



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للمناجم والمعادن - عنابة
ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES ET DE LA METALLURGIE
AMAR LASKRI- ANNABA



Département

Science et Génie des Matériaux

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Métallurgie

Spécialité : Ingénierie des Surfaces

Thème

Le comportement électrochimique du métal brut
dans les milieux H_2SO_4 0,5% et NaCl 3,5%

Présenté par : **Douadi KHERBICHE**

Encadré par : **Pr. TOUHAMI
Mohamed Zine**

Jury de Soutenance

Hacene CHADLI	Professeur	ENSMM	Président
Mme KAHLOUL	Docteur	ENSMM	Examineur
Mohamed Zine TOUHAMI	Professeur	Université Badji Mokhtar Annaba	Encadreur

OCTOBRE 2020



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie

Département Science et Génie des Matériaux

AUTORISATION DE DEPOT FINAL DU
MEMOIRE DE MASTER

Je soussigné (e) M. P. HACHEM CHADLI

Président(e) du jury de soutenance de mémoire de Master, déclare avoir autorisé

M. Kherbiche Doudi

à déposer son mémoire de Master après avoir apporté les corrections signalées
par les membres du jury.

Avis du Promoteur :

P. TOUTAHADI
le 22.11.2019

Avis de l'Examineur :

[Signature]

Président du Jury

[Signature]

Remerciement

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de mémoire **Mohamed Zine TOUHAMI**, professeur de Métallurgie à l'université de Badji Mokhtar Annaba, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique **de l'Ecole Nationale des Mines et de Métallurgie** et l'équipe de laboratoire responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie pratique de mon travail.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire : **Mme Hakima ZEDOURI** (responsable du laboratoire), **Hichem BRAHMIA**, **Moustafa METIRI**, **Wafa BOUMACHTA**, et **ALI TATAR RYM** pour leur contribution à une ambiance de travail agréable.

Nos remerciements les plus sincères à Monsieur le Professeur, **Hacene CHADLI** pour avoir accepté de présider ce jury.

Que Madame **KAHLOUL** agrée le plus sincères reconnaissance pour avoir accepté d'être le rapporteur de ce travail, et pour nous avoir fait l'honneur qu'il être membre de ce jury.

Mes parents et mes sœurs, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Thank you All . . .

Résumé :

Comme tous les matériaux de construction, l'acier a tendance à se dégrader en surface Lorsqu'il est exposé à des milieux corrosifs (tels que le sol, l'air et l'environnement marin). La corrosion est la détérioration causée par l'interaction physique et chimique du matériau avec l'environnement, entraînant des modifications des propriétés du métal, généralement accompagnées de dégradations fonctionnelles de ce dernier (modifications des propriétés mécaniques, électriques, etc.). Les mécanismes impliqués sont divers et conduisent à des formes de corrosion différentes. C'est pourquoi dans ce travail, j'ai étudié le comportement électrochimique de l'acier ordinaire A283 GRC, afin de déterminer le type de corrosion qui cause sa détérioration.

Les mots clés : acier ordinaire, A283GRC, corrosion, électrochimique, Tafel, OCP,

Abstract :

Like all building materials, steel tends to degrade on the surface when exposed to corrosive media (such as soil, air and the marine environment). Corrosion is the deterioration caused by the physical and chemical interaction of the material with the environment, leading to changes in the properties of the metal, usually accompanied by functional degradation of the latter (changes in mechanical, electrical properties, etc.). The mechanisms involved are diverse and lead to different forms of corrosion. Therefore, in this work, I studied the electrochemical behavior of A283 GRC carbon steel, in order to determine the type of corrosion that causes its deterioration.

Keywords: ordinary steel, A283GRC, corrosion, electrochemical, Tafel, OCP.

ملخص:

ومثل جميع مواد البناء، يميل الفولاذ إلى التآكل على السطح عند تعرضه لبيئات أكالة (مثل التربة والهواء والبيئة البحرية). التآكل هو التدهور الناتج عن التفاعل الفيزيائي والكيميائي للمواد مع بيئة تكنولوجيا المعلومات، مما يؤدي إلى تغييرات في خصائص الفلز، وعادة ما يكون مصحوبًا بتدهور وظيفي للمعدن (التغيرات في الخصائص الميكانيكية، الكهربائية، إلخ). إن الآليات المعنية متنوعة وتؤدي إلى أشكال مختلفة من التآكل. لذلك، حاولت في هذا العمل دراسة السلوك الكيميائي الكهربائي للفولاذ العادي A283 GRC عن طريق الطريقة الكهروكيميائية (الخطوط المستقيمة ل Tafel) لتحديد نوع التآكل الذي يسبب تدهوره.

الكلمات الرئيسية: الكربون الصلب، A283GRC، التآكل، الكهروكيميائية، Tafel، OCP.

TABLE DES MATIERES

Liste des figures

Listes des tableaux

Introduction Générale

Chapitre 01 : Partie Bibliographique.....	2
Généralités sur la corrosion.....	2
I.1 Introduction	3
I.2 Définition de la corrosion	3
I.3 Les types de la corrosion	3
I.3.1 Corrosion chimique	3
I.3.2 Corrosion électrochimique	3
I.3.3 Corrosion biochimique	4
I.3.4 Corrosion accompagnée d'usure	4
I.4 Les formes de la corrosion.....	4
I.4.1 La corrosion localisée :	4
I.4.2 La corrosion par pique :	4
I.4.3 La corrosion caverneuse :	5
I.4.4 Corrosion intergranulaire	5
I.4.5 Corrosion galvanique :	6
I.4.6 Corrosion sélective :	6
I.4.7 Corrosion uniforme :	7
I.5 Les facteurs de la corrosion	8
I.6 Principaux risques de la corrosion des bac stockage :	8
II. Essais Electrochimiques :	9
II.1 Principe Des Mesures Electrochimiques	9
II.1.1 Potentiostat-galvanostat :	10
II.2 Détermination de la vitesse de corrosion :	11
II.2.1 Mesures de perte de masse :	11
II.2.2 Méthodes électrochimiques (les droites de Tafel) :	12
III. Microscopie optique :	13
III.1.1 Les compositions du microscope optique	13
III.1.2 Principe optique du microscope	14

Chapitre 02 : Partie expérimentale	15
I. Introduction :	16
I.1 Les tôles d'acier ordinaire A283 GR.C :	16
I.1.1 Composition chimique :	16
I.1.2 Caractéristiques mécaniques :	16
I.1.3 Préparation des échantillons :	17
I.1.4 Polissages des surfaces :	18
II. Essais Electrochimique :	18
II.1 Enrobage Et Soudée Fil Electrique :	18
II.2 Cellule Electrochimique	19
II.3 Techniques D'essais Electrochimiques :	21
III. Résultats Et Interprétations :	22
III.1 Les courbes de la polarisation du métal de base :	22
III.1.1 Dans le milieu H_2SO_4 0,5%.....	22
III.1.2 Dans le milieu NaCl 3,5%.....	23
III.2 Interprétation des résultats :	24
III.2.1 Les paramètres appliqués du microscope optique :	24
III.2.2 Observation Microscopiques :	24

