

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMARI de TIZI-OUZOU

ⵝⵓⵏⵉⵏⵉ ⵏ ⵉⵏⵉⵙⵏⵉⵎⵉⵏⵜ ⵏ ⵉⵏⵉⵙⵏⵉⵎⵉⵏⵜ ⵏ ⵉⵏⵉⵙⵏⵉⵎⵉⵏⵜ

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER Académique en Génie Mécanique
Option: Sciences Des Matériaux

THEME

Etude de la corrosion de l'alliage Al2,5%Mg
de fonderie dans une solution NaCl

Mardi le 02/07/2013 à 13H00 Salle 04

Proposé et Dirigé par :

Réalisé par :

M^r : N. ZAZI

Faissal Lounas

Promotion 2012-2013

Remerciements

Je remercie le bon dieu pour m'avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail et ma éclairé les chemins.

Je tiens à exprimé ma profonde gratitude aux personne en particulier ma mère ma petite sœur et toute ma famille, qui grâce a leur aide, mon travail a vu le jour.

Nos sincères remerciements vont à monsieur ZAZI NACER qui a bien voulu nous faire l'honneur de nous confier ce sujet et l'aide essentiel qu'il a apporté à ce travail.

Nous remercions aussi tous les travailleurs du hall de technologie d'OUED AISSI et du laboratoire SDM, sans oublier les travailleurs de la bibliothèque du Département de Génie Mécanique.

Nous remercions les membres du jury qui ont bien voulu accepter de juger notre travail.

.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- Mes très chers parents,
- Mes frères,
- Mes sœurs,
- Et tous mes amis

Sommaire

Introduction..... 1

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

I. l'aluminium.....	1
I.1. Historique :	1
I.2. Production de l'aluminium	1
I.3. Pays producteurs.....	1
I.4. Transformation de l'aluminium.....	2
1.4.1 En demi-produits	2
1.4.2 En produits finis.....	2
I.5. Principales propriétés de l'aluminium :	2
I.5.1. Propriétés physiques	2
I.5.2. Propriétés mécaniques.....	3
I.5.3. Propriétés chimique	3
I.6. Utilisation de l'aluminium	3
II. Alliages d'aluminium	4
II.1. Désignation des alliages en aluminium	5
II.1.1. Alliages moulés.....	5
a) Désignation numérique.....	6
b) Désignation symbolique.....	6
II.1.2. Alliages corroyés.....	6
A) Désignation de la composition.....	6
A1) Partie commune aux désignations numériques et symboliques	6
A2). Désignation numérique (NF EN 573-1)	7
A3) Désignation symbolique (NF EN 57362).....	7
II.2. Classification des alliages d'aluminium	8
II.2.1. Alliages de fonderie	8
a). Les principaux alliages de fonderie d'aluminium	8
b). Les qualités de l'alliage de fonderie	9
II.2.3. Alliages élaborés par frittage.....	10

II.2.2. Alliages corroyés.....	10
II.3. Alliages de moulage.....	10
II.4. Types des éléments d'addition.....	10
III. Alliages Al-Mg.....	11
III.1. Influence du magnésium	12
III.1.1. Propriétés de fonderie	12
III.1.2. Caractéristiques mécaniques	12
III.1.3. Usinabilité.....	13
III.1.4. Tenue à la corrosion	13
III.1.5. Anodisation	13
VI. Les atouts de l'aluminium et ses alliages	13
VI.1. Résistance à la corrosion.....	13
VI.2. Conductivité électrique et thermique.....	15
VI.3. Légèreté	15
VI.4. Aptitude aux traitements de surface	15
VI.5. Diversité des alliages d'aluminium.....	16
VI.6. Recyclage.....	16
IV. Les différentes formes de corrosion	16
IV.1. Corrosion uniforme	17
IV.2. Corrosion par piqûres	17
IV.3. Corrosion caverneuse	18
IV.4. Corrosion trans ou intercrystalline	19
IV.5. Corrosion feuilletante	19
IV.6. Corrosion galvanique	20
IV.7. Corrosion érosion.....	21
V. Influence des éléments d'addition vis-à-vis de la corrosion	21
VI. Aspect thermodynamique et cinétique de la réaction électrochimique	23
VII. Prévention de la corrosion des alliages à base d'aluminium	23

Chapitre II : processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

II.1 Motivations	25
II.2 Corrosion de l'aluminium et ses alliages en solution aqueuse	26
II.2.1. Immunité de l'aluminium	26
II.2.2 Passivation de l'aluminium.....	26
II.2.3 Dissolution de l'aluminium.....	27
II.3 Le phénomène de corrosion localisée pour l'aluminium et ses alliages.....	28
II.4 Mécanisme de la corrosion de l'aluminium dans un milieu aqueux.....	28
II.4.1 Formation de cation d'aluminium	28
II.4.2 Réduction d'ions hydrogène (H +).....	29
II.4.3 Réduction de l'oxygène O ₂	29
II.5 Rôle du film d'oxyde	29
II.6 Les facteurs favorisant la corrosion.....	30
II.6.1 Le milieu	30
II.6.1.1. La nature de milieu.....	31
II.6.1.2. La concentration	31
II.6.1.3. La teneur en oxygène.....	31
II.6.1.4. Le pH	32
II.6.1.5. La température	32
II.6.1.6. La pression.....	33
II.6.2 Facteurs liés au métal.....	33
II.6.2.1. Le mode d'élaboration et de transformation.....	33
II.6.2.2. Les traitements thermomécaniques.....	33
II.6.2.3. La composition des alliages.....	33
II.6.2.4. L'état de surface	34
II.6.3 Les facteurs liés aux conditions d'emploi.....	34
II.6.3.1. Mode d'assemblage.....	34
II.6.3.3. Les contacts avec d'autres métaux et autres matériaux.....	34

II.6.3.2. Les dispositions constructives.....	34
II.6.3.4. Les conditions d'entretiens.....	35
II.6.3.5. Les contraintes mécaniques	35
II.7 Processus de la corrosion.....	35
II.7. 1 Corrosion chimique	36
II.7.2 Corrosion électrochimique	36
II.7.3 Corrosion biochimique	36
II.7.4 Corrosion-érosion.....	36
II.8 Techniques d'évaluation de la corrosion.....	36
II.8.1 Techniques d'évaluation de la cinétique de la corrosion	36
II.9 Les alliages d'aluminium-magnésium.....	41

CHAPITRE III : PROCEDES ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

III.1 Choix de l'alliage d'aluminium.....	43
III.2 Composition chimique de l'alliage	43
III.3 Travail effectué.....	44
III.3.1 Prélèvement des échantillons	44
III.3.2 Observation au microscope optique	44
III.4 Observation au microscope électronique à balayage (MEB)	47
III.5 Mesure de microdureté	48
III.6 Préparation des échantillons pour les essais de corrosion (préparation des électrodes de travail)	48
III.7 préparation du bain de corrosion.....	49
III.8 Préparation de l'électrode de référence	49
III.9 Préparation de l'électrode auxiliaire	50
III.10 Montage pour l'essai de corrosion.....	51

Chapitre IV. RESULTATS ET INTERPRETATION

IV.1. caractérisation microstructurale de l'alliage avant corrosion	54
---	----

IV.2. Caractérisation microstructurale de l'alliage Al 2.5%Mg après corrosion.....	56
IV.3. Caractérisation de la microdureté de l'alliage Al2.5%Mg.....	58
IV.4 Caractérisation de la cinétique de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg.....	59
IV.4.1 Cinétique de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg sous le potentiel de corrosion libre	60
IV.4.2 Cinétique de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg sous le potentiel imposé de 1.5 V	62
IV.4.3 Cinétique de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg en présence d'un champ magnétique permanent.....	65
Conclusion.....	

FIGURE

Chapitre I :

Figure I.1 : Propagation auto-catalytique des piqûres	18
Figure I.2 : Profondeur des piqûres sur l'aluminium en fonction de la durée d'exposition en bord de mer	18
Figure I.3 : corrosion feuilletante	20
Figure I.4 : Corrosion galvanique.....	20
Figure I.5: Effet des éléments d'addition sur la résistance à la corrosion et à la fatigue des alliages d'aluminium.	21
Figure I.6 : Classement des alliages d'aluminium en fonction de leur résistance à la corrosion Formes de corrosion généralement observées.....	22
Figure I.7 : Moyens de prévention de la corrosion.....	24

Chapitre II :

Figure II.1 : Diagramme (POURBAIX) E-pH de l'aluminium dans l'eau.....	28
Figure II.2 : Le film d'oxyde couvre d'aluminium.....	30
Figure II.3 : Courbe de passivation.....	38
Figure II.4 : Courbe de polarisation.....	39

Chapitre III :

Figure III.1 : Echantillon après attaque.....	45
Figure III.2 : Les Polisseuse de types « STRUERS ».utilisé pour le dressage et le dégrossissage.	46
Figure III.3 : Les Polisseuse de types « STRUERS ».utilisé pour la finition	46
Figure III.4 : Microscope optique	47
Figure III.5 : Microscope électronique à balayage (MEB).....	48
Figure III.6 : Microduromètre	48
Figure III.7 : Electrode de référence	50
Figure III.8 : Electrode de graphite.....	51
Figure III.9 : Essai de corrosion de l'alliage Al2,5% Mg en absence de champ magnétique permanant	52

Figure III.10: Essai de corrosion de l'alliage Al2, 5% Mg en présence d'une tension imposée de 1,5V	52
Figure III.11 : Essai de corrosion de l'alliage Al2,5% Mg en présence de champ magnétique permanent	53
Figure III.12 : Aimant utilisé pour l'essai de corrosion en présence d'un champ magnétique permanent.....	53

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Microstructure de l'alliage Al2.5%Mg : a) avant attaque, b) après attaque.....	55
Figure IV.2: Microstructure de l'alliage Al2.5%Mg : avant attaque	55
Figure IV.3: Microstructure de l'alliage Al2.5%Mg : avant attaque	55
Figure IV.4: Images au MEB de l'alliage Al2.5%Mg.....	56
Figure VI.5 : Morphologie de corrosion libre de l'alliage Al2.5%Mg après immersion heures dans une solution de 0.3%NaCl	56
Figure VI.6 : Morphologie de corrosion sous potentiel imposé de l'alliage Al2.5%Mg après immersion 72 heures dans une solution de 0.3%NaCl.....	57
Figure VI.7 : Morphologie de corrosion sous un champ magnétique permanent de l'alliage Al2.5%Mg après immersion 72 heures dans une solution de 0.3%NaCl	58
Figure VI.8 : (a) Potentiel de corrosion libre de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe.....	61
Figure VI.9 : (a) Densité du courant de corrosion libre de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe.....	62
Figure VI.10: (a) Potentiel de corrosion sous un potentiel imposé de 1,5 V de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe	63
Figure VI.11 : (a) Densité de courant de corrosion sous un potentiel imposé de 1,5 V de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe.....	65
Figure VI.12 : (a) Potentiel de corrosion en présence d'un champ magnétique permanent de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe.....	66
Figure VI.13: (a) Densité de courant de corrosion en présence d'un champ magnétique permanent de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe	68
Figure VI.14: (a) effet du champ magnétique et du potentiel imposé sur le potentiel de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe.....	68

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I :

Tableau I.1: Dénomination des différents alliages d'aluminium.....	4
Tableau I.2 : Symboles chimiques et symboles AFNOR des éléments d'alliages.....	5
Tableau I.3 : Quelques groupes d'alliages d'aluminium.....	7
Tableau I.4 : Principaux alliages de fonderie.....	9
Tableau I.5: Les qualités des alliages de fonderie.....	9
Tableau I.6 : Classement des alliages d'aluminium en fonction de leur résistance à la corrosion et formes de corrosion généralement observées	14

Chapitre II :

Tableau II.1 : Echelle des Ph.....	32
---	----

Chapitre III :

Tableau III.1: composition de l'alliage utilisé.....	44
---	----

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Variation de la dureté d'échantillon 1 d'une position à une autre.....	59
Tableau IV.2 : Variation de la dureté d'échantillon 2 d'une position à une autre	59

Introduction

INTRODUCTION

Les alliages d'aluminium représentent une catégorie importante des matériaux en raison de leur valeur technologique élevée et étendue. Ces alliages ont des applications larges, particulièrement dans les industries aérospatiales, automobiles, alimentaires et électroménagères.

Le choix de l'aluminium et ces alliages pour la fabrication mécanique est lié directement à la formation d'une fine couche protectrice, peu toxique, adhérente et imperméable aux agents corrosifs, donc les pièces mécaniques sont plus ou moins protégées du risque de corrosion. Toutefois, la variation du potentiel électrochimique et la présence des inclusions des précipités et des cavités peut altérer la protection contre la corrosion.

Les alliages d'Al-Mg sont des alliages à durcissement par écrouissage, ils sont destinés à travailler dans des conditions de température et de déformation très sévères. Par conséquent, leurs propriétés peuvent changer au cours de leurs mises en forme et utilisations.

Les alliages d'aluminium-magnésium de fonderie ont de bonnes propriétés mécaniques et une résistance à la corrosion adéquates.

Dans ce travail nous nous intéressons à l'effet d'un potentiel imposé de 1.5 V et d'un champ magnétique permanent de faible intensité sur la morphologie et la cinétique de corrosion.

Pour ce faire nous avons analysé par microscopie optique avant et après corrosion, par électronique à balayage, par la microdureté Vickers l'alliage d'aluminium à 2.5% de magnésium et par tests électrochimiques de potentiels et de la densité de corrosion dans une solution de chlorure de sodium de faible concentration 0.3% NaCl.

Le mémoire présenté est constitué de 4 chapitres et une conclusion :

Le chapitre 1 traite l'aluminium et ses alliages, le deuxième chapitre développe la corrosion de l'aluminium en générales et les alliages AlMg en particuliers, le troisième

chapitre donne les procédés et techniques utilisée et le dernier chapitre présente les résultats obtenus et leurs interprétations.

Chapitre I
Aluminium et ses alliages

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

I. l'aluminium

I.1. Historique :

L'élément aluminium a été découvert en 1825. C'est l'élément métallique le plus présent à la surface de la terre. L'aluminium a connu un développement spectaculaire depuis sa naissance en 1825 symbolisée par la présentation à l'académie des sciences, par le chimiste Français Saint Claire Deville, d'un petit lingot réalisé par voie chimique. Mais La véritable début du développement industriel de l'aluminium et ces alliages se produit en 1886 avec l'invention du procédé d'électrolyse de l'aluminium par Paul Héroult en France et Charles Martin Hall aux Etats-Unis .L'aluminium est maintenant il représente le premier métal non ferreux [10].

I.2. Production de l'aluminium

L'aluminium est produit actuellement dans le monde entier par le procédé mis au point par Héroult et Hall en 1886, qui consiste en l'électrolyse de l'alumine dissoute dans la cryolithe fondue à environ 1 000 °C, dans une cuve comportant un garnissage intérieur en carbone représentant une cathode. L'aluminium formé par électrolyse se dépose au fond de la cuve, et l'oxygène de l'alumine réagit avec le carbone de pour former l'monoxyde et le dioxyde de carbone. [10]

I.3. Pays producteurs

Traditionnellement, depuis un siècle, l'élaboration de l'aluminium par électrolyse ignée à partir de l'alumine s'est toujours rapprochée des sources d'énergie électrique les moins chères. La consommation d'électricité est de 14 000 KWh par tonne.

C'était vrai dans les pays industrialisés en Europe et aux États-Unis. Depuis 1980, les nouvelles unités de production ont toutes été installées dans des pays détenteurs d'importantes ressources énergétiques d'origine hydraulique, le Canada, ou fossiles : les Émirats Arabes, l'Australie, l'Afrique du Sud, etc. [10]

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

I.4. Transformation de l'aluminium :

1.4.1 En demi-produits :

L'aluminium liquide, éventuellement allié avec différents éléments d'addition, afin d'obtenir l'alliage désiré, est coulé par les procédés suivants :

- ✓ soit par le procédé de **coulée semi-continue** sous forme de plaques pour laminage ou de billettes pour filage ou forgeage,
- ✓ soit par un procédé de **coulée et laminage continu** sous forme de fil machine de diamètre de 7 à 25 mm,
- ✓ soit **directement** dans des **lingotières** afin d'obtenir des lingots en aluminium ou alliages de moulage.

L'aluminium et ses alliages se prêtent particulièrement bien aux différents modes de transformation. [10]

1.4.2 En produits finis :

Pour l'obtention de produits finis, plusieurs procédés de mise en œuvre bien adaptés à l'aluminium et ses alliages sont utilisés :

- ✓ **l'assemblage** par des moyens tels que soudage, brasage, rivetage, collage...,
- ✓ la **mise en forme à froid** par pliage, chaudronnage, emboutissage, fluotournage, filage par choc...,
- ✓ **l'usinage** et le **décolletage**,
- ✓ les **traitements de surface** : oxydation anodique, peinture...etc. [10]

I.5. Principales propriétés de l'aluminium :

I.5.1. Propriétés physiques : [23], [10]

L'aluminium est un élément du troisième groupe du tableau de Mendeleïev.

- ✓ Son nombre atomique $Z=13$;
- ✓ sa masse atomique $M=26,98$;

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

- ✓ L'aluminium a une bonne conductivité thermique et électrique ;
- ✓ Sa masse volumique est de 2699 kg/m^3 pour un titre de 99,95% ;
- ✓ sa température de fusion est 660C^0 et celle d'ébullition est 2500C^0 ;
- ✓ Sa caractéristique physique la plus importante est sa faible densité: $2,7\text{g/cm}^3$;
- ✓ Sa structure cristalline à face centrée stable à toute température ;
- ✓ valence dans les composés chimiques : 3.

I.5.2. Propriétés mécaniques : [23], [10]

L'aluminium pur est très bien déformable à froid et à chaud, très ductile, ce qui facilite son usinage et sa mise en forme, et cela grâce à structure CFC.

Les caractéristiques mécaniques de l'aluminium sont :

- ✓ Pour L'aluminium pur, le module d'élasticité est de 66.6 Gpa, autant que des impuretés en présence cette valeur augmente et les éléments d'addition
- ✓ Le coefficient de poisson varie de 0,33 à 0,35.
- ✓ Le module de torsion est égale à 25Gpa pour l'aluminium pur tiré à 99.9%, et de 26 Gpa pour l'aluminium commerciale.

I.5.3. Propriétés chimique : [26]

L'aluminium est un métal très oxydable, il se distingue par sa résistance a la corrosion élevée grâce a la formation d'une couche protectrice d'alumine sur sa surface, lorsqu'il y a contacte de l'aluminium avec l'oxygène et certain corps comme l'eau de mère et les solutions saline.

La plus part des acides minéraux attaquant l'aluminium surtout l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique et les acides organiques.

I.6. Utilisation de l'aluminium : [24]

En raison de sa légèreté, de sa bonne résistance a la corrosion, de sa bonne conductibilité thermique et électrique, des excellentes propriétés mécaniques de ces alliages, l'aluminium est un métal très utilisé dans des nombreux domaines :

- ✓ Comme pièces mécaniques dans l'industrie automobile et aéronautique.

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

- ✓ Tôles d'avions, automobiles et bateaux.
- ✓ Le papier d'aluminium extra mince, sert à l'emballage de denrées.
- ✓ La poudre de l'aluminium est utilisée pour les peintures résistantes à la chaleur et pour la confection des feux d'artifices.
- ✓ Menuiserie et charpente métallique, carrosserie, revêtement.....etc.

II. Alliages d'aluminium :

Il existe environ 310 alliages d'aluminium différents. Tous ces alliages sont coulés en fonderie sous forme de plaques ou de billettes ensuite ils subissent des transformations mécaniques telle que le laminage, filage, profile et tube...).

