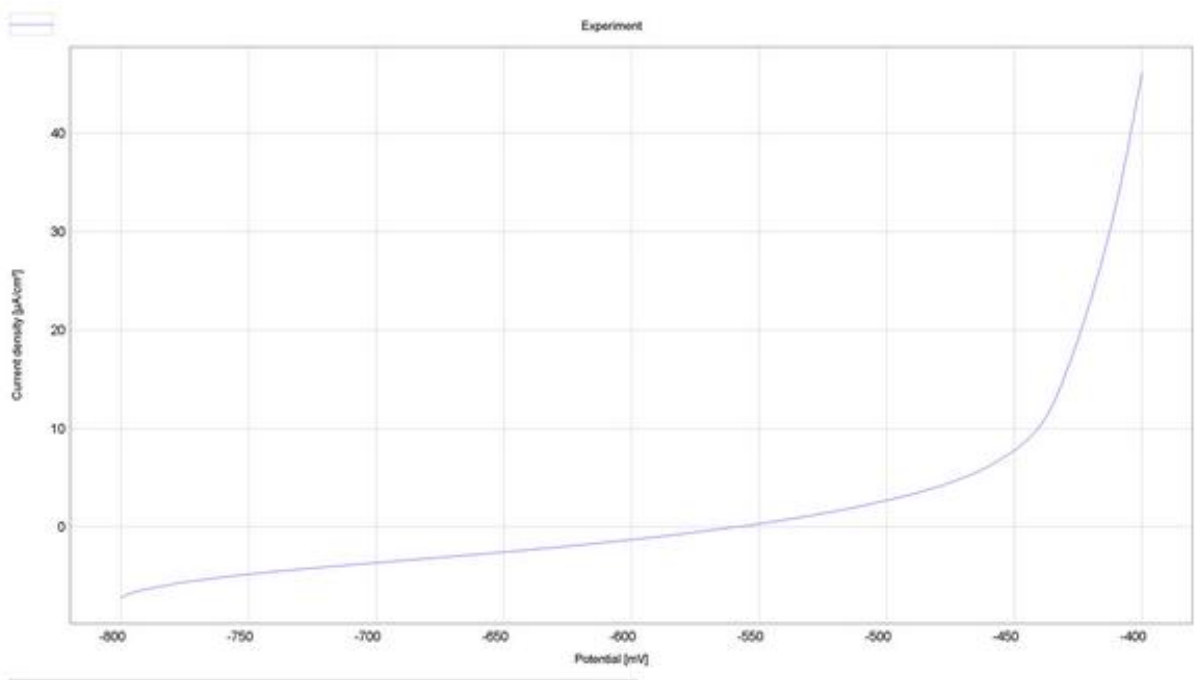
05PPM



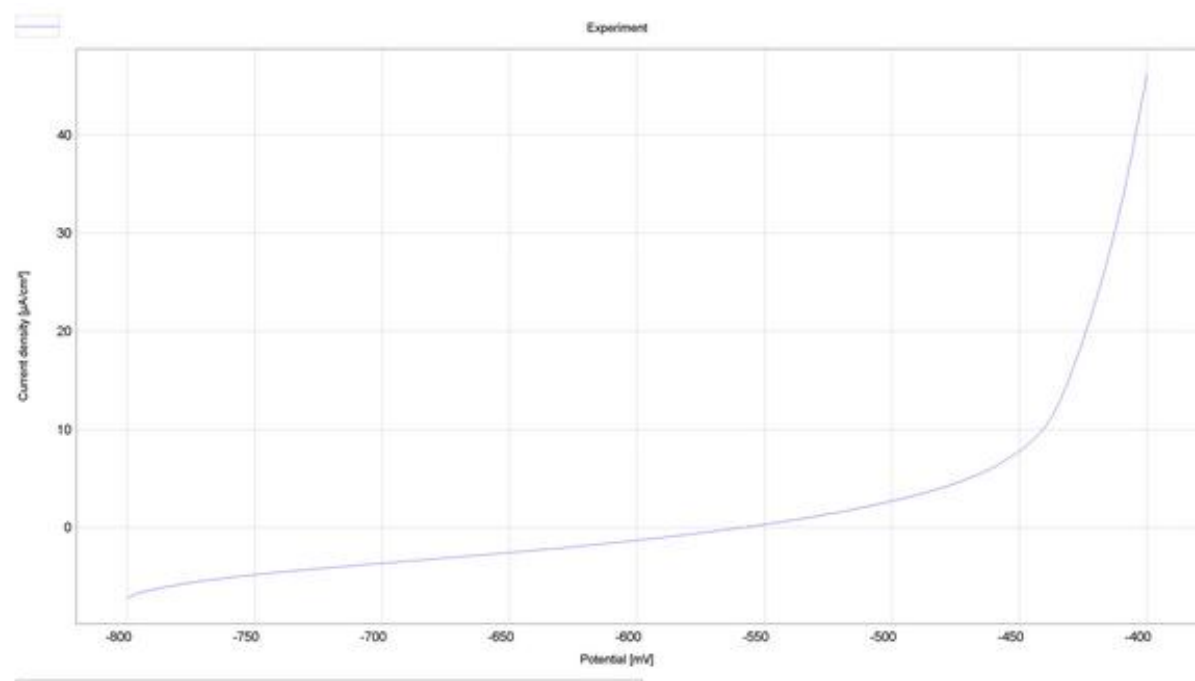
10PPM



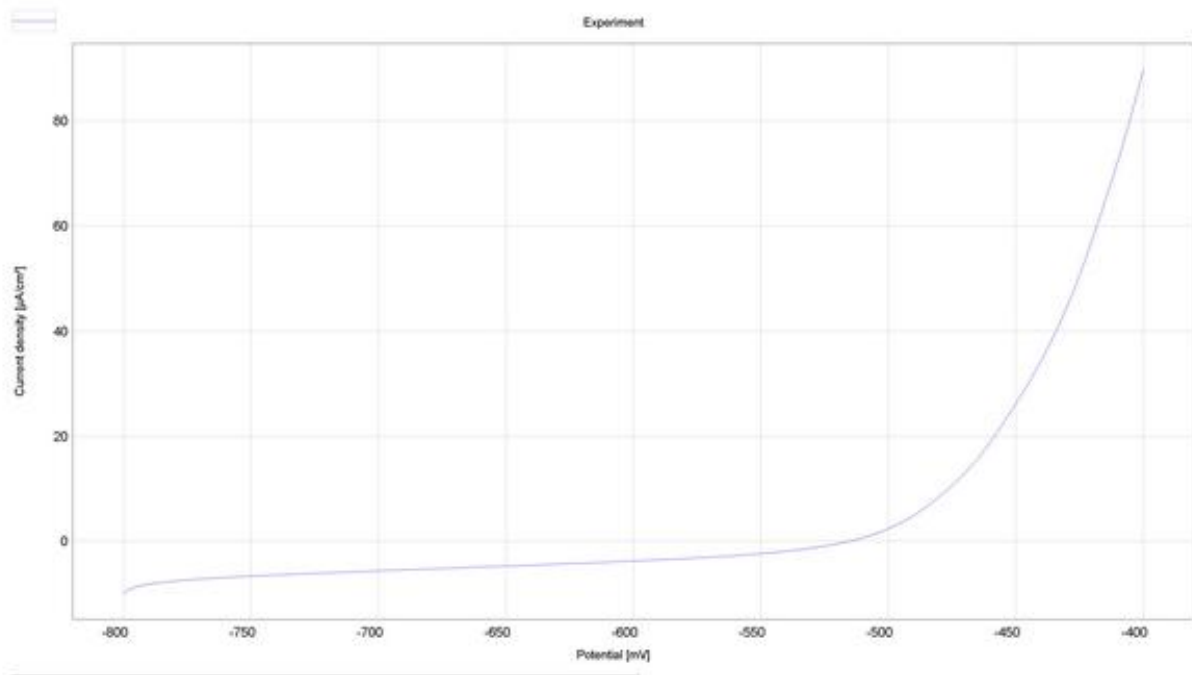
20PPM



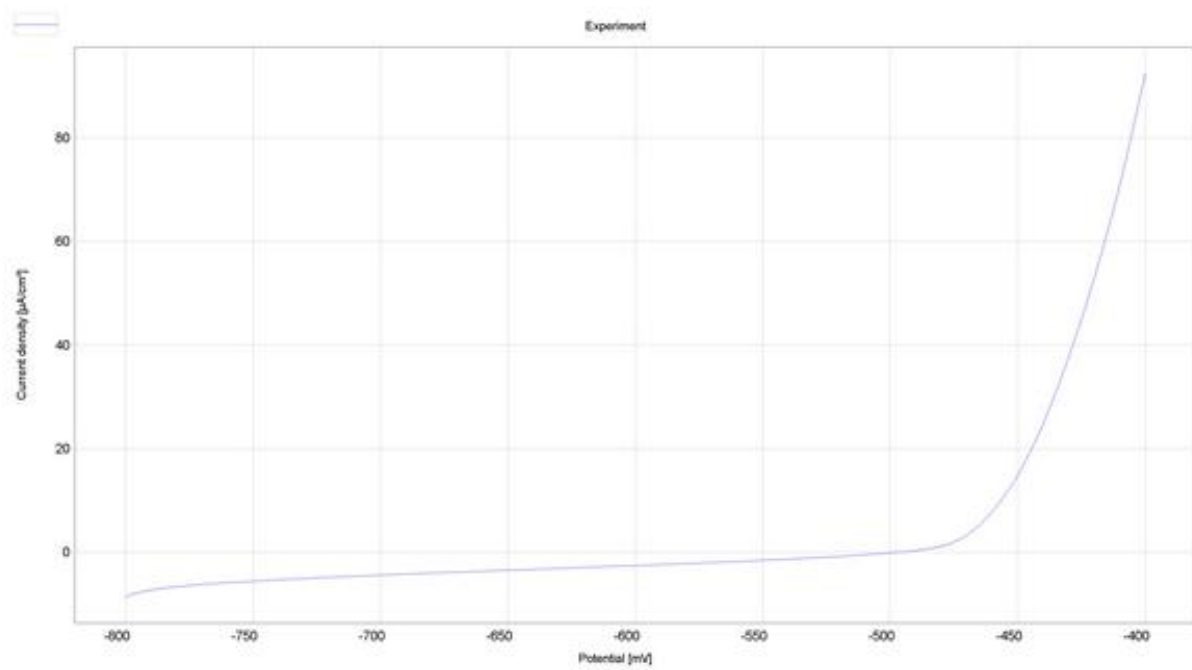
30PPM



