

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



كلية الهندسة – دائرة الكيمياء الصناعية

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE CHIMIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ETUDE

**POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER**

OPTION : TECHNOLOGIE DES MATERIAUX

ETUDE DE COMPORTEMENT ELETROCHIMIQUE

DES ALLIAGE 304 ET 316L EN MILIEUX

CHLORURE

PROMOTEUR :

Dr. CHERIET.NABIL

Présenté par :

YACOUB YUCEF ABDERAHME

2012/2013

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À la mémoire de ma chère mère, et mon très cher père à leur grand sacrifice et le dévouement pour mon bonheur.

Mes frères et mes sœurs et toute ma famille.

A mes amis et toute personne qui ma aidée de loin ou de prés.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier les deux promoteurs le docteur Chriete Nabil et la co-promotrice madame Hamitouche Horia sur la confiance qu'ils m'ont témoignée, pour avoir dirigé ce travail et surtout pour leur disponibilités.

Ma reconnaissance va à toute ma famille qui ma soutenu durant cette période.

Mes remerciements vont aussi au membre de jury pour d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent également envers Messieurs et envers tous mes enseignements du département de la chimie industrielle.

Je ne pourrai terminer sans remercier tous les enseignements qui ont participé à ma formation tout au long de mon parcours universitaire, ainsi, mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

.....A toutes et à tous je leur dit merci.

ملخص

في عملنا هذا قمنا بالمقارنة بين سرعة تآكل الفولاذ الملحمر غير قابلللأكسدة و الفولاذ غير قابلللأكسدة غير الملحمر. قمنا بطريقتين في العمل حيث استهلناها بضياح الكتلة ثم انتقلنا إلى الكمون الحركي للوصول الى النتائج النهائية. الكلمات الدالة : فولاذ متأكسد، تآكل.....

Résumé

Ce travail est consacré à faire la comparaison entre la vitesse de corrosion de l'acier inoxydable assemblé par soudure et l'acier inoxydable non soudé. On utilisant deux méthodes de travail tel que la gravimétrie et le potentiodynamique pour l'obtention des résultats.

Mots clés : acier inoxydable ,corrosion...

Abstract

The aim of this project is to make the comparison between the speed of corrosion of the stainless steel assembled by welding and the stainless steel not welded using two working methods such as gravimetry and the potentiodynamic one for obtaining the results.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre 01 : synthèse bibliographique, corrosion, généralités

1.1.Définition et aperçus	01
1.2.Cinétique électrochimique	02
1. Surtension ou polarisation	02
2. Cinétique d'un processus électrochimique	02
a. Cinétique homogène	02
b. Élément de cinétique électrochimique	03
c. Relation courant tension	03
1.3.Principale formes de corrosion	05
1. Corrosion généralisée ou uniforme	05
2. Corrosion localisée	06
1.4.Les facteurs qui influencent la corrosion	08
1. Effet de la température	08
2. Effet de l'acidité	09
3. La salinité	09
1.5.Protection contre la corrosion	09
1. La prévention par une forme adaptée de la pièce	09
2. Elimination des zones humides	09
3. Réduction de L'effet d'érosion du fluide dans la canalisation	09
4. Remède au couplage galvanique	09
5. Utilisation des joints isolants	10
6. Utilisation des pièces échangeables	10
7. Protection par revêtements	11
a. Protection par revêtements métalliques	11
b. Revêtements inorganiques non métalliques	11
c. Protection par revêtements organiques	12
8. Protection par les inhibiteurs de corrosion	12
9. Protection contre la corrosion par courant	12
10. Protection cathodique	13

11. Protection anodique	14
Chapitre 02 : Les aciers inoxydables	
2.1.Généralité	15
2.2.Structure et caractéristiques	16
2.3.Les formes de corrosion	17
1. Corrosion galvanique	17
2. Corrosion par piqures	17
3. Corrosion caverneuse	18
4. Corrosion par érosion	18
5. Corrosion intergranulaire	19
2.4.Traitements de passivation	19
2.5.Assemblage par soudure des aciers inoxydables	20
1. Le procédé	20
2. Electrode TIG	21
3. Gaz de protection	22
4. Backinggaz	23
5. Formes de joint	24
6. Avantages et limites du soudage TIG	24
a. Avantages	24
b. Limites	25
7. Procédés	26

Chapitre 03 : matériaux et méthodes expérimentales

3.2. Présentation de la zone d'étude (cominox)	27
3.2. Matériaux utilisés	27
1. Caractéristiques	28
2. Les milieux corrosifs utilisés	29
3.3. Méthodes expérimentales	29
A. Méthode par perte de masse	29
a. Dispositifs	30
b. Protocoles de la mesure gravimétrique	30
B. Méthode électrochimique	31
1. Chaîne électrochimique	31
2. Cellule de mesure	31
3. Elaboration de l'électrode de travail	32
4. Protocole des mesures électrochimiques	32
5. Mesure de la vitesse de corrosion	33

Chapitre 04 : Résultats et discussion

1. Etude gravimétrique	35
1.1. Influence de la salinité (% NaCl) sur la v_{corr} pour les milieux (3%, 4% et 5%) NaCl	35
1.2. Influence de la salinité (%NaCl) sur la V_{corr} pour des milieux (3%,4%,5%) NaCl+(1% acide acétique)	38
1.3. Influence de la salinité (%NaCl+) sur la V_{corr} pour des milieux (3%,4%,5%) NaCl+1% acide citrique	39
1.4. Influence de la salinité (%NaCl+) sur la V_{corr} pour des milieux (3%,4%,5%) NaCl	41
1.5. Influence de la salinité (%NaCl) sur la V_{corr} pour des milieux (3%,4%,5%) NaCl+ 1%acide acétique	43
1.6. Influence de la salinité (%NaCl) sur la V_{corr} pour des milieux	44

(3%,4%,5%) NaCl+ 1%acide citrique

2. Méthodes électrochimiques	45
2.1.Méthode de tafel	45
a. Milieu 3% NaCl	45
b. Milieu 4% NaCl	49
c. Milieu 5% NaCl	52
d. Milieu 5% NaCl +1%acide citrique	55
e. Milieu 5%NaCl+ 1% acide acétique	60

Conclusion générale

Ce mémoire a été consacré à l'étude de la vitesse de corrosion des aciers 304 et 316L sur le cordon de soudure dans des milieux salins de différentes concentrations.

Les principaux apports de notre travail de notre travail sont les suivants :

- Nous avons utilisé les milieux salins de (%NaCl) varié.
- Nous avons trouvé utilisé la méthode gravimétrique par la perte de masse des aciers 304 et 316L .
- Nous avons utilisé la méthode potentiodynamique (Tafel et potentiel libre).

Cette dernière a été primordiale pour confirmer les résultats de la gravimétrie.

Ces procédure nous a conduit a constaté que La vitesse de corrosion au niveau de cordon de soudure est importante pour les deux aciers 304 et 316L.

L'obstacle major qu'on a rencontré pendant la préparation été le temps.

Cette étude nous a permet de dégager quelque perspective :

- Etudier la vitesse de corrosion en varie le temps et la température
En bref notre objectif n'est pas réalisé totalement mais les résultats satisfaisants ont été obtenus.

Références bibliographie

- [1] MECHACH.D.2011/2012 « *Emploi de la serine, un produit amide l'environnement, contre la corrosion d'un acier au carbone en milieu NaCl 3%* » mémoire de master université de Khemis Miliana 57p.
- [2] MAHMOUDI.S. 2008 « Etude comparative entre deux métaux passifs en milieux neutre, alcalin et acide: un acier inoxydable 304L et un alliage de titane Ti6Al4V » mémoire de magistère université de MENTOURI-CONSTANTINE 89P
- [3] GROSGOGEAT.B, COLON.P. ,2009/2010. Cours de corrosion (Université Médicale Virtuelle Francophone).
- [4] KHOUKHI .F.,2007/2008. « Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (eau, huile et gaz) », mémoire de magistère Université M'hamedbougaraboumerdes 89p.
- [5] BELLOUFI . A.2010 « Comportement à la Corrosion d'un Acier Doux, dans un Milieu à Différents pH, en Présence de ZnCl₂ », MEMOIRE DE MAGISTER UNIVERSITÉ HADJ LAKHDAR DE BATNA 55 p .
- [6] Joseline .N. 2013 « Étude, caractérisation et suivi électrochimique de la surface de l'acier inoxydable 254 SMO en milieux aqueux naturels amazoniens » mémoire de doctorat Université des Antilles et de la Guyane 156P
- [7] Nathalie.B .2000. « Réaction de réduction de l'oxygène sur les aciers inoxydables en eau de mer naturelle .Influence du biofilm sur les processus de corrosion », mémoire de doctorat Université de Bretagne Occidentale 183p
- [8] Thomas. B « corrosions » Renseignements techniques
- [9] Robert .Ir.2009 fiche d'information aciers inoxydables, Vennekens , IWE, CEWE, FWeldI, Institut Belge de la Soudure, Service Guidance Technologique (service subsidié par la Région wallonne) et Ir. Wim Van Haver, IWE, Institut Belge de la Soudure.
- [10] Euro inox 2006 .structure en acier inoxydable guide de conception troisième édition ISBN-2-87997-205-1
- [11] www.cominox-dz.net
- [12] Mezhoude .B .2011 « synthèse des inhibiteurs contre la corrosion des aciers » mémoire de magister université mentouri-constantine.87P

- [13] Bakhti. M et Said .B.,2010/2011. « Lutte contre la corrosion acide d'un acier au carbone par l'utilisation d'une plante médicinale à base d'Origan », mémoire d'ingénieur Université de Khemis Miliana 60p.
- [14] BELKHERROUBI. R et ABDELLAH MAHDJUOBI .S .,2011/2012 . « lutte contre la corrosion marine d'un acier au carbone par utilisation des inhibiteurs à base d'acide aminés (Histidine et Cystéine) », mémoire de master Université de Khemis Miliana 71p.

Liste des figures

Figure		Page
1.1	Diagramme intensité-potentiel	4
1.2	Corrosion généralisée ou uniforme des pièces en acier	5
1.3	Corrosion par piqure d'un acier inoxydable généralisée ou uniforme des pièces en acier	6
1.4	Corrosion intergranulaire d'un inox par HCl	6
1.5	Corrosion par crevasse sous un joint	7
1.6	Corrosion sous contrainte	8
1.7	Raccord isolant à bride	10
1.8	Schéma de montage de l'utilisation d'une pièce de rechange	10
1.9	Corrosion en présence de revêtements métalliques plus nobles (a), et moins nobles (b) que le substrat	11
2.1	Corrosion par piqûres	18
2.2	Corrosion par caverneuse	18
2.3	Corrosion par érosion	19
2.4	Réaction de l'acier et de l'acier inoxydable au contact de l'humidité de l'air ou de l'eau	20
2.5	Schéma du soudage TIG	20
2.6	Schéma du soudage TIG	21
2.7	Schéma du soudage TIG. localisation des entrées et sorties pour différents backinggaz	24
2.8	Couleurs de démarrage en fonction de la teneur en oxygène (FORCE Institute)	24
3.1	Site d'étude de cominox	27
3.2	Acier inoxydable austénitiques	28
3.3	Schéma simplifié du dispositif des mesures électrochimique	32
3.4	Détermination du courant de corrosion par la méthode des droites de Tafel	33
4.1	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 304 sans soudure en fonction de la contrainte (3%, 4% et 5%) NaCl	35
4.2	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 304 soudé en fonction de la concentration (3%, 4%, 5%) NaCl	36
4.3	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 304 sans soudure en fonction de la concentration (3%, 4%, 5%) NaCl + (1% acide acétique)	37

