

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique
Filière : Génie Mécanique
Option: Métallurgie physique

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme de:

MASTER

Thème

**Etude comparative de comportement à la
corrosion de métal de bas et joint soudé de
l'acier de pipeline API 5L X70**

Présenté par :
Abdelhalim BENAMMAR

Proposé et dirigé par :
Dr. Hamza BENTRAH

Promotion : Juin 2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le bon dieu pour le courage et la patience qu'il nous a offert pour aboutir à la réalisation de ce mémoire. Mes sincères et profonds remerciements pour mon enseignant et mon encadreur Dr. BENTRAH Hamza qui n'a épargné aucun effort pour me diriger durant la réalisation de ce travail, je lui très reconnaissant pour la patience dont il a fait preuve le long de ce projet.

Je souhaite également remercier aux membres du jury qui auront l'honneur d'apprécier et de juger ce travail, à M. DJELLAB Mounir et Dr. LAMMADI Fatima Zohra. En fin, je remercie très fortement mes parents, ma famille et mes collègues de travaille.

LISTES DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1-1 : <i>L'électrode enrobée</i> | 4 |
| Figure 1-2 : Principe de soudage manuel. | 6 |
| Figure 1-3 : <i>Soudage des pipelines (type manuel)</i> | 6 |
| Figure 1-4 : principe de soudage automatique.[4]..... | 7 |
| Figure 1-5 : Diagramme de stabilité du fer dans l'eau | 9 |
| Figure 1-6 : Variation du taux de corrosion en fonction du pH | 10 |
| Figure 1-7 : Corrosion localisée [6]. | 11 |
| Figure 1-8 : Les différents types de la corrosion localisée | 12 |
| Figure 2-1 : Structure métallographique de l'acier au carbone API 5L X60 réalisée après une attaque au nital 4%. | 18 |
| Figure 2-2: Photographie du dispositif de mesures électrochimiques..... | 20 |
| Figure 2-3 : Microscope optique HUND T100-WETZLAR..... | 21 |
| Figure 3-1 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 (a et b) et son joint soudé (c et d) en milieu NaCl 3,5% à 30°C, (a) et (c) courbes linéaires, (b) et (d) courbes logarithmiques.. | 24 |
| Figure 3-2 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5% à 30°C..... | 25 |
| Figure 3-3 : Aspect macroscopique de produits de corrosion en milieu NaCl 3,5% | 26 |
| Figure 3-4 : la morphologie de produit de corrosion (9 jours) de l'acier API 5L X70 et son joint soudé par le microscope optique (x 100), (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) acier API 5L X70, (c) joint soudé. | 27 |
| Figure 3-5 : La morphologie de la corrosion par piqure par le microscope optique (x 100), (a) l'acier API 5L X70, (b) joint soudé, après le teste d'immersion 9 jours en milieu NaCl 3,5% à 30°C..... | 28 |
| Figure 3-6 : aspect macroscopique de l'acier et son joint soudé sans produits de corrosion... | 28 |

| | |
|---|----|
| Figure 3-7 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 (a et b) et son joint soudé (c et d) en milieu HCl 1M à 30°C, (a) et (c) courbes linéaires, (b) et (d) courbes logarithmiques. | 30 |
| Figure 3-8 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M à 30°C. | 31 |
| Figure 3-9 : Aspect macroscopique de produits de corrosion en milieu HCl 1M..... | 32 |
| Figure 3-10 : la morphologie de produit de corrosion (91 heures) de l'acier API 5L X70 et son joint soudé par le microscope optique (x 100), (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) acier API 5L X70, (c) joint soudé. | 33 |
| Figure 3-11 : La morphologie de la corrosion par piqure par le microscope optique (x 100), (a) l'acier API 5L X70, (b) joint soudé, après le teste d'immersion 91 heures en milieu HCl 1M à 30°C..... | 34 |
| Figure 3-12 : aspect macroscopique de l'acier et son joint soudé sans produits de corrosion (HCl 1M). | 34 |
| Figure 3-13 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 (a et b) et son joint soudé (c et d) en milieu H ₂ SO ₄ 0.1 M à 30°C, (a) et (c) courbes linéaires, (b) et (d) courbes logarithmiques. | 36 |
| Figure 3-14 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu H ₂ SO ₄ 0.1 M à 30°C..... | 37 |
| Figure 3-15 : Aspect macroscopique de produits de corrosion en milieu H ₂ SO ₄ 0.5 M..... | 38 |
| Figure 3-16 : la morphologie de produit de corrosion (91 heures) de l'acier API 5L X70 et son joint soudé par le microscope optique, (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) acier API 5L X70 (x 100), (c) joint soudé (x 40)..... | 38 |
| Figure 3-17 : La morphologie de la corrosion par piqure par le microscope optique (x 100), (a) l'acier API 5L X70, (b) joint soudé, après le teste d'immersion 91 heures en milieu H ₂ SO ₄ 0.5 M à 30°C | 39 |

Figure 3-18 : aspect macroscopique de l'acier et son joint soudé sans produits de corrosion

H₂SO₄ 0.5 M..... 39

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 2-1: Composition chimique de l'acier API 5L-X70 en % massique | 17 |
| Tableau 3-1 : Les valeurs des paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5% à 30C° | 25 |
| Tableau 3-2 : Les valeurs des paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M à 30C° | 30 |
| Tableau 3-3 : Les valeurs des paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu H ₂ SO ₄ 0.1 M à 30C° | 35 |

LISTE DES ABREVIATIONS

i_{corr} : Vitesse de corrosion

E_a : Énergie d'activation

R : Constante universelle des gaz parfaits

T : Température absolue

C : Concentration de l'inhibiteur

M : Mole par litre

T : Température (kelvin)

E : Le potentiel électrode/solution

E_{corr} : Potentiel de corrosion

E_{initial} : Potentiel initial

E_{final} : Potentiel final

E_{pit} : Potentiel de piqûre

\hat{i} : Intensité de courant

i : Densité de courant

i_0 : Densité de courant d'échange

I_{corr} : Densité de courant de corrosion

b_a : Coefficient de Tafel anodique

b_c : Coefficient de Tafel cathodique

R_p : Résistance de polarisation

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

API : American Petroleum Institute

ECS : Électrode de référence au calomel saturé

K : Constant d'équilibre d'adsorption

Table des matières

| | |
|--|----|
| Introduction générale..... | 1 |
| 1 Chapitre 1: Synthèse bibliographique | 2 |
| 1.1 Introduction | 3 |
| 1.2 Nuance et caractéristiques mécaniques de métal de base et joint soudé de l'acier API 5L X70..... | 3 |
| 1.2.1 Métal de base API 5L X70..... | 3 |
| 1.2.2 Métal d'apport | 4 |
| 1.3 Procédés de soudage à l'arc | 4 |
| 1.3.1 Soudage manuel | 5 |
| 1.3.2 Soudage automatique | 7 |
| 1.4 Corrosion des aciers au carbone | 8 |
| 1.4.1 Thermodynamique de la corrosion des aciers au carbone..... | 8 |
| 1.4.2 Réactions de corrosion | 9 |
| 1.4.3 Type de corrosion de métal de base et de joint soudé de l'acier API 5L X70 ... | 10 |
| 1.5 Conclusion | 13 |
| 2 Chapitre 2: Technique d'étude et conditions expérimentales | 14 |
| 2.1 Techniques d'étude..... | 15 |
| 2.1.1 Techniques électrochimiques | 15 |
| 2.2 Conditions expérimentales | 16 |
| 2.2.1 Les électrodes de travail | 16 |
| 2.2.2 Milieu électrolytique | 19 |
| 2.2.3 Mesures électrochimiques | 19 |
| 2.2.4 Les courbes intensité-potentiel (courbes de polarisation) | 20 |
| 2.2.5 Microscopie optique | 20 |
| 3 Chapitre 3: Résultats et discussion..... | 22 |
| 3.1 Partie 1 : Etude de la corrosion de l'acier API 5L-X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5%..... | 23 |
| 3.1.1 Essais électrochimiques de l'acier API 5L X70 et son joint soudé (NaCl 3,5%) | 23 |
| 3.1.2 Analyse de la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5% | 26 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2 | Partie 2 : Etude de la corrosion de l'acier API 5L-X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M..... | 29 |
| 3.2.1 | Essais électrochimiques de l'acier API 5L X70 et son joint soudé (HCl 1 M).. | 29 |
| 3.2.2 | Analyse de la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M | 32 |
| 3.3 | Partie 3 : Etude de la corrosion de l'acier API 5L-X70 et son joint soudé en milieu H ₂ SO ₄ 0,5 M..... | 35 |
| 3.3.1 | Essais électrochimiques de l'acier API 5L X70 et son joint soudé (H ₂ SO ₄ 0.1 M) | 35 |
| 3.3.2 | Analyse de la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu H ₂ SO ₄ 0.5 M | 37 |
| | Conclusion générale | 41 |
| | Références bibliographiques | 43 |

Introduction générale

La corrosion des joints soudés peut survenir en dépit du fait que le matériau ainsi que le métal d'apporte approprié ont été sélectionnés. Il existe également de nombreux cas dans lesquels, la soudure présente une résistance à la corrosion supérieure à celle du métal de base. Il existe également des moments où la soudure se comporte de manière différente, affectant à la fois la résistance et la sensibilité à l'attaque corrosive. L'objectif de ce mémoire est d'étudier la résistance à la corrosion de l'acier de pipeline API 5L X70 et son joint soudé dans différents milieux.

La structure de ce mémoire traduit cette démarche.

Le chapitre 1 : La première partie est consacrée à la synthèse bibliographique sur le mécanisme de corrosion des aciers au carbone

Le chapitre 1 : La deuxième partie est consacrée à la synthèse bibliographique sur le soudage des pipelines.

Le chapitre 2 : expose succinctement l'ensemble des techniques expérimentales employées dans le cadre de cette étude ainsi que les conditions expérimentales adoptées.

L'ensemble des résultats est regroupé en trois parties dans le chapitre 3 :

Le chapitre 3 : La première partie est relative à l'étude de la corrosion de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5%. Puis,

Le chapitre 3 : La deuxième partie est consacrée à l'étude de la corrosion de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M.

Le chapitre 3 : La troisième partie est consacrée à l'étude de la corrosion de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu H₂SO₄ 0,1 et 0,5 M.

Chapitre 1: Synthèse bibliographique

1.1 Introduction

La corrosion d'un matériau est la dégradation de celui-ci ou de ses propriétés mécaniques sous l'effet de l'environnement immédiat qui peut être le sol, l'atmosphère, l'eau ou d'autres fluides. La corrosion humide est certainement la plus répandue; elle fait intervenir soit de l'eau ou de l'humidité, soit un acide ou une base.

La corrosion peut être vue sous sa forme globale comme une réaction spontanée d'échange d'électrons à l'interface métal-environnement. C'est un phénomène naturel qui tend à faire retourner les métaux à leur état d'oxyde par une attaque plus ou moins rapide du milieu corrosif. [1]

Les processus de corrosion dans ces milieux dépendent d'un grand nombre de facteurs qui interviennent non pas individuellement, mais en relation plus ou moins complexe les uns avec les autres: la nature et la structure du matériau, l'environnement et ses caractéristiques chimiques, sa température, etc. De ce fait, la corrosion a donné et donne toujours lieu à de nombreuses études car les phénomènes de corrosion rencontrés sont complexes et souvent spécifiques à chaque domaine. Dans ce qui suit, on va rappeler certaines définitions et concepts qui sont nécessaires à notre travail et qui vont nous permettre de maîtriser les phénomènes qui sont en jeu et pouvoir ainsi interpréter les résultats obtenus. [2]

1.2 Nuance et caractéristiques mécaniques de métal de base et joint soudé de l'acier API 5L X70

1.2.1 Métal de base API 5L X70

Le matériau de notre étude est un acier au carbon utilisé pour le transport des hydrocarbures de dénomination APIX70 il répond à la spécification imposée par la norme API5L. Le Tableau (I.1) représente la composition chimique de l'acier utilisé. La composition telle qu'elle ressort des analyses sur coulée est conforme aux exigences de la norme. [3]

Table 1-1 : Composition chimique de l'acier API 5L-X70 en % massique [8]

| C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Nb | Ti | Fe |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| (max) | (max) | (min) | (max) | (max) | (max) | (max) | (max) | (max) | |
| 0,125 | 1,68 | 0,27 | 0,012 | 0,005 | 0,051 | 0,04 | 0,033 | 0,03 | Ball |

1.2.2 Métal d'apport

Le métal d'apport est fréquemment utilisé pour l'assemblage ou le rechargement de pièces. Dans le cas d'un soudage automatisé, le métal d'apport est amené à vitesse constante devant le bain de fusion par une bobine rotative. Dans le cas d'un soudage manuel, le débit de métal d'apport, conditionné sous forme de baguette est régulé par le soudeur. [4]