Liste des figures

Figure 1 représentation schématique d'une cellule a trois électrodes.....	9
Figure 2 représentation schématique d'essais électrochimique	10
Figure 3 Potentiostat/galvanostat	11
Figure 4 Détermination du courant de corrosion par la méthode des droites de Tafel	12
Figure 5 microscope optique	13
Figure 6 Les tôles d'acier à faible alliage A283 GR.C	17
Figure 7 Acier ordinaire A283 GR C	17
Figure 8 polisseuse	18
Figure 9 enrobage de l'acier ordinaire A283 GR C avec fil électrique.	19
Figure 10 Cellule en verre PYREX.....	20
Figure 11 Potentiostat/Galvanostat de type SP-300.....	20
Figure 12 Microstructure Acier ordinaire avant l'essai électrochimique.....	24
Figure 13 Microstructure Acier ordinaire A283 GR C après l'essai dans solution de NaCl à 3,5%.....	25
Figure 14 Microstructure de l'Acier ordinaire A283 GR C après l'essai dans solution de H ₂ SO ₄	26

Liste des tableaux

Tableau 1 Composition chimique de l'acier ordinaire A283 GR C	16
Tableau 2 Caractéristiques mécaniques de l'acier ordinaire A283 GR C	16
Tableau 3 le résultat de l'essai électrochimique dans le milieu H ₂ SO ₄	22
Tableau 4 le résultat de l'essai électrochimique dans le milieu NaCl 3,5%	23

Introduction générale

La plupart des métaux ne sont thermodynamiquement pas stables aussi bien dans l'atmosphère terrestre qu'enfouis dans le sol. Ils subissent une oxydation naturelle, plus ou moins rapide, leur surface étant alors en constante évolution. Cependant, on peut aussi former intentionnellement des couches d'oxyde à la surface des objets, soit pour les protéger d'une dégradation rapide en favorisant la croissance d'une couche protectrice ou pour leur donner un aspect particulier comme une couleur. La connaissance de la nature et de la structure de ces couches d'oxydes superficielles, naturelles ou artificielles. [1]

La corrosion des métaux et des alliages est un phénomène connu qui entraîne des pertes matérielles considérables, directes et indirectes, pour l'industrie. Plus grave encore, la corrosion peut causer plusieurs effets sur les installations pétrolières et sur la production de pétrole (les coûts de remplacement des structures et machines corrodées, l'arrêt d'installation pendant la réparation des structures corrodées) et même des pertes de vie humaine (pollution, contamination,). En provoquant de graves déformations telles que la diminution générale d'épaisseur, la génération de piqures, isolation les métaux différents. [2]

L'objectif de notre travail consiste à mener une étude sur la corrosion des aciers ordinaires A283 GR C, les derniers sont utilisés pour la construction des tôles métalliques des fonds des réservoirs, afin de déterminer les types de corrosion existés, par l'un des plus connue méthode de mesure de vitesse de la corrosion, la méthode des droites de Tafel, dans les deux milieu H_2SO_4 0,5% et NaCl 3,5%.

Ce travail est divisé sur 2 chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons les généralités sur la corrosion et une présentation de l'essai électrochimique utilisé pour étudier le phénomène de la corrosion des aciers A283 GR C.
- Dans le deuxième chapitre, nous donnons les caractéristiques des matériaux et les techniques de préparation des échantillons (découpe, polissage ...) observation au microscope optique des techniques de coupe d'échantillons (observation de la couche d'échantillon), nous introduirons des techniques d'analyse électrochimique et des expériences étape.
- Enfin, nous avons expliqué les résultats et les conclusions générales.

Chapitre 01 : Partie Bibliographique

Généralités sur la corrosion

I.1 Introduction

La corrosion métallique est le phénomène suivant lequel les métaux et les alliages ont tendance, sous l'action de réactifs chimiques ou d'agents atmosphériques, à retourner vers leur état originel d'oxyde, de sulfure, de carbonate ou de tout autre sel plus stable dans le milieu ambiant. Il est la dégradation du matériau par réaction chimique ou électrochimique avec l'environnement. Il subit en effet une perte de matière progressive aux points de contact avec le milieu environnant [3].

I.2 Définition de la corrosion

La corrosion est une réaction chimique ou électrochimique entre un matériau, généralement un métal, et son environnement qui entraîne une dégradation du matériau et de ses propriétés. La corrosion désigne l'interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même, de son environnement ou du système technique constitué par les deux facteurs. La corrosion représente donc tout processus de dégradation des matériaux métalliques, ou de leurs propriétés, par suite d'une réaction avec le milieu environnement [4].

I.3 Les types de la corrosion

La corrosion peut se développer suivant différents processus qui caractérisent chacun un type de corrosion.

I.3.1 Corrosion chimique

Il s'agit d'une réaction purement chimique entre la surface d'un matériau et un gaz ou un liquide non électrolyte. Par exemple, l'oxydation de l'acier ordinaire à haute température par l'oxygène de l'air est une corrosion chimique [2].

I.3.2 Corrosion électrochimique

C'est une réaction électrochimique entre la surface d'un matériau et un liquide électrolyte. Cette réaction est accompagnée de la formation de piles qui sont le siège

de circulation de courant électrique. La dégradation de l'aluminium par l'acide sulfurique dilué appartient à ce type de corrosion [5].

I.3.3 Corrosion biochimique

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobiques qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [6].

I.3.4 Corrosion accompagnée d'usure

La formation d'un dépôt adhérent et continu sur la surface du métal par les produits de la corrosion ralentisse la vitesse de corrosion. Cette couche peut être éliminée en certains points par usure, abrasive ou érosive. Il y a alors accélération de la corrosion parce que la surface du métal est mise à nu [5].

I.4 Les formes de la corrosion

I.4.1 La corrosion localisée :

Ce phénomène survient au contraire lorsque le matériau est mis en présence d'un environnement présentant vis à vis de lui un comportement sélectif.

Cette sélectivité peut avoir des origines multiples tant au niveau du matériau (alliage hétéro phase, présence d'inclusions, protection de surface localement défectueuse, matériau bimétallique...) qu'au niveau de l'environnement (variation locale de composition, de pH ou de température). [2]

I.4.2 La corrosion par pique :

Elle se caractérise par une attaque très localisée d'où son nom de "piqûre" et est généralement associée à une rupture locale du film passif qui se produit souvent en présence de chlorures, ou à une passivation incomplète (quantité insuffisante d'inhibiteur de corrosion par exemple). La quantité de métal corrodé est très faible mais cette forme d'attaque peut

parfois conduire à des perforations rapides des pièces affectées. La corrosion par piqûres est un phénomène très répandu qui concerne une grande variété de matériaux comme les aciers, les aciers inoxydables, les alliages de nickel, de titane, d'aluminium ou de cuivre.

L'étude de la corrosion par piqûre peut aussi être abordée par la mesure du temps d'incubation, c'est à dire le temps nécessaire à la formation d'une piqûre détectable. Ce temps est en général directement lié à l'épaisseur du film passif.

La germination des piqûres, qui apparaissent en général sur des défauts de structures tels que les inclusions.

Ce type de corrosion comprend au moins deux étapes :

1. Une étape d'amorçage qui correspond à une rupture du film protecteur (film passif, dépôt formé par des inhibiteurs).
2. Une étape de propagation correspondante à une croissance en largeur et en profondeur de la zone attaquée. L'hydrolyse des ions fer libérée conduit à une acidification de la solution au niveau de la piqûre.

I.4.3 La corrosion caverneuse :

Cette forme de corrosion est généralement associée à la présence de petits volumes de solution stagnante dans les trous, sous les dépôts, à l'interface des brides et joints, à l'interface d'un objet tombé dans le fond d'un récipient, etc. C'est une attaque électrochimique par "aération différentielle" qui se prolonge par une ou des réactions secondaires. Il apparaît aux endroits où la géométrie de la pièce favorise l'acidification locale de la solution (présence d'une pliure, zone de contact entre deux pièces, rivets, joints, zones de ligne d'eau...).