Liste des figures

4.4	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 304 soudé en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl+(1%acide acétique)	37
4.5	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 304 sans soudé en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl+(1%acide citrique)	38
4.6	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier304 soudé en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl+(1%acide citrique)	39
4.7	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 316L sans soudure en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl	40
4.8	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 316L soudé en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl	41
4.9	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 316 L sans soudure en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl+(1%acide acétique)	42
4.10	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 316 L soudé en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl+(1%acide acétique)	42
4.11	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 316L sans soudé en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl+(1%acide citrique)	43
4.12	Courbe de la vitesse de corrosion de l'acier 316L soudé en fonction de la concentration (3% ,4%,5%)NaCl+(1%acide citrique)	44
4.13	Courbe de Tafel de l'acier 316L non soudé 3% NaCl	45
4.14	Courbe de potentiel libre de l'acier 316L non soudé 3% NaCl	45
4.15	Courbe de Tafel de l'acier 316L soudé 3%NaCl	46
4.16	Courbe de potentiel libre de l'acier 316L soudé 3% NaCl	46
4.17	Courbe de Tafel de 304 non soudé dans NaCl 3%	47
4.18	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 non soudé 3% NaCl	47
4.19	Courbe de Tafel de 304 soudé dans NaCl 3%	48
4.20	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 soudé 3% NaCl	48
4.21	Courbe de tafel acier 304 soudé NaCl 4%	49
4.22	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 soudé 4% NaCl	50
4.23	Courbe de TAFEL acier 304 non soudé 4%NaCl	50
4.24	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 non soudé 4% NaCl	50
4.25	Courbe de Tafel acier 316L non soudé 4 % NaCl	51
4.26	Courbe de potentiel libre de l'acier 316L non soudé 4% NaCl	51
4.27	Courbe de Tafel acier 316L soudé 4 % NaCl	51

Liste des figures

4.28	Courbe de potentiel libre de l'acier 316L soudé 4% NaCl	52
4.29	Courbe de Tafel acier 304 soudé 5 % NaCl	53
4.30	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 soudé 5% NaCl	53
4.31	Courbe de Tafel acier 304 non soudé 5 % NaCl	54
4.32	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 non soudé 5% NaCl	54
4.33	Courbe de Tafel acier 304 soudé 5 % NaCl+1% acide citrique	55
4.34	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 soudé 5% NaCl+1% acide citrique	56
4.35	Courbe de Tafel acier 304 non soudé 5 % NaCl+1% acide citrique	56
4.36	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 non soudé 5% NaCl+1% acide citrique	57
4.37	Courbe de Tafel acier 316L non soudé 5 % NaCl+1% acide citrique	57
4.38	Courbe de potentiel libre de l'acier 316L non soudé 5% NaCl+1% acide citrique	58
4.39	Courbe de Tafel acier 316L soudé 5 % NaCl+1% acide citrique	58
4.40	Courbe de potentiel libre de l'acier 316L soudé 5% NaCl+1% acide citrique	59
4.41	Courbe de Tafel acier 304 non soudé 5 % NaCl+1% acide acétique	60
4.42	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 non soudé 5% NaCl+1% acide acétique	60
4.43	Courbe de Tafel acier 304 soudé 5 % NaCl+1% acide acétique	61
4.44	Courbe de potentiel libre de l'acier 304 soudé 5% NaCl+1% acide acétique	61

CHAPITRE 1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE,
CORROSION ; GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE 2
LES ACIERS INOXYDABLES

CHAPITRE 3
MATERIAUX ET METHODES
EXPERIMENTALES

CHAPITRE 4
RESULTATS ET DISCOSSION

CONCLUSION GENERALE

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1.1	Les principaux facteurs de corrosion	08
2.1	les nomenclatures les plus courantes et les domaines d'applications de quelques aciers inoxydables.	15
2.2	Influence lors du soudage TIG pulse.	22
2.3	Préparation de joint pour acier inoxydable.	25
2.4	Procédés de soudage et leur utilisation adaptée	26
3.1	Compositions chimiques	28
3.2	Propriétés mécaniques	28
3.3	Propriétés physique	29
3.4	Présentation des solutions étudiées	29
4.1	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304 non soudé avec la concentration de (%NaCl)	35
4.2	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304 soudé avec la concentration de (% NaCl)	35
4.3	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304 non soudé avec la concentration de (%NaCl)+1%acide acétique	36
4.4	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304 soudé avec la concentration de (%NaCl) +1%acide acétique	37
4.5	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304non soudé avec la concentration de (%NaCl) +1%acide citrique	38
4.6	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304 soudé avec la concentration de (%NaCl) +1%acide citrique	39
4.7	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304non soudé avec la concentration de (%NaCl)	40
4.8	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304 soudé avec la concentration de (%NaCl)	40
4.9	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304non soudé avec la concentration de (%NaCl) +1%acide acétique	41

4.10	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 304 soudé avec la concentration de (%NaCl) +1%acide acétique	42
4.11	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 316L non soudé avec la concentration de (%NaCl) +1%acide citrique	43
4.12	Variation de la vitesse de corrosion de l'acier 316L soudé avec la concentration de (%NaCl) +1%acide citrique	44
4.13	valeurs de (E_{corr} , i_{corr} , B_a , B_c , R_p , V_{corr}) obtenues pour acier 304 soudé dans le milieu 3%NaCl	48
4.14	valeurs de (E_{corr} , i_{corr} , B_a , B_c , R_p , V_{corr}) obtenues pour acier 304 soudé dans le milieu 4%NaCl	52
4.15	valeurs de (E_{corr} , i_{corr} , B_a , B_c , R_p , V_{corr}) obtenues pour acier 304 soudé dans le milieu 5%NaCl	54
4.16	valeurs de (E_{corr} , i_{corr} , B_a , B_c , R_p , V_{corr}) obtenues pour acier 304 soudé dans le milieu 5%NaCl+1%acide citrique	59
4.17	valeurs de (E_{corr} , i_{corr} , B_a , B_c , R_p , V_{corr}) obtenues pour acier 304 soudé dans le milieu 5%NaCl+1%acide acétique	61

1.1. Définition et aperçus

Un métal conservé dans le vide ou ayant une surface parfaitement isolée restestable indéfiniment. Si l'isolation est imparfaite, la surface du métal en contact avec le milieu ambiant peut dans certains cas subir des modifications, il devient sensible à la corrosion qui se manifeste sous différents aspects : chimique, électrochimique ou bactérienne.[1]

La corrosion, du mot latin «corrodere», qui signifie ronger ou attaquer, c'est la dégradation du matériau par réaction chimique ou électrochimique avec l'environnement. La corrosion affecte tous les métaux ainsi que les polymères et céramiques. Il subit en effet une perte de matière progressive aux points de contact avec le milieu environnant. Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible : elle détruit le matériau et réduit ses propriétés, ce qui le rend inutilisable pour une application prévue.

L'étude de la corrosion et la protection des matériaux englobe donc aussi les phénomènes de dégradation dus aux sollicitations mécaniques et chimiques combinées. Parfois, selon l'utilisation, la corrosion est un phénomène souhaité. Elle réduit à leur état naturel un grand nombre de métaux et alliages abandonnés dans la nature. Certains procédés industriels ont aussi recours à la corrosion. Le polissage chimique ou électrochimique des métaux permet par dissolution (corrosion) du métal d'obtenir une surface lisse et brillante ; l'absorption de l'hydrogène par l'acier est aussi considérée comme une réaction de corrosion. C'est pourquoi, la corrosion est définie généralement comme une réaction interfaciale irréversible d'un matériau avec son environnement.

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 dans certains cas contribuer à la pollution de l'environnement naturel.

Au point de vue économique la corrosion est d'une importance primordiale. On estime par exemple que chaque année le quart (1/4) de la production d'acier est détruit par la corrosion, ce qui correspond environ à 150 millions de tonnes/an ou encore 5 tonnes/seconde. Ces pertes pouvaient être supérieures s'il n'y avait pas la protection contre la corrosion.

Le remplacement des équipements et matériel corrodés constitue pour l'industrie une charge financière très élevée à laquelle il faut ajouter le manque à gagner correspondant à l'arrêt des installations nécessaires pour effectuer les réparations. Les coûts annuels imputables à la corrosion et à ses conséquences s'élèvent à plusieurs milliards de dollars par an dans la plupart des pays industrialisés. Aux Etats-Unis, les pertes occasionnées par la corrosion sont évaluées à plus de 7 milliards de dollars.

La corrosion métallique est le phénomène suivant lequel les métaux et alliages ont tendance, sous l'action de réactifs chimiques ou d'agents atmosphériques, à retourner vers

leur état original d'oxyde, de sulfure, de carbonate ou de tout autre sel plus stable dans le milieu ambiant. [14]

1.2. Cinétique électrochimique [2]

La corrosion en milieu aqueux correspond à un processus de dégradation du matériau qui s'effectue avec une certaine vitesse. La cinétique électrochimique étudie la vitesse avec laquelle se produit cette dégradation.

1. Surtension ou polarisation

Nous savons que lorsqu'un courant circule dans une cellule (galvanique ou électrolytique), le système est nécessairement hors d'équilibre. La tension de fonctionnement E sera différente de la tension au repos $E_r = -\frac{A}{nF} \dots \dots \dots (1.1)$

L'affinité électrochimique A est donc directement liée à la différence entre le potentiel en fonctionnement (un courant circule) et le potentiel de repos. Cette différence $E - E_r$ est appelée surtension. On la note η . Elle a lieu lorsqu'on polarise l'électrode. Cette polarisation peut être de deux types :

- Polarisation d'activation η_A ou de transfert de charge qui est liée à la cinétique de transfert des électrons à travers la double couche électrique, dont résulte pour les ions (ou les atomes du métal) de franchir une certaine barrière d'énergie caractérisée par une énergie d'activation.

- Polarisation de diffusion η_D qui est liée à la cinétique de transport des particules en solution. Par ailleurs, lorsqu'un courant circule dans la cellule, une partie de la surtension est directement reliée au fait que cette cellule est résistante. Elle possède toujours une résistance, dite interne, R_{int} non nulle. Une différence de potentiel $E\Omega$ égale à $R_{int} \times i$ apparaît donc nécessairement. La chute de potentiel ou surtension η globale est donc la somme de ces trois polarisations qui peuvent intervenir chacune avec un certain poids :

$$\eta = \eta_A + \eta_D + R_{int} * i \dots \dots \dots (1.2)$$

2. Cinétique d'un processus électrochimique simple

La vitesse des réactions électrochimiques est directement reliée au courant i . Nous savons aussi qu'une réaction ne peut se produire que dans un domaine de potentiel donné.

Il existe donc une relation entre la vitesse et le potentiel, ou entre le courant et le potentiel. C'est sur l'étude des courbes intensité/potentiel qu'une très grande partie de l'électrochimie repose. Ces courbes donnent des informations sur les potentiels de réaction (autrement dit les paramètres thermodynamiques à l'équilibre) et sur les cinétiques (paramètres thermodynamiques irréversibles), C'est un moyen très puissant pour appréhender les mécanismes réactionnels.

a. Cinétique homogène

A l'équilibre d'une réaction électrochimique, la vitesse globale est nulle, donc : $V_{ox} = V_{red} = V_0$, avec V_0 est la vitesse d'échange (notion très importante en électrochimie). Lorsque la réaction correspond à un processus réactionnel d'activation, on définit la constante de vitesse comme suit :

$$K = Ae^{-Ea/RT} \dots \dots (1.3)$$

Où ΔG est la différence d'enthalpie libre entre l'état initial et l'état activé. On l'appelle enthalpie libre d'activation.

b. Élément de cinétique électrochimique :

Le potentiel d'équilibre de la réaction décrite plus haut est donné par la relation de Nerst:

$$E_r = \frac{E_0 + \frac{RT \ln a_{ox}}{nF}}{a_{red}} \dots \dots \dots (1.4)$$

Dans laquelle :

- E_0 : le potentiel standard du métal considéré
- R : la constante des gaz parfaits.
- T : la température.
- $F=96500C$: charge d'une mole.
- n : nombre des électrons échangés
- a_{ox} : activité de l'espèce oxydant
- a_{red} : activité de l'espèce réactant

Pour un métal qui s'oxyde selon la réaction $M \rightarrow Mn^+ + ne^-$, cette loi de Nernst s'écrit simplement :

$$E_M = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln M \dots \dots (1.5)$$

Avec E_0 représente le potentiel d'équilibre du métal par rapport à la solution dans laquelle il est immergé.

c. Relation courant tension

Dans le cas d'une polarisation de transfert de charge, à partir de l'expression de la constante de vitesse, on démontre que l'expression suivante :

$$i = i_0 \left(\exp \left(\frac{\alpha n F \eta}{RT} \right) - \exp \left(\frac{(1 - \alpha) n F \eta}{RT} \right) \right) \dots \dots (1.6)$$

Dans laquelle α est le coefficient de transfert de charge dans le processus d'activation. C'est la Relation de Butler-Vollmer.