Le métal d'apport est au départ parfaitement homogène mais ,après l'opération de soudage ,il est fort probable que l'ensemble des échanges se produisant au cours du transfert du métal liquide de l'arc vers le cordon conduira à des légères modification de composition chimique ,de plus après solidification la microstructure brut de solidification de métal fondu conduit à une ségrégation identique nécessairement plus importante que dans le métal de base qui a subi un corroyage et une recristallisation. Une des principales conséquences est que la résistance intrinsèque à la corrosion d'un métal déposé, même parfaitement homogène, est inférieure à celle du métal de base. [4]

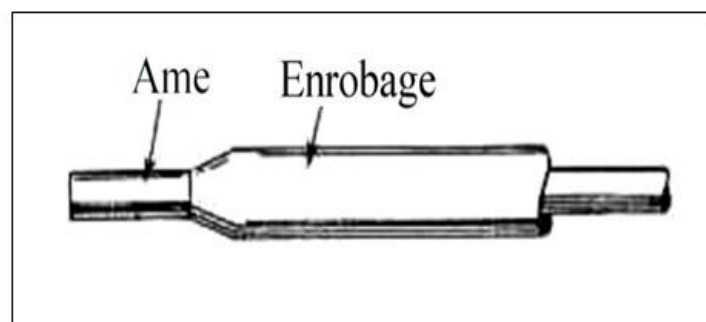


Figure 1-1 : L'électrode enrobée [4]

1.3 Procédés de soudage à l'arc

Le développement des techniques et technologies de soudage en construction des pipelines a pour objectif primordial la mise au point des méthodes avancées assurant plus de productivité et de qualité des joints de soudure des tubes. On utilise actuellement le procédé de soudage à l'arc électrique. Les électrodes utilisées se différencient par leurs particularités technologiques, le type et l'épaisseur de l'enrobage, la composition chimique de l'âme et de l'enrobage, le caractère de laitiers, les propriétés mécaniques du métal du cordon et le moyen d'adhérence de l'enrobage à l'âme de l'électrode. La matière composant l'enrobage assure trois fonctions : métallurgique, électrique et physique. En construction des pipelines, on utilise plus particulièrement les électrodes à enrobage cellulosique pour la soudure dite : méthode

descendante. Elles permettent d'obtenir une bonne pénétration. Les électrodes à enrobage rutile se distinguent par leur aptitude à réaliser des soudures par la technique montante sur des tubes de petits diamètres. Enfin les électrodes basiques présentent de meilleures qualités mécaniques et notamment la résilience. [4]

1.3.1 Soudage manuel

Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées permet d'assembler ou de recharger des éléments ou des pièces métalliques au moyen de cordons de soudure (Fig.1 et 2.). Il s'agit du type de soudage le plus répandu.

L'énergie nécessaire à la fusion du métal est fournie par un arc électrique jaillissant entre les pièces à souder et une électrode fusible fournissant le métal d'apport.

La soudure à l'arc électrique est une soudure de type autogène, pour l'assemblage de pièces en acier. Les assemblages ainsi obtenus sont très résistants puisque l'acier est mis en fusion et les deux éléments soudés ne forment plus qu'une seule masse en acier après soudage.

Les applications de ce procédé sont particulièrement nombreuses. La mobilité des appareils et la grande diversité des types d'électrodes permettent d'effectuer des travaux sur un certain nombre de métaux et de leurs alliages comme les aciers non alliés ou faiblement alliés, les aciers inoxydables, les fontes et dans certaines conditions, l'aluminium, le cuivre et le nickel.

Tous les types d'assemblage (bord à bord, d'angle...) et toutes les positions de soudage (à plat, en corniche...) sont possibles.

Il y a mise en fusion des pièces à souder et du métal d'apport.

Pour obtenir cette fusion il faut une température très élevée supérieure à 3000°C. Celle-ci est obtenue par court-circuit entre deux électrodes (la pièce à souder et l'électrode constituée de métal d'apport) en créant un «arc électrique» qui est une sorte d'étincelle continue de très forte puissance qui dégage à la fois de la lumière et une chaleur intenses [4]

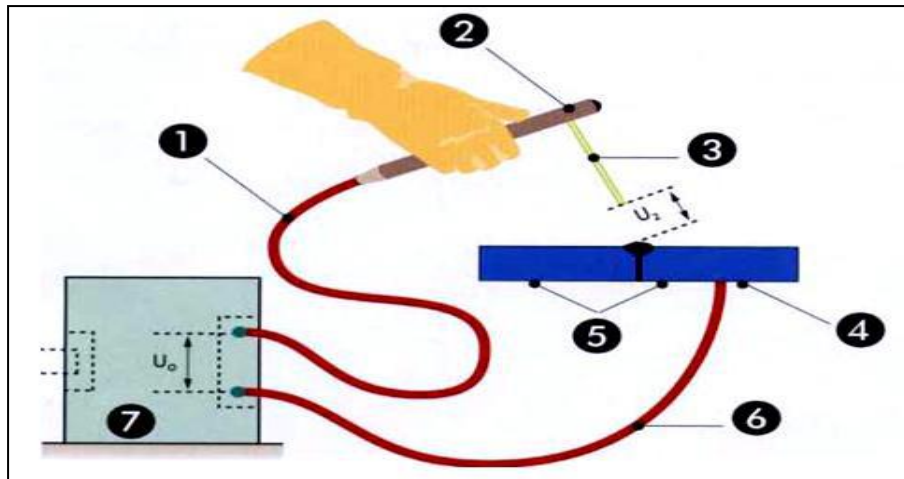


Figure 1-2 : Principe de soudage manuel. [4]

1. Conducteur de soudage.
2. Porte-électrode isolé.
3. Electrode enrobée consommable.
4. Connecteur de pièce.
5. Pièces à assembler.
6. Connecteur de retour.
7. Générateur de courant de soudage.



Figure 1-3 : Soudage des pipelines (type manuel). [4]

1.3.2 Soudage automatique

Il s'agit d'un procédé entièrement automatisé dans lequel la tête de soudage se déplace de façon automatique le long du joint (fig .1.3) .L'électrode est constituée d'un fil nu dont l'avancement est commandé par un moteur asservi. Le flux sous forme de particules est déposé à la surface du joint.

L'arc électrique est immergé sous la surface du flux dont il fond une partie pour former un laitier qui se solidifie immédiatement après en assurant la protection de la soudure .Le flux non fondu est récupéré et peut être réutilisé pour la soudure suivante .Le soudage à l'arc sous flux en poudre nécessite généralement des intensités comprises entre 400 A et 1000 A.

La machine de soudage (ou les pièces à souder) se déplace, assurant la vitesse de soudage. L'amenée du fil-électrode se fait automatiquement. [4]



Figure 1-4 : principe de soudage automatique.[4]

1.4 Corrosion des aciers au carbone

Les aciers au carbone sont les plus utilisés dans la construction des pipelines. Les pertes par corrosion, représentent une composante importante du pourcentage des pertes technologiques au cours du processus de transport par pipelines, ainsi qu'une considérable source de pollution [4].

La présence des acides dans le milieu augmente l'agressivité des attaques de ce dernier envers le métal. Dans le pétrole brut et ses dérivés, on peut trouver une grande quantité et variété d'acides, parmi les plus répandus, on a :

- L'acide chlorhydrique se forme par hydrolyse des chlorures à haute température (120-180°C). Il est présent dans les colonnes de distillation et dans les condenseurs. Il est aussi utilisé pour l'acidification des puits.
- L'acide sulfurique, est utilisé en grande quantité dans nombreuses opérations, telles que l'alkylation et la polymérisation.
- Les acides naphthéniques : Ces composés cycliques saturés n'ont pas d'action directe sur la corrosion en tête de tour mais au niveau du brut, ils favorisent l'hydrolyse du chlorure de sodium à un niveau de température où elle ne se produirait pas. Compte tenu du fait que le NaCl représente 80% de la teneur en sels des bruts, la quantité de HCl ainsi générée n'est pas négligeable [4].

1.4.1 Thermodynamique de la corrosion des aciers au carbone

Le professeur Pourbaix à établi pour nombreux métaux des diagrammes basés sur les tentions d'équilibre des réactions électrochimiques en fonction du pH de la solution. Ces diagramme indiquent les limites thermodynamiques de stabilité du métal considéré par rapport à ses ions dans le milieu et aux produits de réaction, en fonction du pH et de la tension. Ces diagrammes, sont établis généralement à 25°C.

Dans le cas du fer, il apparaît trois domaines distincts (Figure 1-5)

- Immunité (Fe).
- Corrosion (Fe^{2+} et Fe^{3+})
- Passivation (Fe_2O_3 et Fe_3O_4)

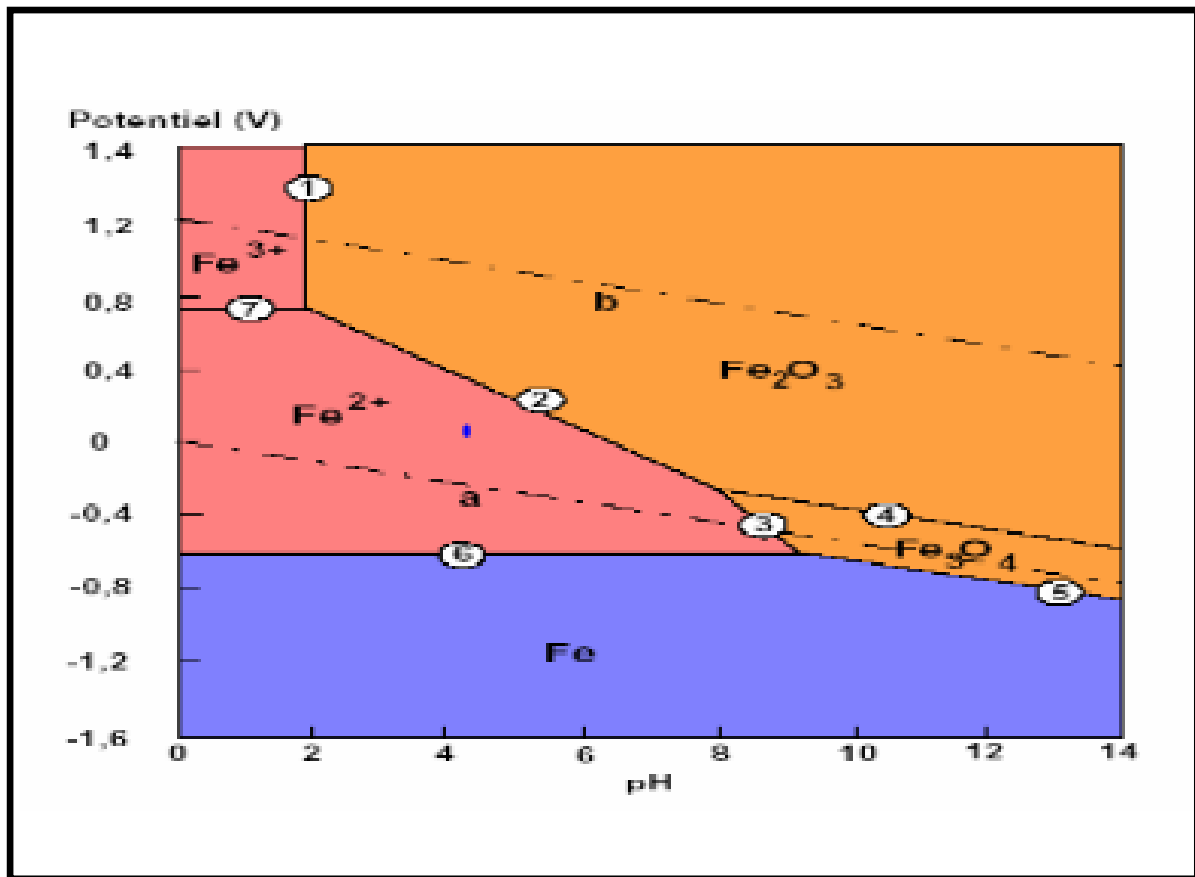


Figure 1-5 : Diagramme de stabilité du fer dans l'eau

1.4.2 Réactions de corrosion

En générale, on peut résumer les réactions de corrosion d'un métal (M) comme suit :

Le métal perd des électrons, c'est la réaction d'oxydation.



Où n et Mⁿ⁺ sont le nombre de charges et l'ion métallique respectivement.

La réaction de réduction dépend du milieu. On peut distinguer deux cas :

- Milieu acide

Sans O₂ dissout :



Avec O₂ dissout :



- Milieu neutre ou basique

Avec O₂ dissout :



1.4.3 Type de corrosion de métal de base et de joint soudé de l'acier API 5L X70

1.4.3.1 Corrosion de métal de base l'acier API 5L X70

En tenant compte de la forme et des sites de l'attaque, les principaux types de corrosion sont regroupés en deux grandes familles : la corrosion généralisée et la corrosion localisée.