I.4.4 Corrosion intergranulaire

La corrosion intergranulaire correspond à une dissolution préférentielle des zones d'émergence des joints de grains à la surface des matériaux mis en présence de milieux agressifs. Les milieux susceptibles d'entraîner l'attaque intergranulaire sont très variés : gaz, solutions, sels fondus, métaux liquides... Les phénomènes observés ont plusieurs origines. Ainsi, la précipitation de phases étrangères au voisinage des joints de grains peut entraîner, suivant la nature de l'environnement agressif, la dissolution préférentielle des précipités ou des zones voisines des précipités appauvries en un élément constituant la matrice.

C'est le cas de la corrosion intergranulaire de certains alliages légers et des aciers inoxydables, austénitiques ou ferritiques, sensibilisés. Nous ne traiterons pas ici de ce type de corrosion qui a fait l'objet de nombreuses mises au point ces dernières années, soit pour les alliages légers, soit pour les aciers à base de nickel et de chrome. De la même façon, nous ne discuterons pas des phénomènes de corrosion sous contrainte ou de fragilisation par l'hydrogène qui entraînent une attaque ou une décohésion intergranulaire.

I.4.5 Corrosion galvanique :

La corrosion galvanique peut se définir simplement par l'effet résultant du contact de deux métaux ou alliages différents dans un environnement corrosif conducteur : on utilise aussi le terme de bimétallisme. Dans chaque solution, il est possible d'établir une "série galvanique", c'est-à-dire un classement des différents métaux et alliages en fonction de ce potentiel mesuré.

Lors d'un couplage entre deux métaux ou alliages différents, il va s'établir un courant électronique entre eux résultant du court-circuit formé. On observe généralement un accroissement de la corrosion de l'alliage le moins noble et diminution ou suppression de la corrosion de l'alliage le plus noble.

La différence de potentiel indique le sens de la menace, mais pas son ampleur, ce n'est donc pas le seul facteur à prendre en compte. La conduction électrique du milieu, la température sont aussi des facteurs importants.

La corrosion galvanique a lieu en présence de trois conditions différentes :

- Deux métaux de natures différentes, au potentiel d'oxydoréduction différent.
- La mise en contact électrique de ces deux métaux.
- La présence d'eau agissant en tant qu'électrolyte, recouvrant les deux métaux

I.4.6 Corrosion sélective :

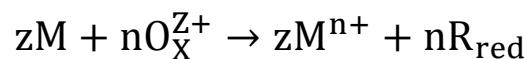
C'est un type de corrosion très dangereux parce qu'insoupçonné, la pièce corrodée ne semble pratiquement pas concernée, alors que sa résistance diminue considérablement. Elle consiste en la dissolution sélective d'un élément d'un alliage, les autres éléments restent non attaqués. Le métal devient poreux et perd sa résistance.

I.4.7 Corrosion uniforme :

La corrosion uniforme est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface. Le métal dans ce cas est dans l'état actif. Elle est aisément contrôlable par des mesures de perte de poids ou la diminution d'épaisseur du métal.

D'un point de vue pratique, le couplage d'une ou plusieurs réactions d'oxydation d'un métal ou alliage, avec une ou plusieurs réactions de réduction d'espèces en solution, conduit à l'obtention d'un potentiel « mixte » de corrosion, appelé aussi potentiel libre. La totalité de la surface du métal prend cette valeur du potentiel qui est le siège d'une corrosion généralisée (hypothèse de Wagner-Taurde),

Décrite par la réaction suivante :



Avec :

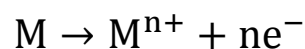
M : Le métal

$\text{M}^{\text{n}+}$: L'ion correspondant

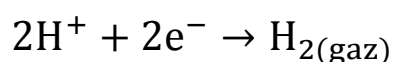
$\text{O}_X^{\text{Z}+}$: L'oxydant

R_{red} : L'espèce réductrice associée

La réaction anodique correspond à la dissolution du métal :



Le cation dissout peut ensuite se présenter sous différentes formes ou encore former des liaisons plus complexes. La réaction cathodique, quant à elle, varie suivant la nature des espèces oxydantes présentes en solution. Le phénomène cathodique le plus fréquemment rencontré est la réaction de réduction du proton H^+ (ou H_3O^+) en milieu acide :



I.5 Les facteurs de la corrosion

Les phénomènes de la corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs et ils peuvent être classés en quatre groupes principaux :

Facteur dépendant du temps	Facteurs définissent les conditions	Facteurs métallurgiques	Facteurs de milieu corrosif
- Vieillissement -Tensions mécaniques -Modification des revêtements protecteurs	-Etat de surface - Forme des pièces - Emploi d'inhibiteur - Procédés d'assemblage	- Composition de l'alliage - Procédés d'élaboration - Impuretés - Traitement thermique	-Concentration du réactif -Teneur en oxygène -PH du milieu -Température - Pression

I.6 Principaux risques de la corrosion des bac stockage :

La corrosion est l'une des causes principales de rupture des tôles des bacs de stockage. Les principaux risques de corrosion des bacs de stockage étaient très clairement identifiés par les expériences antérieures. Les pertes économiques en matériel attribuées à la corrosion en général sont très importantes. On distingue :

- Des pertes de production (fuites dans le fond des bacs, émissions de gaz...)
- Coût de l'entretien et du contrôle (mise en peinture, protection cathodique).
- Coût dû à l'utilisation de matériaux plus nobles.
- Contamination du produit par les produits de corrosion.
- Arrêt de production.

La corrosion n'est pas seulement une source de gaspillage de matières premières et d'énergie, elle peut en plus provoquer des accidents graves, et contribuer à la pollution de l'environnement naturel.

II. Essais Electrochimiques :

II.1 Principe Des Mesures Electrochimiques

L'étude des processus électrochimiques nécessite un appareillage capable de contrôler et mesurer les potentiels et/ou les courants électriques sur une interface électrochimique. On utilise une cellule électrochimique à trois électrodes : électrode de travail, électrode de référence et contre électrode (ou électrode auxiliaire). [7]

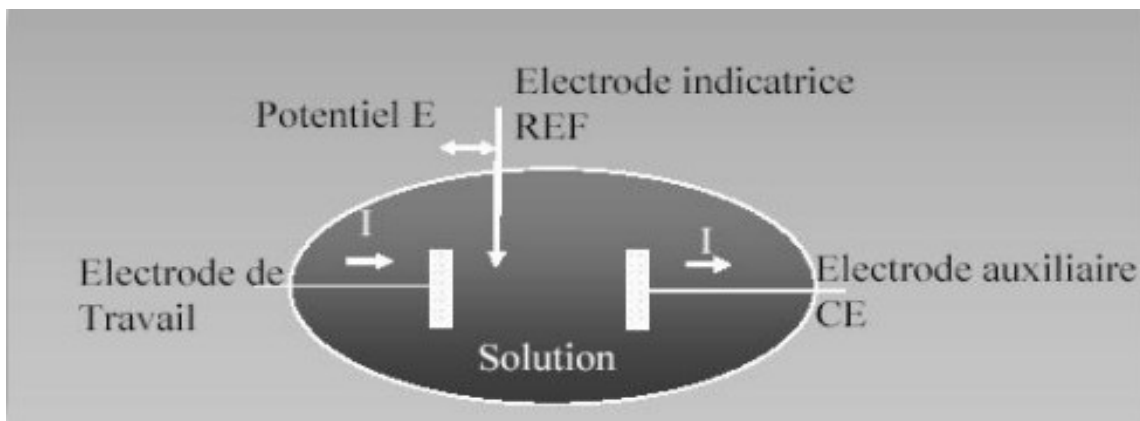


Figure 1 représentation schématique d'une cellule a trois électrodes

- **Electrode de travail :**

L'électrode de travail est celle dont la surface sert de site pour la réaction de transfert d'électrons et constitue donc le cœur de tous les systèmes électrochimiques. [7]