On vérifie que lorsque η tend vers 0, i tend vers zéro aussi. Pour les valeurs de $\eta > 0$, c'est le terme anodique qui est prépondérant ($i < 0$), et inversement pour $\eta < 0$, le terme cathodique ($i > 0$). La figure I.1 représente la variation du courant en fonction du potentiel $I(E)$ pour un système métal/solution donné, dans le cas le plus général où peut exister un domaine passif.

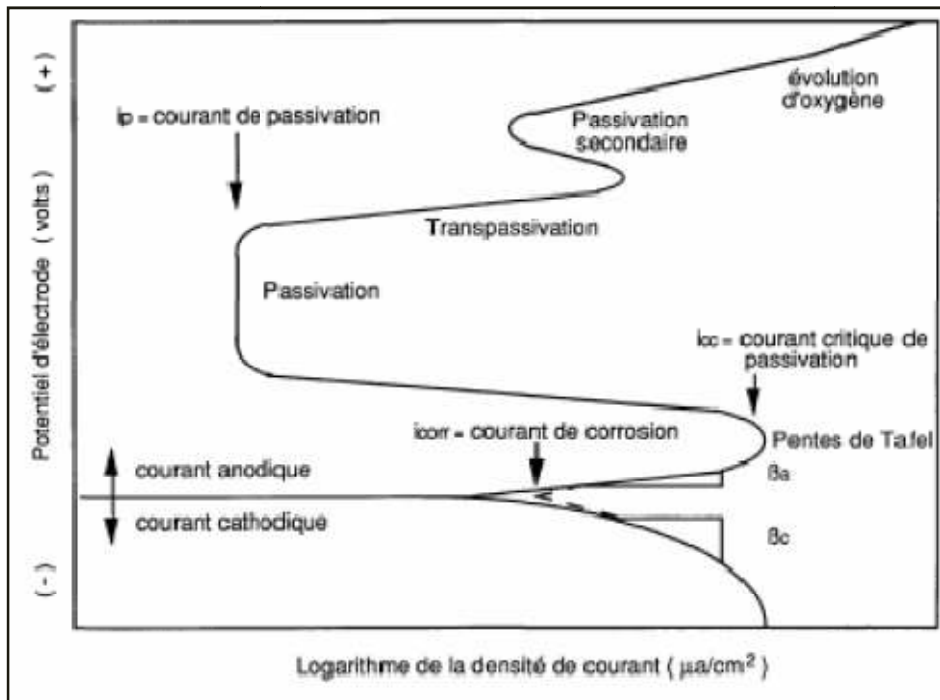


Fig.1.1 Diagramme intensité-potentiel.

Deux cas importants peuvent être déduits de cette relation :

1/ Le processus réactionnel est cathodique : $\eta < -100\text{mV}$

$$I_c = i = i_0 \exp\left(-\frac{\alpha n F \eta}{RT}\right) = \frac{RT}{nF} \ln i_0 - \frac{RT}{nF} \ln i_c$$

$$I_c = 2.30 \frac{RT}{\alpha n F} \log i_0 \quad \text{et} \quad b_c = \frac{2.3}{\alpha n F}$$

$$\Rightarrow \eta_c = a_c + b_c \log i_c \dots \dots \dots (1.7)$$

C'est la formule de Tafel pour la courbe de polarisation cathodique.

On peut aussi l'écrire autrement :

$$\frac{\eta_c = -\frac{RT}{\alpha n F} \ln i_c}{i_0} \Rightarrow \frac{\eta_c = -\frac{RT}{\alpha n F} \ln i_c}{i_0} = \log \frac{i_c}{i_0} \quad \text{avec} \quad b_c = \frac{2.30}{\alpha n F}$$

2/ Le processus réactionnel est anodique : $\eta > 100\text{mV}$:

$$i_a = i = i_0 \exp\left(-\frac{n(1-\alpha)nF}{RT}\right) \quad \eta_a = \frac{RT}{(1-\alpha)nF} \ln i_0 + \frac{RT}{(1-\alpha)n} \ln i_a$$

Posons : $i_a = \frac{2.30 RT}{(1-\alpha)nF} \log i_0 = -\frac{0.059}{(1-\alpha)nF} \log i_0$ et

$$b_a = \frac{2.3RT}{(1-\alpha)nF} = \frac{0.059}{(1-\alpha)n}$$

$$\eta_a = a_a + b_a \log i_a$$

C'est la formule de Tafel pour la courbe de polarisation anodique, que l'on peut écrire Également :

$$\eta_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_0}$$

Avec $\beta_a = \frac{2.3RT}{(1-\alpha)nF} = \frac{0.059}{(1-\alpha)nF}$

Le courant de corrosion est donné par la relation de Stern Geary, obtenue aisément à partir des relations précédentes :

$$i_{corr} = i_0 = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303 R_p (\beta_a + \beta_c)} \dots\dots\dots(1.8)$$

Les coefficients β_a et β_c sont appelés les pentes de Tafel dans un diagramme $i=f(E)$ semi-logarithmique, respectivement positive et négative. Ils sont exprimés en V/décade.

1.3. Principale formes de corrosion [3]

1. Corrosion généralisée ou uniforme

La corrosion uniforme ou généralisée se manifeste avec la même vitesse en tous les points du métal entraînant une diminution régulière de l'épaisseur de celui-ci ou simplement un changement de coloration (ternissement).

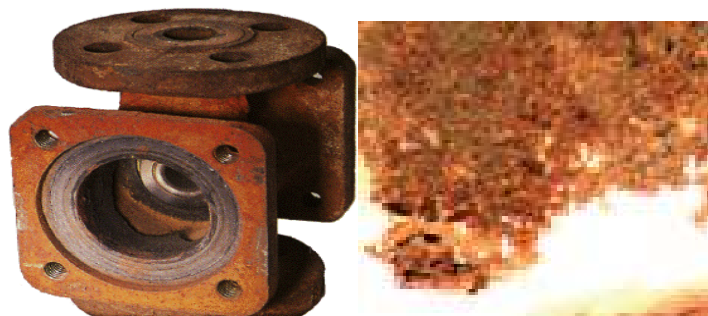


Fig. 1.2. Corrosion généralisée ou uniforme des pièces en acier.

2. Corrosion localisée

- Corrosion par piqûre

Dans certaines conditions d'environnement, les métaux et alliages protégés par un film passif peuvent subir une attaque par piqûres, lorsqu'il se produit une rupture localisée du film. Ces piqûres se localisent en certains points de la surface métallique, elles développent de façon insidieuse et s'auto propagent : au fond de la cavité créée, l'hydrolyse des ions métalliques dissous entraîne une augmentation du degré d'acidité, ce qui entretient le phénomène de corrosion.



Fig.1.3. Corrosion par piqûre d'un acier inoxydable généralisée ou uniforme des pièces en acier.

- Corrosion intergranulaire

C'est une attaque sélective aux joints de grains, par suite d'hétérogénéités locales appauvrissement de l'un des constituants ou au contraire, enrichissement par suite de précipitation lors d'un traitement thermique par exemple. Il a alors création de piles locales avec dissolution des zones anodiques.

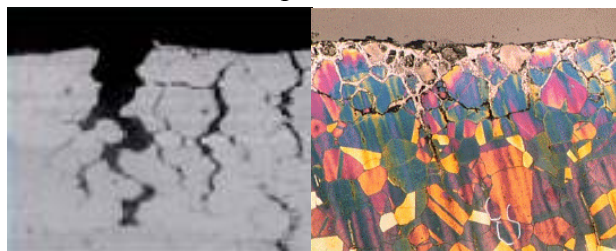


Fig.1.4. Corrosion intergranulaire d'un inox par HCl.

- Corrosion par crevasse

Appelée aussi corrosion cavernueuse, elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux zones d'une structure métallique. Il y a alors une attaque des parties métalliques les moins accessibles à l'oxygène.



Fig.1.5. Corrosion par crevasse sous un joint.

- Corrosion galvanique

Il s'agit de l'attaque préférentielle de la phase la moins noble d'un alliage comportant deux phases ou de la corrosion pouvant exister entre au moins deux matériaux métalliques placés dans le même environnement. Il y a formation d'une pile. En cas de couplage, plus les métaux en présence sont éloignés sur l'échelle galvanique, plus la pile formée dispose d'énergie pour provoquer les transformations. Les phénomènes de corrosion sont amplifiés à la fois dans la cinétique de dégradation et dans la génération d'ions dans le milieu biologique. La partie la moins noble est l'*anode* et la plus noble est la *cathode*. Le rapport de surface anode/cathode joue un rôle très important. Il faut retenir que, plus l'anode est de petite taille, plus la vitesse de dissolution est élevée. Ce fait a une grande importance dans la pratique clinique en odontologie, en particulier lors du choix des alliages utilisés pour les réalisations prothétiques.

- Corrosion et dissolution sélective

C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.

- Corrosion par frottement

C'est la détérioration qui se produit à l'interface entre des surfaces en contact, suite à la conjugaison de la corrosion et d'un faible glissement réciproque des deux surfaces.

- Corrosion sous contrainte et fatigue-corrosion

C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique (force de traction) et d'une réaction électrochimique. La corrosion sous l'effet de la fatigue est due à l'application répétée des contraintes.

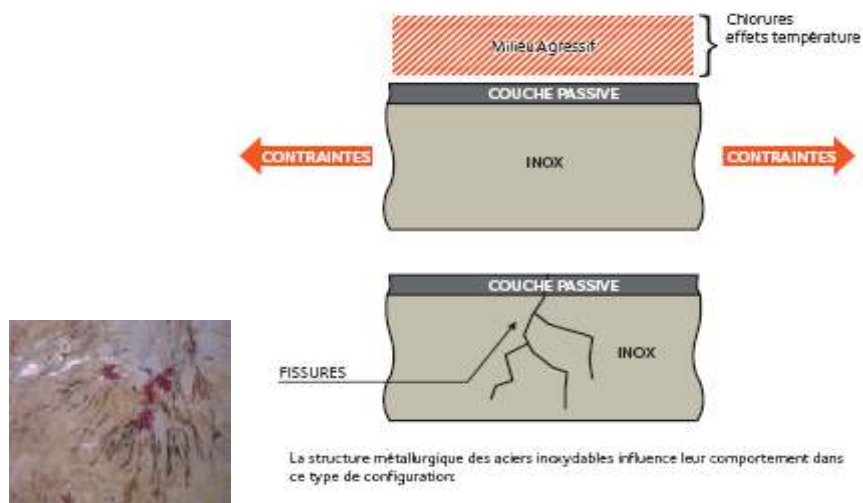


Fig.1.6. Corrosion sous contrainte.

1.3. Les facteurs qui influencent la corrosion [4]

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques de ces deux paramètres.

La température et le Ph ont une influence directe sur la vitesse de corrosion. Et une influence indirecte à travers la phase aqueuse (eau de condensation, eau de production). Les conditions de flux, le film formé à la surface du métal et la pression ont une influence directe à travers la pression partielle du CO₂.

1. Effet de la température

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau.

Les phénomènes de corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs, et ils peuvent être classés en quatre groupes principaux selon le tableau (1.1).