➤ La corrosion uniforme

Cette corrosion se caractérise par une attaque de toute la surface de l'échantillon exposée au milieu. On trouve cette attaque sur les métaux exposés aux milieux acides. Le phénomène se caractérise par la vitesse d'attaque, qui se mesure soit en millimètres par an, soit en milligrammes par décimètre carré et par jour [1]. Dans ce mode de corrosion on ne distingue pas, à l'échelle macroscopique, les lieux cathodiques des lieux anodiques [1]. La corrosion généralisée est la forme la plus répandue et peut être détectée longtemps avant qu'un ennui vienne interrompre la vie de la structure métallique. La vitesse d'écoulement, le pH et la température du milieu ont une influence importante sur le taux de corrosion uniforme (Figure 1-6).

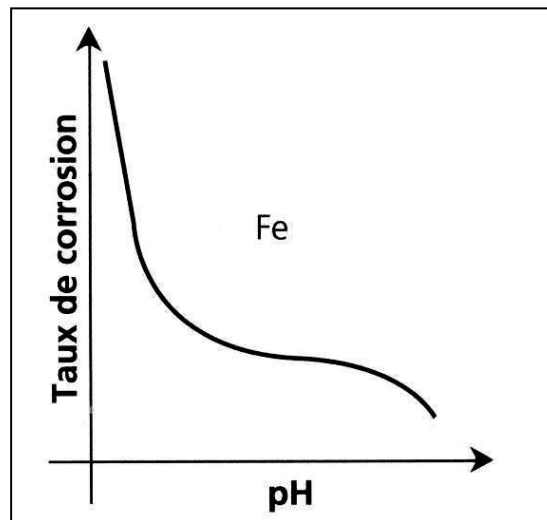


Figure 1-6 : Variation du taux de corrosion en fonction du pH

➤ **La corrosion localisée**

La corrosion localisée est la forme la plus insidieuse. Elle survient sur une partie du métal qui représente un lieu spécifiquement anodique, clairement distingué, dont la surface est très faible devant le reste de la structure métallique qui constitue la zone cathodique (Figure 1-7). En effet, pour une perte de poids minime, ce type de corrosion peut être catastrophique. La corrosion uniforme peut être réduite ou évitée par un choix convenable du matériau, la modification du milieu ou la protection cathodique. En pratique, la corrosion localisée provient d'une hétérogénéité du matériau ou de l'environnement. Elle pose souvent plus de problème que la corrosion uniforme [1].

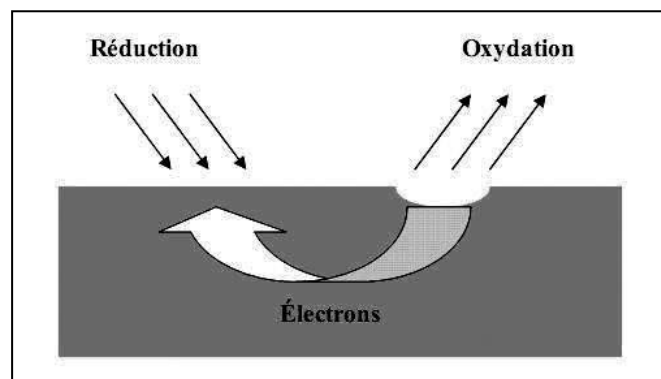


Figure 1-7 : Corrosion localisée [6].

On distingue plusieurs types de corrosion localisée que nous pouvons schématiser dans la figure 1-8.

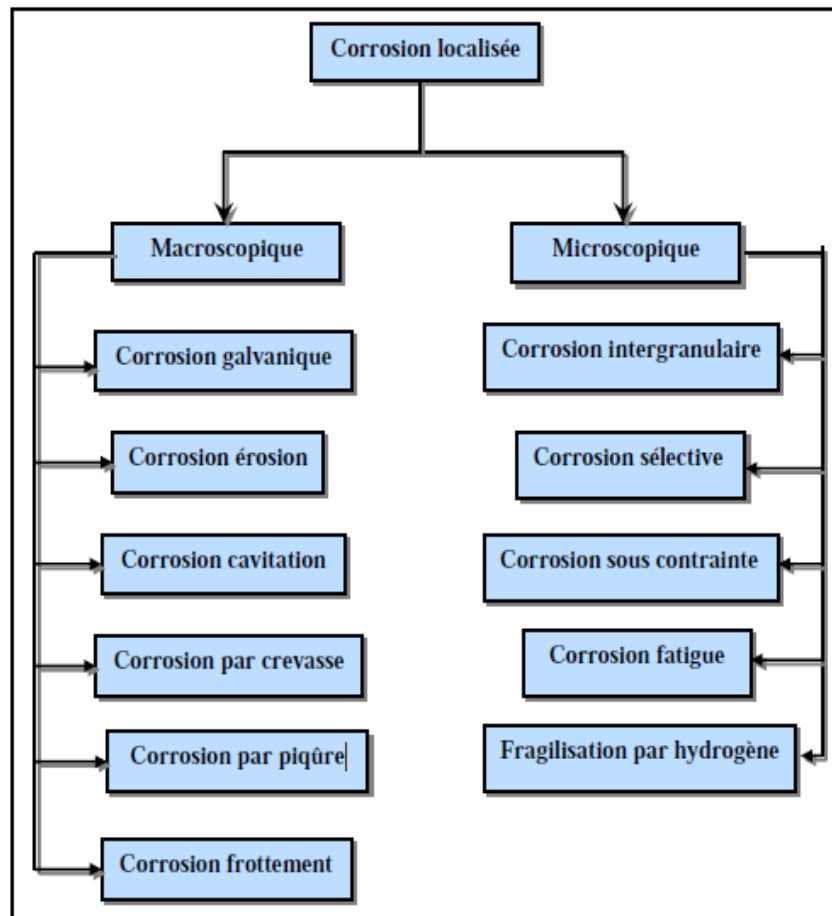


Figure 1-8 : Les différents types de la corrosion localisée [6].

1.4.3.2 Corrosion des joints soudés

La corrosion sont appelées à expertiser les cas de dégradation des soudures et ont acquis de ce fait une certaine expérience liée au soudage ou plus exactement aux incidences des opérations de soudage, Il y a donc une tendance à ne voir «que» des soudures dégradées.

Cependant la persistance de fuites liées à de la corrosion Aur les soudures nous obligé à comprendre les origines et à agir en conséquence .C'est d'autant plus nécessaire lorsque les industries concernées sont à risques car les conséquences peuvent être très importantes.

D'un point de vue pratique, l'effet chimique se manifeste à deux niveaux par la corrosion d'une part au niveau de la composition globale de métal fondu par rapport au métal de base, et d'autre part au niveau des ségrégations inter dendritique. [5]

1.5 Conclusion

La corrosion des joints soudés peut survenir en dépit du fait que le matériau ainsi que le métal d'apport approprié ont été sélectionnés, les codes et les normes de l'industrie respectées, la soudure réalisée avec un profil de joint soudé conforme, une soudure pénétrée en racine. Il n'est pas rare de constater que, malgré l'utilisation d'un métal de base forgé ou un alliage résistant à la corrosion dans un environnement particulier, la partie soudée ne résiste pas à la corrosion.

Chapitre 2: Technique d'étude et conditions expérimentales

Ce chapitre donne un exposé succinct de l'ensemble des techniques expérimentales employées dans le cadre de cette étude. Ainsi, un minimum de renseignements indispensables à la compréhension de la démarche expérimentale est présenté.

2.1 Techniques d'étude

Pour étudier les phénomènes de corrosion en différents milieux corrosifs deux types de méthodes ont été retenus :

- Les méthodes électrochimiques (courbes de polarisation) permettent tout d'abord d'avoir une meilleure connaissance du mécanisme de corrosion en différents milieux corrosif.
- Les analyses de surface (DRX, MO) ont été utilisées pour déterminer l'état de l'électrode de travail et la nature de la couche qui se forme à sa surface.

2.1.1 Techniques électrochimiques

Les méthodes électrochimiques sont basées sur la caractérisation des réactions d'oxydoréductions qui sont le siège d'un échange d'électrons entre l'oxydant et le réducteur. On obtient par cette mesure une caractérisation de la modification de l'interface métal/milieu. L'aspect plus quantitatif (tracé de courbes de polarisation) permet, quant à lui, d'accéder à des valeurs de paramètres physiques décrivant l'état du système (courant de corrosion, taux d'inhibition, résistance de polarisation).

2.1.1.1 Courbes de polarisation

Une réaction électrochimique sur une électrode est gouvernée par la surtension η appliquée, qui est l'écart entre le potentiel électrode/solution E et le potentiel d'équilibre de la réaction E_{EQ} . L'intensité du courant à travers ce matériau est une fonction du potentiel E , représentée par une courbe $i = f(E)$, ou $\log i = f(E)$, qui est la somme des courants des réactions électrochimiques se produisant à la surface de l'électrode. Sa détermination en milieu corrosif permet entre autre l'étude des phénomènes de corrosion. Les courbes de polarisation sont déterminées en appliquant un potentiel entre une électrode de travail et une électrode de référence. Un courant stationnaire s'établit après un certain temps (quelques minutes à quelques heures). Il est mesuré entre l'électrode de travail et une contre-électrode (ou électrode auxiliaire). D'un point de vue cinétique, deux modes de contrôle sont distingués selon l'étape réactionnelle limitante [6].

- Le transfert de charges à l'interface métal/électrolyte (activation).
- Le transport de masse de l'espèce électroactive ou des produits de réaction.

Les courbes de polarisation des réactions contrôlées par l'activation suivent une loi de *Butler-Volmer* [5].

$$i = i_0 \exp\left(\frac{\eta}{b_a}\right) - i_0 \exp\left(-\frac{\eta}{b_c}\right) \quad \text{Equ 2-1}$$

où i est la densité de courant; i_0 , la densité de courant d'échange, η , la surtension à l'électrode ($E - E_{\text{corr}}$). Leur tracé en échelle logarithmique laisse apparaître, loin de l'équilibre, l'existence de deux branches linéaires, dites droites de Tafel, qui signifient que la réaction liée à la polarisation appliquée est prédominante. Les pentes des droites, ou coefficients de Tafel b_a et b_c , et la densité de courant d'échange i_0 , lié aux vitesses des réactions partielles anodique et cathodique à l'équilibre, sont représentatives du mécanisme réactionnel et de la vitesse de dissolution du métal.

Les courbes de polarisation des réactions contrôlées par la diffusion satisfont à la loi de Tafel pour de faibles surtensions mais présentent une saturation du courant pour des surtensions fortes pour lesquelles la diffusion d'une espèce devient limitante. Le flux de diffusion de cette espèce à l'interface électrode/solution fixe alors la vitesse de réaction et donc l'intensité du courant [7].

2.2 Conditions expérimentales

2.2.1 Les électrodes de travail

2.2.1.1 Nomenclature

La désignation des nuances d'aciers est un moyen ou système conventionnel de nommer, d'identifier, de représenter voire de classer celles-ci.

Ils sont élaborés par des entités ou organisations intervenant dans la normalisation, par exemple : *Comité Européen de Normalisation* (CEN), *Organisation Internationale de Normalisation* (ISO), ou par des organisations professionnelles ou associations de certification, par exemple : *American Iron and Steel Institute* (AISI) ou *American Petroleum Institute* (API).

Les matériaux utilisés comme électrode de travail sont l'acier au carbone API 5L X60 et le joint soudé xxxx dont la composition chimique est donnée dans le tableau II-1 et II-2.

L'acier API 5L X60 est un acier au carbone désigné par sa limite élastique (70).

- A70 5L signifie : pipeline.
- X70 signifie : le grade de l'acier. Les autres grades sont, par exemple, A, B, X42, X60.

Le chiffre 60 signifie : 60000 psi, c'est la limite élastique de l'acier en psi « *pound per square inch* » (livre par pouce carré)

Tableau 2-1: Composition chimique de l'acier API 5L-X70 en % massique

| C (max) | Mn (max) | Si (min) | P (max) | S (max) | Cr (max) | Ni (max) | Nb (max) | Ti (max) | Fe |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|
| 0,125 | 1,68 | 0,27 | 0,012 | 0,005 | 0,051 | 0,04 | 0,033 | 0,03 | Ball |

La composition chimique de joint soudé est inconnue.

Les électrodes de travail destinées à l'analyse électrochimique sont constituées d'un barreau cylindrique (en acier API 5L X70 et joint soudé) de diamètre 1,4 cm prélevées sur un tube pour le transport du pétrole. Chaque échantillon prend sa place dans un porte échantillon où la section polaire de l'électrode de travail est 1 cm².

Chaque échantillon destiné à l'examen par le microscope optique, diffraction des rayons X et l'analyse électrochimique est poli aux papiers abrasifs P120, P180, P340, P600 et P800, rincé à l'eau distillée, et dégraissé à l'acétone.