Les alliages d'aluminium les plus répandus sont, (Al-Cu, **Al-Mg**, Al-Cu-Mg-Si, ainsi que Al-Zn-Mg-Cu, Al-Mn). A l'état d'équilibre, tous ces alliages forment une solution solide faiblement alliée et des phases intermétalliques qui offrent à l'alliage sa fiabilité. On distingue plusieurs classifications qui sont répartie en trois groupes distincts et en huit séries : [22]

Série	Alliages correspondant
1XXX	Aluminium pur (>99at%)
2XXX	Aluminium/Cuivre
3XXX	Aluminium/Manganèse
4XXX	Aluminium/silicium
5XXX	Aluminium/Magnésium
6XXX	Aluminium/ Magnésium/ silicium
7XXX	Aluminium/Zinc
8XXX	Autre alliages d'aluminium

Tableau 1: Dénomination des différents alliages d'aluminium

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

II.1. Désignation des alliages en aluminium :

La désignation est composée successivement des éléments suivant :

II.1.1. Alliages moulés :[24]

La désignation de ces alliages d'aluminium est décrite de façon symbolique et numérique dans la norme NF EN 1780-1 et -3. La correspondance des éléments avec l'ancienne désignation AFNOR apparait dans le (tableau)

Eléments d'alliages	Symboles chimiques	Symboles AFNOR	Eléments d'alliages	Symboles chimiques	Symboles AFNOR
Aluminium	Al	A	Nickel	Ni	N
Antimoine	Sb	R	Niobium	Nb	Nb
Azote	N	Az	Phosphore	P	P
Béryllium	Be	Be	Plomb	Pb	Pb
Bismuth	Bi	Bi	Sélénium	Se	Se
Bore	B	B	Silicium	Si	S
Cadium	Cd	Cd	Soufre	S	F
Chrome	Cr	C	Tantale	Ta	Ta
Cobalt	Co	K	Thorium	Th	Th
Cuivre	Cu	U	Titane	Ti	T
Etain	Sn	E	Tungstène	W	W
Fer	Fe	Fe	Vanadium	V	V
Magnésium	Mg	G	Zinc	Zn	Z
Manganèse	Mn	M	Zirconium	Zr	Z
Molybdène	Mo	D			

Tableau 2 : Symboles chimiques et symboles AFNOR des éléments d'alliages

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

A) Désignation numérique :

La première partie de la désignation (EN AC-) est suivie de cinq (5) chiffres représentant la composition chimique : Les deux premiers chiffres indiquent le groupe d'alliages et les trois derniers indiquent la composition chimique.

La désignation est composée successivement des éléments suivant :

- ✓ Le préfixe EN suivi d'un espace ;
- ✓ La lettre À, qui représente l'aluminium ;
- ✓ La lettre C, qui représente les produits moulés (caste) ;
- ✓ Un tiret

a) Désignation symbolique :

La première partie de la désignation(EN AC -) est suivie des symboles chimiques des éléments d'addition (tableau I-1), successivement suivi de leurs teneurs massiques pris dans l'ordre décroissant.

II.1.2. Alliages corroyés : [24]

A) Désignation de la composition :

A1) Partie commune aux désignations numériques et symboliques :

La désignation est composée successivement des éléments suivant :

- ✓ Le préfixe EN suivi d'un espace ;
- ✓ La lettre À, qui représente l'aluminium ;
- ✓ La lettre W, qui représente les produits moulés (cast) ;
- ✓ Un tiret

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

A2) Désignation numérique (NF EN 573-1) : [10]

La première partie de la désignation (EN AW) est suivie de quatre chiffres représentant la composition chimique et si nécessaire, une lettre identifiant une variante nationale attribuée par ordre alphabétique.

La signification des quatre chiffres est la suivante :

- ✓ Le premier chiffre indique le groupe d'alliages selon le tableau (les chiffres de 0 et 9 sont réservés à l'usinage privé des réducteurs).
- ✓ Pour le groupe 1 : les deux derniers chiffres indiquent le pourcentage minimal d'aluminium au-delà de 99,00%, et le deuxième chiffre indique des modifications dans les limites d'impuretés ou dans les éléments (zéro correspond à des limites d'impuretés naturelle).
- ✓ Pour les groupes 2 à 8 : les deux derniers chiffres servent seulement à identifier l'alliage, tandis que le deuxième chiffre indique les modifications de l'alliage (zéro correspond à l'alliage originale).

Groupe	Aluminium ou alliage
1	Aluminium (teneur $\geq 99,00\%$)
2	Aluminium – cuivre
3	Aluminium- manganèse
4	Aluminium – silicium
5	Aluminium – magnésium
6	Aluminium - magnésium silicium
7	Aluminium – zinc
8	Autres alliages d'aluminium

Tableau 3 : Quelques groupes d'alliages d'aluminium [10]

A3) Désignation symbolique (NF EN 57362) : [24]

Elle est destinée à compléter la désignation numérique définie avant.

Elle utilise les symboles chimiques et est placée entre crochets après la désignation à quatre chiffres. Les désignations de l'aluminium non allié destiné au corroyage sont

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

constituées du symbole chimique du métal (Al) suivi d'un espace et du pourcentage de pureté exprimé avec une ou deux décimales.

II.2. Classification des alliages d'aluminium :

La classification des alliages se fait suivant leur mode de transformation, on distingue : les alliages de corroyage, les alliages de moulage et les alliages par frittage. [26]

II.2.1. Alliages de fonderie :

Les alliages prévus pour les moulages de forme doivent posséder une coulabilité élevée, un retrait relativement faible, une faible aptitude à la fissuration à chaud et à la porosité et de bonnes propriétés mécaniques, une résistance à la corrosion élevée, ...etc.

Les propriétés d'un alliage de fonderie sont élevées lorsque sa structure comporte un eutectique.

Un eutectique se forme dans nombreux alliages dont la teneur en éléments additionnés est supérieure à la solubilité limitée dans l'aluminium.

Le plus souvent on emploie les alliages Al Si, Al Cu, Al Mg, additionnés d'une faible quantité de cuivre et de magnésium (Al – Mg), de silicium (Al – Si), de manganèse, de nickel ou de chrome.

Pour affiner le grain et, par suite, améliorer les propriétés mécaniques, on introduit les inoculant (Ti, Zr, b Cl, V, etc.). [10]

a). Les principaux alliages de fonderie d'aluminium :

Alliage	Elément d'alliage	Dureté (HB)	Intervalle de Solidification (°C)	Mise en œuvre
EN AC Al Si7Mg0.3	7%Si, ou 0.30.6%Mg	50-80	615-555	Pièces mécaniques, coquille (0,6%), sable(0,3) Traitement thermique de Durcissement.
				Pièces minces (3mm),

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

EN AC-Al Si10Mg	13%Si	50-55	580-575	traitement thermique de durcissement.
EN AC-Al 10Mg	10%Si	50-80	600-550	Intermédiaire entre EN-AC Al Si 7Mg et EN AC-Al Si 12 , Traitement thermique de durcissement.
EN AC-Al Cu 8 Si	8%Cu, Si	75-80	615-515	Usinabilité excellente
EN AC-Al Cu5MgTi	5%CU, Mg, Ti	85-90	650-535	Meilleures propriétés mécaniques
EN AC-Al Si 9Cu3	9%Si, 3%Cu	80-110	590-507	Alliage de sous pression

Tableau 4 : Principaux alliages de fonderie. [10]

b). Les qualités de l'alliage de fonderie :

Qualités	Aptitudes
Coulabilité	Aptitude du métal liquide à bien remplir l'empreinte
Absence de déformation criques	Fissuration à chaud causée par le retrait du métal
Bonne répartition de la porosité	Due au retrait qui accompagne la solidification
Température de fusion relativement Basse	Permettent d'employer des moules métalliques réutilisables (des coquilles) dans lesquels on coule le métal soit par gravité, soit sous pression

Tableau 5: Les qualités des alliages de fonderie. [27]

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

II.2.3. Alliages élaborés par frittage :

La métallurgie des poudres produit les alliages Al Si, Al Mg et Al Cu, ceux-ci possèdent une coulabilité aussi élevée que celle des alliages de fonderie. [28]

Pour affiner le grain et améliorer les propriétés mécaniques des alliages de métallurgie des poudres, on introduit des inoculant (Ti, Zr, B, C1, V.). [28]

II.2.2. Alliages corroyés : [25]

Ce sont des produits obtenus par des procédés de déformation plastiques à chaud ou a froid, tel que le filage et le forgeage ; prévus pour des demi-produits (tôles, plaques, barres et pro filets.).

Suivant l'aptitude aux durcissements thermiques on distingue :

- ✓ Alliages durcis par traitement thermique.
- ✓ Alliages non durcis par traitement thermique.

II.3. Alliages de moulage : [28]

Ils sont utilisés en fonderie pour la fabrication des pièces obtenues par la coulée du métal liquide dans des moules en sable (moulage en sable), ou des moules en acier ou en Fonte (moulage en coquille). Par ce procédé, on élabore des pièces aux formes plus aux moins complexes : poignés de portes, blocs moteur...etc.

- ✓ **moulage en sable** : Le métal se solidifie dans une cavité limitée par du sable comprimé ; les partie creuses sont obtenues des noyaux. Dans ce genre de moulage le refroidissement des pièces est lent.
- ✓ **moulage en coquille** : la coquille est métallique ayant la forme exacte de la pièce désirée, le refroidissement des pièces dans ce genre de moulage est rapide.

II.4. Types des éléments d'addition : [22]

Les éléments d'additions sont rajoutés avec des proportions variables dans la composition d'aluminium de corroyage et de moulage. On peut distingue trois catégorie distinctes :

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

- ✓ Eléments d'addition très spéciaux réservés d'usage particulier. Ces éléments se trouvent généralement à des proportions inférieures à 0,5%, parmi : le béryllium, l'argent...etc.
- ✓ Les éléments d'addition majeure se résumant dans le cuivre, magnésium, manganèse, silicium et le zinc et dans la teneur peut dépasser un pourcent.
- ✓ Eléments d'additions mineurs dont leur teneur dépasse rarement 1%, couramment il se situe entre 0,1 à 0,3% comme : le chrome, le fer, le nickel et le cobalt.

III. Alliages Al-Mg : [10]

Ces alliages forment, en fonction de leur teneur en magnésium, toute une gamme d'alliages présentant un **poids industriel important** en raison de l'ensemble performant des propriétés suivantes :

- ✓ résistance mécanique qui est fonction de la teneur en magnésium,
- ✓ bonne aptitude à la déformation et au soudage
- ✓ excellent comportement aux basses et très basses températures,
- ✓ très bonne résistance à la corrosion à l'état soudé ou non, et ceci en particulier en atmosphère marine ou dans l'eau de mer,
- ✓ possibilité de présenter de beaux états de surface par brillantage et anodisation lorsqu'ils sont élaborés à partir d'aluminium suffisamment pur.
- ✓ La légèreté.

L'alliage **5005** est le moins chargé en magnésium. Avec des caractéristiques mécaniques légèrement supérieures à celles de l'aluminium 1100 ou 1200, il est très utilisé dans les domaines suivants :

- ✓ l'architecture : bardages,
- ✓ le mobilier,
- ✓ la décoration et également l'électricité : conductivité électrique 53,5 % IACS.

Les alliages **5050, 5052, 5454, 5754** forment une gamme à résistance mécanique progressivement croissante recevant des applications très importantes dans de nombreux domaines tels que :

- ✓ bâtiment,
- ✓ chaudronnage,
- ✓ soudage,

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

- ✓ véhicules industriels,
- ✓ industrie chimique,
- ✓ biens de consommation : caravanes, mobilier métallique, matériel ménager,
- ✓ marine : bateaux, superstructures, viviers, échangeurs de dessalement...

Les alliages **5086** et **5083** sont **les plus performants** des alliages Al-Mg. Leurs utilisations industrielles – souvent sous forme de structure soudées – concernent les secteurs suivants :

- ✓ la construction navale : bateaux, superstructures, aménagement du littoral...
- ✓ les véhicules industriels : citernes, semi-remorques...
- ✓ les travaux publics,
- ✓ l'industrie chimique,
- ✓ la cryogénie : cuves de stockage et de transport des gaz liquéfiés (méthaniers), installations de liquéfaction...

La nuance **5283** est spécialement réservée à la fabrication des **bouteilles à gaz sous pression** appelées à travailler dans des conditions sévères : cas par exemple des bouteilles de plongée sous-marine.

III.1. Influence du magnésium :

III.1.1. Propriétés de fonderie : [27]

Ces propriétés sont les suivantes :

- ✓ la coulabilité est médiocre du fait de la forte oxydabilité du magnésium ;
- ✓ l'aptitude à la retassure : la contraction volumétrique est peu modifiée par magnésium, mais celui-ci augmente la tendance à la microporosité ;
- ✓ la criquabilité est assez forte, mais diminue aux fortes teneurs en magnésium.

III.1.2. Caractéristiques mécaniques : [10]

Le magnésium augmente la charge de rupture, la limite d'élasticité et la dureté au détriment de l'allongement. Un traitement thermique – mise en solution et trempe –, améliore

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

les caractéristiques mécaniques, mais il se produit une maturation lente à la température ambiante qui provoque une fragilisation, même après plusieurs années.

III.1.3. Usinabilité : [10]

Les alliages aluminium-magnésium ont une excellente usinabilité.

III.1.4. Tenue à la corrosion : [10]

L'addition de magnésium à l'aluminium améliore sa tenue à la corrosion généralisée, en particulier à la corrosion marine.

III.1.5. Anodisation : [10]

Les alliages aluminium-magnésium s'anodisent très bien, aussi bien pour la protection que pour la décoration.

VI. Les atouts de l'aluminium et ses alliages:

VI.1. Résistance à la corrosion :

La très bonne tenue à la corrosion de l'aluminium explique le développement de ses nombreuses applications dans le bâtiment, les transports, l'équipement du territoire, la construction navale..., milieux dans lesquels les conditions d'emploi peuvent être sévères. On dispose maintenant de nombreuses références d'équipements en service depuis plusieurs décennies, et même une référence centenaire par exemple la toiture de l'église San-Giocolino à Rome, installée en 1898.

La tenue à la corrosion est en effet un critère très important dans le choix d'un métal ou d'un alliage, dès lors que celui-ci est soumis à l'action de l'humidité, des intempéries, de l'eau, du milieu marin, d'une atmosphère industrielle,...etc.

Or elle dépend des paramètres suivants :

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

- ✓ le métal lui-même : sa composition, son état métallurgique, l'état de surface,...
- ✓ les caractéristiques du milieu dans lequel il est exposé : humidité, température, présence d'agents agressifs,...etc. ;
- ✓ les conditions de service prévues ;
- ✓ le mode d'assemblage éventuel des structures, les dispositions constructives ;
- ✓ la durée de service espérée, la fréquence d'entretien.

Les alliages d'aluminium doit leurs résistance à la corrosion au phénomène de passivation de l'aluminium. [10]

Séries	Elément d'alliage	Particules Intermétalliques ou Secondes phases	Formes de corrosion généralement Observées
5000	Mg	Al ₃ Mg ₂ , Al ₈ Mg ₅	Piqûres, généralisée, sous contraintes (pour les forts taux en Mg) Piqûres, généralisée.
1000	AUCUN		
6000	Si, Mg	Al ₃ Fe, Al ₆ Fe, Al ₁₂ Fe ₃ Si ₂	Dépend de la quantité de la seconde phase. Piqûre, généralisée
3000	Mn	Al ₅ FeSi, Al ₈ Fe ₂ Si, Al ₈ Mg ₂ Si ₆ Fe, Mg ₂ Si, Al ₆ Mn, Al ₆ Mn Fe	Piqûre, généralisée
4000	Si	Si	Piqûre, généralisée, sous contraintes.
7000	Zn, Mg Avec ajout de Cu	Zn ₂ Mg	Feuittante. Inter-granulaire (avec le cuivre)

Tableau 6 : Classement des alliages d'aluminium en fonction de leur résistance à la corrosion et formes de corrosion généralement observées. [7]

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

VI.2. Conductivité électrique et thermique:

L'aluminium offre une excellente conductivité électrique pour un poids inférieur à celui du cuivre. C'est pour cela qu'on le retrouve de plus en plus dans les lignes à haute tension.

L'aluminium présente une excellente conductivité thermique, de l'ordre de 60% de celle du cuivre et un fort pouvoir caloporteur. Ceci explique sa présence dans les dispositifs de refroidissements comme les radiateurs d'automobiles (les tubes et intercalaires). Par contre les pertes d'énergie par transfert de chaleur sont importantes et ceci représente un inconvénient de ce métal c'est pour cette raison que les chercheurs travaillent sur le Nickelage de ce matériau. [10]

VI.3. Légèreté:

L'aluminium est léger et de plus présente des caractéristiques mécaniques très élevées. Il constitue de ce fait 80% du poids des avions actuels. Il est très utilisé aussi dans les transports terrestres rapides TGV et maritimes, et de plus en plus dans l'industrie d'automobile. Bien que, en tonnage, la production d'aluminium ne représente qu'un peu plus de 2% de celles des aciers, ce métal et ses dérivés arrivent en seconde position en ce qui concerne la production et l'utilisation des matériaux métalliques. L'expérience montre que l'allégement obtenu avec une structure en alliage d'aluminium peut atteindre 50% par rapport à une structure équivalente en acier ordinaire ou en acier inoxydable. [29]

VI.4. Aptitude aux traitements de surface: [29]

Les traitements de surface sur l'aluminium ont plusieurs objectifs parmi lesquels:

- ✓ La protection de certains alliages, quand leur résistance à la corrosion « naturelle » est jugée insuffisante,
- ✓ La pérennité de l'aspect en évitant la corrosion par piqûres ou le noircissement,
- ✓ La modification des propriétés de surface comme la dureté superficielle,
- ✓ La décoration du métal par anodisation puis colmatage pigmentaire.

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

VI.5. Diversité des alliages d'aluminium: [14]

Les progrès permanents de la métallurgie de l'aluminium ont abouti à proposer une gamme étendue de nuances, bien adaptée aux utilisations. Tellement nombreux, les alliages d'aluminium sont regroupés conformément à une nomenclature rigoureuse et complexe.

Ainsi le métal pur non allié constitue la série 1000 et les autres séries dépendent de la nature de l'élément d'alliage principal (2000 pour le Cu, 3000 pour le Mn, 4000 pour le Si, 5000 pour le Mg, 6000 pour le Mg et le Si, 7000 pour le Zn).

D'une famille à une autre les propriétés caractéristiques sont très variables : les alliages de la famille 5000 sont soudables résistants à la corrosion tandis que ceux de la famille 2000 ont des caractéristiques mécaniques plus élevées, mais sans possibilité de soudage par les procédés classiques, et avec une sensibilité marquée à la corrosion atmosphérique. Les alliages de la série 3000, se caractérisent par:

- ✓ une résistance mécanique faible mais qui peut être augmentée par écrouissage, ou addition de magnésium,
- ✓ une bonne aptitude à la mise en forme, au soudage et au brasage,
- ✓ une excellente résistance à la corrosion dans des conditions normales d'utilisation.

VI.6. Recyclage: [16]

L'aluminium l'un des métaux dont le recyclage est le plus attractif tant sur le plan énergétique que sur le plan économique. La refusions de l'aluminium ne représente que 5% de l'énergie nécessaire à l'élaboration du métal à partir du minerai. L'expérience de plusieurs dizaines d'années de récupération des « vieux métaux » montre que les déchets d'aluminium ont toujours une valeur marchande supérieure à celle des ferrailles. Mais les alliages d'aluminium obtenus par recyclage sont enrichi de fer ceci est l'inconvénient des alliages d'aluminium de recyclage.

IV. Les différentes formes de corrosion : [31]

Il n'y a pas de formes de corrosion spécifiques aux alliages d'aluminium. Celles qui peuvent se rencontrer habituellement sont les suivantes :

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

IV.1. Corrosion uniforme: [30]

La corrosion uniforme se manifeste avec la même vitesse en tous points du métal entraînant une diminution régulière de l'épaisseur de celui-ci ou simplement un changement de coloration (ternissement). Mais la corrosion uniforme progresse pour former un oxyde homogène sur toute la surface.