Tableau 1.1. Les principaux facteurs de corrosion

Facteurs du milieu corrosif	Facteurs métallurgiques	Facteurs définissant les conditions d'emploi	Facteurs dépendant du temps
Concentration du réactif Teneur en oxygène pH du milieu température pression	Composition de l'alliage Procédés d'élaboration Impuretés Traitement thermique Traitement mécanique	Etat de surface Forme des pièces Emploi d'inhibiteur Procédés d'assemblage	Vieillessement Tensions mécaniques Modification des revêtements protecteurs

2. Effet de l'acidité

La susceptibilité du matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyse. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu.

3. La salinité

Les chlorures sont des ions agressifs souvent à l'origine de corrosions localisées, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part. D'autre part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité a une influence sur la conductivité du milieu aqueux.

1.4. Protection contre la corrosion [5]

1. La prévention par une forme adaptée de la pièce :

Le fait de prévoir une forme particulière pour un objet, permet de réduire, voir éliminer les risques de corrosion éventuels.

2. Elimination des zones humides

De façon général la corrosion atmosphérique ne se produit qu'en présence d'humidité , cela dit en prévoyant un drainage plus ou moins parfait , on évite une accumulation d'humidité d'où le risque de corrosion.

3. Réduction de L'effet d'érosion du fluide dans la canalisation

En général les canalisations utilisées dans le transport des hydrocarbures admettent un revêtement interne, permettant de protéger la conduite contre toute forme de corrosion interne. Sachant que ce revêtement est le seul moyen prévu a cet effet, il est important de le sauvegarder le plus longtemps possible. Or, dans les changements brusques, au niveau des coudes, il se produit une abrasion pouvant emporter ce revêtement, mettant ainsi la surface intérieure de la conduite à nue. Pour éviter ce phénomène il est important d'éviter les coudes à angle droit, au profit d'une forme atténuant l'effet d'abrasion, permettant ainsi de réduire l'effet d'érosion.

4. Remède au couplage galvanique

On sait qu'une corrosion peut naître suite à un assemblage de métaux différents, à cause de leur différence de potentiels.

Pourtant, parfois dans l'industrie, pour des raisons de conception, on est dans l'obligation d'assembler des pièces de matériaux différents, par exemple c'est le cas des branchements des abonnés (conduite en cuivre) sur les réseaux de distribution de gaz (conduite en acier).

Cela conduit les concepteurs à prévoir des solutions pour éviter la dégradation du métal le moins noble en utilisant soit un joint isolant ou une pièce de rechange.

5. Utilisation des joints isolants

Dans un couplage galvanique, on distingue une zone anodique (faible potentiel) et une zone cathodique, par conséquent une circulation de courant électrique conduisant à la dégradation d'une des pièces. Pour protéger cette pièce il est nécessaire d'intercaler à la jonction bimétallique (entre les deux pièces) un raccord isolant, organe dont le rôle est de couper le circuit électrique et d'empêcher toute circulation de courant.

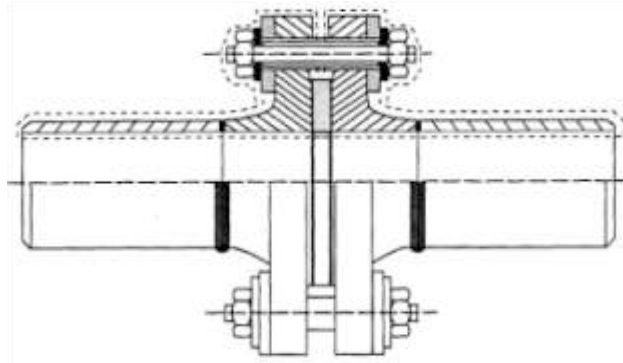


Figure I.7 Raccord isolant à bride.

6. Utilisation des pièces échangeables

Dans ce procédé, il n'est pas question d'isolation électrique, mais on utilise une pièce échangeable que l'on sacrifie au profit de l'équipement qui devrait se corroder.

Par exemple dans l'industrie chimique on a parfois des réacteurs en acier soudés à des conduites en cuivre, ainsi pour éviter la destruction du réacteur on utilise une pièce échangeable en acier qu'on intercale entre la conduite en cuivre et le réacteur. Ainsi, c'est la pièce de rechange qui joue le rôle d'anode donc qui se corrode.

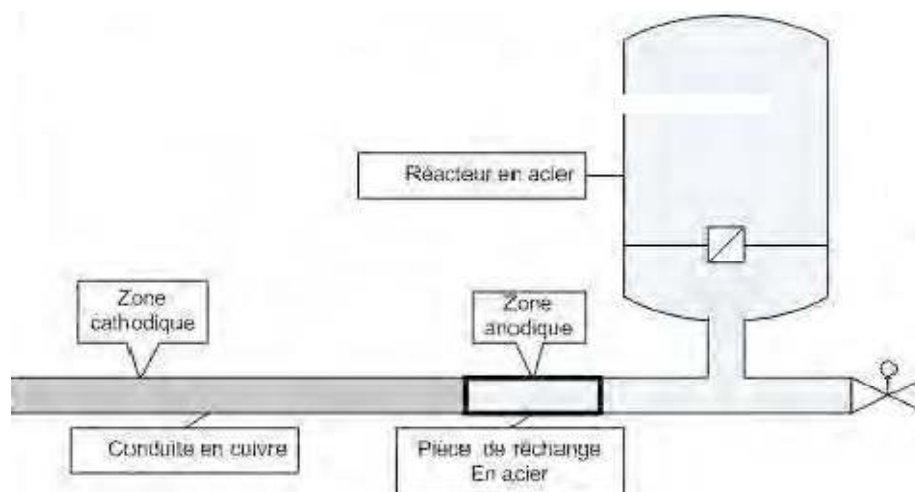


Figure I.8 Schéma de montage de l'utilisation d'une pièce de rechange

7. Protection par revêtements

a. Protection par revêtements métalliques

Parmi les différentes méthodes utilisées pour lutter contre la corrosion, la protection par revêtements métalliques. Selon leur comportement à la corrosion par rapport au substrat, on distingue deux types de revêtements métalliques :

- Ceux plus nobles que le substrat,
- Ceux moins nobles que le substrat.

Le chrome, le nickel ou le cuivre forment des revêtements plus nobles qu'un substrat en acier, contrairement au zinc, au cadmium ou l'aluminium. Dans les deux cas, la couche forme une barrière entre le métal de base et le milieu corrosif. Par contre, la différence se remarque à partir des pores ou des défauts dans la couche de corrosion. Un revêtement plus noble corrode localement le substrat qui joue le rôle d'anode (figure I.6.a). Les revêtements plus nobles que le substrat ne doivent donc contenir aucun défaut.

En revanche, lorsque le dépôt est moins noble que le substrat (figure I.6.b), le phénomène s'inverse. Le dépôt joue le rôle de l'anode et se détériore, alors que le substrat "cathode", reste protégé. En plus, il faut noter que la durée de vie du revêtement est proportionnelle à son épaisseur.

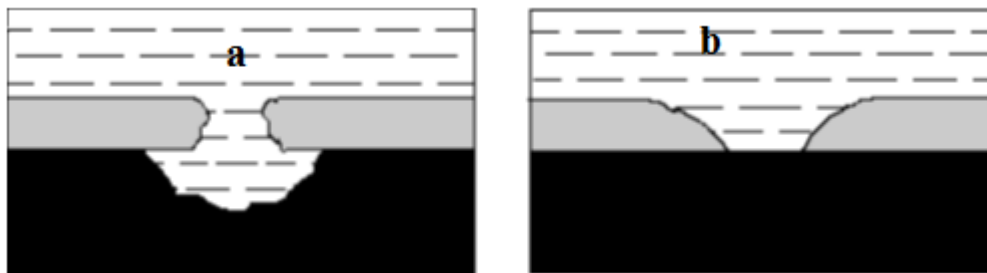


Figure I.13 Corrosion en présence de revêtements métalliques plus nobles (a), et moins nobles (b) que le substrat

Différentes techniques servent à fabriquer des revêtements métalliques :

- L'électrodéposition (galvanoplastie),
- Immersion dans un métal liquide (galvanisation),
- La déposition chimique,
- La déposition par projection au pistolet,
- La déposition par phase gazeuse (PVD, CVD).

b. Revêtements inorganiques non métalliques

Les revêtements inorganiques non métalliques sont de deux types :

- Les couches de conversion

Ces couches sont obtenues par une réaction du métal avec un milieu choisi ; elles contiennent donc toujours des ions provenant du substrat.

On différencie les couches de conversion selon leur procédé de fabrication, à savoir :

- L'anodisation,
- La phosphatation,
- La sulfuration,
- La chromatisation.

- Les couches étrangères au substrat

Parmi les revêtements inorganiques non métalliques étrangères au substrat, il y a :

- Ceux plus nobles que le substrat,
- Les émaux,
- Les ciments,
- Les céramiques réfractaires.

c. Protection par revêtements organiques :

Les revêtements organiques forment une barrière plus ou moins imperméable entre le substrat métallique et le milieu, et on les classe en trois familles :

- Revêtements en bitume.
- Revêtements polymériques.
- Peintures et vernis.

8. Protection par les inhibiteurs de corrosion

Les inhibiteurs de corrosion sont des substances qui, ajoutées en très faible quantité dans le milieu corrosif, diminuent la vitesse de corrosion en modifiant la nature de l'interface : substrat métallique/électrolyte.

On peut classer les inhibiteurs de différentes façons :

- Par domaine d'application.
- Par réaction partielle.
- Par mécanisme réactionnel.

9. Protection contre la corrosion par courant vagabond

En général il est rarement possible d'intervenir sur les zones d'entrées des courants vagabonds dans une structure. C'est donc au niveau de la sortie de ce courant que l'on agit.

Le montage consiste à imposer le passage du courant dans un circuit préférentiel contrôlé et non plus à travers le terrain. Pour cela on établit une liaison polarisée entre la conduite et le chemin de fer (rail). Un système de régulation est ajouté au montage afin de limiter le courant.

Ce dispositif s'appelle « drainage de courant ». Une installation de drainage doit également comporter un élément permettant le passage du courant dans un seul sens, notamment de la structure métallique vers le rail.

On distingue deux types de drainage :

- Drainage à diode au silicium : c'est le plus utilisé actuellement, suite à sa simplicité. La structure métallique est reliée à la liaison de retour par l'intermédiaire d'une diode ; le courant ne peut passer que dans le sens structure-liaison de retour.
Drainage à contacteur : un boîtier électronique mesure la différence de potentiel entre le rail et la structure métallique ; lorsque le potentiel du rail est négatif, le contacteur ferme la liaison et le courant peut circuler de la structure vers le rail. Lorsqu'il y a inversion du courant, le boîtier électronique commande le contacteur à l'ouverture et le rail est alors isolé de la structure.

10. Protection cathodique

La protection cathodique doit fonctionner pendant la durée de vie de l'ouvrage et maintenir la totalité de la surface exposée à l'électrolyte au delà d'un seuil d'immunité dépendant de la nature du métal. Par ailleurs le niveau de potentiel doit demeurer en deçà d'une limite pour éviter une dégradation des propriétés mécaniques (fragilisation par l'hydrogène d'un acier à haute résistance) ou du revêtement (décollement/alcalinisation). L'analyse préalable des paramètres de l'électrolyte et de l'ouvrage est essentielle pour sa conception.

La sélection entre systèmes par anodes galvaniques et courant imposé s'opère à partir de critères technico-économiques:

- Techniques: besoins en courant, durée de vie, nature et conductivité de l'électrolyte, types et configuration de l'ouvrage, présence d'énergie basse tension et d'influence continue externe.
- Économiques: investissement (équipements et travaux), coût d'exploitation (énergie, surveillance, entretien, renouvellement).

L'absence d'énergie électrique basse tension (ouvrages en mer, dans une zone peu habitée ou désertique) conduit naturellement à envisager un système de protection cathodique par anodes galvaniques. Ces dernières, en alliage plus électro-négatif que le métal de l'ouvrage, sont connectées à celui-ci pour constituer une pile naturelle de faible tension dont la capacité en courant dépend de l'alliage et de leur poids. Cependant il ne suffit pas que la masse anodique installée corresponde à la capacité voulue, il faut également que l'intensité débitée, liée aux dimensions et à la résistivité, réponde aux besoins en courant de l'ouvrage.