2.2.1.2 Étude métallographique

Afin de déterminer la structure métallographique de l'acier API 5L X70 et le joint soudé, des échantillons ont été polis sur des disques abrasifs SiC de différentes granulométries (P120, P180, P400, P600, P800, P1000 et P1200, puis rincé à l'eau distillée et bien séché avec un mouchoir en papier. Après attaque métallographique de la surface des échantillons, les différentes phases constitutives du matériau ont pu être mises en évidence. L'attaque a été effectuée en plongeant (20 secondes) l'acier préalablement poli dans une solution de « nital 4% » (mélange d'acide nitrique 4% et d'alcool (éthanol) 96%). Une analyse au microscope optique révèle que l'acier API 5L X70 présente une microstructure caractéristique d'un acier ferritoperlitique (figure 2-1). Le joint soudé présente une microstructure (Figure 2-2).

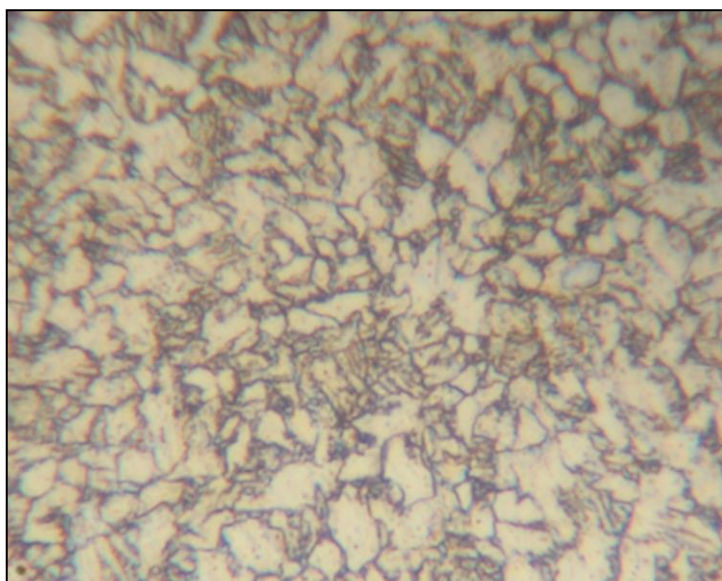


Figure 2-1 : Structure métallographique de l'acier au carbone API 5L X70 réalisée après une attaque au nital 4%.

2.2.2 Milieu électrolytique

La finalité industrielle de l'étude a orienté le choix de l'électrolyte vers des solutions aqueuses : Acide chlorhydrique de concentration 1M, acide sulfurique 0.1 M et solution NaCl 3.5%.

2.2.3 Mesures électrochimiques

Les essais électrochimiques ont été réalisés à l'aide d'un potentiostat Radiometer PGP201 avec un logiciel Volta Master 4, dans une cellule classique (en verre pyrex d'une contenance de 300 ml) à trois électrodes, une électrode de travail (acier API 5L X70 et joint soudé), une électrode de référence au calomel saturé (ECS) couplée à un capillaire fin (capillaire de Luggin) dont l'extrémité est placée près de l'électrode de travail afin de minimiser la contribution ohmique, et une contre-électrode inerte chimiquement (en platine). Avant chaque expérience, la cellule a été nettoyée à l'éthanol, rincée à l'eau distillée et séchée avec du papier absorbant. Le système a été connecté à un ordinateur. Avant la mesure, l'électrode de travail est plongée dans la solution d'essai au potentiel en circuit ouvert pendant 30 minutes pour atteindre un état stable. Notons qu'un bain thermostaté a été utilisé pour maintenir la température de la solution à la valeur désirée (Figure 2.3).

Pour tracer les courbes, traiter et analyser les mesures électrochimiques, tous les résultats sont transférés du logiciel Volta Master 4 à ORIGIN 6.0 (logiciel de traitement et d'analyse de données scientifiques).



Figure 2-2: Photographie du dispositif de mesures électrochimiques

2.2.4 Les courbes intensité-potentiel (courbes de polarisation)

Les branches anodiques et cathodiques ont été obtenues consécutivement de -700 mV/ECS à -300 mV/ECS à la vitesse de balayage de 0.3 mV/sec .

En raison de la présence d'un degré de non-linéarité des pentes de Tafel, les coefficients de Tafel ont été calculés à partir de la pente des points après 50 mV/ECS de potentiel de corrosion E_{corr} . Nous avons adopté la méthode graphique pour déterminer la vitesse de corrosion.

2.2.5 Microscopie optique

Les observations de la structure métallographique à l'état de réception et des piqûres qui apparaissent après les tests d'immersion ont été effectuées avec un microscope optique de type HUND T100-WETZLAR (Figure 2.4).



Figure 2-3 : Microscope optique HUND T100-WETZLAR

Chapitre 3: Résultats et discussion

3.1 Partie 1 : Etude de la corrosion de l'acier API 5L-X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5%.

Cette partie est consacrée à l'évaluation de la corrosion de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5%. Pour cela, une série d'essais électrochimiques et d'analyses de surface ont été réalisées. A partir des essais électrochimiques la vitesse de corrosion de l'acier et du joint soudé à été déterminée.

3.1.1 Essais électrochimiques de l'acier API 5L X70 et son joint soudé (NaCl 3,5%)

➤ *Courbe de polarisation de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5%*

Pour déterminer le domaine des potentiels de la corrosion généralisée et par piqûre, un teste de polarisation potentiodynamique a été réalisé. La courbe de polarisation de l'acier API 5L X70 et le joint soudé comporte donc trois domaines de potentiel (Figure 3-1) :

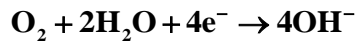
La zone I : l'acier sous la polarisation cathodique. L'acier est protégé et la réaction qui se déroule est la réaction de réduction de l'eau H₂O



Le domaine actif (la zone II) : situé entre E_{corr} et E_{pit}, dans ce domaine il y a une dissolution active de l'acier selon l'équation.



Les électrons libérés par la dissolution active sont repris par l'oxygène dissous du milieu pour former les hydroxydes OH⁻ selon la réaction.



Equ 3-3

La cinétique de corrosion est entièrement fixée par les réactions de transfert de charge.

La zone III : c'est la zone de la corrosion par piqûre, après E_{pit} la densité de courant augmente rapidement. On a observé l'absence de la couche passive à cause de présence des anions Cl^- .

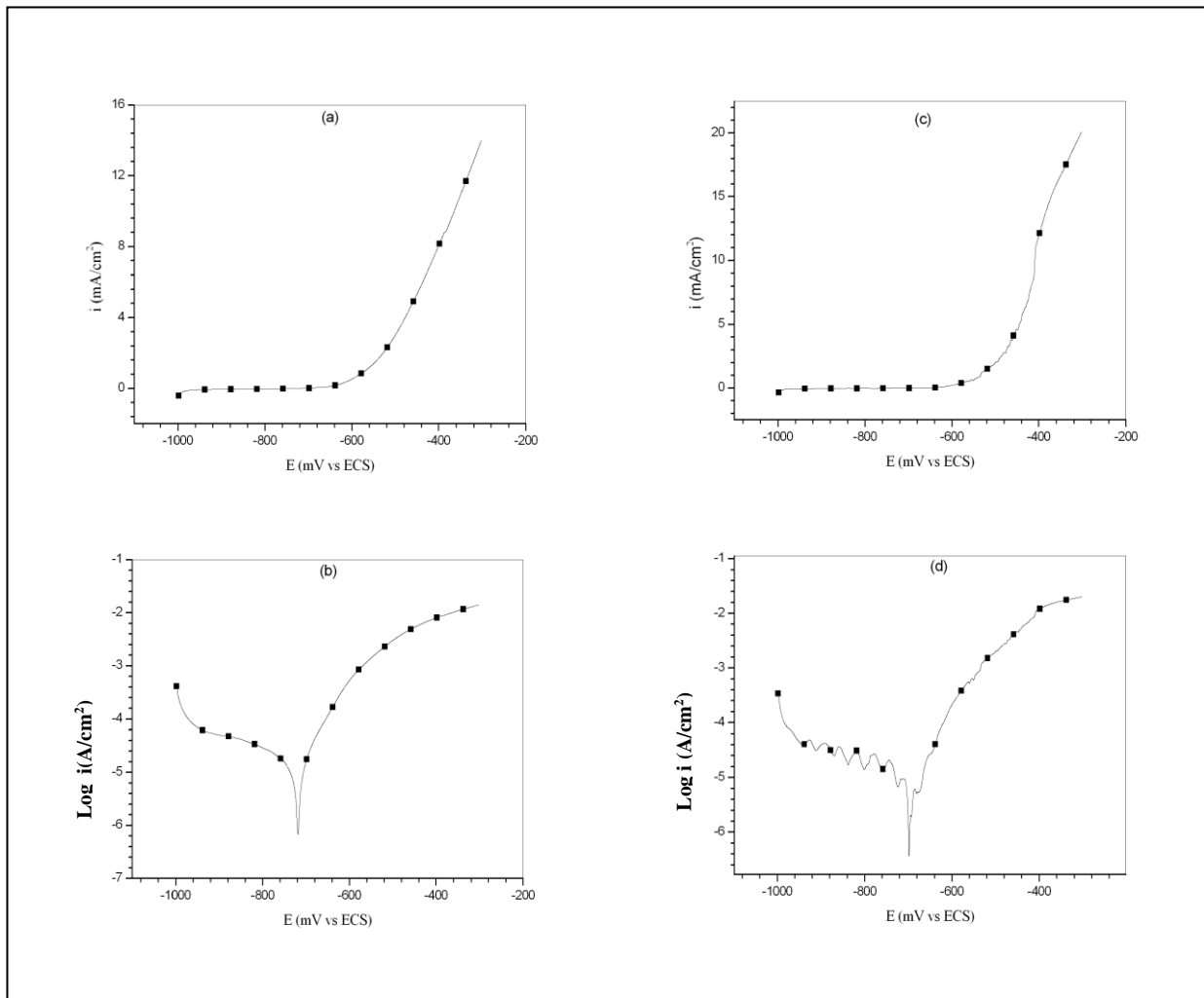


Figure 3-1 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 (a et b) et son joint soudé (c et d) en milieu NaCl 3,5% à 30°C, (a) et (c) courbes linéaires, (b) et (d) courbes logarithmiques.

Le tableau 3-1 regroupe les valeurs des paramètres électrochimiques déterminées à partir des courbes de polarisation.

Tableau 3-1 : Les valeurs des paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5% à 30°C.

| matériau | E_{corr} (mV vs. SCE) | I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) | E_{pit} (mV vs. SCE) |
|-------------|----------------------------|---|---------------------------|
| API 5L X42 | -717 | 18 | -638 |
| Joint soudé | -696 | 15 | -601 |

A partir du tableau 3-1, on peut constater que le potentiel de corrosion et la vitesse de corrosion de l'acier API 5L X70 sont proches de ceux de joint soudé, (figure 3-2).

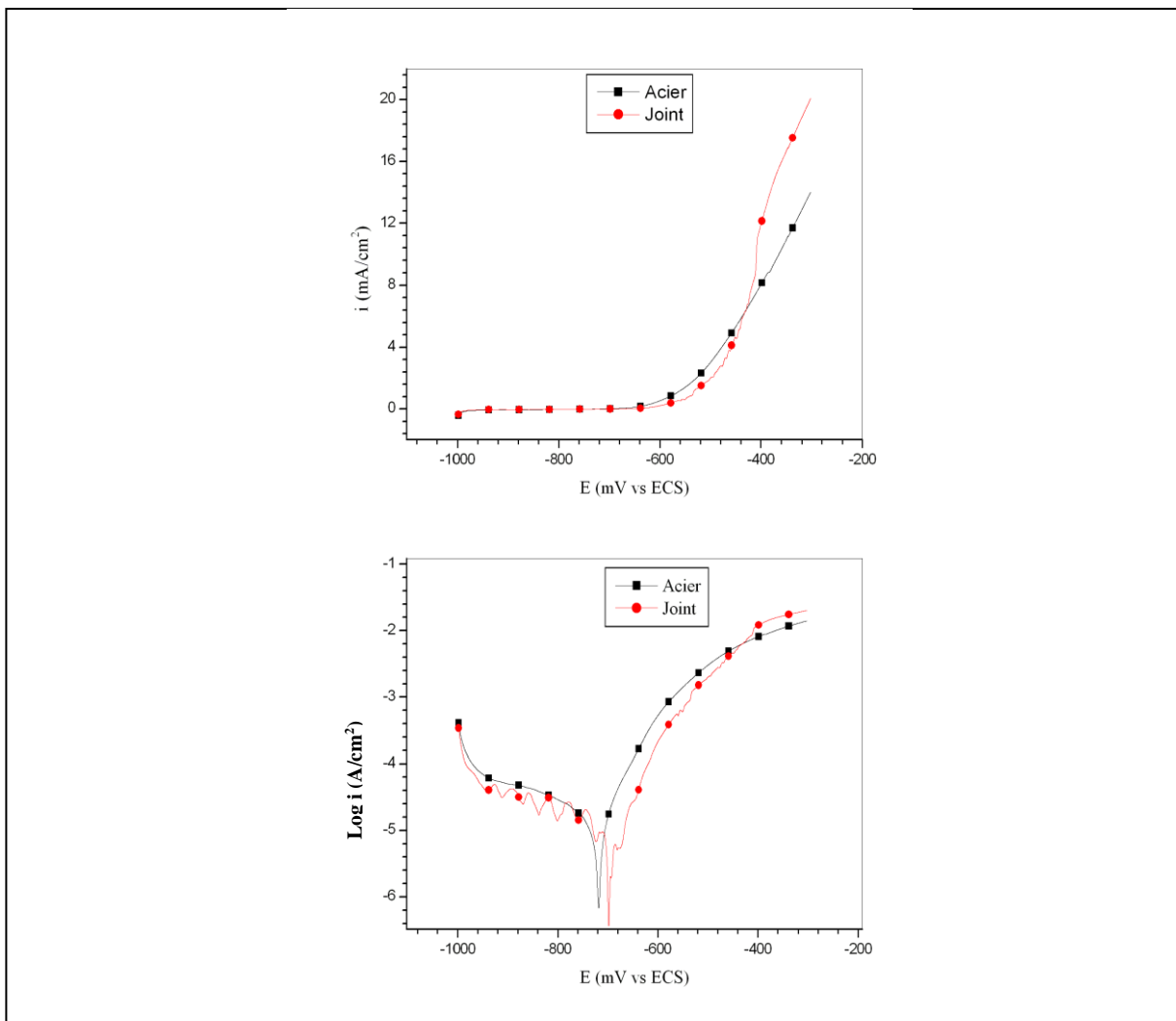


Figure 3-2 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5% à 30°C.