- **Electrode de référence :**

L'électrode de référence est le deuxième composant-clé de la cellule électrochimique. Elle possède un potentiel spécifique et constant, ce qui permet d'imposer un potentiel précisément défini à l'électrode de travail. Ceci est important, étant donné que le potentiostat ne permet de contrôler que la différence de potentiel imposé entre deux électrodes. Notons également que de ce fait il est indispensable de mentionner la nature de l'électrode de

référence utilisée pour toutes mesures électrochimiques. L'électrode de référence la plus utilisée est l'électrode au calomel saturée (ECS) : $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$, dont le potentiel standard par rapport à l'électrode standard à hydrogène est 241 mV. [8]

- **Electrode auxiliaire (ou contre électrode) :**

L'électrode auxiliaire assure le passage du courant dans la cellule électrochimique. Elle est usuellement en platine ou en carbone. L'instrument qui pilote la cellule électrochimique est le potentiostat.

Un potentiostat est un appareil dont le rôle est d'imposer une différence de potentiel constante entre l'électrode de Travail (WE) et l'électrode de référence (RE) tout en fournissant la puissance nécessaire à la cellule. Il mesure le courant traversant CE et WE. [8]

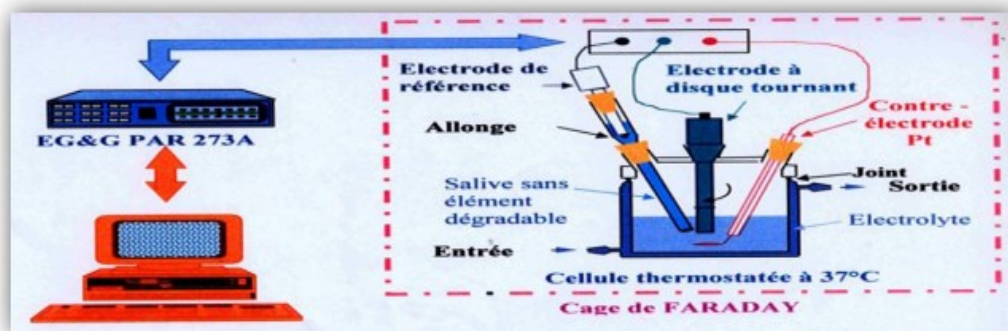


Figure 2 représentation schématique d'essais électrochimique

En général, le même appareil peut aussi fonctionner en galvanostat où, au lieu d'imposer un potentiel, il impose un courant I entre l'électrode CE et l'électrode WE et mesure le potentiel E entre l'électrode de REF et WE. [8]

II.1.1 Potentiostat-galvanostat :

Les essais électrochimiques sont réalisés à l'aide d'un potentiostat-galvanostat piloté par un micro-ordinateur, connecté à une cellule à trois électrodes fabriquées en verre. Les électrodes utilisées sont : une électrode à calomel saturé (SCE) comme électrode de référence, une contre électrode de platine et l'électrode de travail (l'échantillon). [8]



Figure 3 Potentiostat/galvanostat

II.2 Détermination de la vitesse de corrosion :

La vitesse de corrosion peut être exprimée en termes de perte de masse, de réduction d'épaisseur ou de densité de courant. Elle peut être simplement définie à partir des analyses suivantes :

II.2.1 Mesures de perte de masse :

Dans le cas d'une perte de masse Δm au cours d'une durée Δt , on exprime la vitesse de corrosion V_{corr} par la relation :

$$V_{\text{corr}} = \Delta m / \rho \cdot S \cdot \Delta t$$

Avec :

V_{corr} : vitesse de corrosion (cm/an)

$\Delta m / \Delta t$: perte de masse par unité de temps (g/an)

ρ : masse volumique du métal (g/cm³)

S : surface de l'échantillon en contact avec le liquide (cm²)

II.2.2 Méthodes électrochimiques (les droites de Tafel) :

Il s'agit en fait d'une méthode d'extrapolation basée sur l'équation $I = f(E)$ de Butler-Volmer. Par conséquent, les hypothèses nécessaires à l'établissement de cette équation sont à l'origine des limites liées à l'exploitation de cette technique.

Si on représente la courbe de polarisation obtenue en coordonnées $\log i$ (densité de courant) = $f(E)$, l'intersection des droites anodique et cathodique, extrapolées au potentiel de corrosion, donne la densité de courant de corrosion i_{corr} ($\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$). A partir de la loi de Faraday, il est alors possible de définir une relation permettant d'estimer la vitesse de corrosion :

$$V_{\text{corr}} = i_{\text{corr}} \cdot t \cdot M / n \cdot F \cdot \rho$$

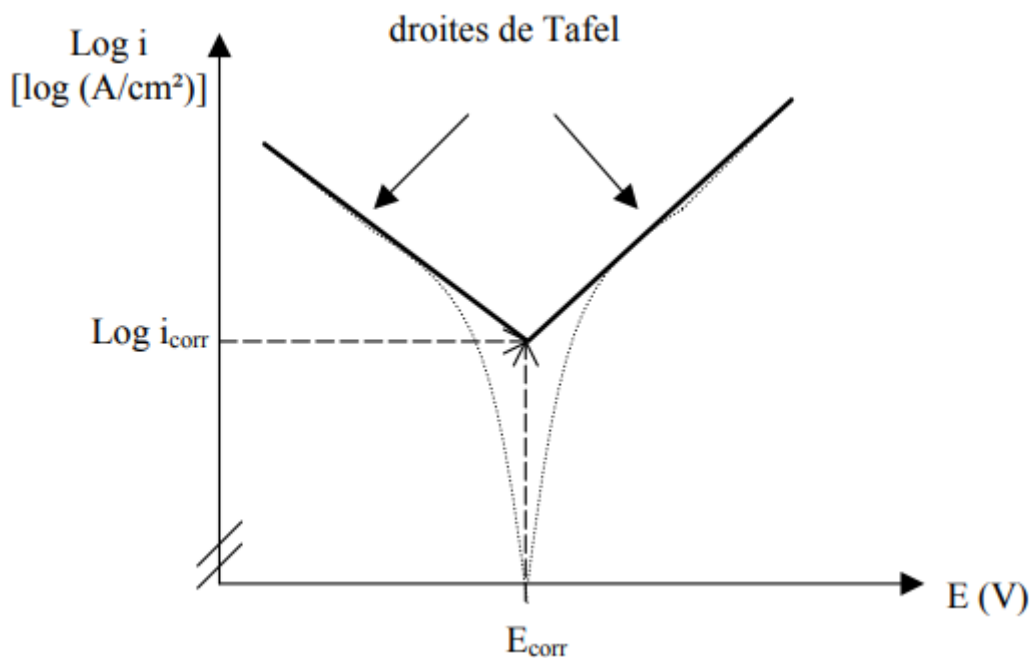


Figure 4 Détermination du courant de corrosion par la méthode des droites de Tafel

III. Microscopie optique :

Le microscope est un instrument optique qui donne une image grandie d'un objet en général transparent. Il est constitué d'un banc optique dont une partie se trouve devant l'objet : l'éclairage, l'autre partie derrière l'objet pour l'observation [9]

La microscopie optique est la technique de base du métallurgiste praticien. Elle permet des observations de surface en réflexion, ce qui nécessite donc une préparation adéquate : un polissage, éventuellement une attaque chimique sélective de l'orientation cristallographique, de certains constituants.