L'utilisation économique d'un tel système se limite généralement à une faible surface, à un électrolyte très conducteur (eau de mer) ou à une protection provisoire de quelques mois.

Dans les autres cas, un système par courant imposé est plus adapté bien qu'il nécessite une source d'énergie, alimentation électrique (réseau basse tension disponible dans la majorité des cas) ou autonome (panneaux solaires + batteries, groupes diesel, thermo-générateurs à gaz).

L'ouvrage est alors connecté au pôle négatif du circuit continu du redresseur, une masse anodique étant reliée au pôle positif.

La comparaison financière entre les deux systèmes, souvent limitée au seul investissement initial, révèle d'une part un coût faible par rapport à celui de l'ouvrage et d'autre part des écarts significatifs.

11. Protection anodique

Certains métaux tels que le fer et les aciers inoxydables peuvent aussi être protégé efficacement en les plaçant en anodes et en augmentant leur potentiel dans le domaine passif de la courbe de polarisation anodique.

Le potentiel est maintenu automatiquement, à l'aide d'un appareil électronique appelé potentiostat.

La protection anodique a trouvé une application dans la protection des réservoirs contenant en particulier de l'acide sulfurique, mais la méthode est applicable à d'autres acides, par exemple l'acide phosphorique et aux alcalises et certaines solutions salines. Puisque la passivité du fer et des aciers inoxydables est détruite par les ions halogènes, la protection de ces métaux n'est pas adaptable à l'acide chlorhydrique ou aux solutions chlorées et si Cl devait contaminer l'électrolyte, le danger de formation des piqûres deviendrait important même si d'un autre côté ces métaux pouvaient être rendus passifs.

La méthode est applicable seulement aux métaux et alliages qui deviennent rapidement passifs quand ils sont polarisés anodiquement sous de faibles densités de courant. Il est typique de constater que la vitesse de corrosion sous protection anodique, bien que faible, n'ai jamais réduite à zéro, tandis que pour l'acier protégé cathodiquement la vitesse peut être nulle.

On a signalé pour la protection anodique que le pouvoir couvrant dépasse de très loin celui que l'on obtient en protection cathodique. La cause a été attribuée à la résistance élevée du film passif, mais ceci est probablement incorrect car des mesures ont montré que de telles résistances sont faibles

2.1. Généralité [6]

Les aciers inoxydables ont été inventés il y a près d'un siècle par l'Allemand Philip Monnartz. En 1911, il mit en évidence l'influence du taux en chrome d'alliages métalliques sur leurs résistances à la corrosion. De nos jours, leur usage est courant puisqu'il connaît un taux d'accroissement de 5% par an. Les aciers inoxydables sont fabriqués à partir d'un alliage de fer et carbone principalement, qui contient un minimum de 12 % de chrome en masse. Il existe deux catégories principales d'aciers inoxydables :

- les alliages ferritiques ou fer-chrome contenant 12 à 30 % de chrome en masse ;

Les alliages austénitiques ou fer-chrome-nickel avec 12 à 30 % de chrome et 7 à 30 % de nickel en masse. Les aciers austénitiques sont largement utilisés non seulement en biotechnologies, pharmacie et industrie agroalimentaire mais aussi comme implants dans le domaine médical. Ces matériaux sont généralement choisis pour leur bonne résistance mécanique, une résistance accrue à la corrosion, une longévité conséquente mais également une forte résistance à l'abrasion. Le tableau 2.1 représente les nomenclatures les plus courantes et les domaines d'applications de quelques aciers inoxydables.

Tableau 2.1 les nomenclatures les plus courantes et les domaines d'applications de quelques aciers inoxydables.

AISI	AFNOR	Classification des nuances	Les qualités de l'inox	Les domaines d'utilisation
Américaine	Française			
403	Z6C13	Ferritique	Ductile, résistant à la corrosion dans un milieu neutre ou faiblement chloruré	Industrie chimique
304L	Z3CN18 09	Austénitique	Très bonne résistance à la corrosion intergranulaire, bonne soudabilité	Industrie chimique peu agressive, chaudronnerie, tuyauterie, usage général.
316L	Z6CND1712	Austénitique	Acier au molybdène à très bas carbone, très bonne résistance à la corrosion intergranulaire et en milieu chloré et marin	Chaudronnerie, tuyauterie pour l'industrie chimique très agressive, la construction navale, l'accastillage.

2.2. Structure et caractéristiques [7]

Les aciers inoxydables sont des alliages Fe-Cr et Fe-Ni-Cr contenant éventuellement des éléments d'alliage soit de type interstitiel comme le carbone ou l'azote, soit de types métalliques tels que le molybdène, le titane... Le qualificatif "inoxydable" est habituellement attribué lorsqu'un alliage présente une concentration minimale d'environ 11 à 12% de chrome. Des phases secondaires de nature inclusionnaire, formées lors de l'élaboration du métal, tels des sulfures, elles peuvent se retrouver dans les aciers inoxydables. Si l'on se réfère à une classification selon la composition chimique de l'alliage, les désignations d'aciers inoxydables au chrome, d'aciers inoxydables au chrome-nickel ou d'aciers inoxydables au chrome-nickel-molybdène sont employées. Cette classification est cependant un peu restrictive car l'addition d'éléments d'alliage leur confère une large variété de structures et donc de propriétés physiques, mécaniques et chimiques. L'addition de chrome, de structure cubique centrée, favorise la structure ferritique. C'est un élément dit α -gène comme le molybdène, le niobium ou le tantale. Le nickel est un élément γ -gène, de structure cubique face centrée.

Il confère une structure austénitique. Le carbone, l'azote ou le manganèse ont aussi cette particularité. Les aciers inoxydables sont plus couramment classés selon leur structure micrographique. Ce type de classification a permis de mettre en évidence quatre grandes familles d'aciers inoxydables :

- **les aciers inoxydables martensitiques**: ces alliages comprennent de 12 à 18% de chrome et des teneurs en carbone pouvant atteindre environ 1%. Ils ont la particularité d'allier des caractéristiques mécaniques à une bonne résistance à la corrosion.
- **les aciers inoxydables ferritiques**: la proportion de chrome dans ces alliages varie de 11 à 17 % et peut atteindre jusqu'à 24 à 28 %. On parle alors d'aciers ferritiques à haute teneur en chrome ou encore d'aciers superferritiques. Ces derniers présentent une bonne résistance à la corrosion par piqûres et par crevasses en milieux riches en chlorures.
- **les aciers inoxydables austénitiques**: les nuances les plus utilisées sont caractérisées par des teneurs en chrome et en nickel respectivement de 17 à 18 % et 8 à 14 %. L'addition de molybdène (de 2 à 3 %) leur confère une bonne tenue dans les milieux acides et ceux générateurs de piqûres ou de corrosion caverneuse.
- **les aciers inoxydables austéno-ferritiques**: les principales nuances contiennent 22 à 25 % de chrome et 4 à 7 % de nickel. Les incorporations de molybdène (3 ou 4 %) et d'azote (0,1 à 0,3 %) permettent de limiter les corrosions par piqûres et par crevasses. Ces derniers sont également appelés aciers inoxydables duplex car ils présentent une structure biphasée à température ambiante. Cette liste est non

exhaustive car il existe des nuances ayant des structures de transition ou des particularités autres et pouvant s'intercaler entre ces différentes familles.

Les normes relatives à la classification des aciers inoxydables sont variables d'un pays à l'autre. Les aciers inoxydables sont couramment désignés par leurs noms commerciaux ou selon le système américain AISI (American Iron and Steel Institute) ou encore selon la norme UNS (Unified Numbering System).

2.3. Les formes de corrosion [8]

1. Corrosion galvanique

La corrosion galvanique est le résultat d'une réaction chimique provoquée par le contact de deux métaux de nature différente en présence d'un électrolyte. La force de la réaction et l'étendue de la surface corrodée – dépend de plusieurs facteurs, dont la conductivité de l'électrolyte et la différence d'énergie électrique entre les métaux en présence.

Le métal le moins résistant devient alors anodique et plus vulnérable à la corrosion, alors que le plus résistant devient cathodique. Les métaux les moins résistants à ce type de corrosion (anodiques) se retrouvent donc au sommet de la liste et les plus résistants (cathodiques) au bas de celle-ci. Les métaux d'une même région du tableau ont moins tendance à se corroder lorsqu'ils sont en contact les uns avec les autres. Par contre, les métaux au bas de la liste sont plus vulnérables à la corrosion galvanique lorsqu'ils sont en contact avec ceux du haut de la liste (en présence d'un électrolyte).

2. Corrosion par piqûres

La corrosion par piqûre se distingue par la formation de crevasses dont la profondeur est plus grande ou égale au diamètre de leur surface. Ces crevasses peuvent être de dimensions et de profondeurs variées et elles apparaissent généralement de façon aléatoire. L'aluminium et les aciers inoxydables sont très vulnérables à ce type de corrosion lorsqu'ils sont en présence de chlorure. La corrosion par piqûres survient lorsque des défauts, irrégularités ou particules étrangères entraînent la fixation de sites anodiques (corrodés) et cathodiques (protégés) sur la surface d'un métal. Les chlorures métalliques acides, qui se forment et s'accumulent dans les cavités en raison de la présence d'ions de chlorure, accélèrent le processus de corrosion par piqûre au fil du temps. Il est très difficile d'évaluer l'étendue des dommages que cause ce type de corrosion.

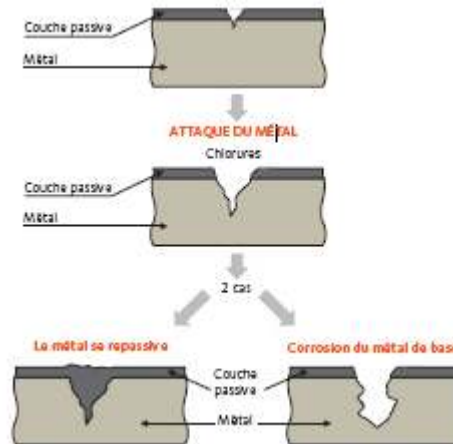


Fig.2.1.corrosion par piqûres.

3. Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse est un type de corrosion par piqûres qui s'attaque principalement aux métaux et aux alliages protégés par un film d'oxyde ou une couche passive. Les crevasses deviennent alors anodiques en raison du manque d'oxygène. Ce type de corrosion survient si la dimension des crevasses permet d'accueillir l'électrolyte et si elle favorise l'épuisement de l'oxygène.



Fig.2.2.corrosion par caverneuse.

4. Corrosion par érosion

Bien que l'érosion ne soit purement qu'un procédé mécanique, la corrosion par érosion jumelle l'érosion mécanique à une réaction chimique ou électrochimique. Ce procédé s'accélère généralement par le débit rapide d'un liquide ou d'un gaz sur une surface métallique érodée, ce qui a pour effet de déloger les particules solides et les ions dissous. Il se forme alors des rainures, des ravelins, des ondulations, des trous et des creux sur la surface métallique. Ce type de corrosion peut endommager la plupart des métaux, plus particulièrement les plus mous comme l'aluminium, qui sont plus vulnérables à l'usure mécanique, ainsi que ceux revêtus d'une couche de protection passive qui risquent de s'éroder. Les particules et les bulles de gaz en suspension peuvent également accroître les dommages causés aux métaux.



Fig.2.3. Corrosion par érosion

5. Corrosion intergranulaire

La corrosion intergranulaire survient entre les cristaux (grains) qui se forment lorsqu'un métal est solidifié. La composition des régions situées entre les cristaux diffère de celle de ces derniers et c'est dans ces régions que se forme la corrosion intergranulaire. Les soudures des aciers inoxydables austénitiques sont très vulnérables à ce type de corrosion et il en va de même pour les alliages d'aluminium.

