



DEPARTEMENT Sciences de la Matière

Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Matière
Filière : Chimie
Option : Chimie des molécules et matériaux
inorganiques

Par :
HABATI Rachda

THEME

Etude de la corrosion des métaux par les pluies acides

Soutenue publiquement devant le jury composé de:

Mr. HALIT Mohamed	M.C.A.	Président
Mr. FERHAT Mahmoud	M.C.B.	Examineur
Mr. SAIDAT Boubakeur	M.C.A.	Examineur
Mme. AMI Yasmina	M.A.A.	Promotrice

Année Universitaire 2014/2015

Dédicaces

Je voudrais dédier ce modeste travail

A ma chère maman et mon cher papa que dieu lui accorde a son vaste paradis, qui ont veillé à ce que je sois ce que je suis devenu maintenant.

A mon mari Abdel jalil

A ma petite fille Khadîdja

A mes frères et mes sœurs

A mes neveux et mes nièces

A mes amies

A tous ceux qui ont cru en moi.



Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de la faculté de médecine à l'université de Laghouat ; Je tiens à remercier Mme. AMI Yasmina pour m'avoir dirigé tout au long de ce travail et m'avoir découvrir des notions très diverses, pour ses conseils et encouragements.

Je remercie Mr. HALIT Mohamed pour avoir accepté la présidence de jury de soutenance et Mr. FERHAT Mahmoud avec Mr. SAIDAT Boubakeur qui ont accepté d'examiner ce travail et de participer au jury, je suis honoré par leur présence.

Je tiens à exprimer ma gratitude et profond remerciements à Mr. CHETTI Ali, Mr. BEN CHETTI Ahmed, Mr. CHAHBOUB Abdelaziz, Pr. ALLAOUI Omar et Mr. ZERGUINI Hocine pour leur aide à ce travail.

Enfin, je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à mon mari et à toute ma famille qui de près ou de loin m'ont encouragé et ont contribué à leur façon à la réalisation de ce travail.

Merci infiniment

Rachda.

Liste des abréviations

NMHC : Hydrocarbures non méthanique.

COV : Composés organique volatils.

CEC : Capacité d'échange cationique.

MEB : Microscopie Electronique à Balayage.

SAA : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

HVOF : High Velocity Oxy Fuel.

Liste des Tableaux

Chapitre I

Partie I

Tableau I.1 : Echelles d'espace et temps des phénomènes de pollution atmosphérique6

Partie II

Tableau I.1 : les principaux facteurs de corrosion.....16

Partie III

Chapitre II

Tableau II.1 : Condition de la projection arc.....25

Tableau II.2: Tableau donnant la minéralisation globale de l'eau de pluie.....26

Tableau II.3 : Paramètres de la pollution de l'eau de pluie analysée.....26

Chapitre III

Tableau III.1 : Concentration des ions de fer pour l'acier non traité et traité dans la solution de HCl.....38

Tableau III.2 : Tableau récapitulatif des résultats de la SAA de l'acier avec et sans traitement.....39

Liste des figures

Chapitre I

Partie I

Figure I.1: Organigramme des sources et formation de la pollution acide.....8

Figure I.2 : Statue de Charlemagne de la collégiale de Colmar à un siècle d'intervalle9

Partie II

Figure I.1 : Corrosion uniforme13

Figure I.2 : Corrosion par piquêre.....	14
Figure I.3 : Corrosion caverneuse.....	14
Figure I.4 : Corrosion intergranulaire.....	15

Partie III

Figure I.1 : Principe de la projection thermique.....	18
Figure I.2 : Schéma du principe d'un pistolet flamme-poudre.....	19
Figure I.4 : Schéma du principe du procédé HVOF.....	20
Figure I.5 : Représentation schématique de la projection plasma.....	20
Figure I.6: Schéma de principe d'un dispositif de projection à l'arc électrique.....	21
Figure I.7 : Schéma de la tête d'un pistolet de projection Arc-Fil équipé d'un système de gaz d'atomisation secondaire.....	22

Chapitre II

Figure II.1 : Polisseuse mécanique.....	24
Figure II .2 : Plaque d'acier grenillée avec des grains de fonte (à gauche) et une plaque traitée par l'aluminium (à droite).....	24
Figure II.3 : Pistolet de projection à arc électrique « Arc spray 234 ».....	25
Figure II.4 : Montage de pH mètre.....	27
Figure II.5 : Balance de précision OHAUS.....	27
Figure II.6 : Photo du dispositif expérimental de l'immersion.....	28
Figure II.7 : Courbe d'étalonnage du fer.....	29