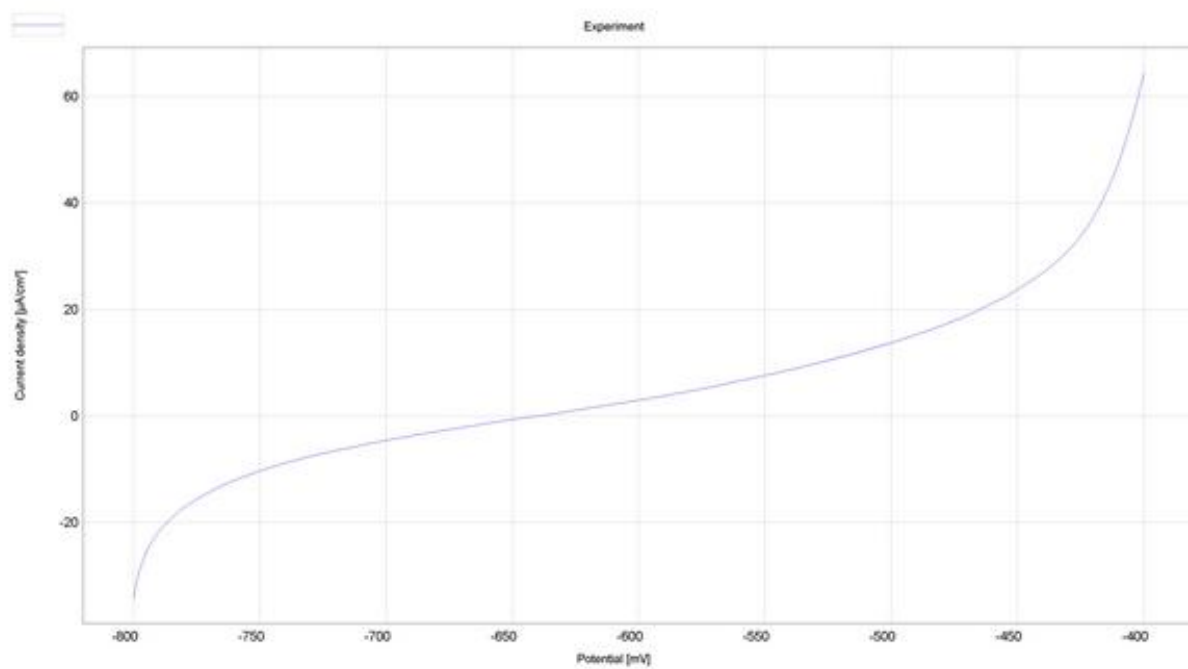
40PPM



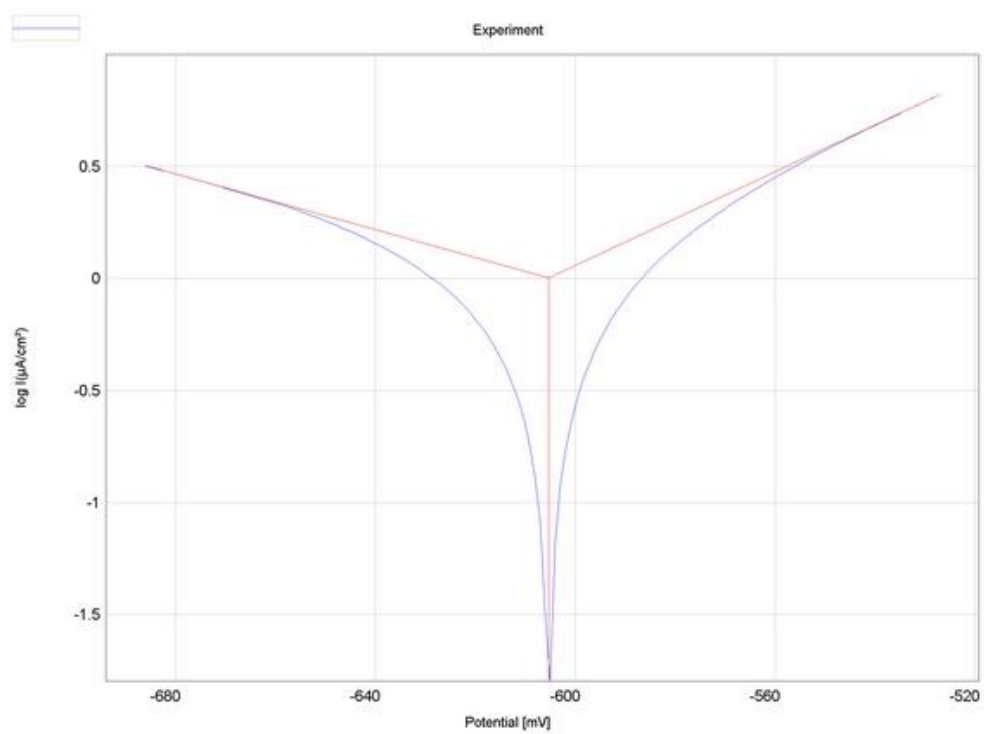
50PPM



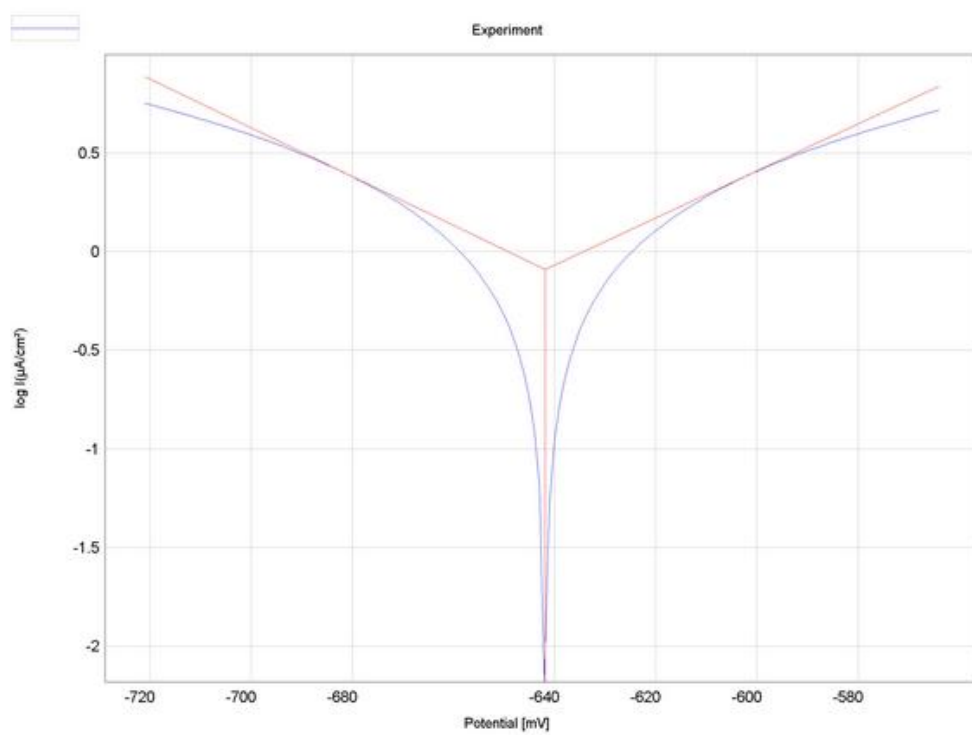
60PPM



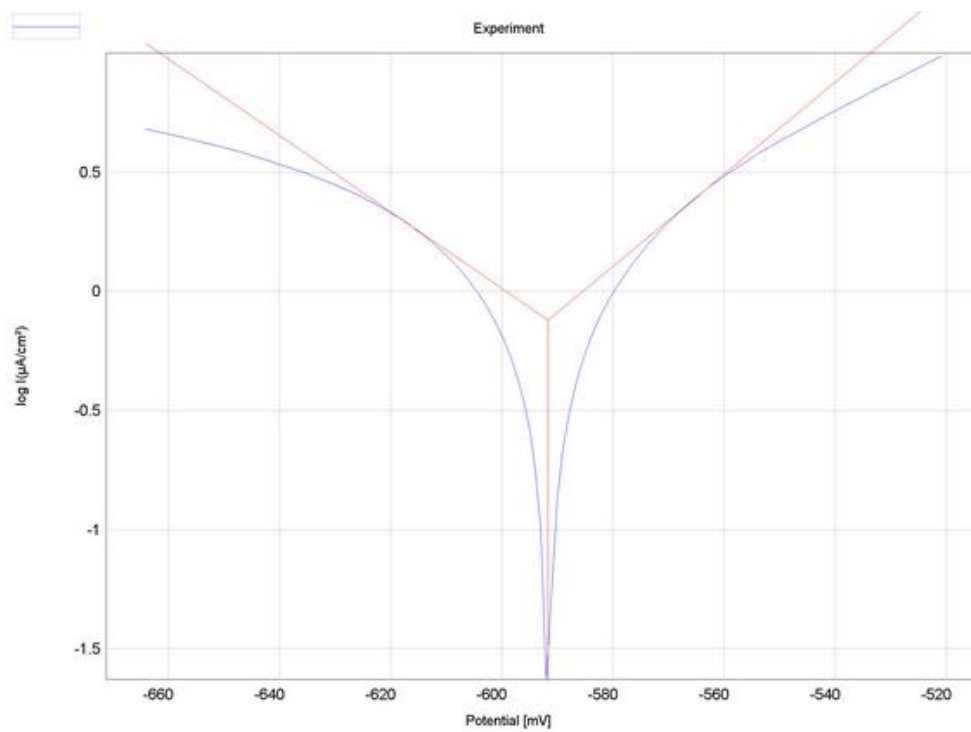
70PPM



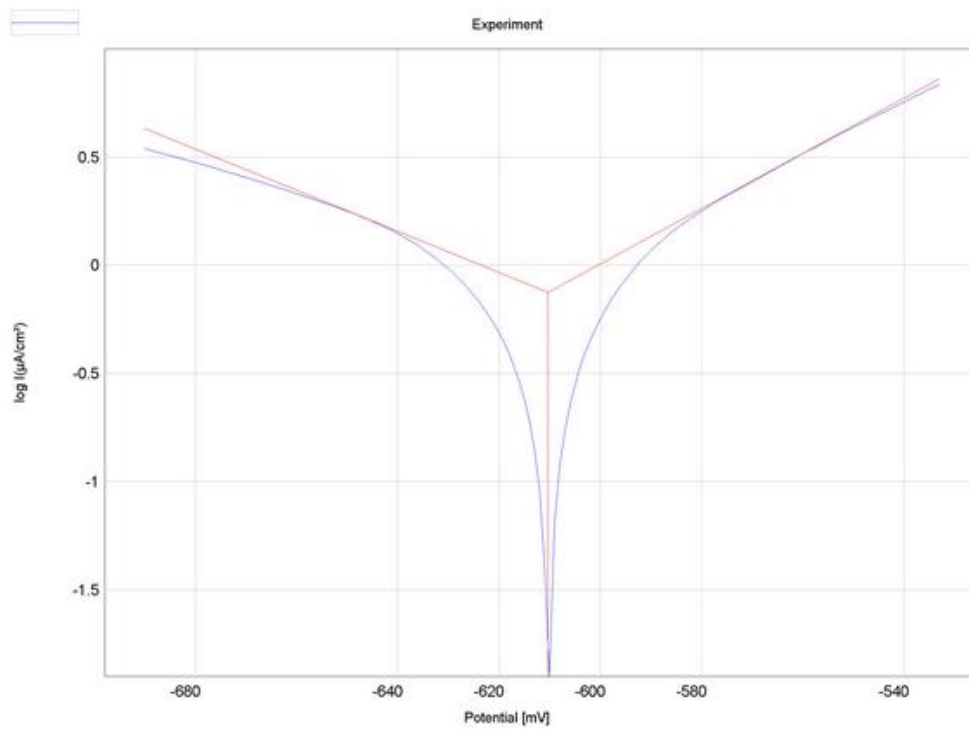