3.1.2 Analyse de la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu NaCl 3,5%

On a immergé des échantillons dans un bain de solution NaCl 3,5% pendant une durée (91 heures).

La figure 3-3 présente un aspect macroscopique des produits de corrosion sur la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé.

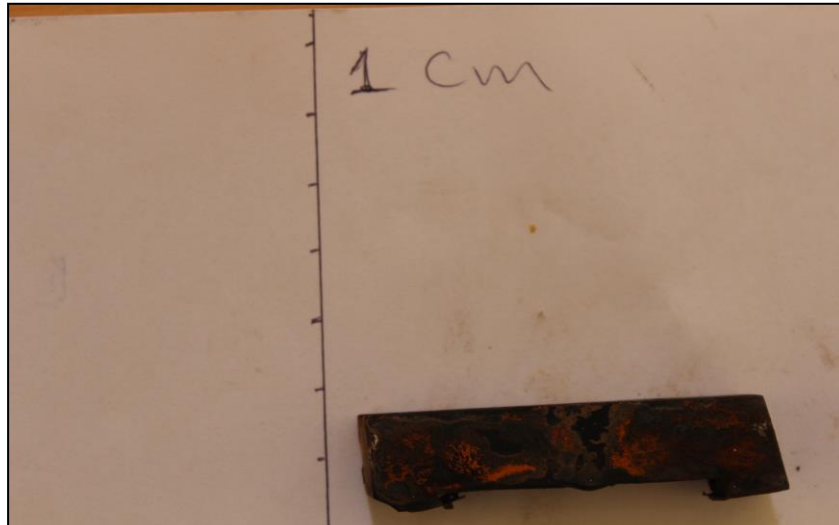


Figure 3-3 : Aspect macroscopique de produits de corrosion en milieu NaCl 3,5%

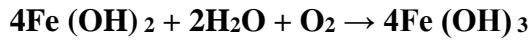
Quand l'acier entre en contact avec l'eau, un processus électrochimique lent commence. Sur la surface du métal, le fer (état d'oxydation 0) est oxydé pour passer à l'état d'oxydation II :



Pendant que le dioxygène de l'air (degré d'oxydation 0) est réduit en ion hydroxyde :

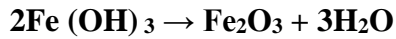


Lors de la seconde étape (quasi instantanée) l'hydroxyde de fer II est rapidement oxydé en hydroxyde de fer III selon cette réaction :



Equ 3-6

Finalemment, cet hydroxyde de fer III se transforme spontanément en oxyde de fer III hydraté selon l'équation suivante



Equ 3-7

Les surfaces des échantillons immergés ont été examinées au moyen d'un microscope optique qui a permis d'exposer le contraste lumineux. La figure 3-4 présente la morphologie de produit de corrosion en milieu NaCl 3,5%.

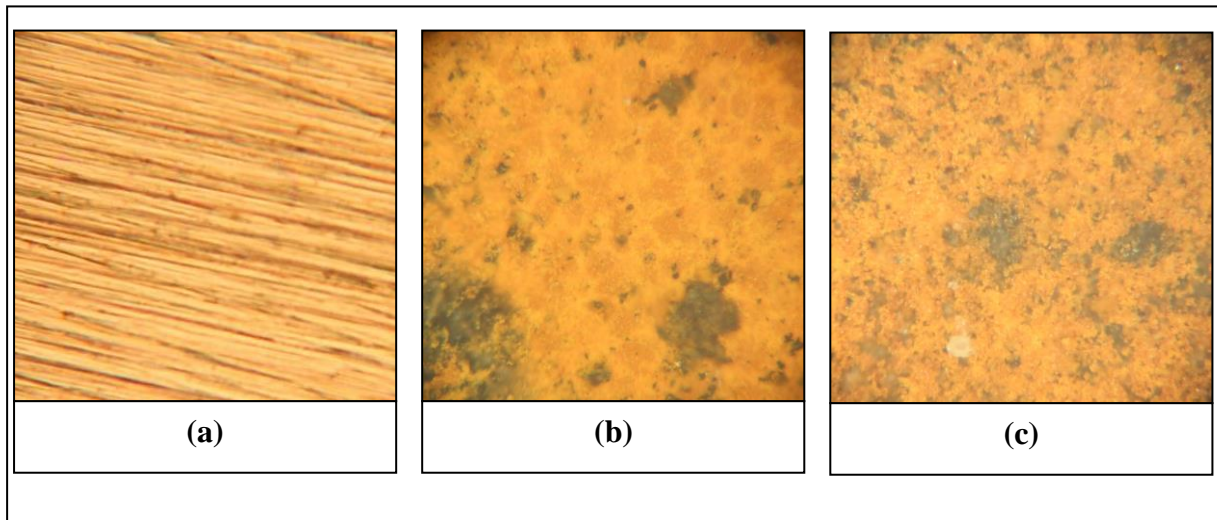


Figure 3-4 : la morphologie de produit de corrosion (9 jours) de l'acier API 5L X70 et son joint soudé par le microscope optique (x 100), (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) acier API 5L X70, (c) joint soudé.

La couleur rouge de la surface d'acier, (Figure 3-4 (b)), c'est une couleur de l'hématite.

On peut constater que la Figure III.5 reflète la corrosion par piqûre de l'acier API 5L X70 en milieu Eau Albienne.

Les zones lumineuses, mais restent moins lumineuses que la Figure III.4 (a), représentent la corrosion généralisée, par contre les zones sombres représentent probablement la corrosion par piqûre.

Pour évaluer la corrosion par piqûre de l'acier après le teste d'immersion, Il était nécessaire d'enlever ou diminuer la couche de produit de corrosion pour accéder à l'acier nu Figure III.5. Les produits de corrosion ont été éliminés par un polissage de la surface par un pipier grade 5000 pendant 60 secondes.

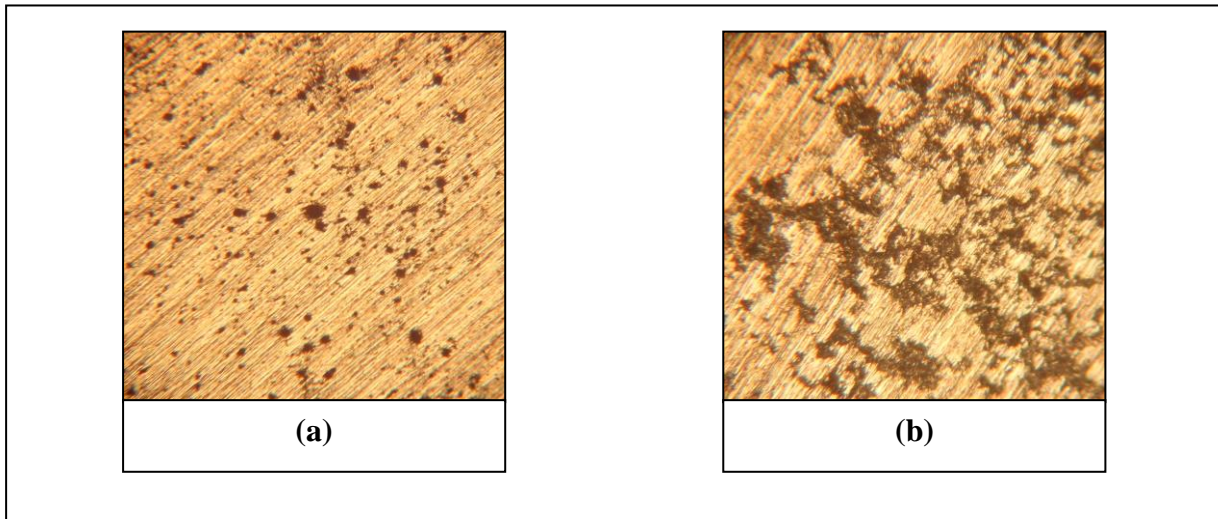


Figure 3-5 : La morphologie de la corrosion par piqure par le microscope optique (x 100), (a) l'acier API 5L X70, (b) joint soudé, après le teste d'immersion 9 jours en milieu NaCl 3,5% à 30°C

La figure 3-6 représente l'aspect macroscopique de l'échantillon après enlever les produits de corrosion.

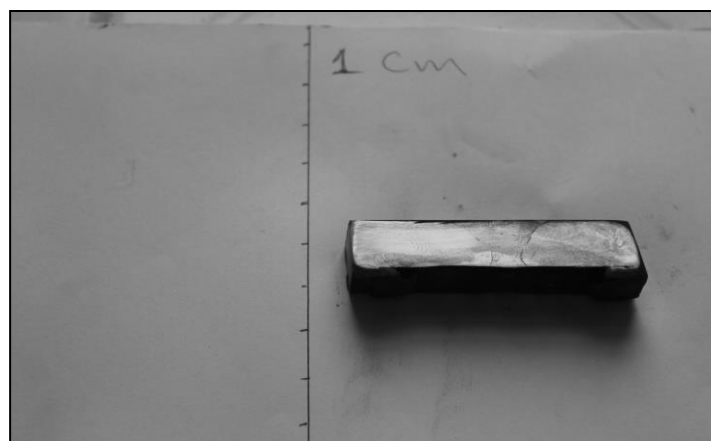


Figure 3-6 : aspect macroscopique de l'acier et son joint soudé sans produits de corrosion.

On peut remarquer que la surface est uniforme, ce qui signifie que la corrosion s'effectue de manière similaire dans l'acier et son joint soudé.

Bon accord avec les essais électrochimiques.

3.2 Partie 2 : Etude de la corrosion de l'acier API 5L-X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M.

Cette partie est consacrée à l'évaluation de la corrosion de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M. Pour cela, une série d'essais électrochimiques et d'analyses de surface ont été réalisées. A partir des essais électrochimiques la vitesse de corrosion de l'acier et du joint soudé à été déterminée.

3.2.1 Essais électrochimiques de l'acier API 5L X70 et son joint soudé (HCl 1 M)

➤ *Courbe de polarisation de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M*

La courbe de polarisation anodique de l'acier API 5L X70 et son joint soudé (Figure 3-6) comportent donc un seule domaine de potentiel. Le domaine actif: situé après E_{corr} , dans ce domaine il y a une dissolution active de l'acier selon l'équation Equ 3-1.



Les électrons libérés par la dissolution active sont repris par les protons du milieu pour former des molécules de gaz hydrogène selon la réaction Equ 3-8.



La cinétique de corrosion est entièrement fixée par les réactions de transfert de charge.