Chapitre III

Figure III.1 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans HCl à pH=3.....	30
Figure III.2 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans HCl à pH=4.....	30
Figure III.3 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans HCl à pH=5.....	31
Figure III.4 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans H₂SO₄ à pH=3.....	31
Figure III.5 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans H₂SO₄ à pH=4.....	32

Figure III.6 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans H_2SO_4 à pH=5.....	32
Figure III.7 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans une solution témoin.....	33
Figure III.8 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=3.....	35
Figure III.9 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=4.....	36
Figure III.10 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=5.....	36
Figure III.11 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans H_2SO_4 à pH=3.....	37
Figure III.12 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans H_2SO_4 à pH=4.....	37
Figure III.13 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans H_2SO_4 à pH=5.....	38
Figure III.14 : Micrographie au MEB de l'épaisseur du dépôt sur l'interface de l'acier.....	40
Figure III.15 : Micrographie optique de l'interface.....	41
Figure III.16 : Micrographie d'un acier dans une solution témoin immergé pendant 5semaines (10 X à gauche et 40X à droite).....	41
Figure III.17 : Micrographie d'un acier traité à pH=5 immergé dans H_2SO_4 pendant 5semaines (40 X à gauche et 10X à droite).....	42
Figure III.18: Micrographie d'un acier traité à pH=5 immergé dans HCl pendant 5semaines (40 X à gauche et 10X à droite).....	42
Figure III.19 : Micrographie de la poudre blanche formée à un grossissement 40X.....	42
Figure III.20 : Micrographie de l'acier non traité à pH 5 3Semaines à un grossissement 10 X et 40X.....	43

Figure III.21 : Micrographie de l'acier non traité à pH 5 3Semaines à un grossissement 10 X et 40X.....44

Figure III.22 : Micrographie de l'acier non traité dans une solution témoin 3semaine à un grossissement 10 x et 40x.....44

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

Partie I

Généralités sur la pollution atmosphérique

I.1 Généralités sur la pollution atmosphérique	3
I.1.1 Sources de la pollution atmosphérique	3
I.1.2 Pluies acides	6
I.1.2.1 Historique	6
I.1.2.2 Définition	7
I.1.2.3 Polluant principal	7
I.1.2.4 Effets des pluies acides	8

Partie II

Métaux et leurs comportements

I Généralités sur les métaux	10
I.1. Aciers	10
I.1.2 Classification des aciers	10
I.2 Aluminium pur	11
I.2.1 Historique	11
I.2.2 Principales caractéristiques d'aluminium	11
II Corrosion.....	11
II.1 Définition	12
II.2 Types de corrosion	12
II.2.1 Corrosion chimique	12
II.2.2 Corrosion électrochimique	12
II.2.3 Corrosion biochimique	12

II.3 Morphologie de la corrosion	12
II.3.1. Corrosion uniforme	13
II.3.2. Corrosion galvanique.....	13
II.3.3. Corrosion généralisé	13
II.3.4. Corrosion par pique	14
II.3.5. Corrosion caverneuse	14
II.3.6. Corrosion intergranulaire	15
II.4 Mécanismes de la corrosion	15
II.5 Principaux facteurs de la corrosion	16

Partie III

Méthodes de protections par projection arc

I.1 Protection contre la corrosion	17
I.1.1 Techniques de la projection thermique	18
I.2 Projection à flamme	19
I.3 Projection hypersonique HVOF.....	19
I.4 Projection plasma	20
I.5 Projection arc électrique	21

Chapitre II

Procédures et méthodes expérimentales

II.1 Matériaux utilisés.....	23
II.1.1 Substrat	23
II.1.2 Préparation des échantillons	23
II.1.3 Milieu de la corrosion	26
II.1.4 Tests d'immersion dans la solution corrosive	26
II.1.5 Mesure du pH	26
II.1.6 Evaluation de la perte du poids	27
II.1.7 Techniques d'analyses	28

Chapitre III
Résultats et discussions

III.1 La perte du poids	30
III.1.1 Discussion des résultats de perte de poids	33
III.2 Spectroscopie d'absorption atomique (SAA)	35
III.2.1 Discussions des résultats de la SAA	38
III.3. Micrographie au MEB	39
III.4. Microscopie optique	40
III.4.1. Epaisseur du revêtement	40
III.4.2 Morphologie de l'acier traité	41
III.4.3 Morphologie de l'acier non traité.....	43
Conclusion générale.....	46
Annexe	

La pollution de l'air est un thème d'actualité sur la scène scientifique, politique et médiatique.