Lorsque le pH s'écarte en effet du voisinage immédiat de la neutralité ($4 < \text{pH} < 9$), la corrosion uniforme se traduit par une attaque rapide. Il existe, naturellement, un certain nombre d'exceptions à cette règle. L'aluminium peut ainsi se passiver en milieu acide si le pouvoir oxydant du milieu est très élevé (Par exemple, l'acide nitrique). De même, l'aluminium et ses alliages peuvent résister en milieux alcalins grâce à certains effets d'inhibition (par exemple, l'ammoniaque concentrée, les bases organiques faibles, les silicates, le béton). Dans les milieux neutres, la vitesse de corrosion uniforme des alliages d'aluminium passifs est certes très réduite, mais elle n'est néanmoins jamais totalement nulle.

Elle garde ainsi une valeur de l'ordre de 5 μm par an, ce qui peut entraîner à la longue une évolution progressive de l'état de surface vers un aspect inesthétique du à une variation de la rugosité.

IV.2. Corrosion par piqûres : [10]

Comme tous les métaux dont la résistance à la corrosion est liée à la présence d'une couche passive, l'aluminium et ses alliages sont sensibles à la corrosion par piqûres

Elle se développe sur des sites où le film d'oxyde naturel présente des défauts : amincissement, lacune, ..., provoqués par diverses causes qui peuvent être liées aux éléments d'addition, aux conditions de mise en œuvre, ...

L'expérience montre que les zones meulées, rayées lors des opérations de mise en forme, de soudage, sont des niches où les piqûres ont tendance à se développer dès les premières semaines de mise en service au contact d'un milieu humide.

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

La corrosion par piqûres de l'aluminium et ses alliages se traduit par la formation de **cavités** dans le métal, généralement **recouvertes de pustules blanches d'alumine hydratée gélatineuse $\text{Al}(\text{OH})_3$** , très volumineuses. Le volume de la pustule est bien plus important que celui de la cavité sous-jacente

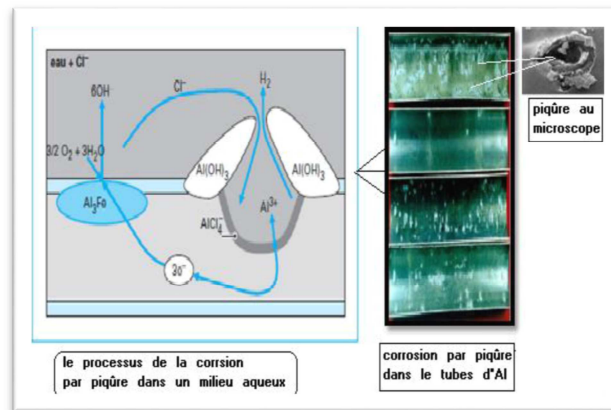


Figure I.1 : Propagation auto-catalytique des piqûres [2]

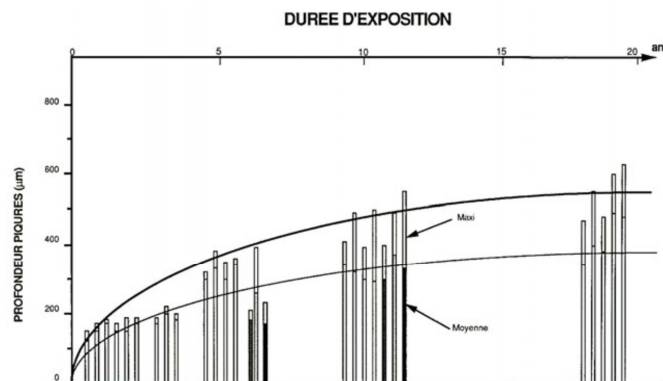


Figure I.2 : Profondeur des piqûres sur l'aluminium en fonction de la durée d'exposition en bord de mer. [10]

IV.3. Corrosion caverneuse : [10]

On l'appelle aussi « corrosion sous dépôt ». Elle se développe dans les recoins, sous les dépôts, là où l'eau, ou l'humidité, pénètre et ne se renouvelle pas. La corrosion caverneuse de l'aluminium **progressé généralement peu**, sans doute à cause de la formation de l'alumine qui colmate rapidement l'entrée du recoin. On constate très souvent, lors du démontage d'un assemblage de tôles en aluminium rivetées ou vissées, ayant séjourné entre les deux tôles.

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

Il faut néanmoins éviter, autant que possible, de laisser dans les assemblages des recoins qui peuvent devenir des niches à corrosion telles que les soudures discontinues en, « chenilles »

IV.4. Corrosion trans ou intercrystalline : [10]

L'examen micrographique montre qu'une corrosion, liée à la structure du métal, peut se propager de deux manières différentes :

- ✓ elle progresse dans toutes les directions, c'est la **corrosion transcrystalline** ;
- ✓ elle emprunte un chemin préférentiel, le long des joints de grains, c'est la **corrosion transcrystalline**

C'est parce qu'il existe une différence de potentiel entre les joints et la masse du grain que la corrosion intercrystalline progresse préférentiellement le long des joints de grains.

Cette différence de potentiel est due à la présence dans le joint de grain, ou à la lisière, d'une précipitation continue de composés intermétalliques dont le potentiel de dissolution est très nettement différent de la matrice, d'au moins 100 mV.

IV.5. Corrosion feuilletante: [16]

La corrosion feuilletante (ou exfoliante) comme la corrosion inter granulaire est une conséquence du traitement thermomécanique préalable des pièces. Seuls les alliages à haute caractéristiques mécaniques sont concernés : ces phénomènes sont liés à la structure métallurgique particulière des alliages laminés. Cette forme de corrosion qui affecte seulement quelques alliages (ceux des séries 2000, **3000**, 5000 et 7000) se développe si les conditions de traitements thermiques ou de soudage sont mal adaptées. La corrosion feuilletante de l'alliage AlMn1 est caractérisée par une déformation locale de feuillets métalliques et fait apparaître des cloques à la surface du matériau. Il s'agit d'une attaque qui se propage généralement de façon inter-granulaire selon des plans Parallèles aux surfaces, séparées par de fins feuillets métalliques. Le déchaussement des grains est dû aux produits de corrosion formés, qui sont plus volumineux que les espèces initialement non corrodées. Le mécanisme de propagation est généralement assimilé à une corrosion inter granulaire, dirigé

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

préférentiellement par les contraintes exercées par les produits de corrosion. Dans certains cas, la propagation est de type transgranulaire la figure I.12 illustre ce processus.



Figure I.3 : corrosion feuilletante [3]

IV.6. Corrosion galvanique: [29]

Pour chaque solution, il est possible d'établir une « série galvanique » (classement des différents métaux et alliages en fonction de leur potentiel standard.

La figure présente une classification des métaux et de quelques alliages en fonction de leur potentiel de dissolution dans l'eau de mer (les métaux sont classés ici par ordre croissant d'activité). Le matériau de potentiel le plus bas d'un assemblage galvanique est une anode, l'autre est une cathode. L'aluminium étant anodique par rapport à la plupart des métaux usuels, il est habituellement la victime dans des assemblages mixtes.

Néanmoins comme souligné auparavant, même si l'aluminium est dans une position défavorable dans l'échelle galvanique, il se rencontre le plus souvent recouvert d'un film passif, ce qui l'anoblit considérablement et le rend beaucoup moins sensible au bimétallisme.

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

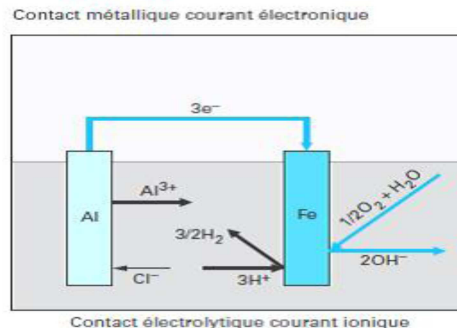


Figure I.4 : Corrosion galvanique.

IV.7. Corrosion érosion: [16]

La corrosion par érosion se produit dans un fluide en mouvement. Cette forme de corrosion est liée à la vitesse de passage du fluide, elle se caractérise par un amincissement local du métal sous la forme de rayures, de ravinements, d'ondulations, toujours orientés dans une même direction.

V. Influence des éléments d'addition vis-à-vis de la corrosion : [7]

Il est souvent attribué à l'aluminium le comportement électrochimique de l'alliage (caractère passivable, sensibilité à la corrosion localisée...). Cependant certains éléments chimiques peuvent influencer la résistance à la corrosion des alliages à base d'aluminium. Ainsi la Figure suivante présente schématiquement la baisse de la résistance à la corrosion des échantillons d'aluminium en milieu chloré en fonction de la série. Il est toute fois à noter que cet effet favorable s'accompagne de propriétés mécaniques accrues.

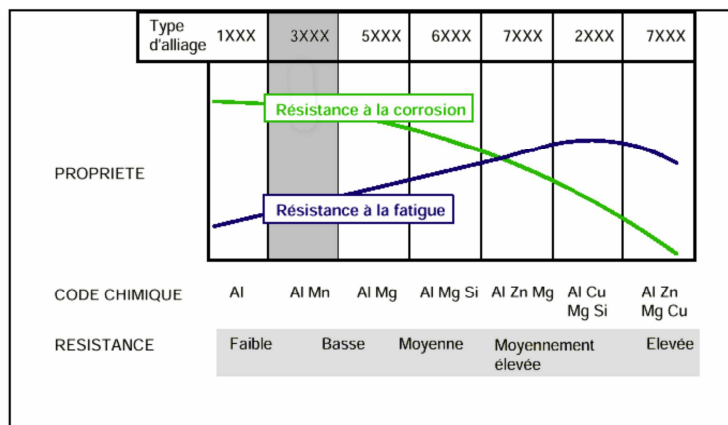


Figure I.5: Effet des éléments d'addition sur la résistance à la corrosion et à la fatigue des alliages d'aluminium. [7]

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

Depuis le début du XXe siècle, de nombreuses études ont porté sur l'influence de la plupart des éléments chimiques sur les propriétés de l'aluminium. Elles ont permis d'établir un classement qualitatif de la résistance à la corrosion en fonction de la nature chimique de l'alliage.

Série	Eléments d'alliage	Particules Intermétalliques ou secondes phases	Formes de corrosion généralement observées
5000	Mg	Al_3Mg_2 , Al_8Mg_5	Piqûres, généralisée, sous contrainte (pour les forts taux en magnésium)
1000	Aucun	Al_3Fe , Al_6Fe $Al_{12}Fe_3Si_2$	Piqûres, généralisée dépend de la quantité de secondes phases
6000	Si, Mg	$FeSiAl_5$, Fe_2SiAl_8 $Al_8Si_6Mg_3Fe$, Mg_2Si	Piqûres, généralisée
3000	Mn	Al_6Mn , Al_6MnFe	Piqûres, généralisée
4000	Si	Si	
7000	Zn, Mg Ajout de Cu	$MgZn_2$	Piqûres, généralisée, sous contrainte, feuillettante, intergranulaire (avec Cu)
2000	Cu	$CuFeMnAl_6$, Al_2Cu Al_2CuMg	Piqûres, généralisée, sous contrainte (sans traitement thermique), intergranulaire, feuillettante

Figure I.6 : Classement des alliages d'aluminium en fonction de leur résistance à la corrosion. Formes de corrosion généralement observées. [7]

Du point de vue des propriétés électrochimiques bénéfiques il peut être retenu d'une manière générale que les éléments : (Cr, Mg, Mn) apportent un effet bénéfique, tandis que les éléments: (Cu, Fe, Ni, Sn, Pb, Co) sont néfastes. (Si, Ti, Zn, Sb, Cd, Zr) ont aucun sans effet.

Les éléments d'alliages existent sous deux formes dans l'aluminium :

- en solution solide,
- sous forme de particules intermétalliques.

Dans ce dernier cas les particules intermétalliques ont un comportement plus ou moins nobles par rapport à l'aluminium, et peuvent conduire à la formation de micropiles induisant une attaque localisée.

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

VI. Aspect thermodynamique et cinétique de la réaction électrochimique: [9]

L'électrochimie est une discipline qui étudie la relation entre transformation chimique et passage de courant. Plusieurs aspects qui interviennent caractérisent une réaction électrochimique parmi eux on trouve:

✓ Aspect thermodynamique:

L'équilibre entre les phases pour un système donné peut être établi à partir de deux variables thermodynamiques: l'enthalpie libre d'un système, ou le potentiel chimique des espèces produit lors d'une réaction électrochimique relié par la relation ($G = \sum n_i \mu_i$), qui permet de quantifier la contribution de chaque espèce à l'enthalpie libre globale. Plusieurs facteurs peuvent perturber le potentiel d'un système comme: la température, pression et le PH d'un milieu. Des modèles évoquent l'évolution de ce processus tels que: le modèle de Helmholtz et Gouy-Chapman et le modèle de Stern. Cependant la thermodynamique d'un système nous permet de prévoir dans quel sens évoluer le système et quelle sera sa composition dans l'état d'équilibre final.

✓ Aspect cinétique:

La cinétique d'une réaction électrochimique, nous renseigne sur l'évolution de la réaction et sa vitesse. Arrhenius a annoncé que l'énergie d'activation d'un système influence directement sur la vitesse de la réaction car cette dernière est proportionnelle à la nature et à la concentration dans laquelle s'établit un échange de charge avec la phase solide.

VII. Prévention de la corrosion des alliages à base d'aluminium: [29]

La protection contre la corrosion doit répondre à des sollicitations complexes et variées du point de vue matériaux, mécanismes, milieux agressifs, facteurs mécaniques et physico-chimiques, etc. Il existe une multitude de moyens de lutte contre la corrosion : la très grande majorité d'entre eux font appel à un des deux modes d'action suivants:

- ✓ action sur le matériau ;
- ✓ action sur le milieu agressif.

Dans le premier groupe sont compris :

- ✓ L'utilisation des métaux et alliages ou des matériaux non métalliques résistants à la corrosion comme l'aluminium ;

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

- ✓ Les traitements de surface améliorant le comportement global de la pièce.

Dans le deuxième groupe sont comprises toutes les actions susceptibles de diminuer l'agressivité du milieu ambiant et notamment l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion.

Un groupe à part dans la protection contre la corrosion est constituée par les méthodes électrochimiques, à savoir la protection cathodique et la protection anodique.

La corrosion des alliages d'aluminium ne présente pas en générale de réels problèmes soient dans milieu sec ou humide, ces alliages ont bonne résistance à la corrosion. En fonction de l'agressivité de l'environnement et des conditions d'utilisation, des mesures doivent néanmoins parfois être prises afin de limiter ou d'empêcher la dégradation. Il existe divers moyens de prévention contre la corrosion ceux-ci sont résumés dans la figure

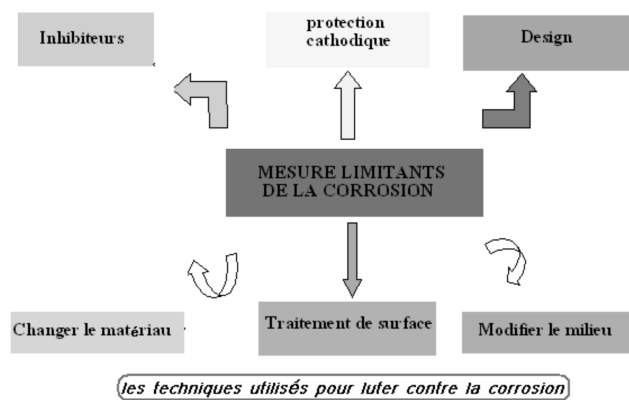


Figure I.7 : Moyens de prévention de la corrosion. [29]

Chapitre II
Processus et mécanismes de la
corrosion de
l'aluminium et ses alliages

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

II.1. Motivations:

La corrosion est une attaque destructive d'un d'un matériau métallique par des réactions chimique est électrochimiques avec son environnement. Les conséquences graves du processus de la corrosion deviennent un problème d'importance mondiale. En plus de notre rencontre journalière avec cette forme de dégradation, la corrosion cause les fermetures d'usine, le gaspillage de ressources valables, la perte ou la contamination du produit, la réduction de l'efficacité, l'entretien coûteux, et plus de conception chère.

L'aspect multidisciplinaire des problèmes de corrosion combinés avec les responsabilités distribuées liées à de tels problèmes augmentent seulement la complexité du sujet. La commande de corrosion est réalisée en identifiant et en comprenant des mécanismes de corrosion, en employant les matériaux et les conceptions résistants de corrosion, et en employant les systèmes, les dispositifs, et les traitements protecteurs.

Les sociétés, les industries, et les organismes gouvernementaux principaux ont établi des groupes et des comités pour s'occuper des origines relatives à la corrosion, mais dans beaucoup de cas les responsabilités sont écartées entre les fabricants ou les producteurs des systèmes et leurs utilisateurs. Une telle situation peut facilement multiplier la négligence et être tout à fait coûteuse. Donc pour connaître les types de corrosion des alliages d'aluminium afin de prendre des mesures préventives il est indispensable d'étudier la corrosion de ces alliages dans différents milieux corrosifs afin de choisir pour une utilisation donnée l'alliage adéquat ou bien de proposer une protection pour un alliage donné dans une optique d'augmenter la durée de vie. [4]

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

II.2. Corrosion de l'aluminium et ses alliages en solution aqueuse :

La corrosion est définie comme étant la destruction d'un métal ou d'un alliage due à des modifications chimiques ou électrochimiques. Il précise que cela exclut tous les processus mécaniques et en particulier les phénomènes d'érosion. En solution aqueuse, la majeure partie des phénomènes de corrosion est due à des processus électrochimiques [12].

L'interface matériau-solution est le lieu où s'équilibrent les réactions d'oxydoréductions entre le métal et les espèces contenues dans la solution. Cet équilibre est caractérisé l'égalité des courants anodiques et cathodiques au potentiel de corrosion. En fonction de la valeur du potentiel du métal dans un milieu donné trois cas peuvent se présenter, soit le métal se dissout, ou bien un oxyde se forme à la surface de celui-ci, ou il est immunisé. Les diagrammes d'équilibre E-pH dans l'eau à 25°C ou diagrammes de POURBAIX [13] renseignent sur l'état des métaux purs dans l'eau à 25 °C en fonction du potentiel et du pH.

Le diagramme E – pH (diagramme de POURBAIX) de l'aluminium est constitué de trois domaines :

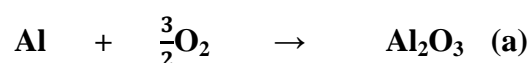
II.2.1. Immunité de l'aluminium :

L'immunité de l'aluminium est obtenue pour des potentiels très bas, très inférieurs au potentiel standard de l'aluminium qui est en dessous de -1,66 V voir Figure (II.1). Cet état ne peut pas être atteint en solution aqueuse [13].

II.2.2. Passivation de l'aluminium :

La passivation de l'aluminium se produit dans le domaine de pH compris entre 4 et 8. Dans ce domaine, les faibles teneurs en H⁺ et OH⁻ ne peuvent pas permettre d'obtenir les réactions (b) et (c).

La réaction (a), qui correspond à la formation d'un film de passivité à la surface du matériau, est désormais la réaction prépondérante.



Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

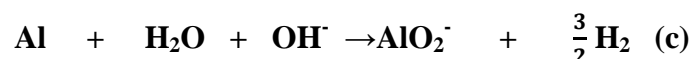
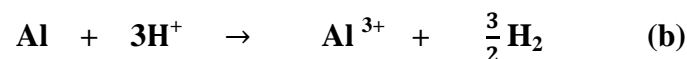
Dans ce cas c'est la réduction de l'oxygène dissous qui permet la croissance du film de passivité. En règle générale, l'augmentation du temps d'immersion améliore les propriétés protectrices des films formés. Il est important de signaler que l'addition d'éléments en solution dans l'aluminium modifie la nature de la couche d'oxyde formée [14]. On peut citer l'exemple de l'addition du Magnésium qui permet d'obtenir un film d'oxyde mixte qui contient des zones d'hétérogénéités qui présente propriétés différentes en termes de résistance à la corrosion de l'alumine seule. [14]

L'expérience montre néanmoins que l'aluminium et ses alliages subissent parfois des attaques de corrosion localisées dans le domaine de passivité de l'aluminium. [6]

II.2.3. Dissolution de l'aluminium : [6]

La dissolution de l'aluminium se produit de façon généralisée pour des pH inférieurs à 4 ou supérieurs à 8 dans la gamme de potentiels où se trouve en général l'aluminium. Il été démontré par N.ZAZI et al que l'alliage AlMg (5083-H321) ayant subi un recuit d'homogénéisation de 1h 30mn à 420°C s'est corrodé d'une façon généralisé pour le pH de 7.