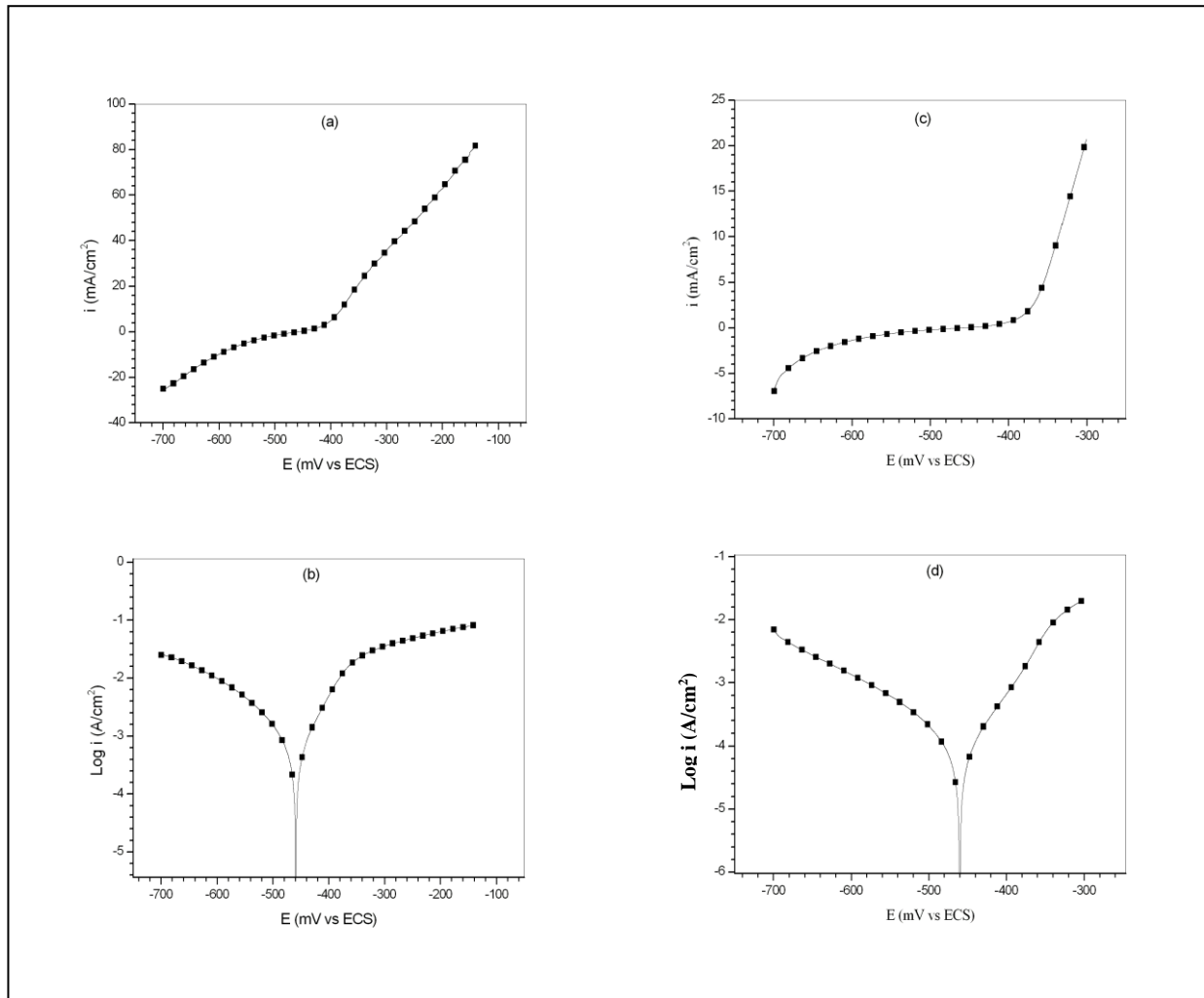


Figure 3-7 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 (a et b) et son joint soudé (c et d) en milieu HCl 1M à 30°C, (a) et (c) courbes linéaires, (b) et (d) courbes logarithmiques.

Le tableau 3-2 regroupe les valeurs des paramètres électrochimiques déterminées à partir des courbes de polarisation.

Tableau 3-2 : Les valeurs des paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M à 30°C.

| matériau | E_{corr} (mV vs. SCE) | I_{corr} ($\mu A/cm^2$) |
|-------------|----------------------------|--------------------------------|
| API 5L X42 | -459 | 1584 |
| Joint soudé | -460 | 182 |

A partir du tableau 3-2, on peut constater que le potentiel de corrosion de l'acier API 5L X70 et du joint soudé sont presque identiques, par contre la vitesse de corrosion de l'acier est plus grande que celle du joint soudé (figure 3-7).

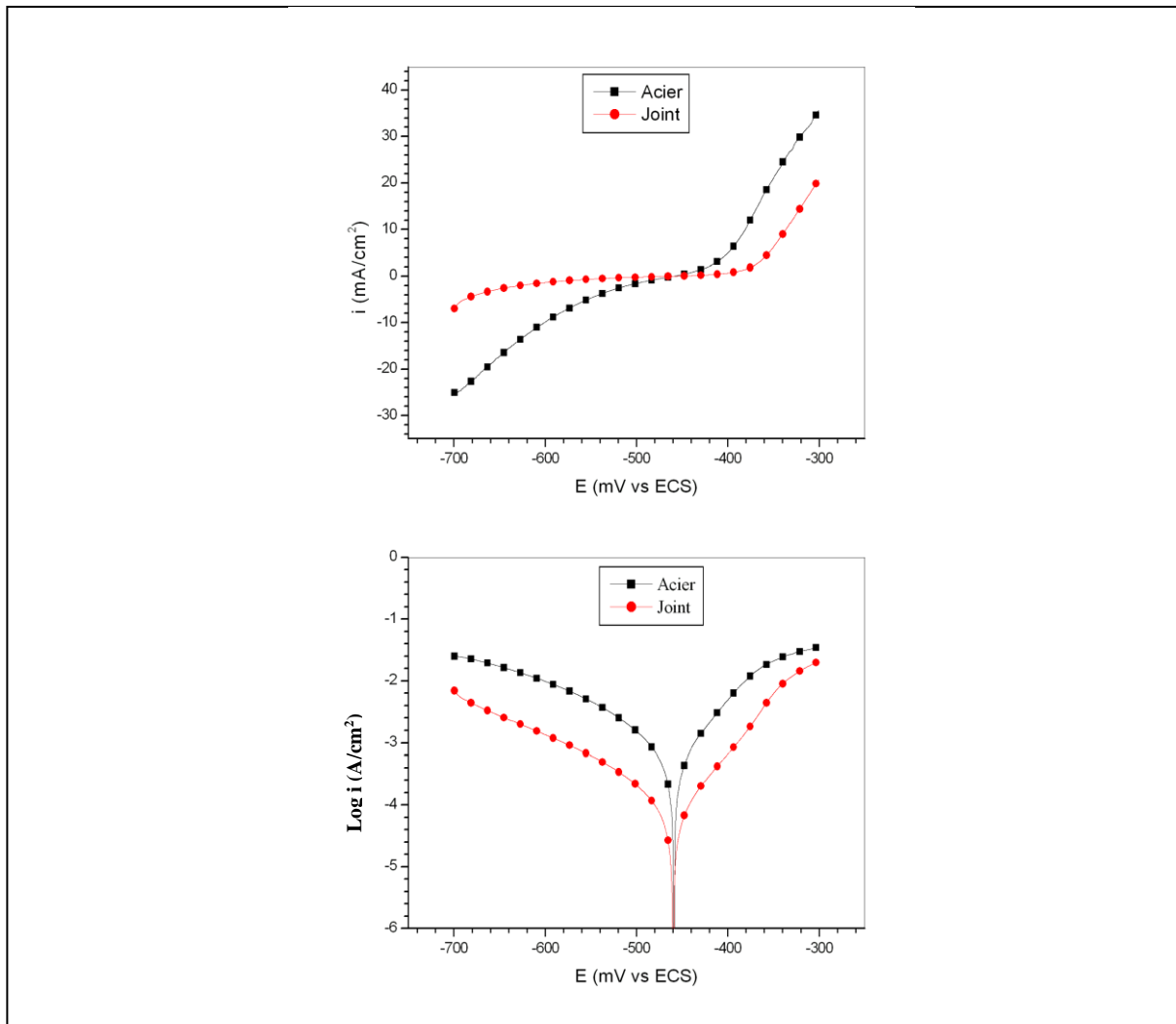


Figure 3-8 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M à 30°C.

3.2.2 Analyse de la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu HCl 1M

On a immergé des échantillons dans un bain de solution HCl 1M pendant une durée (91 heures).

La figure 3-9 présente un aspect macroscopique des produits de corrosion sur la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé.

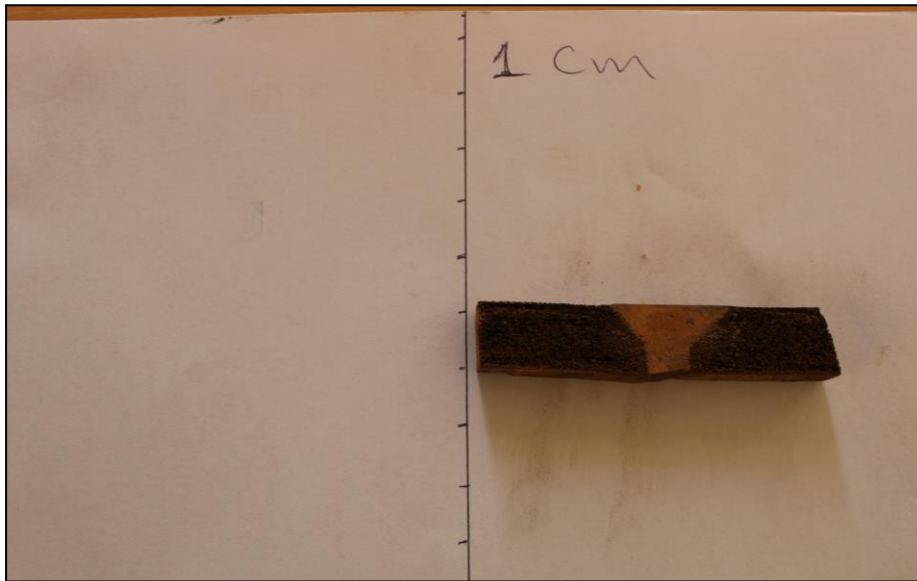


Figure 3-9 : Aspect macroscopique de produits de corrosion en milieu HCl 1M

Les surfaces des échantillons immergés ont été examinées au moyen d'un microscope optique qui a permis d'exposer le contraste lumineux. La figure 3-10 présente la morphologie de produit de corrosion en milieu HCl 1M.

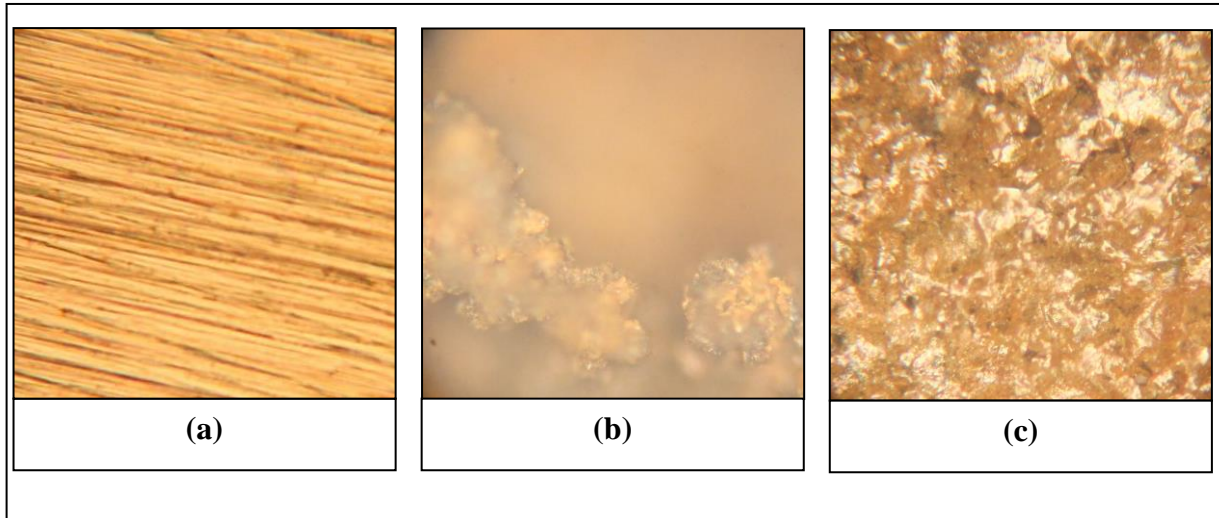


Figure 3-10 : la morphologie de produit de corrosion (91 heures) de l'acier API 5L X70 et son joint soudé par le microscope optique (x 100), (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) acier API 5L X70, (c) joint soudé.

La couleur brun rouge de la surface d'acier, figure 3-10 (b), (c), c'est la couleur de l'hématite.

Les zones lumineuses de Figure 3-10 (b), (c), mais restent moins lumineuses que la Figure 3-10 (a), représentent la corrosion généralisée, par contre les zones sombres représentent probablement la corrosion par piqûre.

Pour évaluer la corrosion par piqûre de l'acier et son joint soudé après le teste d'immersion, Il était nécessaire d'enlever ou diminuer la couche de produit de corrosion pour accéder à l'acier nu Figure 3-11. Les produits de corrosion ont été éliminés par un polissage de la surface par un pipier grade 1200 pendant 60 secondes.