L'altération de sa qualité résulte généralement de la combinaison de plusieurs polluants tels que le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote, issues essentiellement des activités humaines notamment le trafic routier [1,2], engendrant ainsi le phénomène des pluies acides.

Les effets de la pollution acides sont divers : Augmentation de l'acidité du sol, eaux de surfaces, la corrosion des métaux, ainsi qu'à la dégradation des bâtiments [3].

De nombreuses constructions et structures métalliques sont souvent détériorées du fait de la corrosion atmosphérique. Cette dernière est due à l'action simultanée de l'eau provenant des pluies.

La tenue à la corrosion atmosphérique varie d'un métal à un autre, elle dépend aussi de plusieurs facteurs : condition climatiques (pluviométrie, humidité...etc.) et pollution (taux de SO_2 et NO_x) [4].

Les pluies non seulement humidifient fortement ces structures métalliques, mais elles dissolvent également les pellicules protectrices formées, en réduisant leurs épaisseurs et nuisent à leurs propriétés protectrices, dont l'objectif de notre étude qui est consacrée essentiellement à déterminer le comportement de l'acier au carbone vis-à-vis cette corrosion atmosphérique.

Pour prévenir à ce phénomène, plusieurs techniques de protections peuvent être utilisées à savoir l'addition des inhibiteurs de corrosion, les revêtements et les traitements de surface.

Par ailleurs, le choix de la projection arc par dépôts d'aluminium sur la surface de l'acier au carbone est justifié par sa bonne résistance à la corrosion. Ces dépôts sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels : nucléaire, aéronautique, automobile, ainsi que dans l'industrie minière et chimique. Ils permettent d'améliorer davantage les propriétés spécifiques en surface comme une bonne résistance à la corrosion et à l'usure ou des propriétés fonctionnelles (chimique, électrique et magnétique).

La présente étude comprend trois chapitres :

➤ Dans le premier chapitre, nous présentons une étude bibliographique étendue sur trois parties : la première consiste à l'étude générale sur la pollution atmosphérique notamment les pluies acides ; la deuxième partie est réservée aux caractéristiques de nos métaux étudiés dans notre projets ainsi leurs comportement à la corrosion. La troisième partie présente les méthodes de protection contre la corrosion en particulier la projection d'arc.

➤ Le deuxième chapitre est relatif aux procédures expérimentales utilisées: caractérisation métallographique, essais de perte de masse et l'analyse par la spectroscopie d'absorption atomique.

➤ Nous exposerons dans le troisième chapitre les différents résultats obtenus et les interprétations que nous pouvons proposer.

I.1 Généralités sur la pollution atmosphérique

La qualité de l'air n'a rien d'immuable dans le temps et dans l'espace car sa composition chimique résulte d'équilibres complexes entre des apports permanents de matières émises par de sources naturelles et/ou par des activités humaines.

De ce fait, toute introduction de substances ou d'énergie dans l'atmosphère directement ou indirectement ayant une action nocive sur la santé humaine, sur les ressources hydriques, sur les ressources biologiques et les écosystèmes présente une altération atmosphérique [1].

I.1.1 Sources de la pollution atmosphérique [2]

La pollution atmosphérique résulte d'un apport de gaz et de particules émises dans l'atmosphère.

On distingue deux types naturels et anthropiques:

a. Naturelles

Les polluants sont directement émis dans l'air (qualifiés de polluants primaires). Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, et les incendies de forêts selon le polluant (composés du soufre, oxydes d'azote, composés organiques volatils, ammoniac, polluants organiques persistants et métaux lourds).

► Composés soufrés

Le soufre naturel provient de trois sources

- **Activité volcanique** (sous forme de dioxyde de soufre SO_2) ;
- **Pétitement marin** ;
- **Emissions biogéniques** (marines ou terrestres).

► Composés azotés

Les sources naturelles d'azote sont les suivantes :

- Combustion de la biomasse sous forme d'oxydes d'azote NO et NO_2 ;
- Injection d'ammoniac NH_3 ;
- Eclairs durant les orages produisant du NO ;
- Dénitrification des sols émettant du N_2O .