00PPM



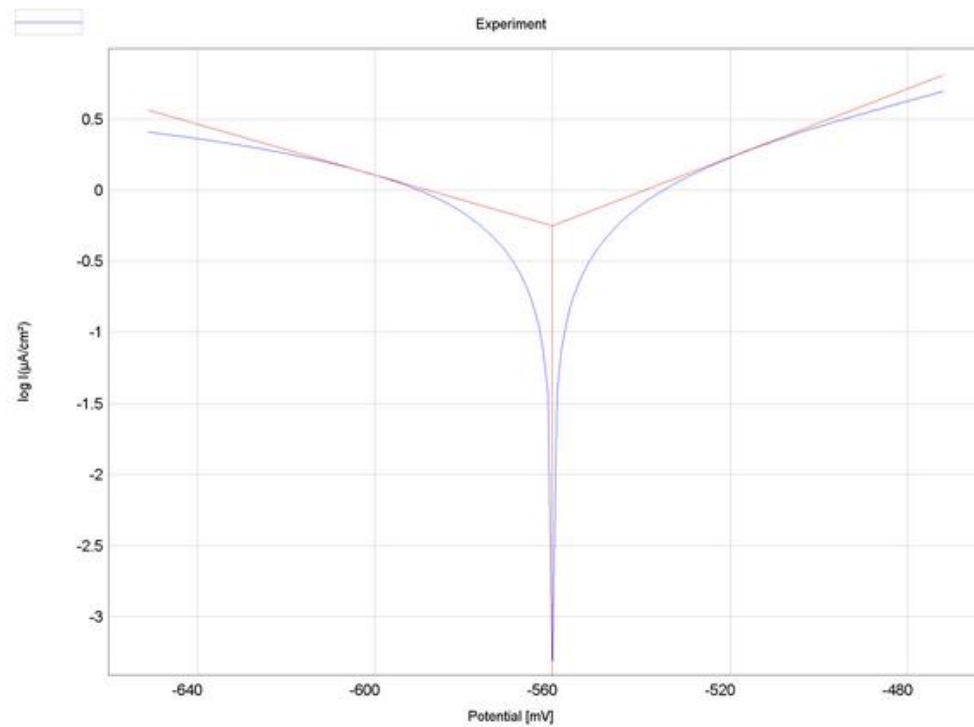
05PPM



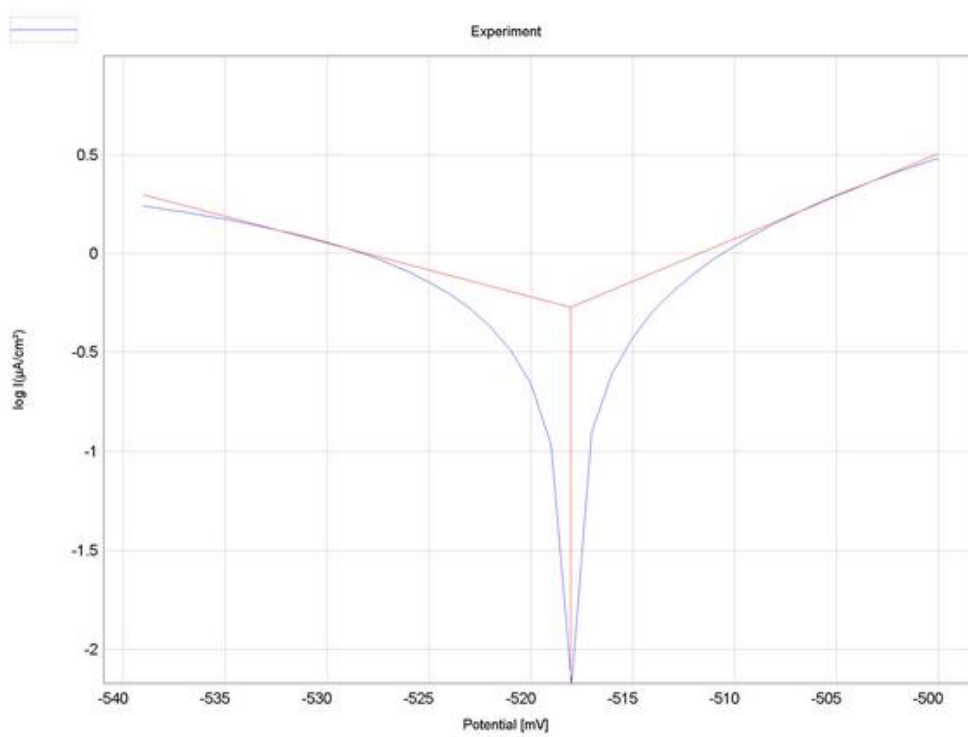
20PPM



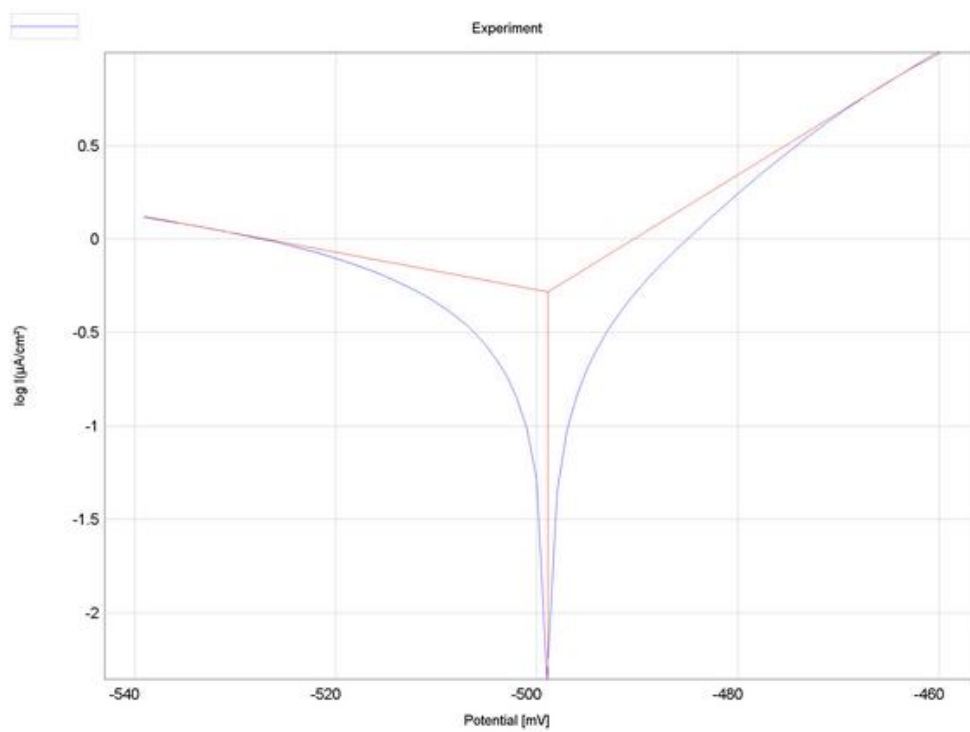
30PPM



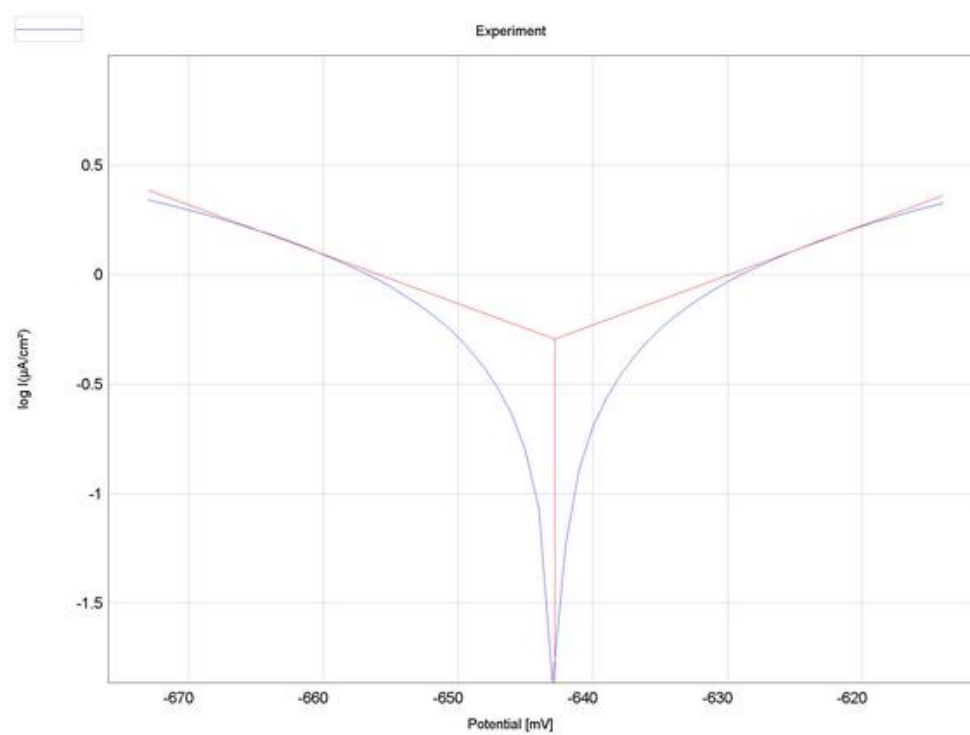
40PPM



50PPM