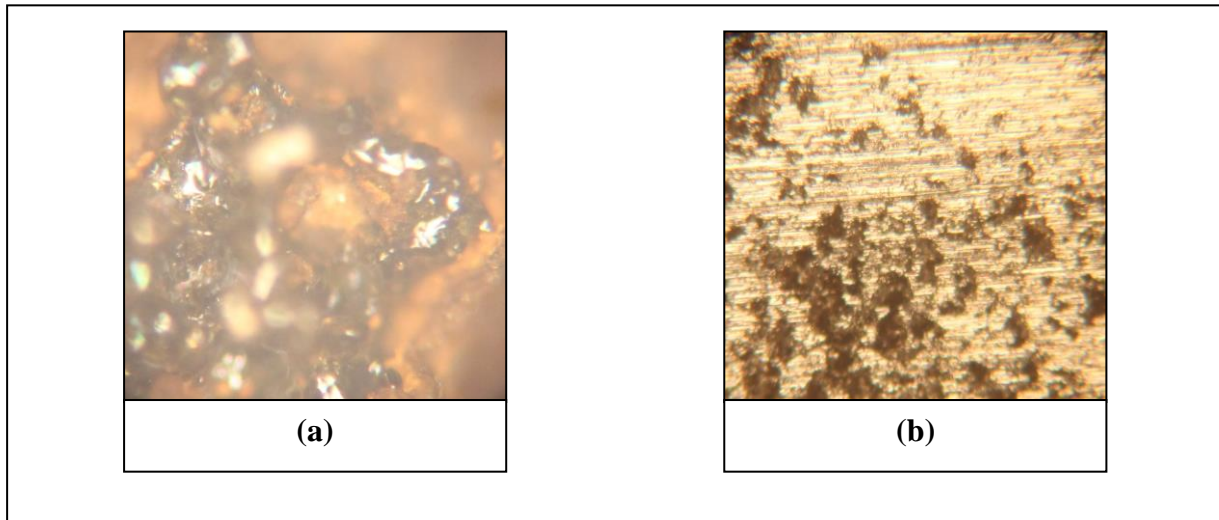


Figure 3-11 : La morphologie de la corrosion par piqure par le microscope optique (x 100), (a) l'acier API 5L X70, (b) joint soudé, après le teste d'immersion 91 heures en milieu HCl 1M à 30°C

La figure 3-12 représente l'aspect macroscopique de l'échantillon après enlever les produits de corrosion



Figure 3-12 : aspect macroscopique de l'acier et son joint soudé sans produits de corrosion (HCl 1M).

On peut remarquer que la surface de l'acier API 5L X70 a subi une attaque très agressive tan disque la surface de joint soudé a resté intacte.

Bon accord avec les essais électrochimiques

3.3 Partie 3 : Etude de la corrosion de l'acier API 5L-X70 et son joint soudé en milieu H₂SO₄ 0,5 M.

Cette partie est consacrée à l'évaluation de la corrosion de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu H₂SO₄ 0.5 et 0.1 M. Pour cela, une série d'essais électrochimiques et d'analyses de surface ont été réalisées. A partir des essais électrochimiques la vitesse de corrosion de l'acier et du joint soudé à été déterminée

3.3.1 Essais électrochimiques de l'acier API 5L X70 et son joint soudé (H₂SO₄ 0.1 M)

➤ *Courbe de polarisation de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu H₂SO₄ 0.1 M*

La figure 3-13 représente les courbes de polarisation de l'acier API 5L X70 et son joint soudé. On peut constater que le comportement électrochimique de l'acier et le joint soudé en milieu H₂SO₄ 0.1 M est le même que celui en milieu HCl 1M.

Le tableau 3-3 regroupe les valeurs des paramètres électrochimiques déterminées à partir des courbes de polarisation

Tableau 3-3 : Les valeurs des paramètres électrochimiques de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu H₂SO₄ 0.1 M à 30C°.

| matériau | E _{corr} (mVvs.SCE) | I _{corr} (µA/cm ²) |
|-------------|---------------------------------|--|
| API 5L X42 | -518 | 673 |
| Joint soudé | -508 | 691 |

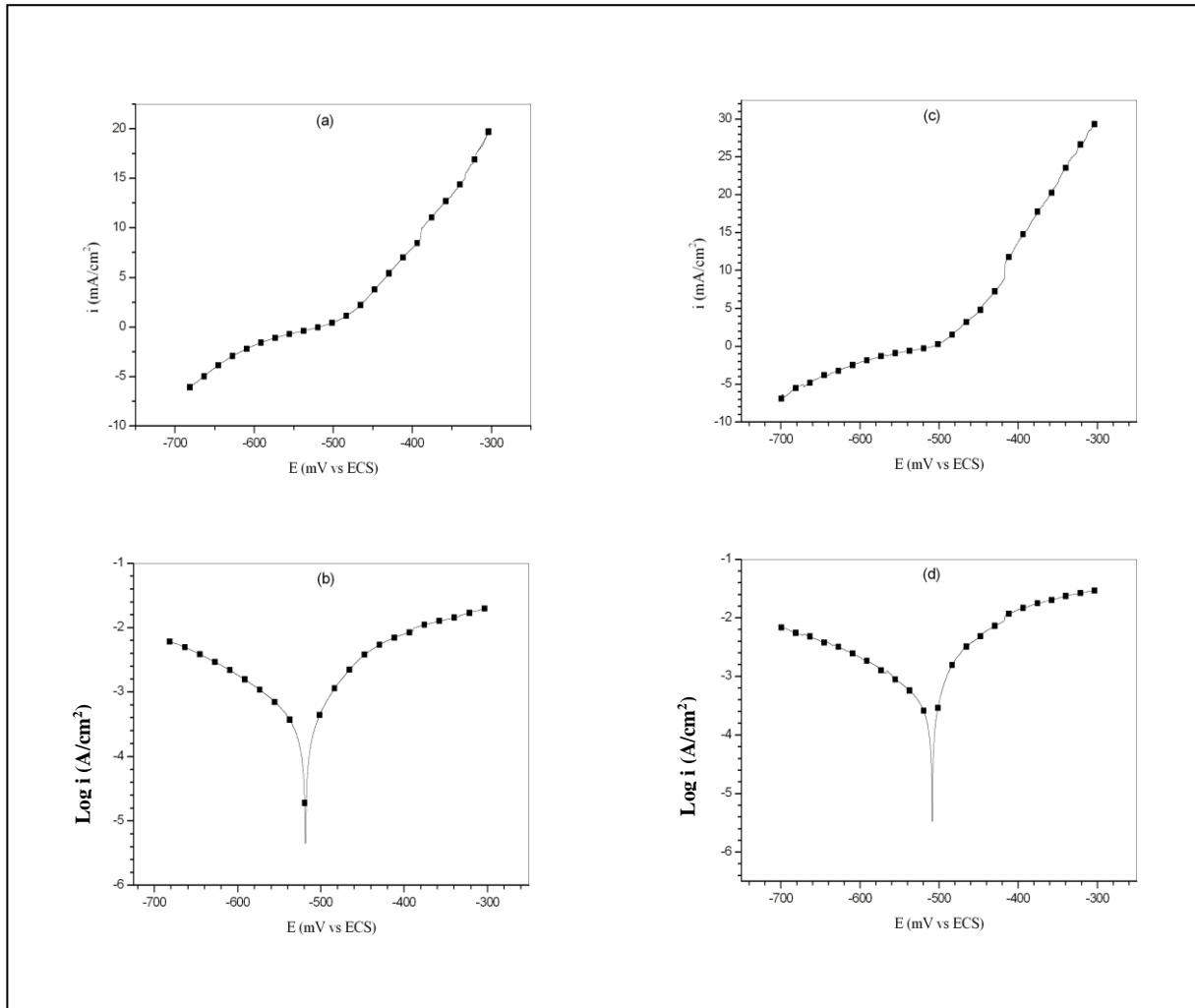


Figure 3-13 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 (a et b) et son joint soudé (c et d) en milieu H_2SO_4 0.1 M à 30°C, (a) et (c) courbes linéaires, (b) et (d) courbes logarithmiques.

A partir du tableau 3-3, on peut constater que le potentiel de corrosion et la vitesse de corrosion de l'acier API 5L X70 sont proches de ceux de joint soudé, (figure 3-14).

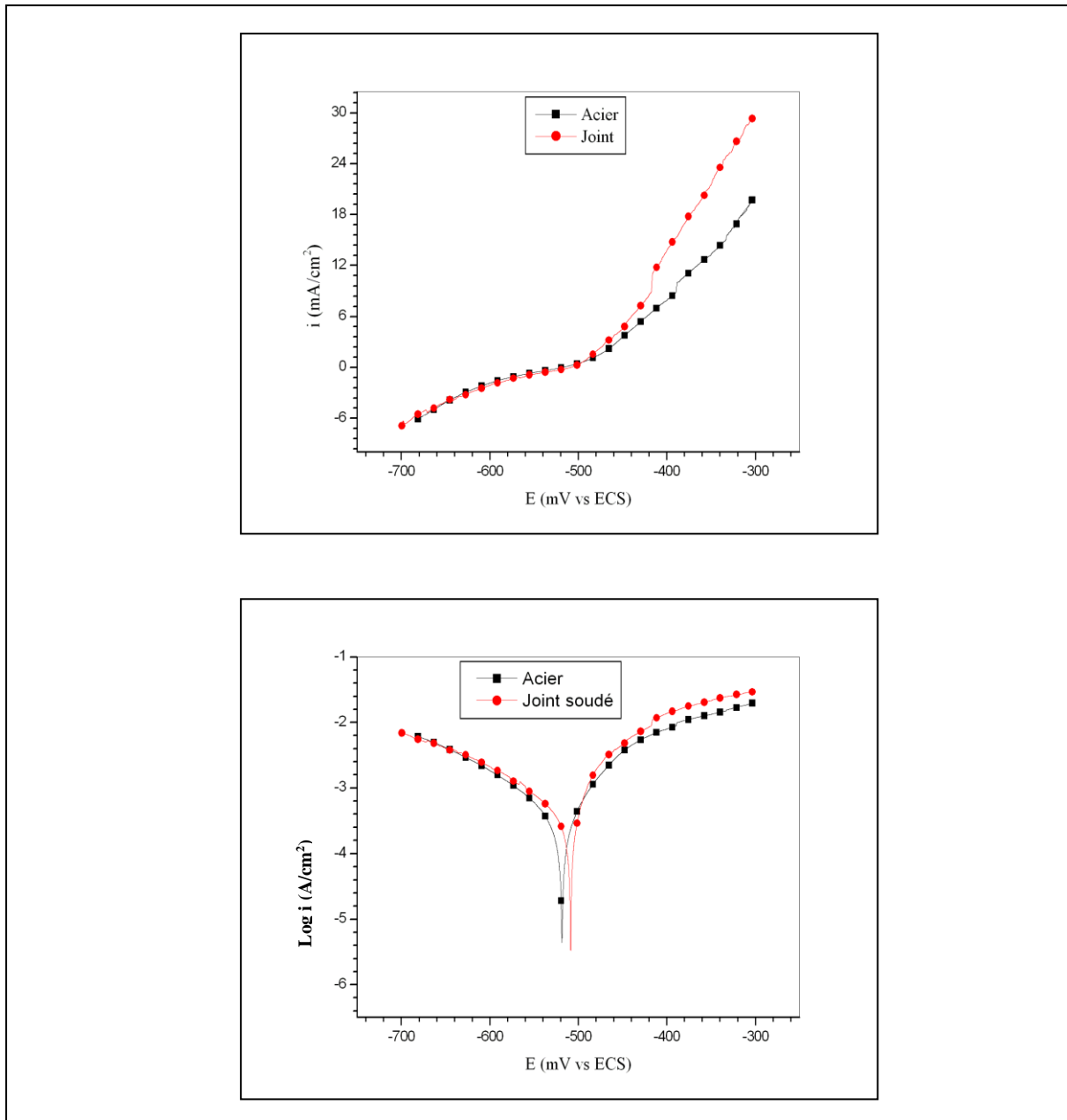


Figure 3-14 : Courbes de polarisation de l'acier API 5 L X70 et son joint soudé en milieu H₂SO₄ 0.1 M à 30°C.

3.3.2 Analyse de la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé en milieu H₂SO₄ 0.5 M

On a immergé des échantillons dans un bain de solution H₂SO₄ 0.5 M pendant une durée (91 heures). La figure 3-15 présente un aspect macroscopique des produits de corrosion sur la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé.