2.4. Traitements de passivation [2]

Les aciers inoxydables doivent leur bon comportement à la corrosion à une couche passive. La passivité des aciers inoxydables est liée à la présence d'un film protecteur à l'interface entre l'alliage et le milieu. Les propriétés de ce film sont dues à la présence de chrome dans le métal. Ce film, assez peu stable, est très sensible localement à l'action de l'environnement, à la microstructure de l'acier et aux déformations plastiques. La couche passive d'un acier inoxydable ne peut seulement qu'entraver sa dissolution anodique. Elle ne peut s'opposer à la réduction cathodique d'un agent d'oxydation à la limite de phase acierélectrolyte.

Par conséquent la surface passivée d'un acier inoxydable peut assumer facilement la fonction de cathode dans un élément de corrosion par exemple lors d'une corrosion locale ou en cas de corrosion par contact.

L'allure d'une courbe courant-potentiel d'un acier inoxydable dépend de différents facteurs concernant le matériau et le milieu :

- l'accroissement de la teneur en chrome diminue la densité de courant de passivation et favorise ainsi la passivation de l'acier.
- les halogènes du Cl⁻ et F⁻ augmentent aussi la densité du courant de passivation, particulièrement les fluorures.
- une augmentation de la valeur du pH conduit à une diminution de la densité de courant de passivation

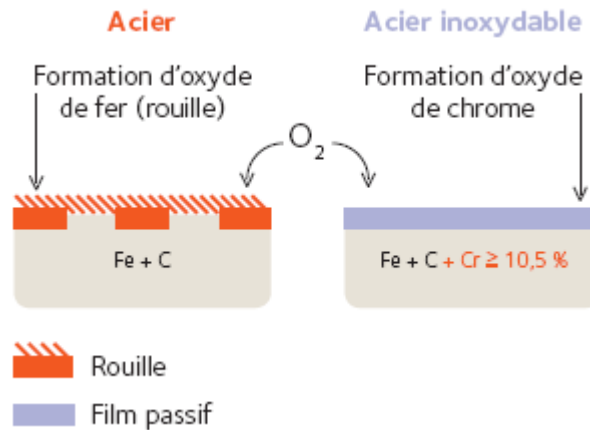


FIG 2.4 Réaction de l'acier et de l'acier inoxydable au contact de l'humidité de l'air ou de l'eau

2.5. Assemblage par soudure des aciers inoxydables [9]

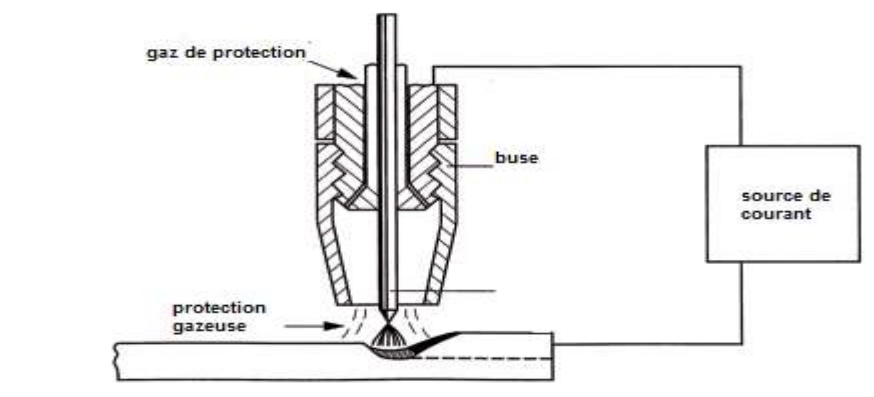


Fig.2.5. schéma du soudage TIG.

1. Le procédé

TIG est l'acronyme de TungstenInertGas (soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène). Aux USA, on parle de GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), en Allemagne de WIG (Wolfram Inert Gas). Auparavant, on utilisait également la dénomination Argon Arc. Lors du soudage TIG, un arc est tiré, dans une atmosphère inerte, entre une électrode réfractaire de tungstène et la pièce à souder. L'électrode, l'arc de soudage et le bain de fusion sont donc protégés par un gaz inerte de l'air environnant (figure 1). L'acier inoxydable est soudé en courant continu, l'électrode étant au pôle négatif. Le procédé est principalement utilisé pour le soudage de l'acier inoxydable de faible épaisseur (tôle ou épaisseur de paroi allant jusqu'à 3 mm environ) et pour le soudage en position de tubes. Pour des épaisseurs supérieures à 3 mm, on utilise uniquement le soudage TIG pour déposer les passes de fond. Au-dessus de cette épaisseur, il n'est plus responsable, d'un point de vue économique, d'utiliser le soudage TIG. On peut souder en courant continu ou

en courant pulsé. Le soudage pulsé offre certains avantages: • Dans le cas du soudage en position, on maîtrise mieux le bain.

- La forme de la soudure est influencée par le réglage du temps d'impulsion et l'intensité de courant.
- Le soudage pulsé est un procédé idéal pour le soudage mécanisé, pour le soudage en position et pour le soudage de tôles très fines. Un exemple de pince pour le soudage orbital (mécanisé) est montré à la figure 2. Pour le soudage de matériaux minces ou pour une soudure de pénétration, on peut souder avec ou sans métal d'apport (en fonction de la réparation du joint).

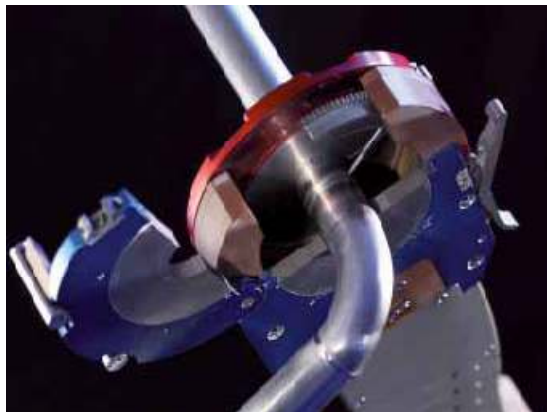


Fig.2.6. schéma du soudage TIG.


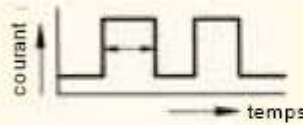
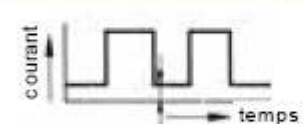
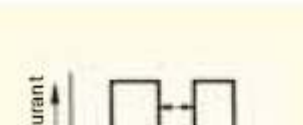
2. Electrode TIG

Lors du soudage TIG de l'acier inoxydable, on soude en courant continu avec l'électrode au pôle négatif. La majorité de la chaleur va donc vers la pièce à souder. Le matériau de l'électrode est généralement du tungstène avec 2% d'oxyde de thorium. Pour des raisons de santé, ce type d'électrode n'est presque plus utilisé (rayonnement radioactif minimal). Il existe des électrodes en tungstène qui sont alliées à ce qu'on appelle des 'terres rares' qui ont une durée de vie plus longue. Il y a, entre autres, des électrodes de tungstène avec 2% d'oxyde de lanthane (La_2O_3) ou avec 2% d'oxyde de cérium (CeO_2). Un diamètre d'électrode trop petit entraîne une surchauffe ou la fusion de l'électrode, avec un grand risque d'avoir des inclusions de tungstène dans la soudure. Un trop grand diamètre provoque une instabilité de l'arc et/ou une pénétration insuffisante (mauvais rapport largeur-profondeur du bain de fusion). Lors du soudage en courant continu, l'électrode doit être affûtée (figure 3). L'affûtage de l'électrode doit se faire dans la direction de la pointe et non être concentrique; le poli doit être aussi parfait que possible (la pointe doit être brisée – surface plane de 0,8 mm).

3. Gaz de protection

Dans la plupart des cas, on utilise l'argon comme gaz de protection. La tension d'amorçage avec ce gaz est relativement faible. La pureté du gaz doit être supérieure à 99,99%. Compte tenu de la pureté souhaitée, il faut veiller à l'étanchéité de tout le système de conduite de gaz. Ceci va de la bouteille de gaz jusqu'à la torche. **MT0**

Tableau 2.2. Influence lors du soudage TIG pulse.

	FONCTION	INFLUENCE
	COURANT PULSE	Formation du bain de fusion
	TEMPS DE COURANT PULSE	Largeur du bain
	COURANT DE FOND	Mesure de la solidification
	TEMPS DE COURANT DE FOND	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de solidification du bain de fusion • Déplacement de l'électrode vers le bord du bain de fusion • Synchronisation des procédés de soudage mécanisés

Dans le cas de connexions insuffisamment étanches dans l'appareil, l'air peut s'y introduire ce qui peut influencer négativement la qualité de la soudure. L'addition de 2 à 5% d'hydrogène augmente la tension d'arc et donc la quantité de chaleur. Le mélange gazeux a donc une action réductrice; on obtient ainsi une surface plus pure du cordon de soudure et de la tôle. L'hydrogène se dissocie au contact de l'arc ce qui provoque une diminution de la chaleur dans l'arc. Ce refroidissement provoque une restriction de l'arc qui donne un bain de fusion plus chaud. Un mélange argon-hydrogène peut être utilisé pour le soudage mécanisé. Dans le cas de matériaux sensibles à l'hydrogène tels que les aciers duplex et les aciers inoxydables martensitiques, des mélanges argon/hélium peuvent être utilisés, par ex. dans une proportion 75/25 ou 70/30. Lorsqu'on utilise 100% d'hélium (He), l'arc s'amorce assez difficilement. Le soudage manuel avec 100% d'hélium est impossible et n'est donc pas appliqué. Comme la pression de l'arc est élevée, le bain de fusion est repoussé. Durant le soudage, la pointe de l'électrode se trouvera au niveau de la tôle de façon à obtenir une pénétration correcte. On peut cependant appliquer un soudage mécanisé avec 100% He comme gaz de protection (soudage en courant continu, électrode négative); dans ce cas, la position du pistolet (distance par rapport à la pièce) doit être réglée par un servomoteur. Quand un joint d'angle doit être soudé où l'angle est trop petit

pour que la torche ait accès au joint, on peut faire sortir l'électrode plus qu'à l'habitude. Il faut alors monter une lentille de gaz dans le pistolet afin d'obtenir un flux de gaz laminaire et protéger ainsi le bain de fusion d'une façon optimale.

4. Backing gaz

Afin d'éviter que le bain de fusion ne s'oxyde à l'envers au contact de l'air (avec pour conséquence une diminution de la résistance à la corrosion), il faut appliquer une protection gazeuse de ce côté également. Plusieurs gaz ou mélanges gazeux entrent en ligne sous la dénomination de 'backing gaz':

- mélanges azote-hydrogène
- mélanges argon-hydrogène
- argon

La teneur en hydrogène peut varier de 5 à 20%. Lors du soudage des aciers inoxydables ou la reprise en hydrogène est inadmissible (aciers duplex ou aciers inoxydables martensitiques) l'utilisation de mélanges gazeux à teneur en hydrogène doit être proscrite. Dans le cas de teneur en hydrogène supérieure à 10%, en raison de considérations de sécurité quant au risque d'explosion, il est nécessaire de laisser brûler le gaz qui sort. Lors de l'utilisation de backing gaz riche en argon, il faut tenir compte que l'argon est plus lourd que l'air. Dans le cas du soudage d'un tube horizontal, il existe le risque que, dans une position à '12 h', le backing gaz n'ait pas suffisamment refoulé l'air présent. L'argon et l'argon/hydrogène doivent être introduits par dessous et sortir par au-dessus (fig. 2.7 au-dessus). Par contre, l'azote ou des mélanges azote/hydrogène qui sont plus légers que l'air, doivent être introduits par au-dessus et sortir par dessous (fig. 2.7. en dessous). L'argon pur a l'action la moins protectrice. L'évacuation de tout l'air d'un système n'est pas simple.