Pour ces valeurs de pH, l'acidité et l'alcalinité de la solution à l'interface métal - solution favorisent respectivement les réactions (b) et (c) :



La stabilité de la surface de l'aluminium, en fonction du pH de milieu, peut être enlevée du diagramme E-pH (POURBAIX). Car dans les cas pratique on n'atteint jamais ce domaine.

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

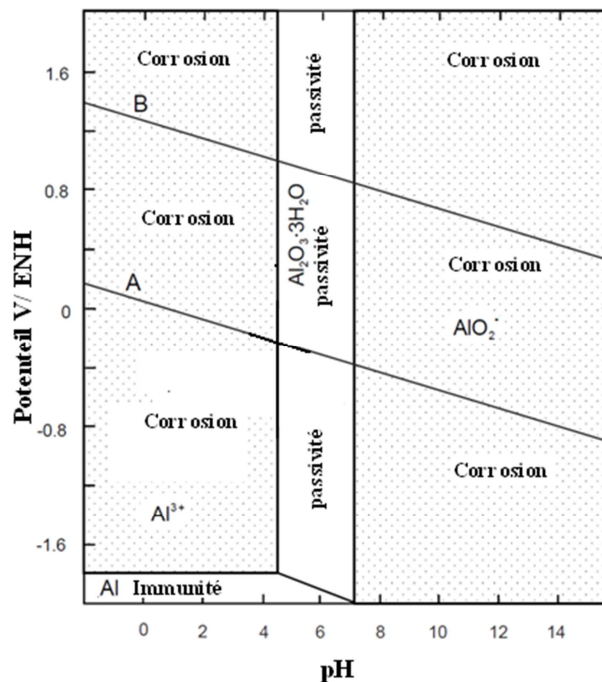


Figure II.1 : Diagramme (POURBAIX) E-pH de l'aluminium dans l'eau. [16]

II.3. Le phénomène de corrosion localisée pour l'aluminium et ses alliages: [15]

D.Landolt présente de nombreux cas d'étude liés à des phénomènes de corrosion localisée. La mise en contact de deux matériaux différents, les hétérogénéités de microstructure dans un alliage, la présence de certaines espèces agressives dans les solutions et les phénomènes de dépôt à l'interface matériau - solution sont parmi les principaux artisans du déclenchement des attaques de corrosion localisées.

II.4. Mécanisme de la corrosion de l'aluminium dans un milieu aqueux :

L'aluminium en contact avec une solution aqueuse s'oxyde de la manière suivante :

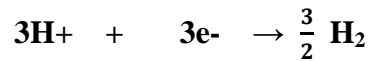
II.4.1. Formation de cation d'aluminium



Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

Les électrons libérés vont entrer simultanément au contact avec la solution dont le pH est voisin de la neutralité (eau douce, eau de mer, humidité de l'atmosphère...). Selon les conditions thermodynamiques les deux réactions de réduction possibles sont :

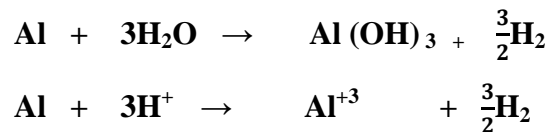
II.4.2. Réduction d'ions hydrogène (H^+) :



II.4.3. Réduction de l'oxygène O_2 :

- En milieu alcalin ou neutre : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
- En milieu acide : $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

La corrosion de l'aluminium va se traduire par la somme de deux réactions électrochimique définies préalablement :



II.5. Rôle du film d'oxyde:

La très bonne tenue à la corrosion de l'aluminium et de ses alliages est due à la présence permanente à la surface du métal d'un film continu d'oxyde d'aluminium, appelé « alumine » qui le rend « passif » à l'environnement naturel. Ce film se forme dès que le métal est mis au contact d'un milieu oxydant : l'oxygène de l'air, l'eau. C'est ainsi qu'il se reforme instantanément au contact de l'air lors des opérations de mise en forme : pliage, découpage, perçage, polissage et lors du soudage, au cours de la solidification du cordon de soudure [10].

Bien qu'il ait une très faible épaisseur, comprise entre 5 et 10 nanomètres, ce film d'oxyde constitue une barrière entre le métal et le milieu environnant (l'air et l'air humide...etc.). Sa stabilité physico-chimique a donc une très grande importance sur la résistance à la corrosion de l'aluminium et de ses alliages. Elle dépend, en particulier, des caractéristiques et de la composition du milieu [10].

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

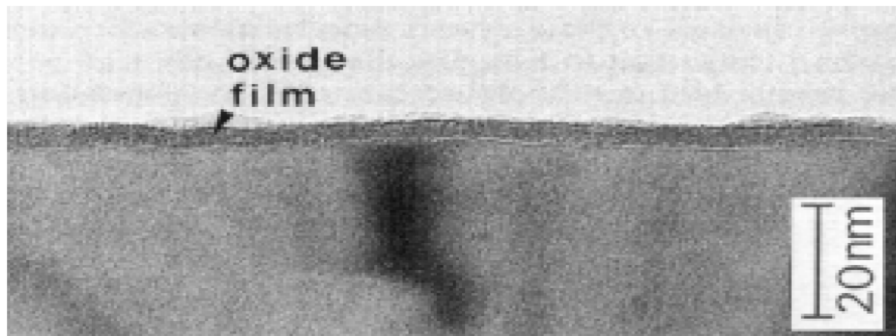


Figure II.2 : Le film d'oxyde couvre d'aluminium

Donc l'aluminium dépend d'un film protecteur d'oxyde d'aluminium à la surface. Ce film est stable dans des milieux aqueux de pH variant entre 4.0 et 8.5, ce film est naturellement renouvelable, en cas d'abrasion accidentelle ou d'autres dommages mécaniques de la surface le film d'oxyde est rapidement renouveler. Les conditions qui favorisent la corrosion de l'aluminium et ses alliages doivent être ceux qui dégradent sans interruption le film ou favoriser les conditions qui fragilisent localement le film d'oxyde et réduire au minimum la disponibilité de l'oxygène pour le reconstruire. L'acidité ou l'alcalinité de l'environnement et les chlorures affecte de manière significative comportement de corrosion des alliages d'aluminium.[4]

Quand l'aluminium est exposé aux conditions alcalines, la corrosion peut se produire, et lorsque le film d'oxyde est perforé localement, l'attaque est accélérée et l'aluminium est attaqué plus rapidement que son oxyde. En milieu acides, l'oxyde est plus rapidement attaqué que l'aluminium.[4]

II.6. Les facteurs favorisant la corrosion : [1]

II.6.1. Le milieu :

Le milieu joue un rôle très important sur la tenue à la corrosion d'un métal ou d'un alliage.

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

II.6.1.1. La nature de milieu :

Dans les milieux aqueux ionisés, les réactions électrochimiques fondamentales de la corrosion des métaux peuvent avoir lieu.

Dans le milieu organique non aqueux, non ionisés, il n'y a pas de réaction d'oxydoréduction possibles, il faut donc s'attendre à ce que la tenue soit très différente.

Il faut aussi distinguées entre :

Les milieux solides, comme les plus pulvérulents, qui sont généralement peu réactifs, sauf en présence d'humidité, les sels minéraux anhydres n'ont en théorie aucune action s'ils sont réellement anhydres, dans l'eau de constitution d'un sel, par exemple, les molécules d'eau sont sans action tant qu'elles sont liées à la molécule du sel, mais la liaison peut être rompue en cas de chauffage.

Les milieux gazeux, qui sont généralement peu réactifs à la température ambiante sauf en présence d'humidité.

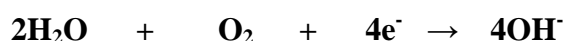
Les milieux liquides, dans lesquels le contact avec le métal est facile, surtout si le liquide mouille le métal, c'est dans ces milieux que les réactions sont les plus probables.

II.6.1.2. La concentration :

La concentration est un facteur important de la corrosion des métaux, en générale la vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de la concentration des agents actifs de la corrosion, mais la relation entre leurs concentrations dans l'air, dans l'eau...etc., et la vitesse de corrosion n'est pas forcément proportionnelle.

II.6.1.3. La teneur en oxygène :

L'oxygène est un oxydant et un facteur de corrosion en ce sens qu'il dépassive les cathodes en entretenant la réaction cathodique.



Ce qui a comme conséquence de favoriser la réaction d'oxydation à l'anode, c'est-à-dire la corrosion, avec l'aluminium, ce n'est pas aussi simple par ce que la corrosion est régie

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

par le film d'oxyde naturel, lequel a besoin d'oxygène pour se reconstituer. C'est la raison pour laquelle le rôle de l'oxygène n'est pas déterminant.

II.6.1.4. Le pH :

Le pH est un facteur très important a de la tenue a la corrosion des métaux dans les solution aqueuses, il est bien connu que l'acier inoxydable résiste mal dans les milieux acides et que l'aluminium supporte mal les milieu très alcalins à base d'hydroxyde de sodium ou de potassium.

Selon la théorie de S.ARRHENIUS, la conductivité électrique de l'eau s'explique par la dissociation d'une partie de ses molécules (10^{-7} à 25°C).



Sachant que : $\text{pH} = \text{Log} [\text{H}_3\text{O}^+] = \text{Log} [\text{H}^+]$;

Rapport $[\text{H}^+/\text{OH}^-]$	Valeurs des pH	Milieu
$[\text{OH}^-] = [\text{H}^+]$	$=7$	neutre
$[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$	<7	acide
$[\text{OH}^-] > [\text{H}^+]$	>7	alcalin

Tableau II.1 : Echelle des Ph

Le pH caractérise le milieu aqueux, c'est une donnée très importante en chimie, en électrochimie et en biologie parce qu'il aide à la compréhension des réactions en milieu aqueux. Il intervient sur la précipitation des hydroxydes : ainsi, magnésie $\text{Mg}(\text{OH})_2$ contenue dans l'eau ou l'eau de mer précipite en milieu alcalin, en général à la surface du métal, ce qui peut modifier sa teneur à la corrosion. La précipitation du carbonate est liée aussi au pH.

II.6.1.5. La température :

Il bien connu que l'élévation de température augmente la vitesse des réactions chimiques, la structure de certains alliages d'aluminium peut évoluer sous l'effet de chauffages prolongés à des températures relativement basses et modifier les caractéristiques mécaniques et la résistance à la corrosion.

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

II.6.1.6. La pression :

La pression si elle est homogène n'a pas d'influence sur la corrosion de l'aluminium si non elle provoque une corrosion sous contrainte externe.

II.6.2. Facteurs liés au métal :

Il concerne le métal (ou alliage) lui-même, c'est sur la composition des alliages, les gammes de transformation et les traitements thermomécaniques que les métallurgistes et les corrosionnistes essayent de jouer pour obtenir la meilleure résistance à la corrosion possible et parmi ces facteurs on trouve :

II.6.2.1. Le mode d'élaboration et de transformation :

Il existe plusieurs modes d'élaboration des alliages d'aluminium (ce n'est pas un facteur déterminant).

II.6.2.2. Les traitements thermomécaniques :

Les traitements thermomécaniques des alliages à durcissement structural : trempe, mise en solution, revenu, laminage à froid, laminage à chaud, emboutissage, filage, tréfilage ...etc., ont une incidence très importante sur la sensibilité de ces alliages à certaine forme de la corrosion en particulier, la corrosion inter cristalline et la corrosion sous contrainte.

II.6.2.3. La composition des alliages :

Les études ont été faites pour mesurer l'influence de la plus par des éléments d'alliages et d'impureté sur la corrosion des alliages d'aluminium, depuis le XX^e siècle. Contrairement à ce qui est parfois avancés la « pureté » n'améliore pas la tenue à la corrosion de l'aluminium.

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

II.6.2.4. L'état de surface :

Il a une influence sur la tenue à la corrosion de l'aluminium, l'expérience montre que les surfaces rayées, grattées ou moulées sont des sites où se développent préférentiellement les corrosions (corrosion par crevasses...etc.). On le voit très souvent sur les zones meulées et usinées des structures soudées d'un réservoir par exemple après épreuve hydraulique. Il est fréquent de constater que les décapages, acide ou alcalin, affaiblissent la résistance à la corrosion par piqure de l'aluminium.

II.6.3. Les facteurs liés aux conditions d'emploi :

Ils sont souvent décisifs, l'expérience montre que dans beaucoup de cas de corrosion en service, n'est pas l'alliage souvent choisi est bon se qui est en cause, mais les dispositions constructives et les conditions d'emploi sont des facteurs de corrosion nous pouvons citer :

II.6.3.1. Mode d'assemblage :

A par les alliages de famille 7000 sans cuivre, les soudages à l'art MIG ou TIG, effectués dans les conditions normales avec les alliages d'apport conformes, ne diminuent pas la résistance à la corrosion de la zone affectée thermiquement et du cordon de soudure des alliages soudables. Le brassage réalisé dans les conditions métallurgiques normales n'est pas non plus un facteur de corrosion.

Les autres modes d'assemblages mécaniques : rivetage, boulonnage, ...etc. ne sont pas en soi des facteurs de corrosion puisqu'ils ne modifient pas la structure de métal, comme le font le soudage et le brassage.

II.6.3.2. Les dispositions constructives :

Il faut entendre par ce terme tout ce qui a trait aux formes définitives d'un matériel et à sa réalisation. De mauvaises dispositions constructives peuvent avoir un effet désastreux sur la résistance à la corrosion, toutes choses étant égales par ailleurs ; choix correct des alliages ; condition de service acceptable, etc.

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

Il est de la responsabilité des bureaux d'études d'éviter certaines configurations qui favorisent les rétentions d'eau, les zones à recoins ou s'accroissent des projections humides et où peut se développer une corrosion sévère.

II.6.3.3. Les contacts avec d'autres métaux et autres matériaux :

L'assemblage mécanique avec d'autres métaux (ou de graphite) sont possibles à conditions d'apprécier le risque de corrosion galvanique et prendre, si le faut, les mesures nécessaires pour l'éviter.

Le contact avec les matériaux non métallique ne présente pas les risques de corrosion galvanique, s'ils sont poreux, ils peuvent favoriser la corrosion d'aluminium.

II.6.3.4. Les conditions d'entretiens :

Que ce soit le matériel à usage industriel ou dans le bâtiment, l'entretien périodique est un facteur de longévité. Élimination régulière de poussière et des dépôts minéraux réduit très sensiblement le risque de corrosion par piqure, des batteries d'échangeurs thermiques à ailettes en aluminium sont capables à tenir plus de 10 ans, même dans des usines d'engrais qui connaissent un fort empoussiérament, s'ils sont entretenus par un lavage au jet des surfaces d'échange.

II.6.3.5. Les contraintes mécaniques :

Ils peuvent de certains cas entraîner une corrosion sous contrainte.

II.7. Processus de la corrosion : [15]

La corrosion d'un métal ou d'un alliage peut se développer suivant différents processus qui caractérisent chacun un type de corrosion :

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

II.7. 1. Corrosion chimique :

Cette corrosion se traduit par une réaction hétérogène entre le métal et une phase gazeuse ou liquide. Si le réactif est gazeux, la corrosion est appelée corrosion sèche ou oxydation : par contre, si le réactif est liquide, la corrosion aura lieu avec formation d'un produit de corrosion à la surface du métal. Dans ce type de corrosion il n'y a pas de passage de courant électrique. On rencontre rarement ce type de corrosion. Elle présente 3% du total des cas.

II.7.2. Corrosion électrochimique :

Lorsqu'il existe une hétérogénéité, soit dans le métal soit dans le réactif, il y aura par conséquent formation d'une pile électrochimique. Un courant circule entre l'anode et la cathode, et les zones qui constituent l'anode seront attaquées. Ce type de corrosion représente 97% du total des cas.

II.7.3. Corrosion biochimique :

C'est l'attaque bactérienne des métaux, elle est rencontrée particulièrement dans les canalisations enterrées.

II.7.4. Corrosion-érosion :

Lorsque les produits de corrosion forment un dépôt adhérent et continu à la surface du métal, ils ralentissent en général la vitesse de corrosion, la couche formée peut être éliminée en certain point par abrasion de métal, due au mouvement du liquide lui-même ou bien à celui des particules solides qu'il contient il y a alors accélération de la corrosion. Il est de même lorsque deux pièces se déplacent l'une par rapport à l'autre.

II.8. Techniques d'évaluation de la corrosion: [16]

II.8.1. Techniques d'évaluation de la cinétique de la corrosion :

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

Les réactions électrochimiques sont affectées par plusieurs variations. Son comportement reste très attaché aux conditions dont laquelle la réaction s'évalue (cinétique et thermodynamique). Pour exploiter ces diverses modifications plusieurs méthodes électrochimiques classiques adoptées :

- Suivi du potentiel de la corrosion en fonction de temps $E=f(t)$
- Exprimer la variation de la densité de courant en fonction du potentiel (potentiodynamique)
- Mesure l'évolution de la résistance à la polarisation (R_p) au cours de temps
- Susceptibilité à la corrosion localisée par voltammétrie cyclique
- Par spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS).

II.8.1.1 Evolution du potentiel au cours de temps:

Le suivi temporel du potentiel de corrosion libre ou de corrosion sous tension a un double objectif : d'une part, il permet d'avoir une première idée du comportement de la surface en milieu corrosif (corrosion, formation d'une couche passive ...etc.), et d'autre part, il permet de déterminer le temps nécessaire à l'obtention d'un régime stationnaire (la passivation), indispensable pour les tracés potentiodynamiques et les spectres d'impédances.

Cette mesure est effectuée entre l'électrode de travail et une l'électrode de référence.

L'interprétation repose sur le diagramme dit d'Evans qui exprime graphiquement que le courant global correspond à la somme algébrique des composants anodiques et cathodiques.

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

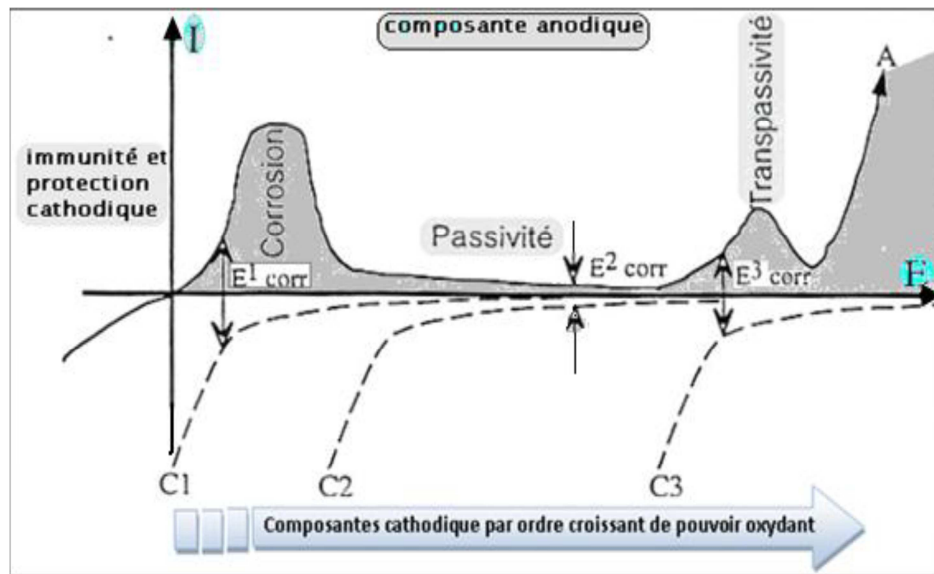


Figure 3 : Courbe de passivation

Il faut toutefois garder présent à l'esprit qu'il s'agit là d'une information issue de la thermodynamique qui ne donne donc aucune indication sur la vitesse effective de dissolution dans les domaines de corrosion ou de passivation. Les mesures de potentiel de corrosion sont donc systématiquement complétées par des tracés de courbe intensité – potentiel, ou courant tension, Dans le prochain paragraphe [16].