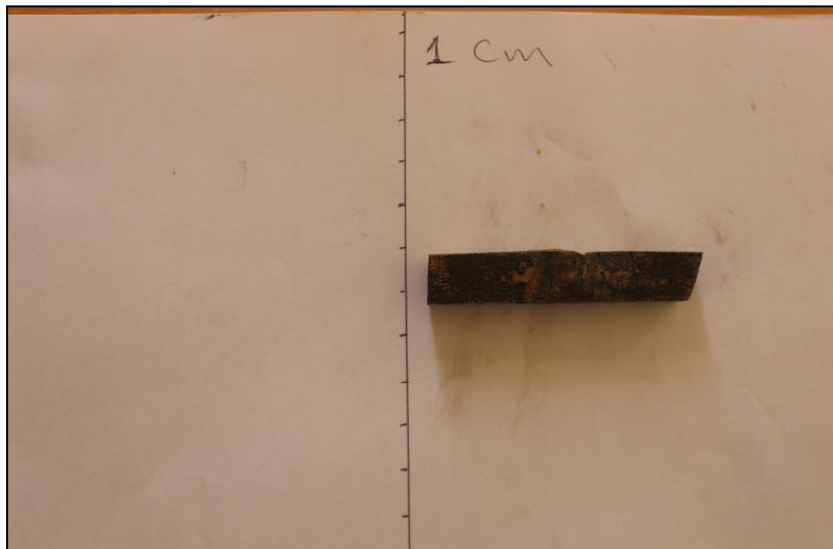


Figure 3-15 : Aspect macroscopique de produits de corrosion en milieu H_2SO_4 0.5 M

Les surfaces des échantillons immergés ont été examinées au moyen d'un microscope optique qui a permis d'exposer le contraste lumineux. La figure 3-16 présente la morphologie de produit de corrosion en milieu H_2SO_4 0.5 M.

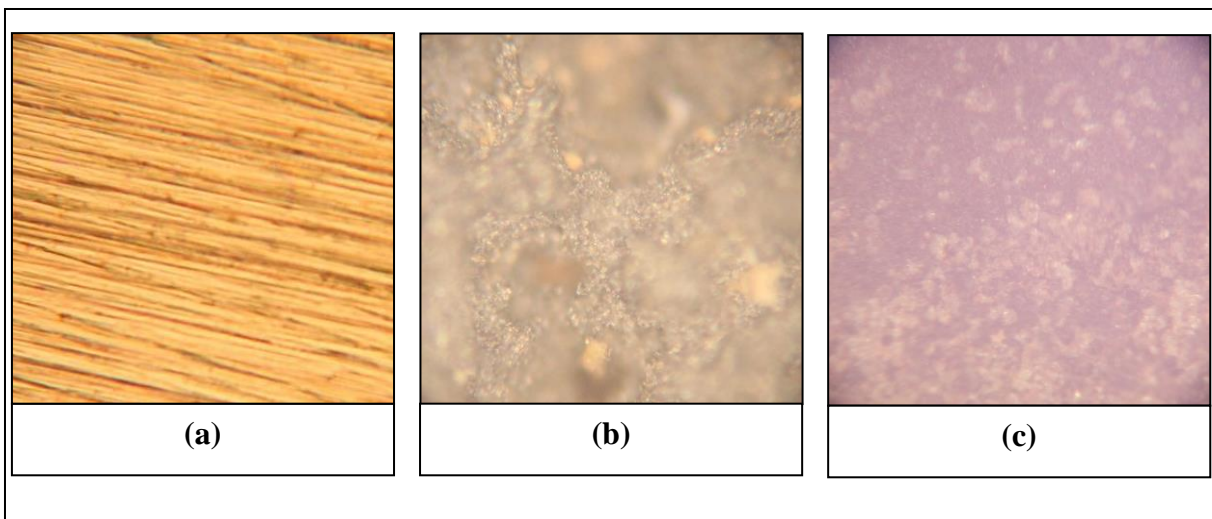


Figure 3-16 : la morphologie de produit de corrosion (91 heures) de l'acier API 5L X70 et son joint soudé par le microscope optique, (a) l'acier sans produit de corrosion, (b) acier API 5L X70 (x 100), (c) joint soudé (x 40)

Pour évaluer la corrosion par piqûre de l'acier et son joint soudé après le teste d'immersion, Il était nécessaire d'enlever ou diminuer la couche de produit de corrosion pour accéder à l'acier nu Figure 3-17. Les produits de corrosion ont été éliminés par un polissage de la surface par un pipier grade 1200 pendant 60 secondes.

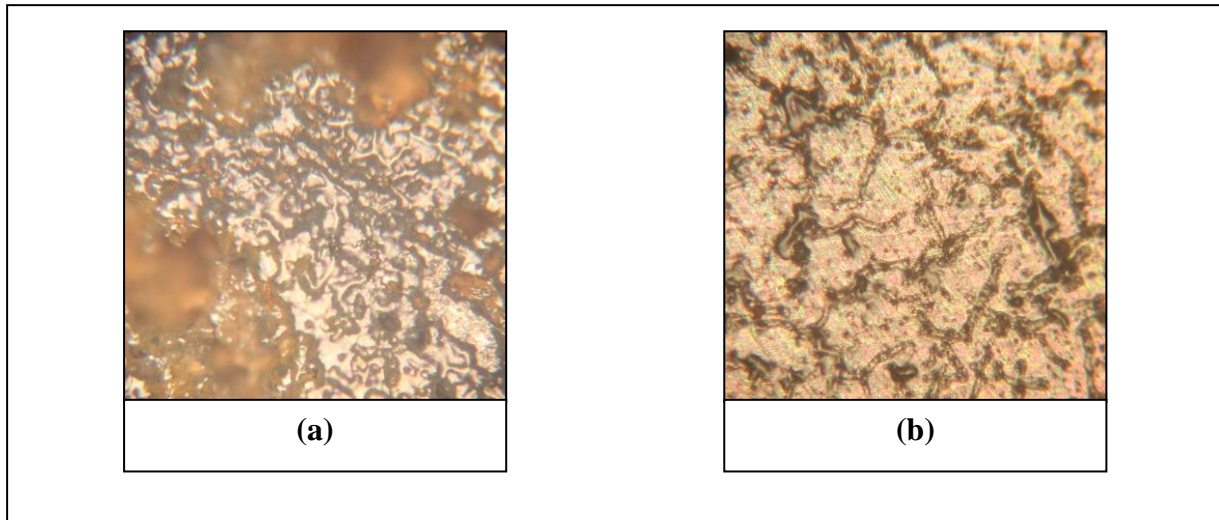


Figure 3-17 : La morphologie de la corrosion par piqure par le microscope optique (x 100), (a) l'acier API 5L X70, (b) joint soudé, après le teste d'immersion 91 heures en milieu H_2SO_4 0.5 M à $30^\circ C$

La figure 3-18 représente l'aspect macroscopique de l'échantillon après enlever les produits de corrosion

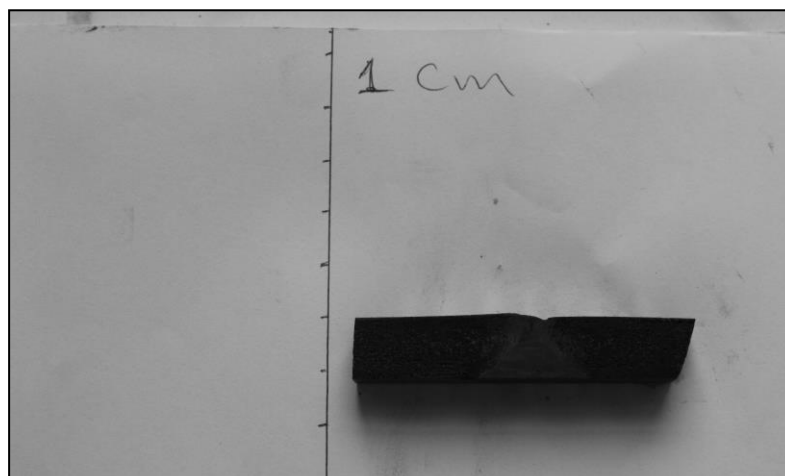


Figure 3-18 : aspect macroscopique de l'acier et son joint soudé sans produits de corrosion H_2SO_4 0.5 M

On peut remarquer que la surface est uniforme, ce qui signifie que la corrosion s'effectue de manière similaire dans l'acier et son joint soudé.

Bon accord avec les essais électrochimiques.

Conclusion générale

Le but principal de ce mémoire était d'étudier le comportement électrochimique de l'acier de pipeline API 5L X42 et son joint soudé dans NaCl 3,5%, HCl 1M et H₂SO₄ 0,1 et 0,5 M.

A partir des essais électrochimiques :

- En milieu NaCl 3,5% : La corrosion s'effectue de manière similaire dans l'acier et son joint soudé avec une vitesse de corrosion égale à 18 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ pour l'acier API 5L X70 et 15 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ pour le joint soudé. Les potentiels de corrosion sont très proches, -717 mV pour l'acier API 5L X70 et -696 mV pour le joint soudé.
- En milieu HCl 1M : La corrosion s'effectue de manière différente dans l'acier et son joint soudé. La surface de l'acier API 5L X70 a subi une attaque très agressive où la vitesse de corrosion a atteint 1584 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, tandis que la surface de joint soudé a resté intacte où la vitesse de corrosion a atteint 182 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Les potentiels de corrosion sont très proches, -459 mV pour l'acier API 5L X70 et -460 mV pour le joint soudé.
- En milieu H₂SO₄ : La corrosion s'effectue de manière similaire dans l'acier et son joint soudé avec une vitesse de corrosion égale à 673 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ pour l'acier API 5L X70 et 691 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ pour le joint soudé. Les potentiels de corrosion sont très proches, -518 mV pour l'acier API 5L X70 et -508 mV pour le joint soudé.

A partir des Analyses de la surface :

Les produits de corrosion qui se forme à la surface de l'acier API 5L X70 et son joint soudé, pour les trois milieux, est composés de Hématite.

La corrosion uniforme et la corrosion par piqûre sont les types observés dans l'acier et son joint soudé pour les trois milieux.

On peut constater que le joint conforme l'acier API 5L X70 en milieu NaCl 3,5% et H₂SO₄ 0,1 et 0,5 M, mais il ne conforme pas en milieu HCl 1M.

Références bibliographiques

- [1] **Mohamed Chaouki NEBBAR, mémoire Magistère, Etude de la tenue à la corrosion de l'acier N80 et évaluation de l'efficacité d'un inhibiteur de corrosion Université Mohamed Mohamed**
- [2] **HAMADA ABLA, mémoire de magister, Resistance a la corrosion des revêtements nichel-alumine dans un milieu agressif, Université de Batna, (2009).**
- [3] **M. Ouled Mbereick, Z. Azari, mémoire de magister, Qualification d'un Acier API 5L X70 : Etude Expérimentale et Validation Numérique Université Hassiba Benbouali de Chlef 2015**
- [4] **SOULBI Salah, mémoire master, Étude de corrosion et protection des joints soudés des pipelines, Université Mohamed Khider Biskra 2016.**
- [5] **Landolt, D. Traité des Matériaux, Vol.12. corrosion et chimie du surface des métaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romande (2003). P 3 –4–490**
- [6] **A.J. Bard, R. Faulkner, Electrochimie – Principes, méthodes et applications. 1983, Paris: Masson.**
- [7] **P. Sandrine, Comportement à la corrosion galvanique de matériaux composites à matrice d'alliage d'aluminium renforcée par des fibres de carbone haut-module, École doctorale des sciences chimiques. Doctorat 2001, UNIVERSITÉ BORDEAUX I.**

ملخص

الهدف من هذه المذكرة هو دراسة مدى ملائمة اللحام مع حديد انابيب نقل البترول API 5L X70 في عدة اوساط (محلول كلوريد الصوديوم, حمض كلور الماء و حمض الكبريتيك) بواسطة منحنيات الاستقطاب و الفحص تحت المجهر الضوئي. النتائج أثبتت أن هناك ملائمة بين اللحام و الحديد في محلول كلوريد الصوديوم و حمض الكبريتيك من حيث سرعة و جهد التآكل و لكن لا يوجد اي ملائمة في حمض كلور الماء من حيث سرعة التآكل بالرغم من وجود ملائمة في جهد التآكل.

الكلمات المفتاحية :

لحام; حديد انابيب نقل البترول; منحنيات الاستقطاب; التآكل; محلول كلوريد الصوديوم;
حمض الكبريتيك; حمض كلور الماء

Résumé

Le but de ce mémoire est d'étudier la conformité d'un joint soudé avec l'acier de pipeline API 5L X70 dans différentes solutions (solution NaCl, acide chlorhydrique et sulfurique) par la méthode de polarisation potentiodynamique et l'analyse de surface (microscope optique). Les résultats montrent qu'il 'ya une conformité entre l'acier et le joint soudé dans la solution de NaCl et l'acide sulfurique. Par contre, dans l'acide chlorhydrique, il n'y a aucune conformité.

Mots clés

Joint soudé ; API 5L X70 ; courbe de polarisation ; corrosion ; HCl ; solution NaCl ; acide sulfurique