En règle générale, on admet que, quand on veut rincer un volume V , il faut un volume quatre fois plus important de backing gaz. Prenons, par exemple, un volume de 15 litres, il faut donc rincer avec $4 \times 15 \text{ litres} = 60 \text{ litres}$. Le gaz doit passer de façon laminaire: dans le cas de grands débits, des turbulences apparaissent ce qui ne permet pas d'éliminer tout l'oxygène. De façon optimale, il faudrait un débit de 2 à 4 litres/min. Dans l'exemple, si on opte pour un débit de 3 litres/min, il faut donc rincer durant $60 : 3 \text{ litres/min} = 20 \text{ minutes}$ pour arriver à 20 ppm d'oxygène restant. Il est conseillé de mesurer la teneur en oxygène du gaz sortant lors d'applications critiques. Voir également la fig. 2.8. Pour les couleurs de démarrage en fonction de la teneur en oxygène. En règle générale, on peut dire qu'il vaut mieux évacuer l'air présent plus longtemps à une faible vitesse d'écoulement plutôt que d'essayer de réduire le temps avec une vitesse d'écoulement élevée.

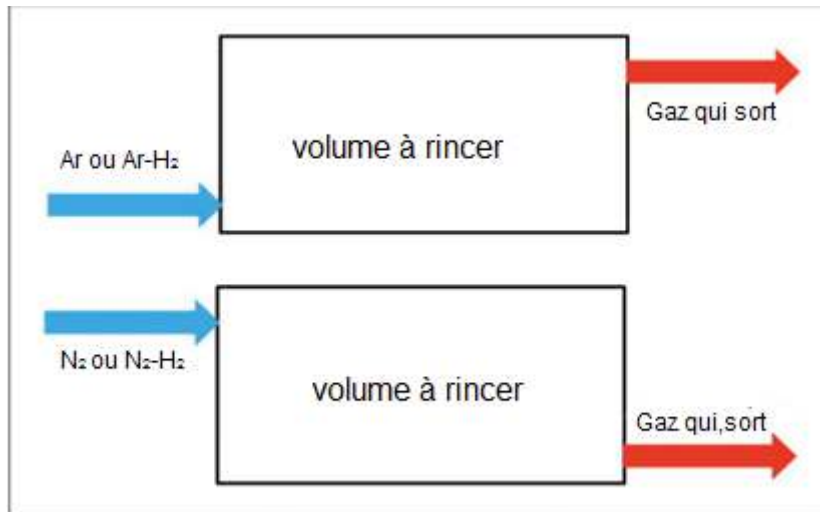


Fig.2.7. schéma du soudage TIG. localisation des entrées et sorties pour différents backinggaz.

5. Formes de joint

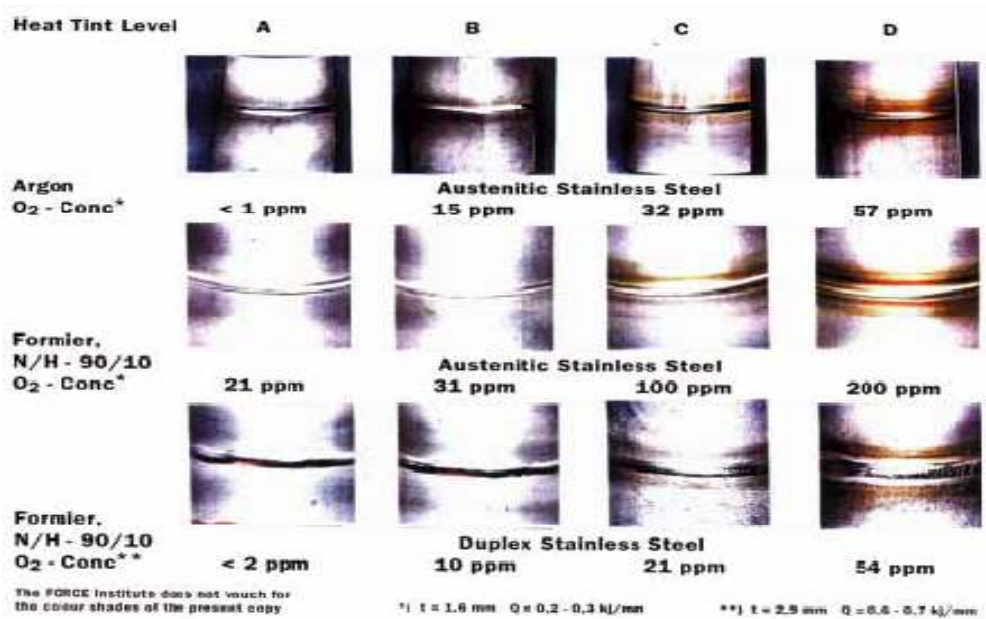


Fig.2.8. couleurs de démarrage en fonction de la teneur en oxygène (FORCE Institute).

6. Avantages et limites du soudage TIG

a. Avantages

- Apport indépendant de chaleur et de métal.
- Pas d'enrobage, donc pas de résidus de laitier ou d'inclusions.
- Pas de projections.

- Bonne protection contre l'oxydation du bain de fusion.
- Applicable dans toutes les positions.
- Parfaitement approprié pour les passes de fond.

b. Limites

- Apport calorifique élevé.
- Pas de correction possible de la composition chimique du bain de fusion lors du soudage sans métal d'apport.
- Sensible au vent.
- Backing gaz à l'envers nécessaire.
- Faible vitesse de soudage.
- Lors du soudage manuel, le soudeur détermine la dilution qui peut varier de 0 à 100 %.

Tableau.2.3. Préparation de joint pour acier inoxydable.

TYPE D'ASSEMBLAGE	INDICATION	COTES	PROCEDE	EPAISSEUR
Joint en I Pas d'écartement (1)		Un seul côté	TIG (5)	< 2,5 mm
Joint en I Pas d'écartement (1)		Deux côtés	SAW	6 – 9 mm
Joint en I		Un seul côté	PAW	1 – 8 mm
Joint en I D = 1 – 2 mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG	< 2,5 mm
Joint en I D = 2 – 2,5 mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG FCAW	< 4 mm
Joint en V $\alpha = 60^\circ$ (2) C = 0,5 – 1,5 mm D = 2,0 – 4 mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG FCAW	4 – 16 mm
Joint en V $\alpha = 60^\circ$ (2) C = 2,0 – 2,5 mm D = 2,5 – 3,5 mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG FCAW	4 – 16 mm

Il convient de réaliser le soudage selon un mode opératoire de soudage homologué conformément à une norme telle que l'EN ISO 15609-1 Spécification et homologation des modes opératoires de soudage pour les matériaux métalliques - Spécification de mode opératoire de soudage pour le soudage à l'arc. Il convient que les soudeurs soient qualifiés conformément à l'EN 287-1 *Essais de qualification des soudeurs – Soudage par fusion. Aciers*. Les modes opératoires de soudage contiennent les éléments suivants :

- vérification de la méthode de soudage par des essais de modes opératoires desoudage.
- qualifications des soudeurs.
- contrôle des opérations de soudage en phase de préparation, du soudage proprement dit et du post-traitement.
- niveau des techniques à appliquer pour les contrôles et les essais non destructifs.
- critères d'acceptation pour le niveau admissible des défauts de soudures. A condition de respecter des modes opératoires appropriés, on ne devrait pas rencontrer de problèmes de soudage. Cependant, il faut savoir que les déformations dues au soudage sont en général plus importantes dans l'acier inoxydable que dans l'acier au carbone, Il convient de ne jamais autoriser les soudures de blocage d'un écrou sur le boulon tant donné que leurs matériaux sont formulés pour la résistance et non pour le soudage par fusion.

7. Procédés

Comme mentionné ci-dessus, les méthodes courantes de soudage par fusion peuvent être utilisées pour l'acier inoxydable. Le Tableau.2.4 donne les possibilités d'utilisation de différents procédés pour des gammes d'épaisseurs, etc. Dans le soudage MIG ou TIG, il convient que le gaz de protection soit exempt de dioxyde de carbone en raison d'une possibilité de décomposition entraînant une contamination par le carbone et, dans le cas de nuances duplex, il convient d'éviter également l'azote.

Tableau 2.4. Procédés de soudage et leur utilisation adaptée.

Procédé de soudage (EN ISO 4063)	Formes de produits adaptés	Types d'assemblage soudé	Gammes d'épaisseur de matériau	Positions de soudage	Conditions d'atelier/de chantier adaptées
111 Soudage manuel à l'arc avec électrode enrobée	Toutes sauf les tôles	Tous	3 mm ⁽¹⁾ ou plus	Toutes	Toutes
131 Soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil électrode fusible (MIG)	Toutes	Tous	2 mm ⁽¹⁾ ou plus	Toutes	Toutes ⁽²⁾
141 Soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène (TIG)	Toutes	Tous	Jusqu'à 10 mm maximum	Toutes	Toutes ⁽²⁾
121/122 Soudage à l'arc sous flux en poudre	Toutes sauf les tôles	Tous	3 mm ⁽¹⁾ ou plus	A plat seulement	Toutes
2 Soudage par résistance	Tôles seulement	Tous	3 mm maximum	Toutes	Toutes

3.1 Présentation de la société COMINOX

Cominox est une société Algérienne implanté au niveau de Ain Taya dans la région de la wilaya de Boumerdes qui spécialisé dans l'étude, la conception et la réalisation de matériels et équipements industriels en aciers inoxydables destinés à divers domaines d'utilisation tels que l'Agroalimentaire, industrie Pharmaceutique, Cosmétique, chimie et Pétrochimie...etc.



Fig.3.1. site d'étude de cominox.

3.2 Matériaux utilisés

Il existe de nombreux types différents d'aciers inoxydables. Tous ne conviennent pas aux applications de construction, en particulier lorsqu'on envisage le soudage.

On compte cinq groupes fondamentaux d'aciers inoxydables, classés selon leur structure métallurgique : ce sont les groupes austénitique, ferritique, martensitique, duplex et durcis par précipitation, Les aciers inoxydables austénitiques offrent une bonne combinaison de résistance à la corrosion et d'aptitude au formage et à la fabrication.

Dans notre travail on utilise deux matériaux, 1.4301 (connue sous l'appellation américaine 304) Elle contient 17 à 18 % de chrome et 8 à 11 % de nickel. et 1.4404 (316L).

Les Matériaux utilisés sont des aciers inoxydables type austénitiques utilisés par la société **COMINOX** comme produits d'assemblages dans les installations et équipements industriels.

L'acier inoxydable austénitique contient au moins 18% de chrome et 8% de nickel, La résistance à la corrosion augmente généralement avec une teneur croissante en chrome. L'effet principal de l'élément d'alliage nickel a lieu sur la structure de l'acier et ses propriétés mécaniques. La structure austénitique a également pour un changement des propriétés physiques de l'acier. Par exemple, l'acier n'est pas magnétique.

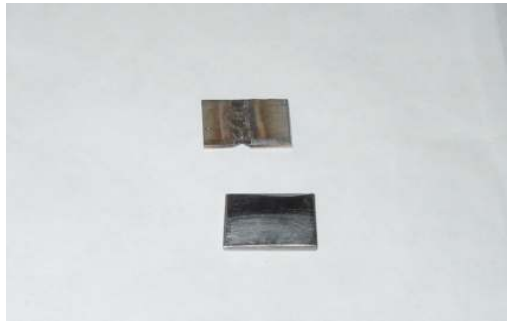


Fig.3.2. Aciers inoxydables austénitiques. Soudé & non soudé

1. Caractéristiques

Tableau 3.1. Compositions chimiques

AISI - Norme américaine	304	316L
Norme NF - EN 10088	1.4301	1.4404
Carbone (C%)	Max. 0,0	Max. 0,03
Chrome (Cr%)	17-19	16,5-18,5
Nickel (Ni%)	8,5-10,5	10-14
Molybdène (Mo%)	2	2,5
Manganèse (Mn%)	Max. 2	Max. 2
Silicium (Si%)	Max. 1	Max. 1
Soufre (S%)	Max. 0,03	Max. 0,03

Tableau 3. 2. Propriétés mécaniques.