60PPM



70PPM

الملخص

يتلخص هذا العمل في دراسة فعالية التثبيط لمثبط صناعي لتآكل فولاذ كربوني XC70، حيث الوسط الأكال عبارة ماء ألبان، هذا المثبط FKS2001. تم تقدير القدرة التثبيطية لهذه المثبط باستعمال الطريقة الإلكتروكيميائية وتتمثل في إعداد كمون الاستقرار للمعدن في الوسط المدروس ومن ثم الحصول على منحني الاستقطاب ومنه حساب وسائط التآكل باستعمال منحنيات تافيل. تظهر النتائج أن للمثبط المدروس فعالية تثبيطية و الذي يعتمد على تركيزه على امتصاص هذه المركبات على سطح المعدن هو الامتزاز الكيميائي و كان أحسن قدرة تثبيطية عند تركيز 30 ppm. (IE = 41.06 %).

ABSTRACT

In this work, we studied the efficiency of corrosion inhibition of carbon steel XC70 in Water Albion using inhibitor FKS2001. The inhibitory potential of this inhibitor was determined by electrochemical techniques based on Tafel segments. The results show that the studied inhibitor has an efficiency of inhibition which depends on its concentration the adsorption of these compounds on the surface of the metal is a chemical adsorption. The inhibitor FKS2001 had the best ability of inhibition at a concentration of 30 ppm (IE = 41.06 %).