Partie 1: Généralités sur la pollution atmosphérique

► Matière particulaire (aérosol)

On appelle aérosols les particules liquides ou solides en suspension dans l'air, inorganiques et/ou organiques. Ils sont constitués essentiellement par de composés présumés inertes comme partie minérale ou sable et éventuellement de métaux lourds (le plomb et le cadmium...etc.).

Ces particules proviennent essentiellement de :

- Erosion éolienne des sols ;
- Volcans ;
- Respiration des plantes.

► Monoxyde de carbone

Le CO est l'hydrocarbure naturel le plus abondant, il provient de l'oxydation photochimique du méthane et à partir des émissions directes par les plantes et de l'activité biologique des océans.

► Hydrocarbures non méthaniques (NMHC)

Ces émissions sont encore assez mal connues. Elles sont principalement constituées d'isoprène et terpènes, mais aussi d'aldéhydes et d'acides organiques.

b. Anthropiques

La pollution anthropique est liée à l'activité humaine. Avec la révolution industrielle, les sources de pollution deviennent plus nombreuses et plus importantes.

► Oxyde de soufre SO₂

Une des principales sources de pollution acide est l'émission de SO₂ par la combustion des combustibles fossiles (charbon, fiouls lourds).

► Oxyde d'azote NO_x (NO et NO₂)

Dans tous les pays, le trafic routier constitue la principale source d'oxydes d'azote. De petites quantités de NO₂ sont émises simultanément ainsi que des traces d'acide nitrique.

► Monoxyde de carbone CO

Il est principalement émis par les véhicules à essence (75%).

Partie 1: Généralités sur la pollution atmosphérique

Les autres sources sont

- Equipements agricoles (7%) ;
- Processus industriels (9%) ;
- Incinérateurs de déchets (7%) ;
- Les avions (2%).

► Hydrocarbures non méthanique (NMHC)

Ces composées primaire sont aussi appelés composés organique volatils (COV). Ils sont à l'origine de la plupart des réactions atmosphériques.

- Plus de 40% des hydrocarbures proviennent du trafic routier ;
- Raffinage du pétrole ;
- Industries ;
- Activités agricoles.

► Plomb

La plus grande source émettrice du plomb est la combustion de l'essence, sous forme de tétraéthylplomb. Il s'agit d'un antidétonant.

- 75% du plomb présent, dans l'atmosphère, est gazeux. Il est émis sous forme d'halogénure de plomb (PbClBr , PbCl_2 et Pb Br_2).
- Les 25% restantes sont émises sous forme de particules (fines et grosses).

► Métaux lourds

Ce sont des métaux de densité élevée comme le plomb (Pb), le Mercure (Hg), l'Arsenic (As), le Cadmium (Cd), le Nickel (Ni)...etc. Dans l'air ils sont sous forme de particules à l'exception du mercure qui est principalement gazeux. Ils proviennent de combustions, de certains procédés industriels, de l'incinération de déchets. Ils peuvent s'accumuler dans l'organisme et les effets sont variables selon les métaux : atteintes du système nerveux, des fonctions rénales, hépatiques...etc. Leur dépôt sur les surfaces (sols, eaux, etc.) conduit également à une contamination de la chaîne alimentaire [3].

► Hydrocarbures et les composés organiques volatils (COV)

Ils sont émis par diverses sources (solvants, pétrochimie, automobiles...etc.) et recouvrent de nombreux composés aux effets différents (odeurs, altération de la fonction respiratoire, troubles nerveux...etc.).

Partie 1: Généralités sur la pollution atmosphérique

Certains COV comme le formaldéhyde et le benzène sont cancérigènes. Les COV contribuent aussi à la formation de polluants photochimiques comme l'ozone nocifs pour la santé. L'atmosphère peut comporter également des composés organiques persistants et peu volatils tels que des pesticides, dioxines, furanes,...etc[3].

Le tableau suivant illustre les échelles d'espace et de temps des phénomènes de la pollution atmosphérique

Tableau I.1 : Echelles d'espace et temps des phénomènes de pollution atmosphérique [4]

<i>Echelles d'espace et de temps des phénomènes de pollution atmosphérique</i>				
Problèmes de pollution atmosphérique	Principaux polluants concernés	Principaux risques	Echelle d'espace	Echelle de temps
Pollutions urbaines et industrielles	SO ₂ , NO _x , COV, particules...	Santé, atteintes sur les matériaux	Locale	Heures
Pluie acides et pollution photochimique	SO ₂ , NO _x	Dommages sur les écosystèmes, Santé	Régionale (>100 Km)	Jours
Amincissement de la couche d'ozone. Effet de serre	CFC, NO _x , CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, O ₃	Modification du climat, événements météorologiques entraînés	Planétaire	Années

I.1.2 Pluies acides

Les pluies acides sont l'un des types de la pollution atmosphérique issue principalement du trafic routier, ayant un effet néfaste sur l'écosystème et l'homme.