Figure 5 microscope optique

III.1.1 Les compositions du microscope optique

- Une base
- Une potence qui supporte le revolver porte-objectif, le tube porte-oculaires
- La platine qui se déplace dans deux dimensions
- Le support du condensateur
- Des systèmes de crémaillères permettent de réaliser une mise au point rapide et fine.

III.1.2 Principe optique du microscope

Un système d'éclairage incorporé ou externe envoie par dessous, éventuellement via un miroir, un faisceau lumineux sur l'objet observé par transparence et posé sur une lame de verre disposée elle-même sur la platine du microscope. L'objectif en forme une image réelle grossie, que l'oculaire transforme en image virtuelle observable par l'œil humain. Le cristallin de l'œil humain forme enfin une image réelle sur la rétine de l'œil.

Chapitre 02 : Partie expérimentale

I. Introduction :

Les techniques classiques utilisées sur site industriel pour effectuer une évaluation de l'endommagement (coupons de corrosion, ultrasons, sondes électrochimiques...) permettent seulement d'effectuer une mesure locale à un instant donné. Il semble donc primordial de développer de nouvelles techniques d'investigation permettant une détection rapide de la vitesse de corrosion et autorisant un suivi en service et en continu. Dans ce cas on va utiliser la méthode électrochimique (les droites des Tafel), pour déterminer les évolutions de la vitesse de corrosion, afin de déterminer les types de corrosion qui attaquent les tôles.

I.1 Les tôles d'acier ordinaire A283 GR.C :

Les tôles d'acier à faible alliage A283 GR.C ont diverses propriétés avec la présence d'acier allié. C'est la raison pour laquelle les plaques fabriquées sont utilisées dans les industries qui ont des applications à basse pression. Certaines des propriétés héritées des plaques fabriquées sont la résistance à la corrosion, la grande durabilité, la ductilité, la résistance à la traction élevée, la formabilité, la ductilité, la durabilité et bien d'autres. Les propriétés sont la manière dont les plaques fabriquées sont utilisées dans diverses industries. Certaines des industries sont la pétrochimie, les produits pharmaceutiques, le pétrole et le gaz, les pâtes et papiers et bien d'autres industries. Ils utilisent les plaques dans diverses applications industrielles.

I.1.1 Composition chimique :

Éléments	C	Mn	P	S	Si	Cu
% Poids	0.24	0.9	0.035	0.035	0.4	0.2

Tableau 1 Composition chimique de l'acier ordinaire A283 GR C

I.1.2 Caractéristiques mécaniques :

Propriété	Limite élastique MPa	Résistance à la rupture MPa	Allongement à la rupture %
Valeur	205	380-515	25

Tableau 2 Caractéristiques mécaniques de l'acier ordinaire A283 GR C

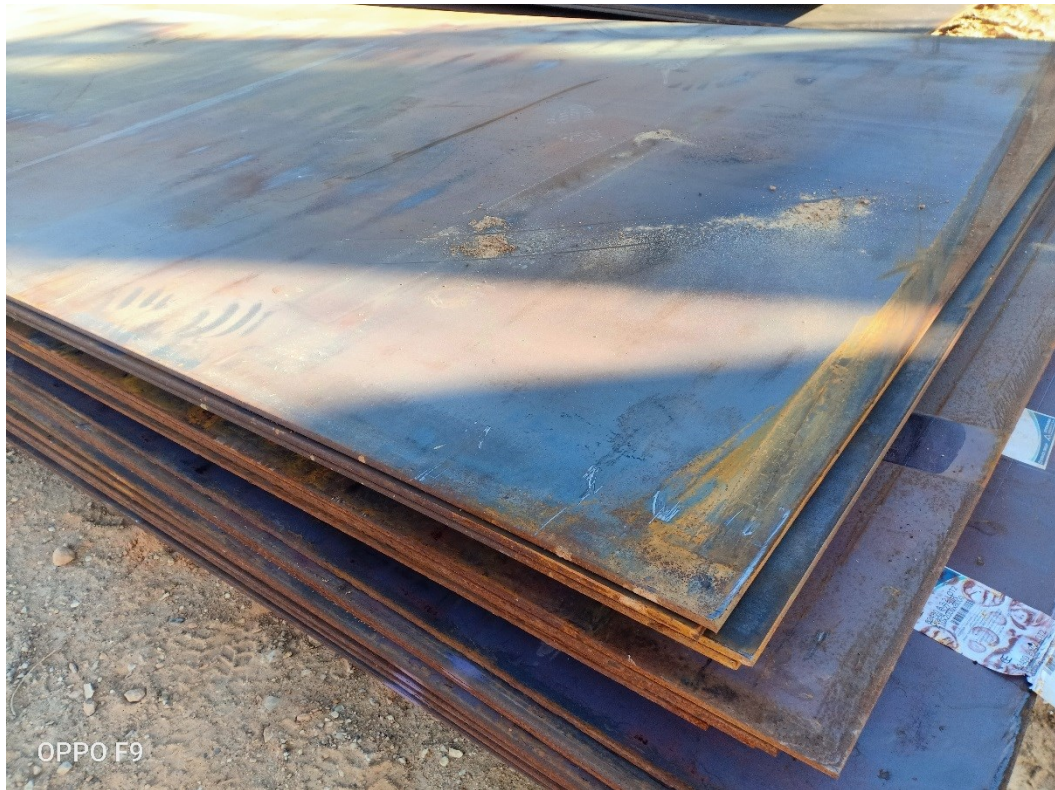


Figure 6 Les tôles d'acier à faible alliage A283 GR.C

I.1.3 Préparation des échantillons :

Le matériau utilisé dans notre travail est un acier ordinaire A283 GR C, Les échantillons utilisés dans nos essais, ont été découpés à partir d'une tôle d'épaisseur 10mm, sous forme d'un rectangle de dimensions d'environ $(1.2 \times 1.3) \text{ mm}^2$.



Figure 7 Acier ordinaire A283 GR C

I.1.4 Polissages des surfaces :

L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif sont collés sur des disques mouvement de rotation rapide de différentes granulométries : 180,320, 400, 600,800,1200,2000 et 4000, afin d'obtenir un état de surface adéquat. Ensuite, les échantillons ont été lavés avec de l'eau distillée.