II.8.1.2 Courbes de potentiodynamiques :

Une courbe potentiodynamique décrit l'évolution de la densité de courant de l'électrode de travail soumise à une différence de potentiel. Cette courbe donne des informations sur la vitesse de la réaction électrochimique et sur les éventuelles modifications de la surface de l'électrode étudiée. Nous imposons, grâce au Potentiostat, une différence de potentiel entre l'électrode de travail et l'électrode de référence et on mesure la densité de courant résultant traversant l'électrode de travail. [9]

Ces courbes sont données en logarithme décimal de la densité de courant, en fonction de potentiel appliqué, ce dernier peut être balayés dans des marges bien définies (selon la nature de métal à étudié...etc.). De la même manière en fixe une vitesse de corrosion (mV/s).

Donc les courbes potentiodynamiques sont composées de deux branches

- Une branche anodique : correspondante à la superposition des courants résultant des réactions d'oxydation.

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

- Une branche cathodique : correspondante à la superposition des courants des réactions de réduction. La figure suivante montre ces deux branches. [16]

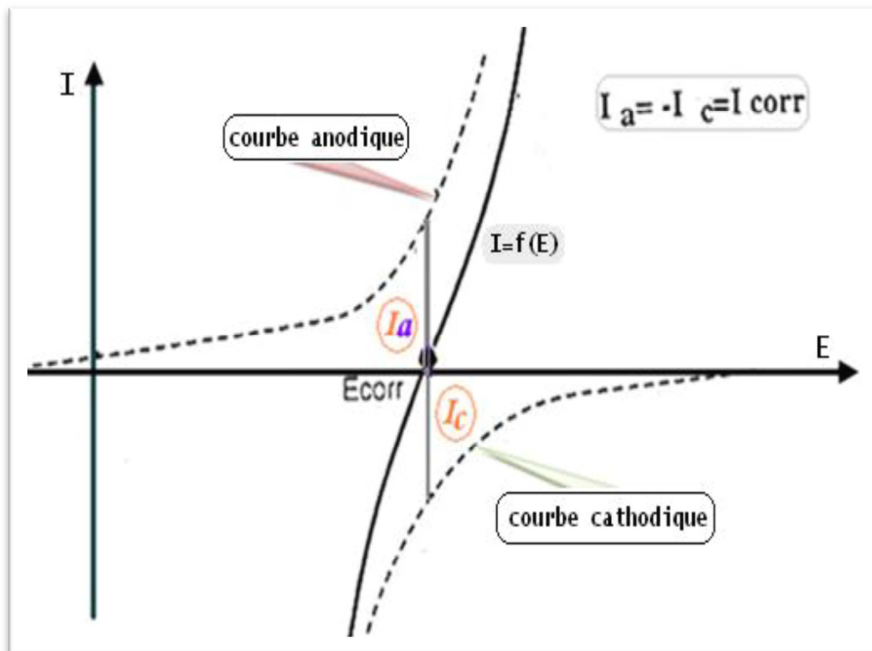


Figure 4 : Courbe de polarisation [9].

II.8.1.3. Mesure de la résistance à la polarisation aux cours de temps :

La mesure de la résistance à la polarisation (R_p) est une technique peu, voire non perturbatrice de l'interface métal/milieu. Elle permet donc un suivi de l'évolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion de l'échantillon. La résistance de polarisation est égale à l'inverse de la pente à la courbe de polarisation $i = f(E)$, au voisinage du potentiel de corrosion.

Ainsi à une faible résistance de polarisation correspond une forte vitesse de corrosion et inversement. La détermination de la vitesse de corrosion peut être extraite à partir de l'exploitation des courbes intensités potentielles. Par construction la courbe $i(E)$ de la réaction anodique et la réaction cathodique on peut déterminer la densité du courant de corrosion i_{corr} (si la corrosion est contrôlée par uniquement le transfert de charge), définie entre les composantes anodique et cathodique pour un courant global nul $i=0$.

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

La détermination par un procédé électrochimique indirect de la valeur d' i_{corr} a donné lieu à un très grand nombre des travaux dont beaucoup ne présentent pas un grand caractère d'originalité par rapport aux publications originales de STERN et COLL. qui a laissé son nom à deux méthodes. Elles sont purement et simplement calquées sur la détermination du courant d'échange d'un couple redox en cinétique électrochimique d'une électrode simple ou bien du courant de corrosion des électrodes mixtes dans le cas d'une corrosion contrôlée uniquement par le transfert de charge.

Le potentiel d'équilibre dans le cas d'une électrode mixte correspond le potentiel de corrosion et le courant de corrosion. Les difficultés existantes pour un potentiel redox s'ajoutent à celles liées au fait qu' E_{corr} est un potentiel mixte. L'impossibilité de calculer i_{corr} à l'aide de la seule valeur du potentiel de corrosion conduit naturellement à exploiter la forme de la courbe courant-tension au voisinage de ce point, là où les composantes anodiques et cathodiques contribuent de manière appréciable au courant global. La 1ère méthode est une méthode d'extrapolation, la 2ème une méthode locale. Toutes deux reposent sur une forme analytique des relations élémentaires $I = f(E)$: la loi de TAFEL. [9]

II.8.1.4. Passivité d'aluminium et ces alliages :

Le potentiel d'aluminium et ces alliages dans la plupart des milieux à 25°C est de l'ordre de (-0,5 à -0,8V) par rapport à l'électrode de l'hydrogène, alors que le potentiel standard est de -1,66V, cette différence très importante entre les deux potentiels sets due à la surface du métal d'un film d'oxyde qui se forme spontanément dès que l'aluminium entre en contact avec un oxydant (eau, air...etc.).La présence de se film contenu d'alumine (Al_2O_3) rend le métal passif et l'isole du milieu corrosif.

II.8.1.5. Sensibilité des alliages d'aluminium :

Le laminage et le filage orientent les grains dans le sens de la transformation, la corrosion sous contrainte ayant une propagation inter cristalline, la sensibilité à ce type de corrosion n'est donc pas le même dans les trois directions par rapport au sens du laminage ou

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

de filage. La résistance à la corrosion sous contrainte des produits épais laminés ou filés dépend du sens prélèvements des éprouvettes. Elle est toujours plus faible dans le sens travers court que dans les deux autres directions.

II.8.1.6. Protections :

L'expérience pluri décennale des applications dans le bâtiment, dans la construction navale, montre que la plupart des alliages des familles 1000, 3000, 5000, 6000 non protégés ont une excellente résistance à la corrosion, aux intempéries. Si l'on souhaite protéger ces alliages contre la corrosion par piqûres, contre le ternissement, il y a deux solutions classiques : l'**anodisation** ou la **peinture**.

Par contre, il faut rappeler que les alliages des familles 2000 et 7000 ne peuvent pas être utilisés dans des milieux humides, aux intempéries,...etc. sans être protégés soit par anodisation soit par peinture.

Enfin, il paraît important de rappeler qu'un revêtement, une protection, peuvent subir une usure, une altération locale, mettant à nu localement le métal. Il n'est donc pas possible d'envisager des applications dans des produits chimiques ou des milieux très agressifs (par exemple des solutions d'acide ou de bases minérales) vis-à-vis des alliages d'aluminium en ne comptant que sur la seule protection. Cette dernière remarque est vraie pour tous les métaux et alliages [10].

II.9. Les alliages d'aluminium-magnésium : [31]

Le comportement à la corrosion de l'aluminium diffère du comportement de ses alliages, et le comportement de l'alliage **d'aluminium-magnésium** varie avec le type de traitement et prétraitement préalable appliqué. Ceci-dit nous pouvons dire qu'il ya un rôle très important de la microstructure sur le processus et la cinétique de la corrosion quelque soit sa morphologie (généralisé ou bien localisée) par exemple la sensibilité d'un précipité par rapport au reste de la matrice peut être évalué et simulé en tenant compte du processus de couplage galvanique et de transport des espèces, grâce à l'évolution récente d'un ensemble de

Chapitre II : Processus et mécanismes de la corrosion de l'aluminium et ses alliages

techniques et de méthodes d'analyse chimique, électrochimiques et électriques dont la résolution spatiale est adaptée à l'échelle micronique qui caractérise la microstructure des alliages métalliques. [18]

Les alliages **d'aluminium-magnésium** ont une bonne résistance à la corrosion sous contraintes, mais dans certaines circonstances cette corrosion peut avoir lieu, ceci est dû à la formation des précipités anodiques (Al_3Mg_2) aux joints de grains, ce qui induit une corrosion galvanique localisée qui se transforme en corrosion sous contrainte inter granulaire produisant des fissures. [19]

La susceptibilité à la corrosion sous contrainte en fonction de la ségrégation du magnésium aux joints de grains, par des mises en évidence expérimentales directes et indirectes, ils ont déduit que les paramètres importants à prendre en considération pour le cas de la corrosion sous contrainte aux joints de grains causée par la ségrégation du magnésium, sont la température de mise en solution lors du traitement thermique et la précipitation aux joints de grains, les auteurs ont ils ont mis en évidence l'existence d'une ségrégation (stable ou bien instable) du magnésium, qui favorise la pénétration de l'hydrogène dans l'alliage d'aluminium, cette la ségrégation et l'interaction entre les précipités critiques aux joints des grains avec l'hydrogène, sont les causes de la fissuration et de la susceptibilité à la corrosion sous contraintes. [20]

Chapitre III
Procédés et techniques
expérimental

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

Dans cette partie nous présentons toutes les opérations effectuées pour mener bien notre travail, avec la description des techniques et matériels utilisés pour cette étude.

III.1 Choix de l'alliage d'aluminium :

L'obtention d'alliages d'aluminium-magnésium dont les propriétés de résistance mécanique et résistance à la corrosion adéquates, nécessite des connaissances exactes et précises des phénomènes et processus se déroulant lors de leurs, élaborations, traitements thermomécaniques, et leurs utilisations.

Le comportement mécanique et chimique (l'endommagement et la dégradation) de ces alliages dépend étroitement de leurs constitutions et leurs propriétés physico-chimique.

Avant de commencer notre démarche, vous devez savoir que le choix de l'alliage aluminium 2,5% de magnésium a été fait en raison de ces nombreuses applications dans plusieurs secteurs tels que l'industrie automobile, aéronautique, navale et alimentaire [10].

Les alliages de fonderie sont composés de matrice sous forme dendritique et de porosités ce qui les rend difficile à caractérisés par essais électrochimiques, de ce fait il y a peu d'information sur les propriétés chimiques des alliages d'aluminium de fonderie. C'est pour cette raison que nous avons effectué une caractérisation chimique de l'alliage d'aluminium 2,5% de magnésium.

III.2 Composition chimique de l'alliage :

L'alliage étudié est un alliage de fonderie à base d'aluminium additionné au magnésium et silicium et cuivre. Sa composition chimique est donnée dans le (Tableau III.1):

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

Tableau III.1: composition de l'alliage utilisé:

Elément	Al	Mg	Si	Cu
Tenue en %	97,13%	2,5%	0,24%	0,13%

Les échantillons ont été prélevés à partir d'un lingot d'aluminium destiné pour la fabrication des ustensiles.

III.3 Travail effectué:

Préparation à l'observation métallographique :

La microscopie métallographique nécessite une préparation de l'échantillon à observer. Cette préparation passe par plusieurs étapes, à savoir :

III.3.1 Prélèvement des échantillons :

Pour les essais électrochimique nous avons découpé 6 échantillons de dimension 1,5cm×3cm à l'aide d'une scie à métaux. Ces échantillons sont découpés dans de différentes zones du lingot d'aluminium. Et pour l'étude microscopique nous avons prélevé des échantillons de dimensions aléatoires.

III.3.2 Observation au microscope optique :

La connaissance de la structure métallurgique de l'alliage à étudier est un point essentiel pour la compréhension des divers phénomènes intervenant dans le processus de corrosion.

III.3.2.1 l'enrobage :

Pour faciliter la manipulation de l'échantillon lors du polissage on a effectué un enrobage à froid en utilisant une la patte ABRO se solidifiant à la température ambiante

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

III.3.2.2 Le polissage :

Le polissage effectué comporte trois phases :

- ✓ **le dressage** : il a pour but de créer la surface plane d'examen. Il a été fait sur papiers abrasifs de granulométries 120, 240 et 400.
- ✓ **Le dégrossissage** : cette phase, qui est la plus délicate, permet d'obtenir une surface lisse, ne contenant peu de rayures invisible à l'œil nu qui disparaîtront dans la dernière phase. Les granulométries utilisées sont 800, 1200 et 4000.
- ✓ **La finition** : nous avons utilisé durant cette phase de l'alumine en suspension reposé 24 heures.

Les échantillons destinés pour l'observation au microscope optique ont été attaqués 5 secondes avec une solution de 0.1% NaOH après une première observation au microscope optique. Après attaque chimique, la surface est rincée à l'eau et séchée à l'air chaud du sèche-cheveux. Les surfaces attaquées sont très sensibles au toucher, à l'abrasion et à toute pollution même gazeuse. Pour les préserver nous avons placé les échantillons attaqués dans des boîtes.

Les échantillons destinés pour l'observation au microscope électronique à balayage n'ont pas été attaqués.



Figure III.1 : Echantillon après attaque

III.3.2.2 Les équipements utilisés pour le polissage:

Les polisseuses :

Nous avons utilisé une polisseuse à deux disques de types « STRUERS » alimentés sous une tension de 220V et d'une puissance de 150W muni d'un dispositif d'arrosage pour le dressage et le dégrossissage (Figure III.1).

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales



Figure III.2 : Les Polisseuse de types « STRUERS ».utilisé pour le dressage et le dégrossissage.

Pour la finition nous avons utilisé une polisseuse à un seul disque de type « STRUERS » alimentée sous une tension de 220 V et d'une puissance de 432W.



Figure III.3 : Les Polisseuse de types « STRUERS ».utilisé pour la finition

Microscope optique :

Pour procéder à l'observation des différents échantillons avant et après le polissage et l'attaque chimique, On a utilisé un microscope optique universel de type ZEISS, alimenté

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

sous une tension de 220V avec une fréquence de 50 Hz et une puissance de 100W. Muni d'un appareil-photo automatique, ayant un pouvoir de résolution allant de 50 à 1000 fois.



Figure III.4 : Microscope optique

III.4 Observation au microscope électronique à balayage (MEB) :

Le microscope électronique à balayage (MEB) Figure III.5 nous a permet de visualiser et d'étudier la topographie de la surface du matériau avant et après immersion. Le microscope utilisé est de marque Philips ESEM XL30 à filament de tungstène ceci est couplé à un système complet de microanalyse par dispersion d'énergie (EDS X).

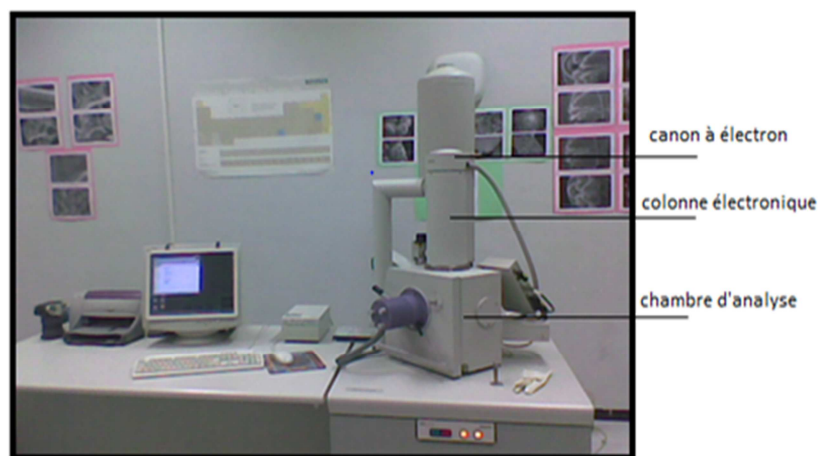


Figure III.5 : Microscope électronique à balayage (MEB).

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

III.5 Mesure de microdureté :

Nous avons utilisé un microduromètre de marque ZWICKROELZHV1M model tester (Figure III.6) et nous avons utilisé une charge de 10 g, nous avons effectué 5 mesures par échantillon.

Le microduromètre est mené d'un pénétrateur en diamant en forme pyramidale d'angle au sommet de 136° , d'un sélecteur de charge qui sélectionne une charge de 10 gf pendant une durée de 20 s et une table sur laquelle on pose l'échantillon. L'empreinte affichée automatiquement est constitué d'une diagonale laissée par le pénétrateur.



Figure III.6 : Microduromètre

III.6 Préparation des échantillons pour les essais de corrosion (préparation des électrodes de travail)

L'analyse électrochimique, reste un paramètre important pour évaluer le comportement à la corrosion d'un matériau, cette technique consiste à établir un dispositif de mesure bien spécifique.

✓ Opération 1

Les échantillons ont été percés près de l'extrémité au moyen d'une perceuse avec un foret de 2 mm de diamètre.

✓ Opération 2

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

Nous avons fait passer un fil conducteur en cuivre de diamètre 2 mm à travers le trou percé, par la suite nous avons plié celui-ci autour de l'échantillon et puis nous l'avons écrasé contre l'extrémité de l'échantillon pour assuré une bonne conduction électrique.

✓ Opération 3

Nous avons défini une surface de travail de un cm^2 sur l'échantillon et nous avons caché le reste de la surface ainsi que la partie du conducteur au contact avec l'échantillon pour s'assuré que c'est uniquement l'échantillon qui conduira l'électricité.

Au cours des essais de corrosion l'électrode de travail prendra la position de l'anode et il se corrode.

III.7 préparation du bain de corrosion :

Nous avons mélangé dans une fiole 1 litre d'eau déminéralisée avec 3 gramme de NaCl à haute pureté pour obtenir une solution de 0,3% NaCl (3 g/l), qu'on met par la suite dans un récipient en verre. Nous avons choisie pour les essais de corrosion une solution de 0,3% de NaCl qui représente une solution de faible concentration, par ce que les alliages de fonderie sont utilisés pour la fabrication des pièces mécaniques, celles-ci sont mises en service en contact avec l'air libre renfermant une faible concentration de chlorures. Les chlorures sont des molécules pouvant fragilisées la couche de passivation (Al_2O_3) formée à la surface des alliages d'aluminium.

III.8 Préparation de l'électrode de référence :

L'électrode de référence choisie est une l'électrode de AgCl / Ag de potentiel $E^\circ=197\text{mV}$

Pour le préparer on a immergé un fil d'argent pendant 30secondes dans l'eau de javel comportant les molécules (ClO^-), sur la surface du fil d'argent une couche noire d'AgCl s'est formée (**Figure III.7**). Pour éliminé les molécules de (ClO^-) accroché à la surface de l'électrode on a rincé l'électrode avec de l'eau déminéralisée.

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales



Figure III.7 : Electrode de référence

III.9 Préparation de l'électrode auxiliaire : l'électrode auxiliaire utilisée est l'électrode de graphite que nous avons récupéré d'une électrochimique. Étant donné que cette électrode est courte elle a été reliée à un fil conducteur en cuivre (Voir **Figure III.8**). Selon le sens de branchement du dispositif d'alimentation. L'incorporation de cette électrode dans la cellule électrochimique a pour objectif d'améliorer la lisibilité de courant car il joue toujours un rôle symétrique de celui de l'électrode de travail.



Figure III.8 : Electrode de graphite

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

III.10 Montage pour l'essai de corrosion :

Le montage utilisé est constitué de deux multimètres, le premier permet la mesure de la différence de potentiel entre l'échantillon de travail et celui de référence, le second permet la mesure de l'intensité de courant entre l'électrode de graphite et l'électrode de travail. Donc le montage utilisé est un montage à trois électrodes. Les mesures ont été réalisées sur une durée de trois jours.