I.1.2.1 Historique

En 1845 : La pluie acide a été mentionnée par le pharmacien Ducros

En 1872 : Des premières études ont été menées par Robert Angus Smith.

Par la suite, il a décrit plusieurs de ses effets potentiellement nocifs [5].

I.1.2.2 Définition

Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides. Elles peuvent dissoudre partiellement les poussières atmosphériques chargées en éléments minéraux d'autant plus que l'acidité est plus forte. Ceux-ci finissent par retomber sur le sol soit par précipitations atmosphériques, soit par dépôt direct [5].

I.1.2.3 Polluant principal

Ces précipitations acides sont donc le produit d'une transformation chimique de deux polluants dits précurseurs, l'anhydride sulfureux (SO_2) et les oxydes d'azote (NO), en présence de l'humidité de l'air.

L'anion principal de la pollution acide est le sulfate qui s'associe le plus souvent à l'ammonium (NH_4). Ce dernier joue un rôle particulier dans la chimie des dépôts atmosphériques, qui participe à la neutralisation du SO_2 dans l'eau (effet tampon) à **80%** seulement, ce qui va accroître son oxydation en acide sulfurique H_2SO_4 [5].

Ils s'oxydent selon des mécanismes complexes, ils retombent par la suite au sol sous forme de précipitations (neige, pluie, brouillards), ou sous forme gazeuse (particulaire sèche) [6].

Partie 1: Généralités sur la pollution atmosphérique

L'organigramme suivant récapitule les sources des pluies acides :