Caractéristiques Mécaniques	Acier 304	Acier 316L
Limite d'élasticité $R_{e0,2}$ (N/mm ²)	195	190
Charge max. de traction R (N/mm ²)	500-700	490-690
Dureté Brinell HB (N/mm ²)	130-180	120-180
Elasticité E (20°C) (N/mm ²)	2,0-105	2,0-105
Allongement après rupture (A5, %)	Min 45	Min 45

Tableau 3.3. *Propriétés physiques.*

Propriétés physique	304	316L
Poids spécifique (g/cm ³)	7.9	7.98
Point de fusion (°C)	Aprox 1400	Aprox 1400
Température d'exfoliation dans l'air (°C)	800-860	800-860
Coefficient de dilatation, 20-100°C (m/m .°C)	17 ,0.10-6	16 ,6.10-6
Résistance spécifique, 20°C (W/°C .m)	0.73	0.75
Thermal conductivity 20°(W/°C .m)	15	15
Chaleur spécifique (J/g .k)	0.5	0.5

2. Les milieux corrosifs utilisés

Les solutions utilisées dans nos essais gravimétriques et électrochimiques sont regroupées dans le tableau (3.2).

Tableau 3.4. *Présentation des solutions étudiées.*

Solution	3% NaCl	4% NaCl	5% NaCl	3% NaCl+ 1% acide acétique	4% NaCL+ 1% acide acétique	5% NaCl+ 1% acide acétique	3% NaCl+ 1% acide citrique	4% NaCl+ 1% acide citrique	5% NaCl+ 1% acide citrique

La solution de 3% NaCl par exemple est préparée par la dissolution de 30g de NaCl en poudre cristallisé dans un litre d'eau distillée, puis agitée par un barreau aimanté afin d'avoir une solution homogène.

3.3 Méthodes expérimentales

A. Méthode par perte de masse

Cette méthode consiste à exposer des échantillons à un milieu corrosif pendant un temps déterminé et à mesurer la différence de masse des échantillons avant et après chaque essai.

a. Dispositifs

- Un bain marie (memmert) a été utilisé pour le maintien de l'électrolyte à la température désirée.
- des béchers de 100ml.

- des pinces utilisées comme support des échantillons.
- des papiers abrasifs (WATERPROOF BIOA) de granulométrie (220,280 ,400, 600,800,1000 ;1200) utilisés pour le polissage des échantillons.
- une balance de précision (METTLER AE 200).

b. Protocoles de la mesure gravimétrique

➤ Préparation de l'échantillon

Les étapes sont préparées comme suit :

- coupé des échantillons à l'aide d'une guillotine, dans ce cas les échantillons sous forme rectangulaire de surface 3 cm².
- polissage, les échantillons d'acier subissent un polissage au papier abrasif de granulométrie décroissante (du grain 280 jusqu'au 1200).
- les échantillons sont ensuite rincés à l'eau distillée, dégraissés par l'éthanol et séchés à l'étuve.

➤ Protocole

Les essais de perte de masse sont effectués en fixant un échantillon sur un pince en polymère dans un bêcher contenant 100 ml de l'électrolyte. Un bain marie a été utilisé pour permettre le maintien de l'électrolyte à la température désirée. Les échantillons utilisés sont rectangulaires et présentent une surface totale 3 cm² (deux faces + les côtés).les échantillons subissent un rinçage à l'eau distillée, un dégraissage à l'éthanol et un rinçage à l'eau distillée, enfin un séchage. Les échantillons sont pesés après et avant chaque essai.

➤ Mesure du taux et de la vitesse de corrosion

Le taux de corrosion, par la méthode de perte de masse, est déterminé par la formule suivante :

$$\Delta m = m_0 - m_1$$

m_0 (mg) : la masse de l'échantillon avant l'essai.

m_1 (mg) : la masse de l'échantillon après l'essai.

Δm (mg) : la perte de masse (le taux de corrosion) de l'échantillon.

La vitesse de corrosion (W) est déterminée par l'équation suivante :

$$w = \frac{\Delta m}{St} \quad (\dots)$$

Δm : la perte de masse en mg.

S : la surface exposée en cm^2 .

t : le temps d'exposition dans la solution en heure.

B. Méthode électrochimique

1. Chaîne électrochimique

L'étude électrochimique a été réalisée à l'aide d'une chaîne électrochimique qui comprend un potentiostat/galvanostat SP 300 et une unité de traitement informatique comprenant un micro-ordinateur PC doté d'un logiciel « EC- lab V10 .22 » permettant de calculer les paramètres électrochimiques.

2. Cellule de mesure

Les essais électrochimiques sont effectués dans une cellule en verre (Pyrex-Radiometeranalytical) de contenance 125ml, à double paroi. La cellule, de forme cylindrique conique intérieurement, est coiffée d'un couvercle muni de cinq orifices rodés permettant de placer en position fixe, l'électrode de travail T, l'électrode de référence R et l'électrode auxiliaire (ou contre électrode) C.E.

La cellule est schématisée par la figure (3.3).

- une électrode de travail (ET) (acier), sous forme rectangulaire 1cm^2 .
- une contre électrode en Platine (CE), assure le passage du courant.
- une électrode de référence au calomel saturée (ECS) .

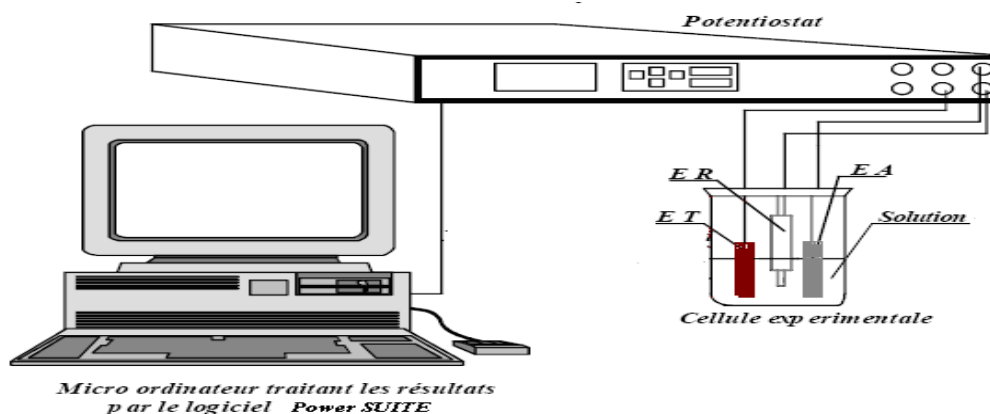


Fig. 3.3. Schéma simplifié du dispositif des mesures électrochimique.

3. Elaboration de l'électrode de travail

L'échantillon d'acier, coupé à l'aide d'une guillotine sous une forme carrée de dimensions ($1.0\text{ cm} \square 1.0\text{ cm}$) a été par la suite soudé à un fil conducteur puis enrobé dans une résine thermodurcissable.

L'enrobage est réalisé dans un moule en plastique. Ce moule est exposé à l'air ambiant pendant 24 heures pour permettre à la résine de se solidifier.

Afin d'obtenir des résultats fiables et reproductibles, l'électrode de travail subit, avant chaque essai, un prétraitement, qui consiste en un polissage de la surface de l'électrode de travail aux papiers abrasifs en de finesse en grains décroissante (220 jusqu'à 1200) sous jet d'eau, le polissage est ensuite suivi d'un dégraissage à l'éthanol puis à l'eau distillée puis d'un séchage sous un flux d'air.

4. Protocole des mesures électrochimiques

➤ Les courbes de polarisation

L'utilisation d'un potentiostat permet de faire varier le potentiel de l'électrode de travail par rapport à une électrode de référence au calomel saturé.

L'intensité du courant mesurée est celle qui circule entre l'électrode de travail et l'électrode auxiliaire.

Les mesures s'effectuent lorsque le potentiel libre est stable.

Les courbes de polarisation sont tracées dans un domaine de balayage 250 mV d'une part et d'autre du potentiel libre c.à.d. (± 250 mV).

Les courbes sont enregistrées au moyen d'un ordinateur couplé avec le (potentiostat/galvanostat SP 300) à l'aide d'un logiciel « EC- lab V10 .22 ».

➤ Conditions du travail

❖ Temps d'immersion

Nos échantillons sont immergés dans la solution corrosive pendant 15 minutes avant chaque essai électrochimique, temps au bout duquel la tension d'abandon devient stable. La connaissance de ce potentiel nous permet de choisir le domaine des potentiels à étudier.

❖ Vitesse de balayage

La vitesse de balayage en potentiel doit être faible pour permettre à un état stationnaire de s'établir en tout point de la courbe de polarisation. Les courbes $\log(i) = f(E)$ ont été tracées à une vitesse de 1 mV/s.

❖ Température de travail

Pendant notre étude, nous avons travaillé dans une température 25°C, sous pression atmosphérique.

5. Mesure de la vitesse de corrosion

- La méthode de Tafel :
- Détermination de i_{corr} par la méthode d'extrapolation des droites de Tafel

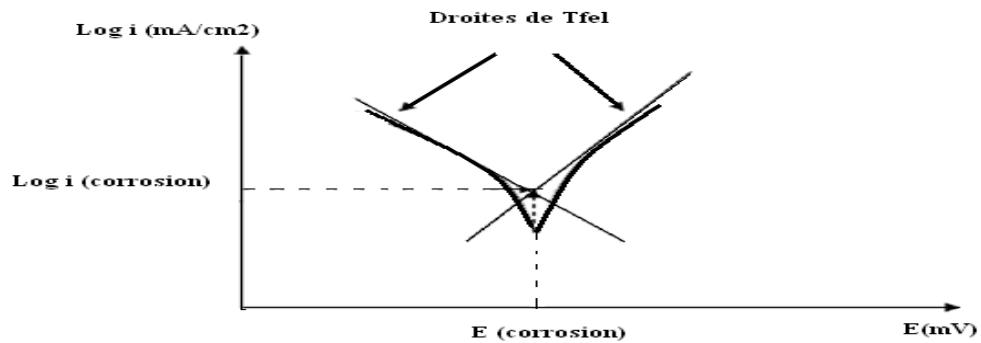


Fig.3.4. Détermination du courant de corrosion par la méthode des droites de Tafel .

Cette méthode n'est possible que pour une polarisation d'activation pure. Lorsque la polarisation est forte, seul le processus anodique intervient, $i=i_a$, on a une droite de Tafel anodique. Aux fortes surtensions, seul le processus cathodique intervient, $i=i_c$, on a une droite de Tafel cathodique; on détermine graphiquement la valeur de i_{corr} en extrapolant les droites de Tafel soit anodique, soit cathodique jusqu'au potentiel de corrosion E_{corr} . En pratique, on réalise une mesure potentiodynamique avec une variation du potentiel de $\pm 250 \text{ mV}$ par rapport au potentiel de corrosion, à une vitesse de 1 mV/s et nous mesurons la densité de courant en fonction de potentiel.

Introduction générale

Les aciers inoxydables destinés à divers domaines d'utilisation tels que cosmétiques, chimie et pétrochimie, pharmacie et l'agro-alimentaire.

Et le phénomène de corrosion dépend de plusieurs facteurs qui interviennent pour la dégradation physique du matériau.

L'objectif de ce mémoire est de comparer la vitesse de corrosion entre l'acier inoxydable assemblé par soudure et l'acier inoxydable non assemblé.

Nous présentons les détails de notre travail dans ce mémoire en le divisant en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude théorique, avant pour objectif, dans un premier temps de faire une étude sur la cinétique électrochimique, les principales formes de corrosion, les facteurs qui influencent la corrosion, et la protection contre la corrosion.
- Juste après classification et structure des aciers inoxydables, les formes de corrosion des aciers inoxydables, traitement de passivation et l'assemblage par soudure.
- Le troisième chapitre consacré à des méthodes expérimentales tel que la méthode potentiodynamique.
- Le dernier chapitre est consacré à la pratique et l'interprétation des résultats.