Dans ce travail nous avons effectué trois types d'essais :

- ✓ Essai de corrosion libre (**Figure III.9**). cet essai nous permettra de déterminer le potentiel de corrosion libre de cet alliage, peut nous renseigné sur la passivation de cette alliage et peut aussi nous renseigné sur la densité de courant de corrosion libre.
- ✓ Essai de corrosion sous une tension continue imposée de potentiel de 1,5V (pour assuré cette tension nous avons utilisée une pile électrique de 1,5V). nous avons effectué cet essai pour montrer que la pièce mécanique réalisé avec cet alliage peu être sous tension imposée et cet essai nous renseigne sur la réponse en corrosion de cet alliage sous une tension imposée de 1,5V. au cours de l'essai nous avons vérifié la variation de tension de la pile.
- ✓ Essai de corrosion en présence d'un champ magnétique permanent (**Figure III.10-11**). Nous tenant a signalé que l'intensité du champ magnétique est de 40mT au centre de l'aimant et nous avons disposé notre électrode de travail à l'intérieur de l'aimant.

Le champ magnétique peut modifier la redistribution et l'orientation des charges électriques et ionique, ce changement peut modifier la morphologie et la cinétique de corrosion.

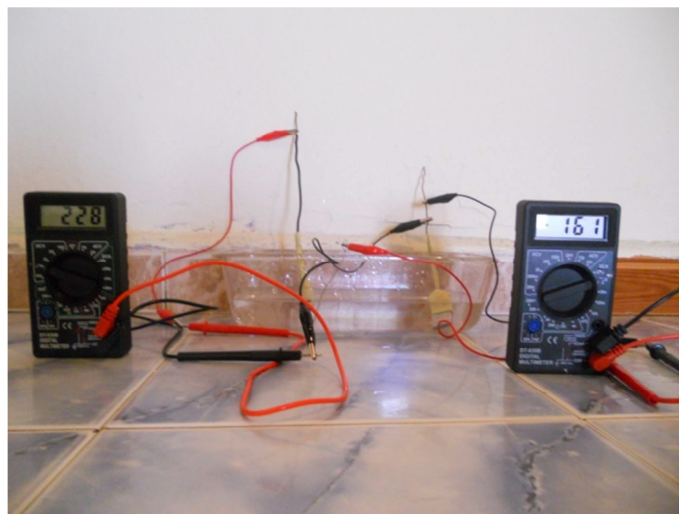


Figure III.9 : Essai de corrosion de l'alliage Al2,5% Mg en absence de champ magnétique permanent

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales

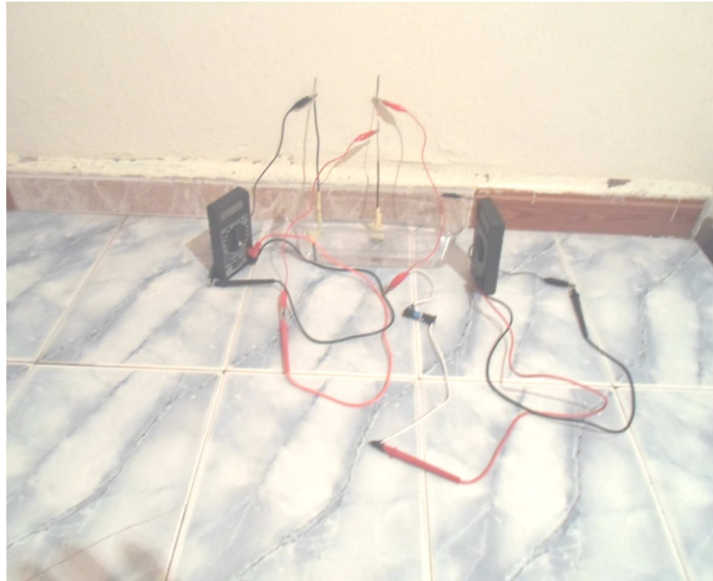


Figure III.10: Essai de corrosion de l'alliage Al2, 5% Mg en présence d'une tension imposée de 1,5V



Figure III.11 : Essai de corrosion de l'alliage Al2,5% Mg en présence de champ magnétique permanent

Chapitre III : Procédés et techniques expérimentales



Figure III.12 : Aimant utilisé pour l'essai de corrosion en présence d'un champ magnétique permanent.

Pour éviter la dégradation de la solution (du bain) par une corrosion bactérienne nous avons isolé la cellule de corrosion avec du papier cellophane. Au début de l'essai nous avons enregistré l'évolution du courant et de la tension de corrosion après chaque seconde à la première minute, puis nous avons pris des mesures chaque heure et chaque jour durant la première journée et puis trois mesures par jour les deux autres jours.

Chapitre IV

Résultats et Interprétations

Chapitre IV. Résultats et interprétations

Chapitre IV : Résultats et interprétations

Les résultats de caractérisation et leurs interprétations de l'alliage Al 2,5 % Mg sont présentés dans ce chapitre. Ces résultats ont été obtenus en utilisant plusieurs techniques de caractérisations: des essais électrochimiques (essai en présence d'un champ magnétique permanent, essai en absence du champ magnétique et essai sous une tension imposée), essais de MICRODURETE VICKERS et une caractérisation structurale de l'alliage par microscopie optique et microscopie électronique à balayage.

IV.1. caractérisation microstructurale de l'alliage avant corrosion:

La microscopie optique permet d'obtenir des informations sur les éléments constitutifs des microstructures telles que la texture, la dimension des grains et les différentes phases présentes. Afin de rendre ces éléments visibles à partir d'une surface polie, il est nécessaire de leur donner un contraste, soit par un relief, soit par une couche d'interférence...

Cependant, pour certains alliages formant des couches d'oxydes protectrices en surface tels que l'aluminium et ses alliages,...etc., il devient nécessaire de recourir à une attaque électrochimique.

L'analyse microstructurale montre que l'alliage comporte des pores dans certaines zones (**Figure IV.1**) et dans d'autres zones nous n'observons pas de porosités (**Figure IV.2**). Les porosités en corrosion sont considérées comme des microcrevasses.

Dans certaines régions on observe les grains constituant l'alliage (**Figure IV.3**).

L'attaque chimique avec une solution de 0,1 NaOH n'apporte pas d'information nouvelle sur la structure (**Figure IV.1**).

Le microscope électronique à balayage **nous a permis de recensé la composition en phase de l'alliage.**

La microstructure de l'alliage Al2.5%Mg obtenus par le MEB montre que l'alliage étudié est constitué d'une deuxième phase sous la forme de précipités blancs.

Le potentiel électrochimique standard de ces particules est différent de celui de la matrice. La différence de potentiel entre les particules intermétalliques et la matrice donne naissance aux micropiles au sein du matériau, d'où une sensibilité à la corrosion localisée.

Chapitre IV. Résultats et interprétations

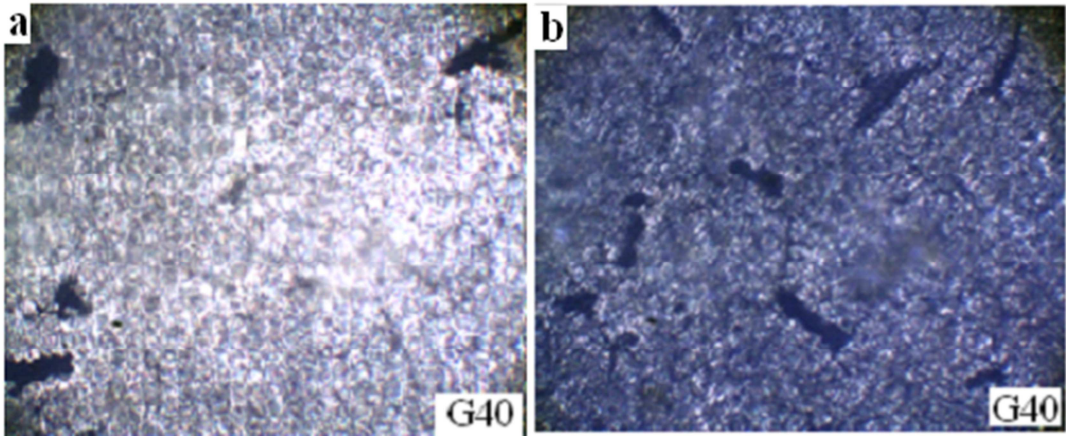


Figure IV.1 : Microstructure de l'alliage Al2.5%Mg : a) avant attaque, b) après attaque

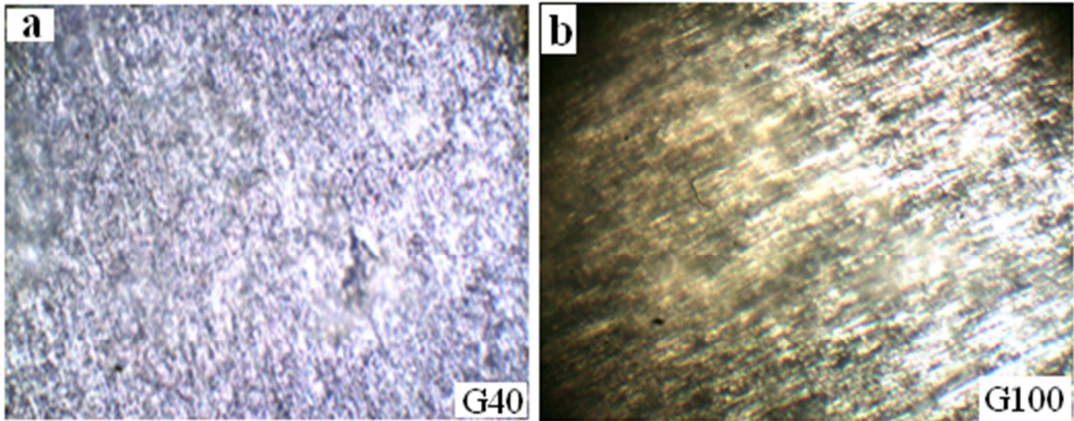


Figure IV.2: Microstructure de l'alliage Al2.5%Mg : avant attaque

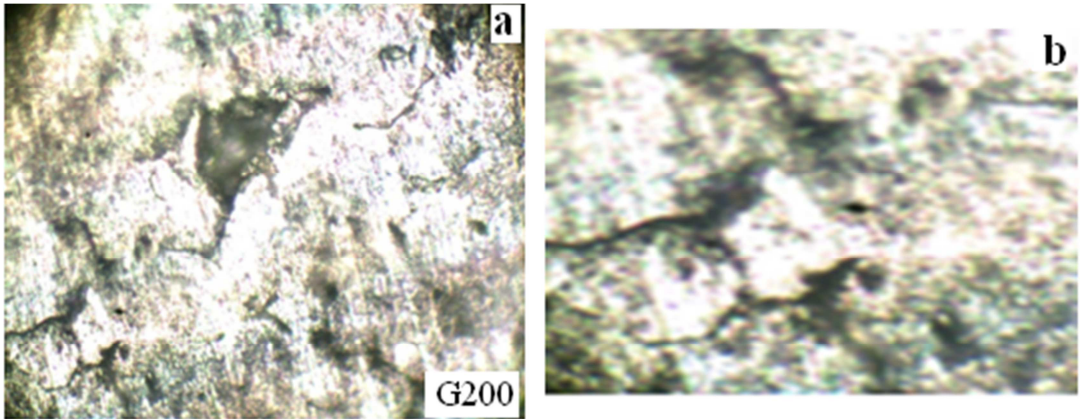


Figure IV.3: Microstructure de l'alliage Al2.5%Mg : avant attaque

Chapitre IV. Résultats et interprétations

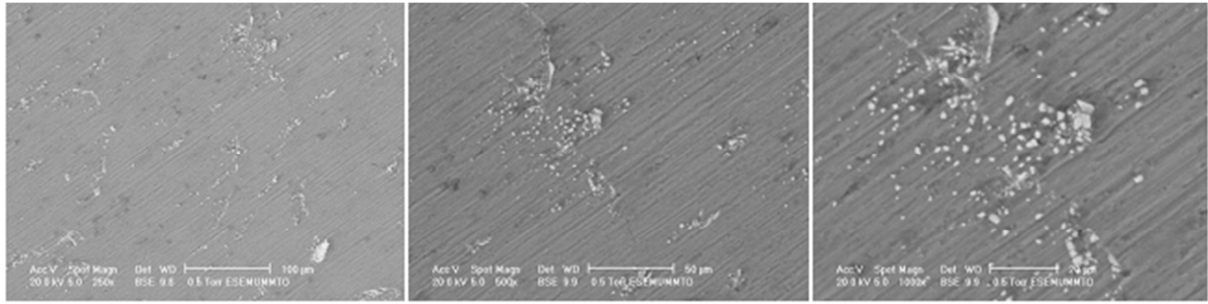


Figure IV.4: Images au MEB de l'alliage Al2.5%Mg

IV.2. Caractérisation microstructurale de l'alliage Al 2.5%Mg après corrosion :

Après 72 heures de corrosion libre de plusieurs échantillons de l'alliage Al2.5%Mg dans une solution de 0.3% NaCl, nous observons une corrosion localisée surtout aux joints des grains (entourés par les cercles notés A) Figure VI.5 (b,d). Et autours des précipités de la deuxième phase (entourés par les cercles notés B) Figure VI.5 (a, d).

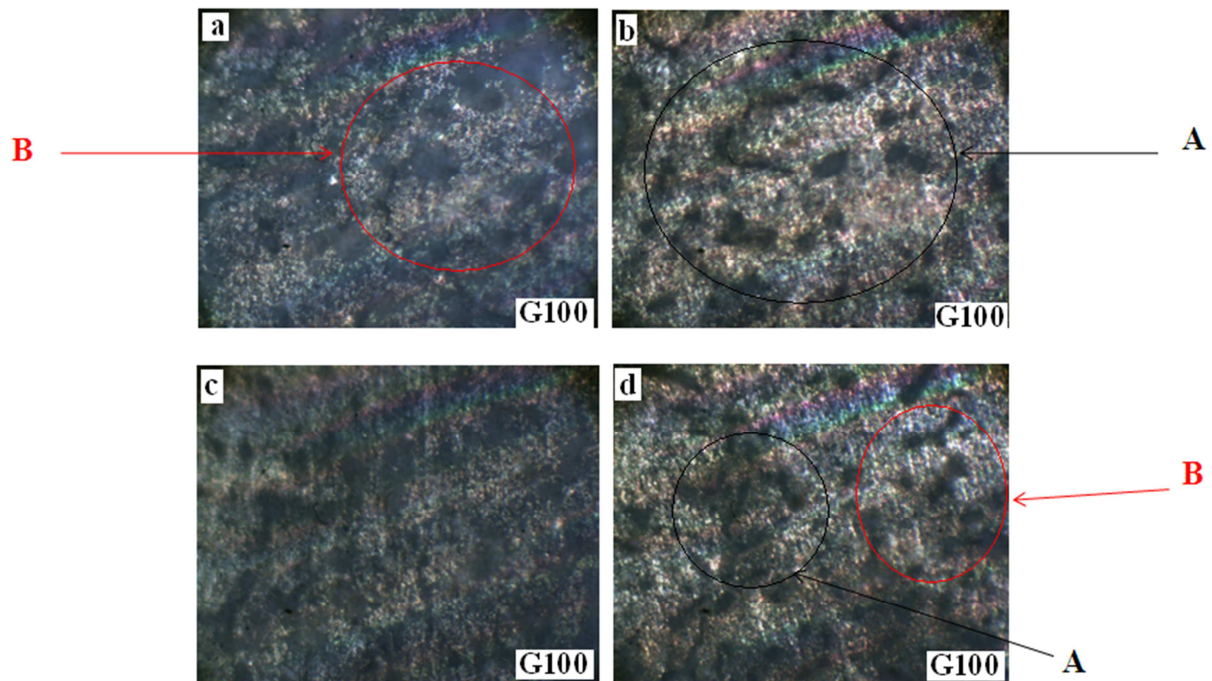


Figure VI.5 : Morphologie de corrosion libre de l'alliage Al2.5%Mg après immersion 72 heures dans une solution de 0.3%NaCl.

Par contre après 72 heures de corrosion sous une tension imposée de 1.5 V de plusieurs échantillons de l'alliage Al2.5%Mg dans une solution de 0.3% NaCl, la corrosion

Chapitre IV. Résultats et interprétations

de cet alliage moins marquée que celle du cas de la corrosion libre sauf que aux positions de porosité la corrosion semble plus marquée.

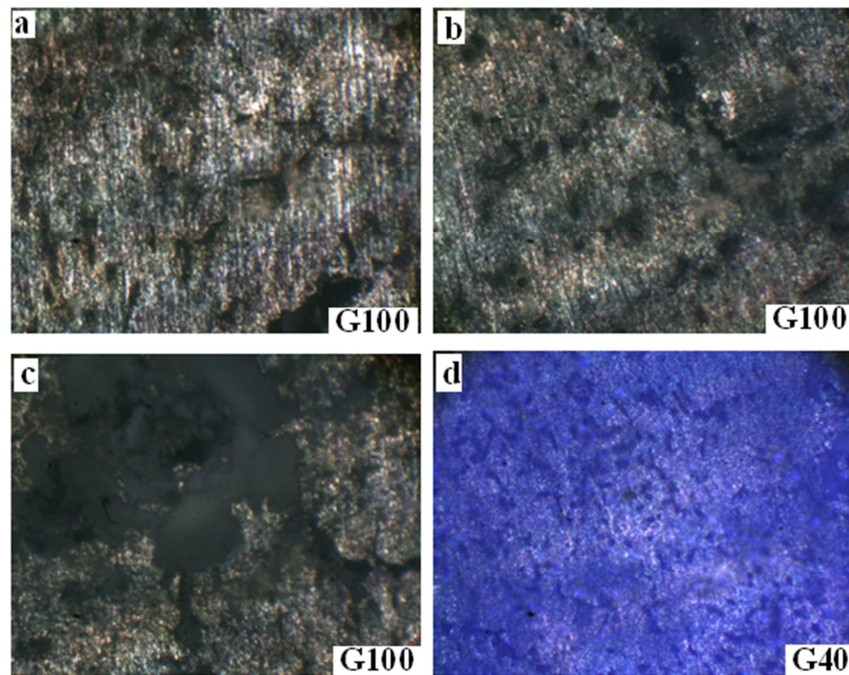


Figure VI.6 : Morphologie de corrosion sous potentiel imposé de l'alliage Al2.5%Mg après immersion 72 heures dans une solution de 0.3% NaCl.

La Figure VI.7 montre que la corrosion de l'alliage Al2.5%Mg en présence d'un champ magnétique de faible intensité est localisée aux joints des grains et dans les régions de précipités mais elle se rapproche d'une corrosion généralisée c'est-à-dire cette corrosion à l'aire d'une corrosion généralisée.

Chapitre IV. Résultats et interprétations

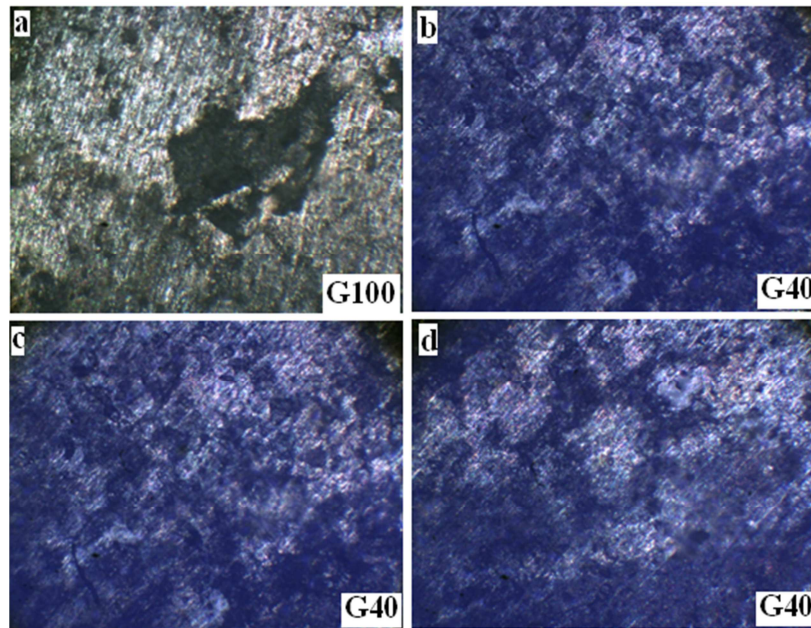


Figure VI.7 : Morphologie de corrosion sous un champ magnétique permanent de l'alliage Al2.5%Mg après immersion 72 heures dans une solution de 0.3%NaCl.