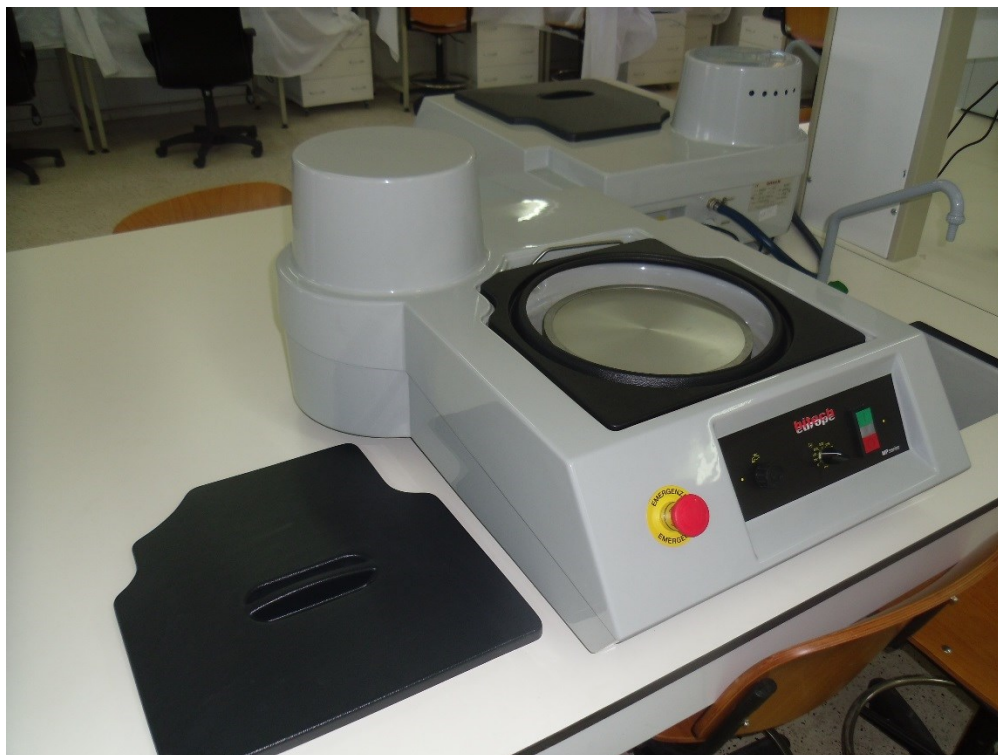


Figure 8 polisseuse

II. Essais Electrochimique :

Pour réaliser cette expérience nous faisons ces étapes suivantes :

II.1 Préparation de l'électrode de travail :

Echantillons destinés au test électrochimique l'une des faces des échantillons a été soudée à un conducteur électrique pour permettre sa connexion au potentiostat. L'échantillon a été couvert d'une résine isolante à l'exception de la face à exposer au milieu.

Le subjectile est un carré de 1cm² de surface utile. Il est lié à un fil conducteur et enrobé dans une résine thermodurcissable et inerte chimiquement. L'enrobage est réalisé dans

un moule en plastique et abandonné à l'air ambiant pendant 24 heures pour permettre à la résine de se solidifier.

Afin d'obtenir des résultats fiables et reproductibles, la surface aérée de l'électrode de travail subit, avant chaque essai, un polissage à différentes granulométries au papier abrasif (600, 800, 1000, 1200, 2400) sous un jet d'eau suivi d'un dégraissage à l'acétone, lavée à l'eau distillée et séchée sous air pulsé.



Figure 9 enrobage de l'acier ordinaire A283 GR C avec fil électrique.

II.2 Cellule Electrochimique

Les expériences électrochimiques ont été réalisées dans une cellule en verre PYREX d'une capacité de 75 ml à trois électrodes.

Cette cellule est munie d'une double paroi et d'un couvercle en verre à quatre orifices permettant ainsi le passage des trois électrodes



Figure 10 Cellule en verre PYREX

Nos essais électrochimiques sont réalisés à l'aide d'un potentiostat-galvanostat de type SP-300 piloté par un micro-ordinateur, connecté à une cellule à trois électrodes fabriquées en verre et possédant une contenance de 75ml. Les électrodes utilisées sont : une électrode à calomel saturé (SCE) comme électrode de référence, une contre électrode de platine et l'électrode de travail (l'échantillon).



Figure 11 Potentiostat/Galvanostat de type SP-300.

II.3 Techniques D'essais Electrochimiques :

Pour l'étude électrochimique, les mesures du potentiel d'équilibre à circuit ouvert (OCP), les courbes de polarisation potentiodynamique linéaire, pour échantillon d'acier ordinaire sont réalisées dans les deux solutions (acide sulfurique H_2SO_4 0.5% et NaCl 3,5%). Les essais sont réalisés en utilisant un Potentiostat/Galvanostat de marque Biologie (modèle SP-300) commandé par un ordinateur relié avec le logiciel EC-Lab. 10.4. Les essais sont effectués dans une cellule avec trois électrodes, l'électrode de référence (SCE) en calomel saturé, et l'électrode en platine (Pt), utilisée comme contre électrode.

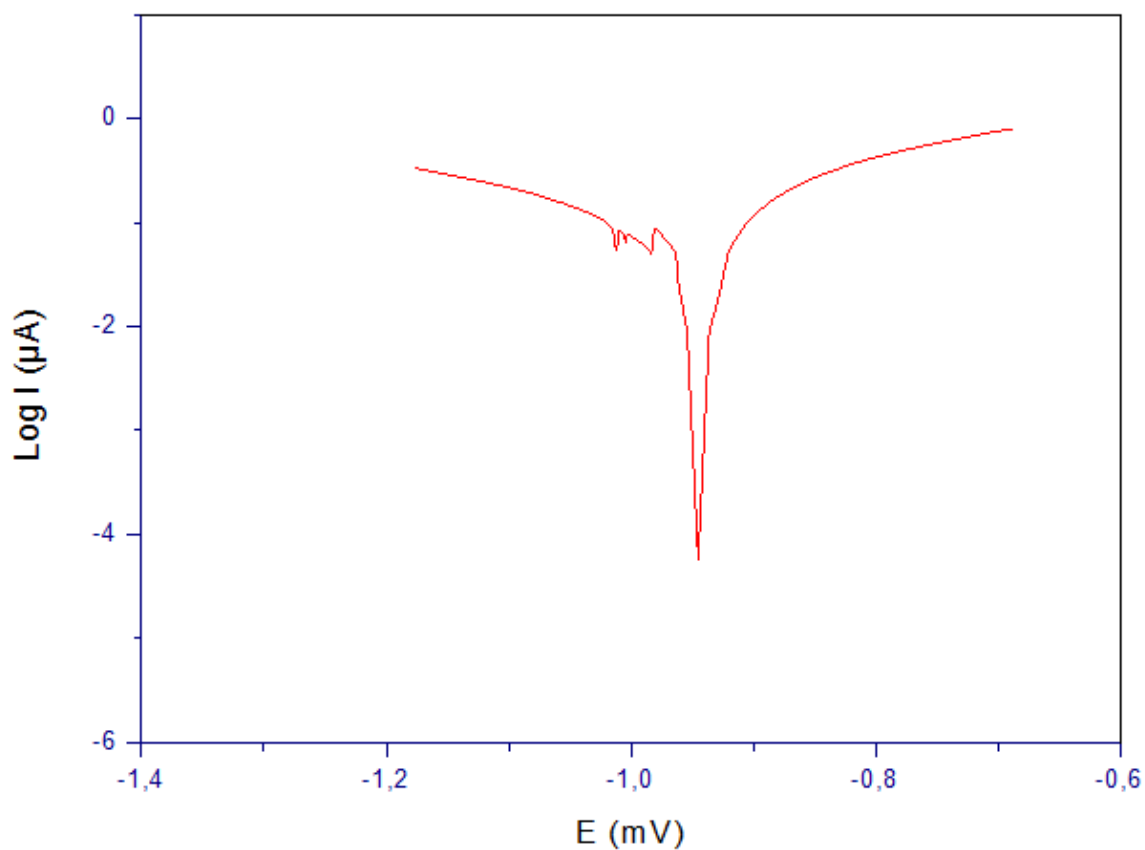
L'électrode avec la surface de 1.56 cm^2 est utilisée comme électrode de travail. Le potentiel à circuit ouvert est obtenu après immersion de 3600s dans les deux solutions afin que le potentiel puisse atteindre les conditions d'équilibre. La polarisation linéaire est effectuée avec une vitesse de balayage de 1 mV/s , dans l'intervalle de -1 V/SCE - $+1 \text{ V/SCE}$. La technique de polarisation potentiodynamique linéaire a été utilisée pour évaluer le comportement de la corrosion générale d'échantillon.