IV.3.Caractérisation de la microdureté de l'alliage Al2.5%Mg :

Les essais de microdureté permet de caractériser l'état de contraintes à la surface du matériau, afin de prévoir son comportement vis-à-vis son comportement vis-à-vis la corrosion.

La dureté est la méthode la plus simple qui permet de déterminer quantitativement la variation ou non des contraintes mécaniques interne à la surface, c'est pour cette raison que nous avons mesuré la dureté Vickers en plusieurs endroits de deux échantillons.

Les résultats obtenus montrent que la microdureté Vickers varie d'un endroit à un autre, elle passe de 76 HV à 66 HV pour l'échantillon 1 et de 64 HV à 78HV pour l'échantillon 2, la variation dans celle-ci représente 14% pour l'échantillon 1 et 23% pour l'échantillon 2. Ceci dit l'opposition à la pénétration de la pyramide de microdureté Vickers varie d'un endroit à l'autre. L'opposition à la pénétration de la pyramide dans le matériau dépend du taux d'écroutissage et du nombre d'obstacles aux déplacements des dislocations. Ces deux paramètres contrôle la valeur des contraintes résiduelles à la surface (Tableau 1-2).

Chapitre IV. Résultats et interprétations

Tableau IV.1 : Variation de la dureté d'échantillon 1 d'une position à une autre:

position	Diamètre de l'empreinte (μ)	Microdureté Vickers(HV)
1 ^{er}	49.4	76
2 ^{eme}	51.0	71
3 ^{eme}	50.9	72
4 ^{eme}	53.3	70
5 ^{eme}	50.0	74
6 ^{eme}	51.6	70
7 ^{eme}	51.6	70
8 ^{eme}	52.7	67
9 ^{eme}	50.2	74
10 ^{eme}	53.2	66

Tableau IV.2 : Variation de la dureté d'échantillon 2 d'une position à une autre :

Les points	Diamètre(μ)	Vickers(HV)
1 ^{er}	53	64
2 ^{eme}	49	77
3 ^{eme}	51.5	71
4 ^{eme}	50	72
5 ^{eme}	52	69
6 ^{eme}	48.4	78
7 ^{eme}	49.3	75
8 ^{eme}	51	68
9 ^{eme}	51.7	71
10 ^{eme}	50.1	74

IV.4. Caractérisation de la cinétique de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg :

La cinétique corrosion des alliages d'aluminium-magnésium est un mode d'endommagement structural difficile à modéliser. En effet, il implique l'interaction entre les paramètres chimiques et électrochimiques, liés à la nature du métal son état de surface et au

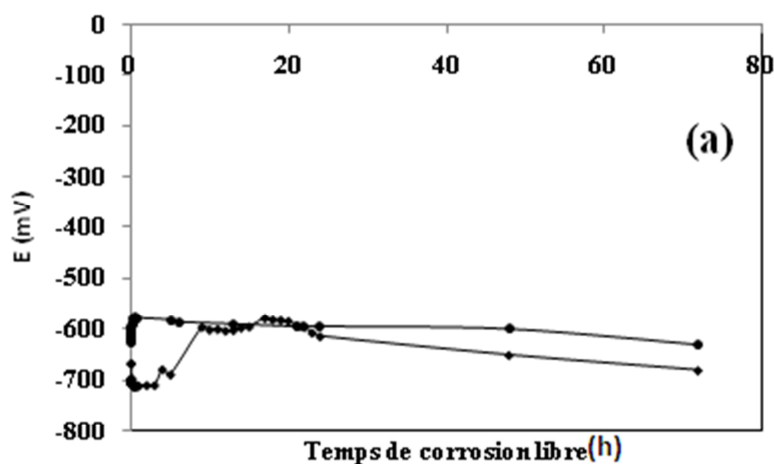
Chapitre IV. Résultats et interprétations

milieu, des paramètres caractéristiques de la structure macroscopique et microscopique du métal, et des paramètres mécaniques liés aux contraintes résiduelles ou externes appliquées au métal.

La corrosion est une dégradation purement naturelle du matériau en contact avec une solution, le suivi de celle-ci nous renseigne sur l'évolution du phénomène de corrosion et de passivation au cours du temps, nous permet de déterminer la durée du régime actif et le temps nécessaire pour l'obtention du régime stationnaire.

IV.4.1. Cinétique de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg sous le potentiel de corrosion libre :

Le potentiel de corrosion libre de deux échantillons prélevés du même lingot mais dans différents endroits montre que au début de la corrosion (Figure VI.8 b-c) le potentiel du premier échantillon est différent du potentiel de corrosion du second échantillon. Ceci est en bon accord avec ce que nous avons annoncé au dessus, donc l'hétérogénéité du matériau et l'existence de porosités dans certains endroits et non dans d'autre, influe considérablement sur le potentiel de la corrosion libre à l'immersion. Par la suite il semble que le potentiel de corrosion des deux échantillons se rapproche et tendent vers le potentiel de passivation. Un peu plus de trois jours de corrosion suffisent pour atteindre la passivation (Figure VI.8 a).



Chapitre IV. Résultats et interprétations

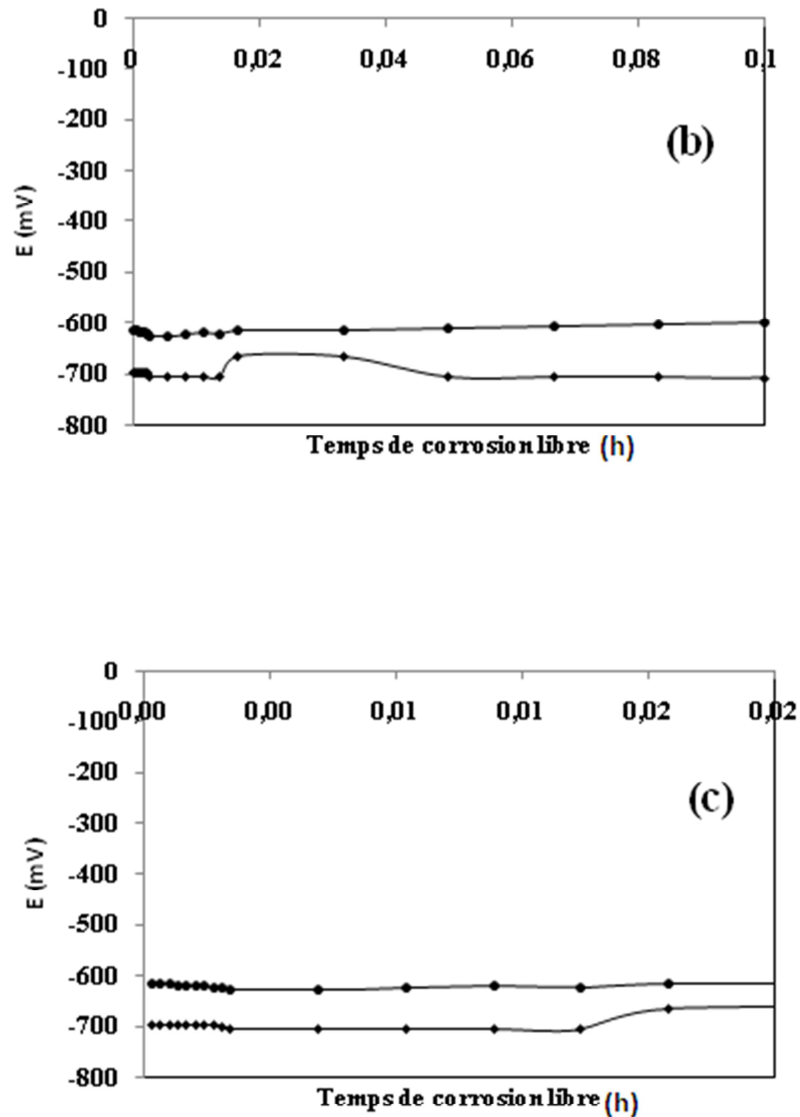


Figure VI.8 : (a) Potentiel de corrosion libre de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe

Au début de la corrosion libre la densité de courant de corrosion des deux échantillon est différentes, après 20 heures de corrosion la densité de corrosion des deux échantillons converge vers la même valeurs. Ceci dit l'effet des porosités et de l'hétérogénéité est visible sur la courbe de densité de courant en corrosion libre (Figure VI.9).

A partir de ceci nous pouvons dire que la cinétique de la corrosion libre de l'alliage Al2.5%Mg de fonderie dépend de la position de l'échantillonnage.

Chapitre IV. Résultats et interprétations

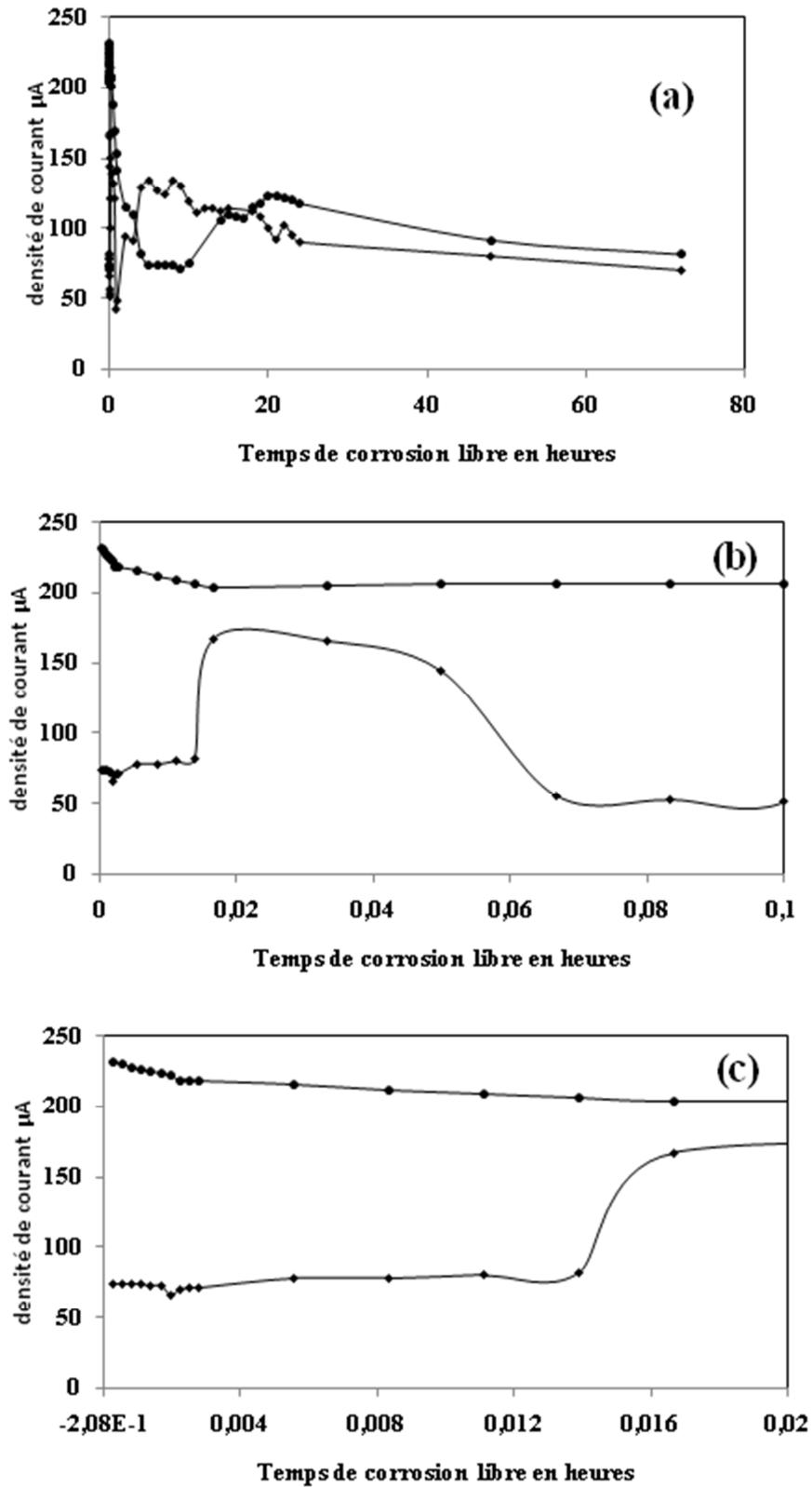


Figure VI.9 : (a) Densité du courant de corrosion libre de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe

Chapitre IV. Résultats et interprétations

IV.4.2. Cinétique de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg sous le potentiel imposé de 1.5 V:

Un potentiel imposé fait diminuer le potentiel de la corrosion des deux échantillons et la cinétique de corrosion reste toujours différente d'un échantillon à un autre surtout au début de la corrosion (Figure VI.10).

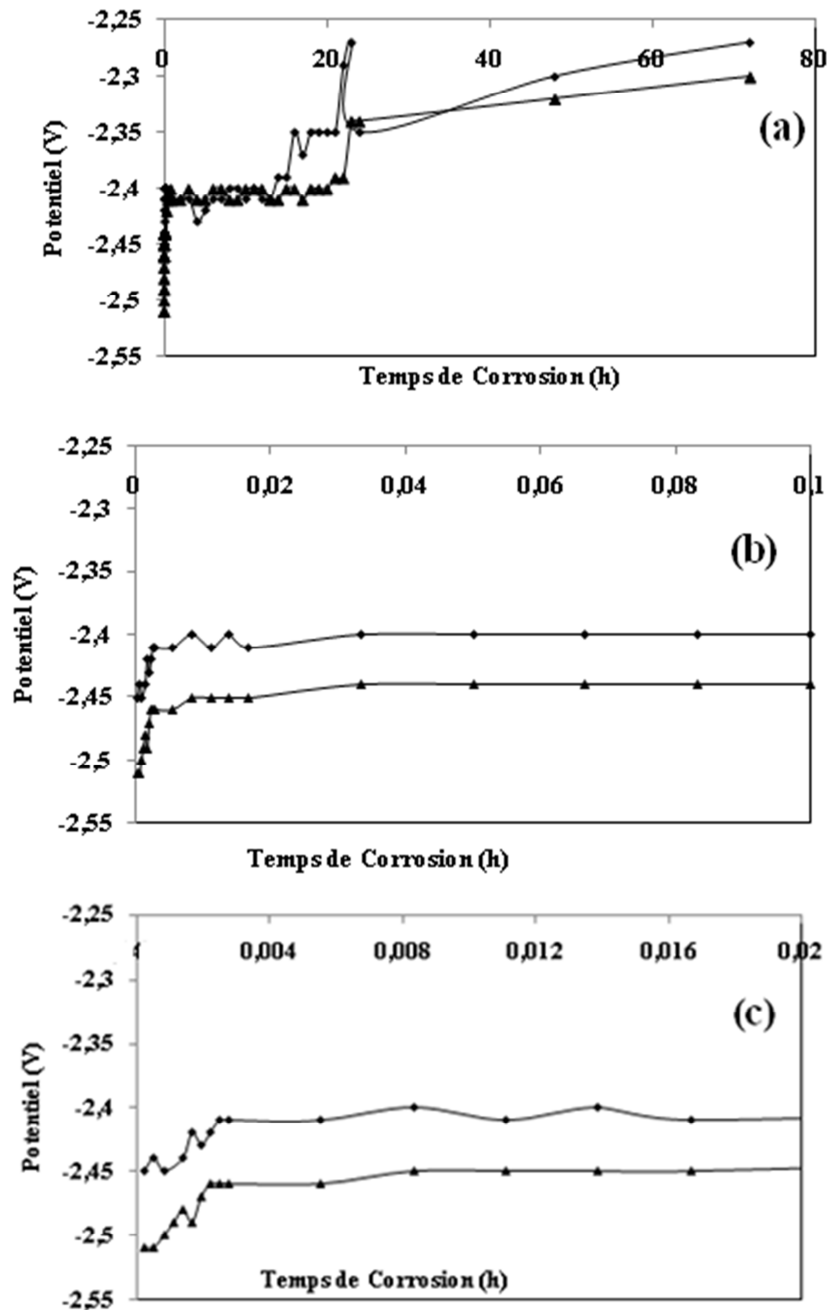
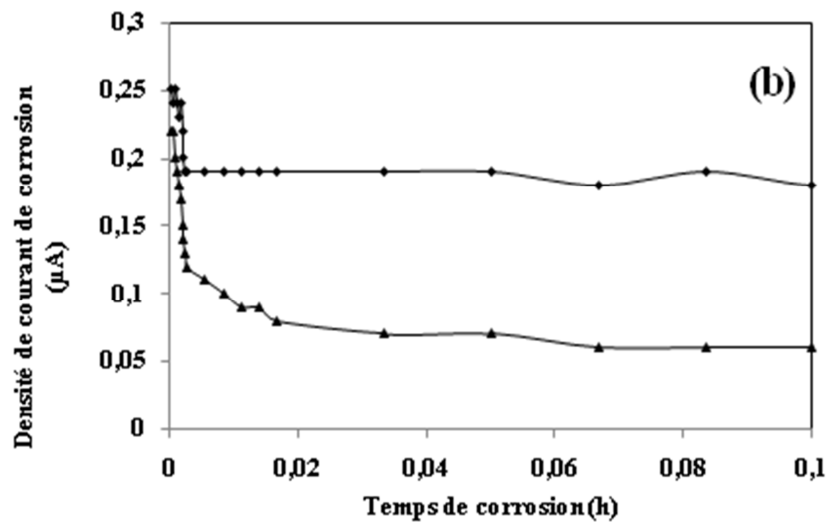
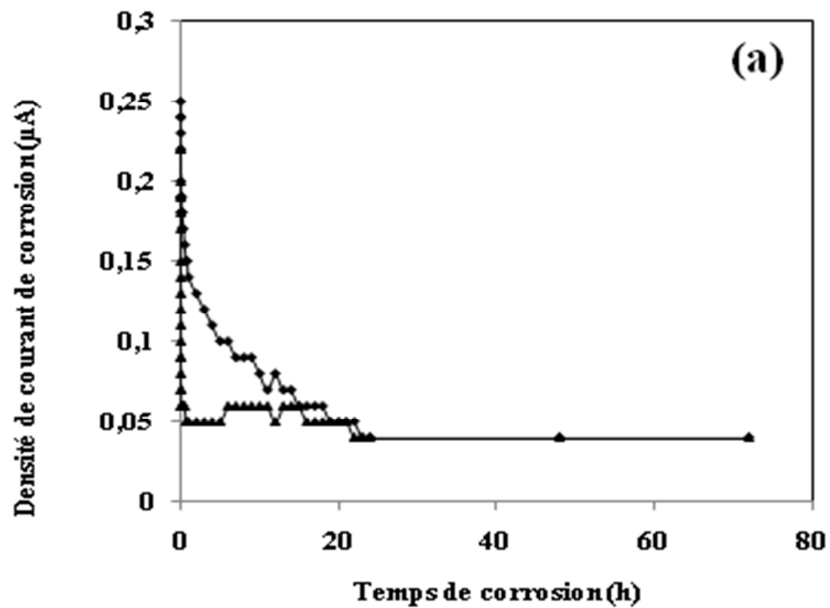


Figure VI.10: (a) Potentiel de corrosion sous un potentiel imposé de 1,5 V de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe

Chapitre IV. Résultats et interprétations

La densité de courant de corrosion devient faible sous le potentiel de corrosion dès le début de corrosion ceci est en bon accord avec ce qui a été observée sur les figures représentant la morphologie de la corrosion (Figure VI.11).



Chapitre IV. Résultats et interprétations

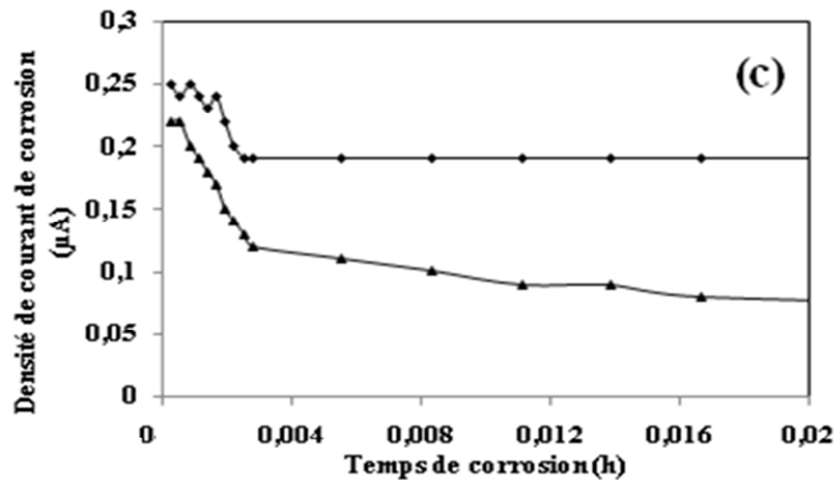
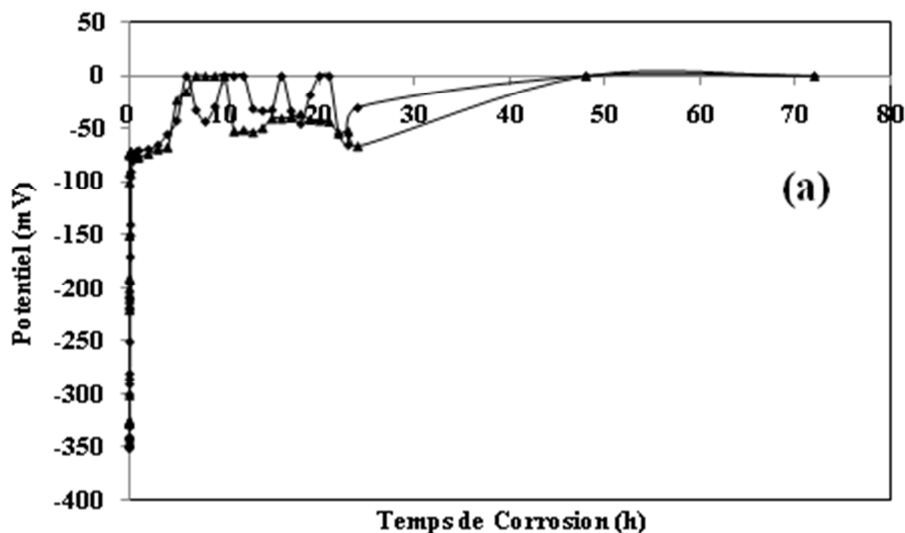


Figure VI.11 : (a) Densité de courant de corrosion sous un potentiel imposé de 1,5 V de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe

IV.4.3. Cinétique de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg en présence d'un champ magnétique permanent :

La présence d'un champ magnétique modifié considérablement le potentiel de la corrosion et la différence de potentiel entre les deux échantillons devient plus importante. Ceci dit la présence du champ magnétique permanent influe sur la cinétique de corrosion (Figure VI.12).



Chapitre IV. Résultats et interprétations

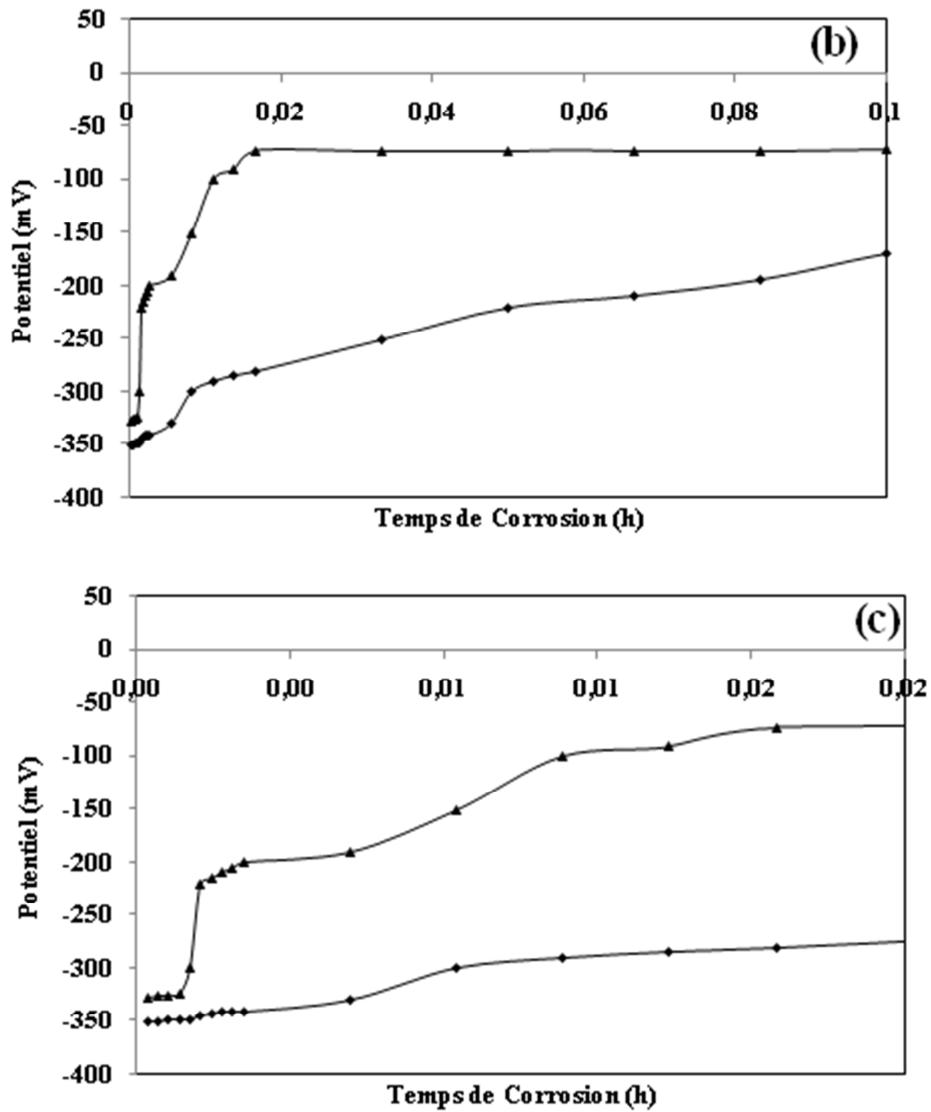
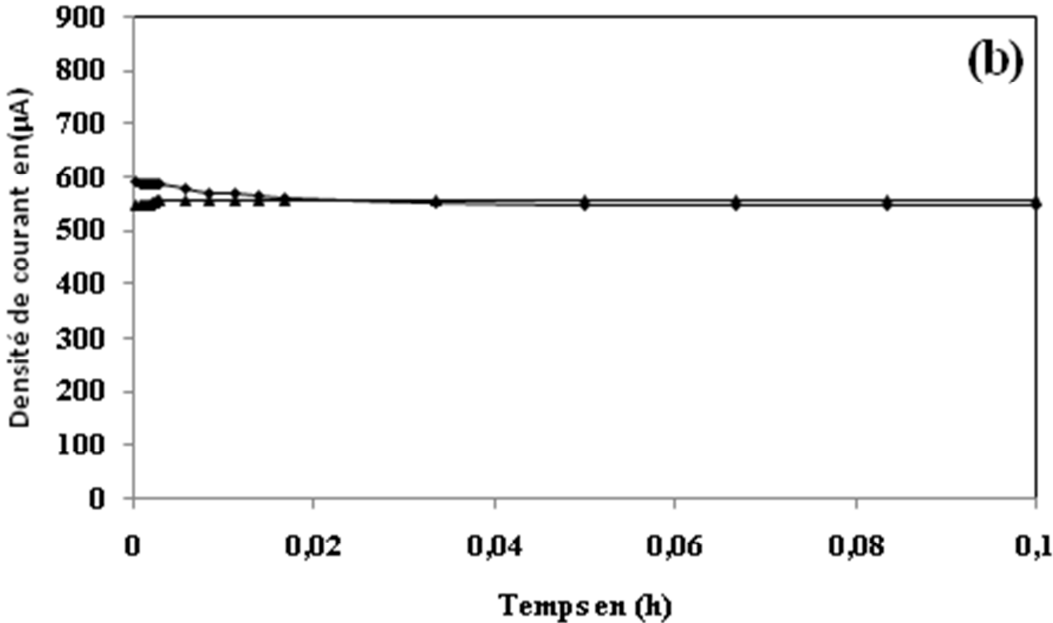
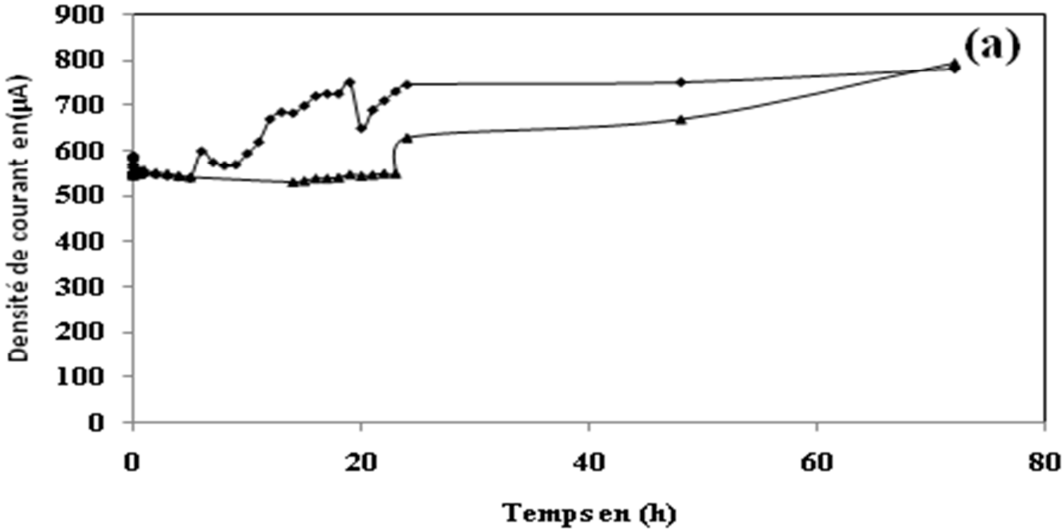


Figure VI.12 : (a) Potentiel de corrosion en présence d'un champ magnétique permanent de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe

La densité du courant de corrosion en présence du champ magnétique permanent est grande mais il n'est y a pas de différence entre la densité du courant de corrosion du premier échantillon et le deuxième échantillon (Figure VI.13).

Chapitre IV. Résultats et interprétations



Chapitre IV. Résultats et interprétations

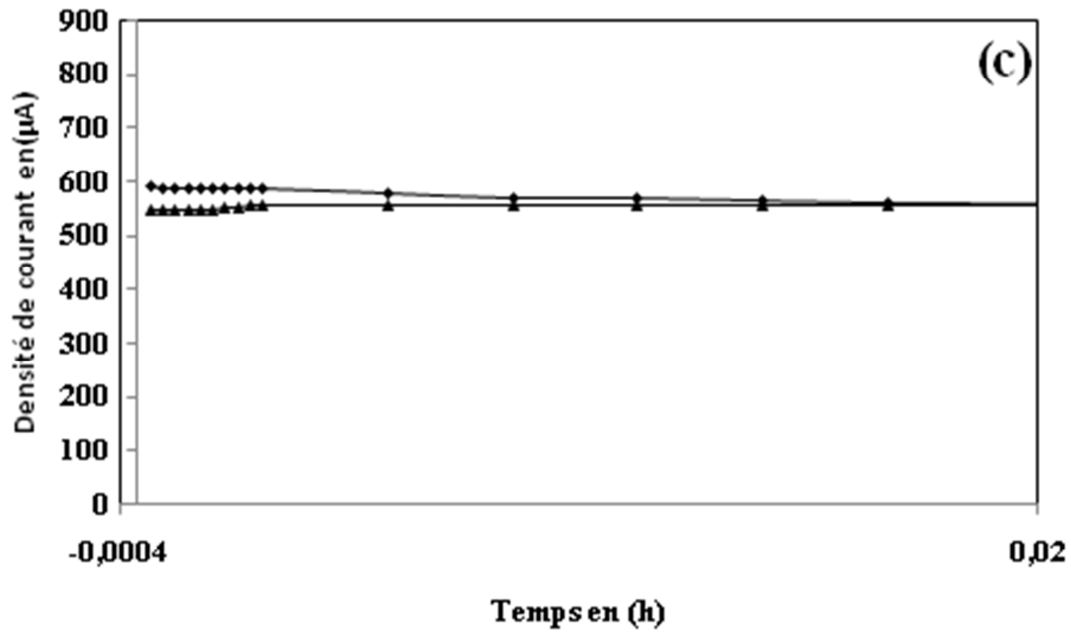


Figure VI.13: (a) Densité de courant de corrosion en présence d'un champ magnétique permanent de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe

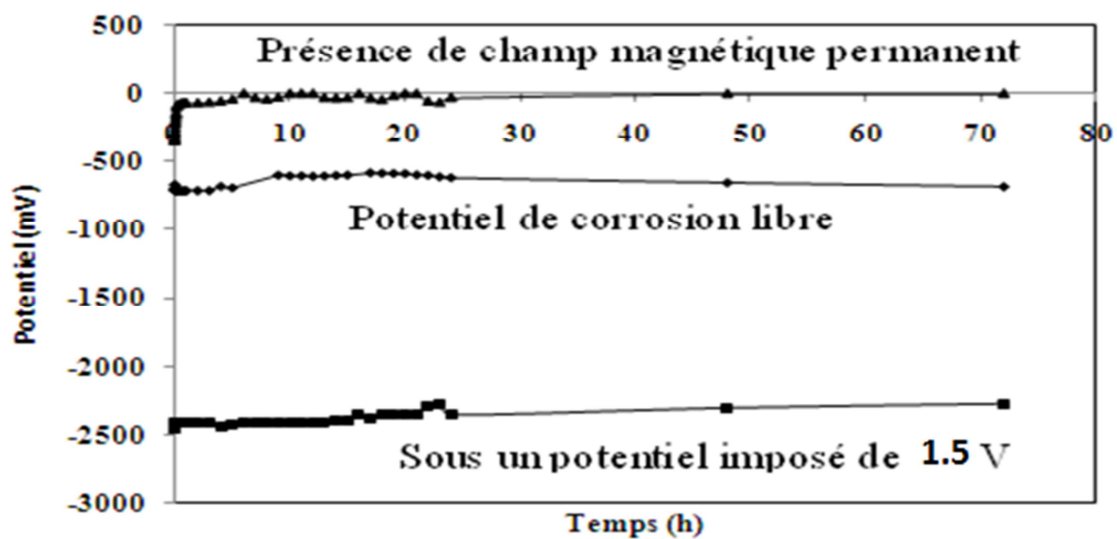


Figure VI.14: (a) effet du champ magnétique et du potentiel imposé sur le potentiel de corrosion de l'alliage Al2.5%Mg, (b), (c) effet loupe

:

Conclusion

CONCLUSION

- L'alliage d'aluminium étudié Al2.5%Mg est un alliage biphasé hétérogène comportant des porosités distribuées d'une façon irrégulière.
- La cinétique de la corrosion de l'alliage Al2.5%Mg semble variée d'une position à une autre du lingot.
- La microdureté du matériau est variable sur la surface de l'alliage Al2.5%Mg d'une position à une autre, ceci implique l'existence d'une anisotropie des propriétés mécaniques et une anisotropie des contraintes résiduelles. Ceci dit il est a rappelé que maintenant les chercheurs s'intéressent à la relation existante entre les contraintes résiduelles et la corrosion, car le moteur principale de la corrosion est l'excès en énergie qui peut se traduire par les contraintes résiduelle.
- Après une durée de corrosion de 3 jours dans une solution de 0.3%NaCl la passivation de l'alliage semble commencée à prendre place.
- Un champ magnétique permanent de faible intensité modifié la morphologie et la cinétique de corrosion.
- Un potentiel imposé modifié la morphologie et la cinétique de corrosion.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : C. Vargel, Corrosion de l'aluminium, dunod, PARIS, 1999.
- [2] : P. Poupeau, Techniques de l'ingénieur, aluminium et ses alliages, 2006.
- [3]: J. Fouletier, P. Fabry et M. Kleitz, Journal of electrochemical society, 123, p.165, 1976.
- [4]: G Robert. Kelly, John R. Scully, David Shoe smith,(BookFi.org).
- [5] : J. Pokorny ET A. Pokorny, Métallophone.
- [6] : S. Tierce, titre de docteur de L'institut National Polytechnique de toulouse, 2006.
- [7] : C. Vargel. Comportement de l'aluminium et de ses alliages, dunod , 1979.
- [8] : A. Mekroud, these, universite mentouri constantine., 2006.
- [9] : F. Miomandre, Ssadri, Paudebert, Electrochimie, dunod, 2005.
- [10] : M. Colombie et .Coll. Matériaux Industrie, Matériaux métalliques, édition, 2000.
- [11] : J. Geandrot, Le champ magnétique, edition a roscoff , 2007.
- [12]: U.R.Evans, The corrosion and oxidation of metals, England, 1960.
- [13] : M. Landolt, Pourbaix, Atlas des équilibres électrochimiques.Gauthier-Villars, 1963.
- [14] : Etude du comportement à la corrosion des alliages utilisé dans les radiateurs.
- [15] : D. Traite des matériaux : corrosion et chimie de surfaces des métaux, 1997.
- [16] : E.Luminita, Institut nationale des sciences appliquées, Comportement à la corrosion des alliages d'aluminium, THE BOOK EDITION ,2005.
- [18] : R. Ultra et B. Vuillemin Electrochimie et corrosion à l'échelle des microstructures 2009.

- [19]: R.H. Jones, J.S. Vetrano, C.F. Windich Stress corrosion cracking of Al-Mg and Mg-Al alloys Corrosion vol 60 2004.
- [20]: G.M. Scamans, N.J.H Holroyd and C.D.S tuck the rôle of magnesium segregation in the intergranlar stress corrosion cracking of aluminium alloys Corrosion Science. 1987.
- [21]: M. REDJAIMIA, Université De Biskra, cours sur l'aluminium et ses alliages, 1998.
- [22] : N.Murer, Aluminium et ses alliages, 2006.
- [23] :I.Lakhtine. Métallographie et traitement thermiques des métaux, 2éme édition.
- [24] : Effet de mode d'élaboration et des traitements sur la caractéristique mécanique et la microstructure d'un alliage de fonderie. 2008.
- [25] : J. Barrailis, G. Meade, Métallurgie, AFNOR, NATHAN, 1997.
- [26] : G. Murray, aide mémoire : Métallurgie, dunod, Paris, 2004.
- [27] : I.Jonathan, Comportement electrochimique des alliages d'aluminium, 2005.
- [28] : Microstructure et propriété mécaniques des alliages, cour, université de Toulouse, 2005.
- [29] : A. Bontemps, A.Garrigue, C.Goubrier, Echangeur de chaleur, J. Wiley and Sons 2000
- [30] : B.Grosgeat, P. Colon, Corrosion des alliages métalliques, 2009-2010.
- [31] :Z.Nacer, Thèse de doctorat, UMMTO. 2011.