III. Résultats Et Interprétations :

Les courbes de Tafel des différentes zones de l'échantillon A283 GR C ont été réalisées à partir de l'exploitation des courbes anodiques et cathodiques de ces différentes zones. L'exploitation des courbes de Tafel est nécessaire pour déterminer le potentiel de corrosion (E_{corr}) et la densité du courant de corrosion (I_{corr}). Ces derniers sont rassemblés dans le tableau 3.

III.1 Les courbes de la polarisation du métal de base :

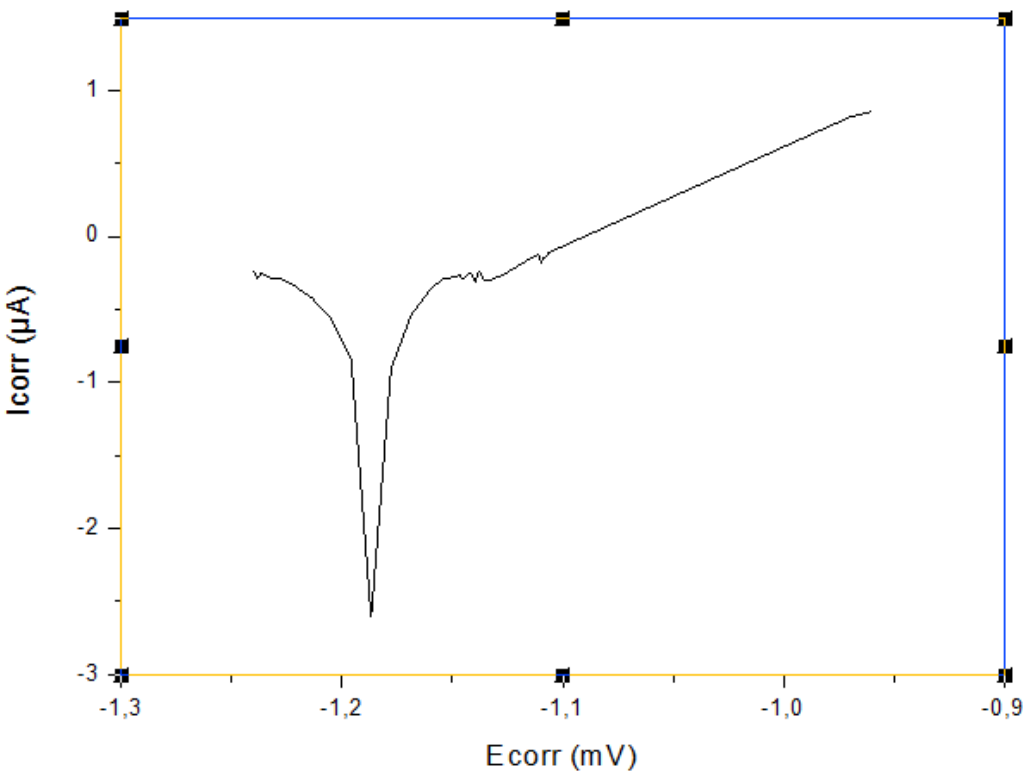
III.1.1 Dans le milieu H_2SO_4 0,5%



Résultat	Les valeurs
E_{corr}	-945,078 mV
I_{corr}	204,177 μA
Vitesse de corrosion	1,5373 mm/an

Tableau 3 le résultat de l'essai électrochimique dans le milieu H_2SO_4

III.1.2 Dans le milieu NaCl 3,5 %



Résultat	Les valeurs
Ecorr	-1 186,602 mV
Icorr	684,909 uA
1Taux de corrosion	5,156 86 mm/an

Tableau 4 le résultat de l'essai électrochimique dans le milieu NaCl 3,5%

III.2 Interprétation des résultats :

Les résultats précédents montrent que, la valeur du Icorr dans le milieu H_2SO_4 est moins faible par rapport la valeur de Icorr dans le milieu NaCl, ainsi que le taux de corrosion dans le milieu H_2SO_4 est inférieur celle que le taux de corrosion dans le milieu NaCl.

Ces derniers facteurs indiquent que l'échantillon de l'acier A283 GR C résiste bien dans le milieu H_2SO_4 que dans le milieu NaCl.

III.2.1 Les paramètres appliqués du microscope optique :

Un microscope métallographique optique de permet l'observation des échantillons, avec un grandissement qui varie de x50 et x200 Ce microscope s'accompagne d'une caméra.

L'avantage de la microscopie optique, outre sa grande facilité d'utilisation, est de permettre l'observation des surfaces, et des coupes transversales.

III.2.2 Observation Microscopiques :

a. Avant l'essai électrochimique :

L'observation microscopique d'échantillon avant l'essai électrochimique, et après une attaque chimique (Nital 3.5%), nous présentons les figures suivantes :

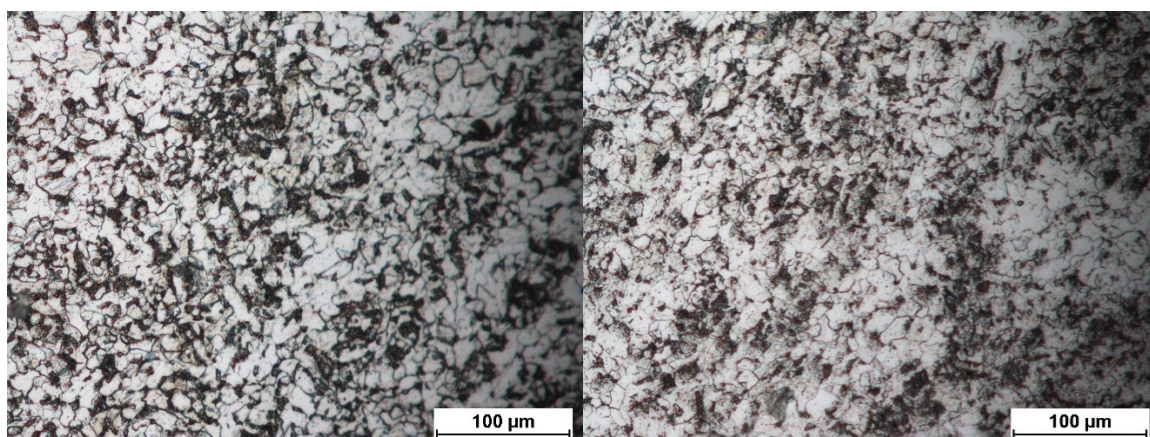


Figure 12 Microstructure de l'acier ordinaire avant l'essai électrochimique.

Observation :

En utilisant le microscope optique Nikon Eclipse LV 150 pour l'analyse métallographique, la microstructure du matériau de base montre que la structure obtenue en observant différentes zones au microscope est essentiellement composée de deux composants : la ferrite et la perlite. La ferrite est majoritaire conformément à la teneur en carbone contenue dans l'acier.

b. Après l'essai électrochimique (NaCl 3,5 %) :

L'observation microscopique d'échantillon après l'essai dans la solution de NaCl 3,5%, avec un temps d'émersion de 3600s nous présentons les figures suivantes :

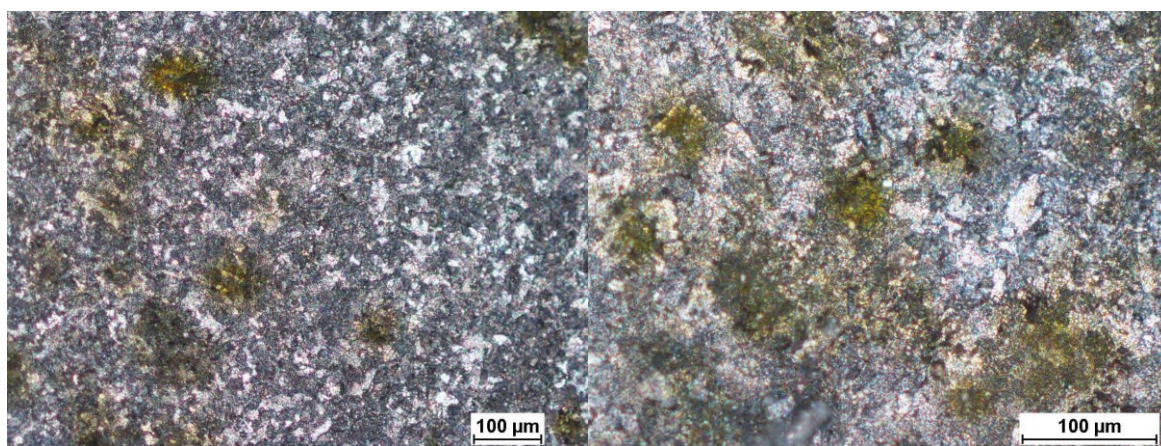


Figure 13 Microstructure de l'acier ordinaire A283 GR C après l'essai dans solution de NaCl à 3,5%

Observation :

Après immersion de l'acier ordinaire A283 GR C dans une solution de NaCl à 3,5% pendant 3600 secondes, la micrographie de la figure 13 a montré une corrosion par piqûres localisée. Par contre, la corrosion dans cette zone est moins intense que celle observée pour la partie soudée.

c. Après l'essai électrochimique (H₂SO₄ 0,5 %) :

L'observation microscopique d'échantillon après l'essai dans la solution H₂SO₄ à 0,5%, avec un temps d'émersion de 3600s nous présentons les figures suivantes :

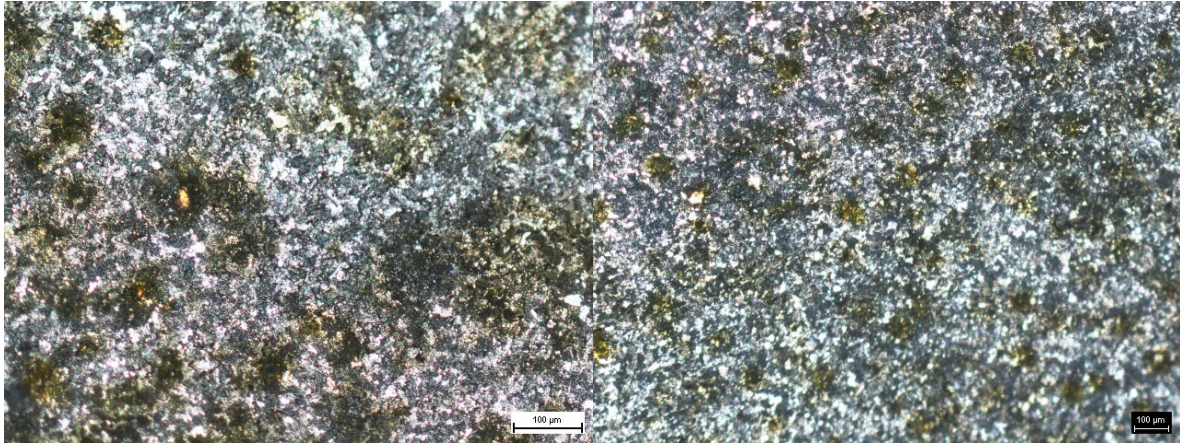


Figure 14 Microstructure de l'Acier ordinaire A283 GR C après l'essai dans solution de H_2SO_4

Les micrographies de la figure 16 montrent clairement que la surface corrodée présente des piques de corrosion localisée.

Conclusion Générale

L'étude électrochimique de l'acier de type A283GRC destiné pour le stockage de pétrole réalisée dans deux différents milieux à savoir la solution NaCl à 3,5% et H₂SO₄ à 0,5% a donné les résultats suivants.

1. Après les tests de corrosion, les courbes de polarisation ont révélé que l'échantillon immergé dans la solution H₂SO₄, a donné pour un courant de 204,177 μ A, une tension E_{corr} de l'ordre de - 945,078 mV, la vitesse de corrosion est de 1,5373 mm/an.
2. Cependant, les courbes de polarisation de l'échantillon immergé dans NaCl à 3,5% ont révélé les paramètres de corrosion suivants : E_{corr}= -1186,602 mV, I_{corr}= 684,909 μ A, et une vitesse de corrosion égale à 5,15686 mm/an
3. Nous pouvons conclure que la tôle d'acier résiste mieux dans la solution H₂SO₄, tandis que les ions Cl⁻ dégradent le matériau rapidement.
4. Le mécanisme d'usure par corrosion suivie par microscopie optique sur les surfaces corrodées a montré que le type de corrosion est de type localisée.

Les références bibliographiques

Bibliographie

- [1] J. Muller, «Etude électrochimique et caractérisation des produits de corrosion formés à la surface des bronzes Cu-Sn en milieu sulfate,» Université Paris-Est,, Paris-Est, 2010.
- [2] M. d. f. d. p. A. A. N. e. BENDAHIR, «Corrosion dans les installations pétrolières de surface causes, effets et remèdes,» ADRAR, 2019.
- [3] M.Hélie, «Matériaux métalliques, phénomène de corrosion,» Val d'Essonne.
- [4] F. Ropital, «Corrosion et dégradation des matériaux métalliques,» édition Technip, Paris, 2005.
- [5] M. B. Naïma, «Evaluation Des Performances Des Peintures,» Boumerdès, 2008.
- [6] K. ROUIBAH, «Contribution à l'étude du comportement électrochimique du couple galvanique acier au carbone/anodes de zinc dans l'eau de mer naturelle,» 2003.
- [7] A. M. J. G. N. P. D. H. F. Gouin, «Physiopathologie de l'ostéolyse tumorale,» 1999.
- [8] M. Castel, «partage d'expérience,» 2005.
- [9] M. Moreau, «LE MICROSCOPE OPTIQUE,» 2014.
- [10] G. D. e. J. TALBÜT, «Etude de quelques problèmes de corrosion,» 1971.
- [11] M. ROCHE, «Protection contre la corrosion des ouvrages maritimes pétroliers,» 1978.
- [12] A. V. Y. B. P. C. J. PHILIBERT, MÉTALLURGIE. Du minerai au matériau, Paris, 2002.
- [13] J. SCULLY, «Corrosion. Protection. Principes fondamentaux,» 1995.
- [14] A. A. B.F. BROWN, «Localised Corrosion,» 1974.
- [15] C. NARGEL, «CORROSION DE L'ALUMINIUM,» 1999.
- [16] D. LANDOLT, «CORROSION ET CHIMIE DES SURFACES DES MÉTAUX,» 1993.
- [17] G. S. S. TRIGWELL, «Effects of welding on the passive oxide film of electropolished 316L stainless steel,» 2005.
- [18] R. K. M. K. V. PILOUS, «Examination of the heat-affected zone by Auger electron spectroscopy,» 1989.
- [19] A. J. a. D. STEIN, «Corrosion,» 1972.
- [20] D. N. M. H. A. GELPI, "La corrosion sous contrainte dans la pratique, 1988).

- [21] H. Faiz, «Étude du mécanisme de corrosion atmosphérique à long,» 2012.
- [22] J. V. Genod, «le transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation,,» paris, 1980.
- [23] L. JAUBERT, «Etude de la corrosion uniforme d'aciers non alliés et inoxydables : utilisation conjointe de l'émission acoustique et des techniques électrochimiques,» Paris, 2004.