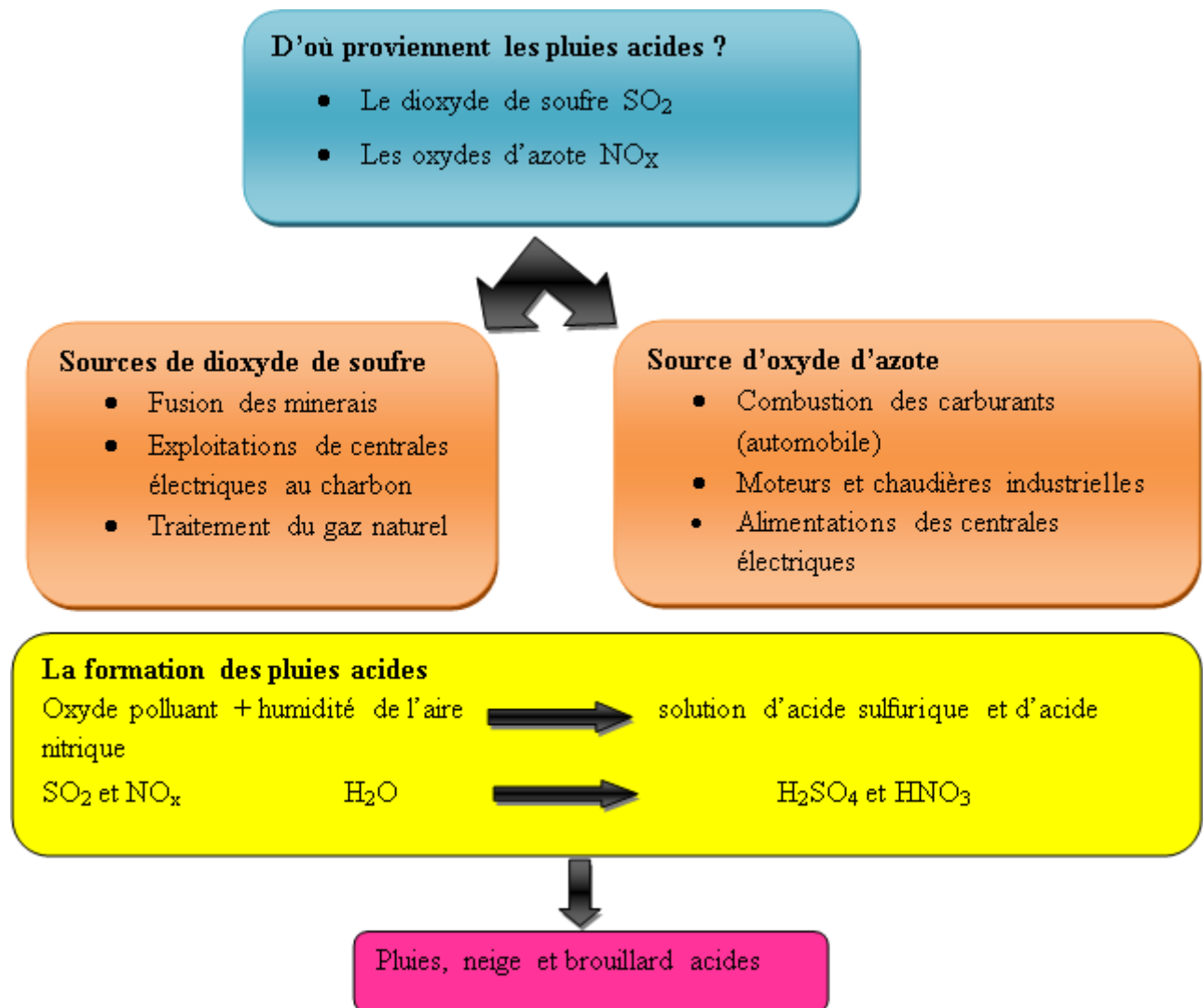


Figure I.1: Organigramme des sources et formation de la pollution acide

I.1.2.4 Effets des pluies acides

Les pluies acides constituent la forme de pollution la plus nocive, elles ont des conséquences sur les écosystèmes suivantes :

a. Ecosystèmes aquatiques

Les pluies acides touchent les lacs, elles libèrent des métaux lourds comme le mercure, et les lessivent dans les cours d'eau, ce qui accroît la concentration de mercure dans le poisson consommé par les humains [6].

Partie 1: Généralités sur la pollution atmosphérique

b. Ecosystèmes terrestres

Les pluies acides s'agissent essentiellement des effets indirects associés à la libération des métaux lourds présents dans les sols et dans les sédiments et aux particules de sulfates en suspension dans l'air [6].

c. Ecosystèmes forestiers

Les pluies acides peuvent avoir des conséquences graves sur les plantes comme :

- la diminution de la capacité d'échange cationique CEC du sol ;
- la perte des éléments minéraux nutritifs pour les arbres et la végétation ;
- L'augmentation de la solubilité de certains minéraux qui deviennent toxiques [7].

d. Effet sur les matériaux

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide (surtout liées au SO_2) qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. Il s'agit bien souvent de la décomposition de certaines pierres calcaires sous l'effet des acides [8].

La figure I.2 montre la corrosion de la statue après plus d'un siècle :



Figure I.2 : Statue de Charlemagne de la collégiale de Colmar à un siècle d'intervalle [9].

e. Effet sanitaire

La pollution acide a des effets nocifs sur la santé humaine. Les produits chimiques présents dans l'atmosphère provoquant du smog touchent les personnes qui ont des affections respiratoires. De même les fines particules qui contiennent du sulfate et dérivés affectent les poumons d'hommes [5].

Références Bibliographiques

Introduction

- [1] : F.VENDEL, Modélisation de la dispersion atmosphérique en présence d'obstacles complexes : application à l'étude de sites industriels, Thèse de doctorat, Université de Lyon, 2011
- [2] : A. VINCENT, Conception et simulation d'un réacteur fil-cylindre à décharge couronne avec barrière diélectrique adapté au traitement des oxydes d'azote dans des effluents marqués par un isotope, Thèse de Doctorat, Université Paris VI Pierre et Marie Curie, 2002
- [3] : M.L. Nehdi, M.T. Bassuoni, Resistance of self-consolidating concrete to sulfuric acid attack with consecutive pH reduction, Cement and Concrete Research 37, 1070–1084, 2007
- [4] : C. VARGEL, Corrosion de l'Aluminium, 1^{er} Édition, DUNOD, Paris, 1999.

Chapitre I Partie I

- [1] :S.REBOUH, Impact de la pollution de l'air provoquée par la cimenterie Tahar Djouad sur la santé publique et le cadre bâti -cas de Hamma Bouziane, Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine, 2012
- [2] :P.MASCLET, Pollution atmosphérique (cause, conséquences, solutions, perspectives), Université de Savoie paris, 2005
- [3] :C. ELICHEGARAY et *al*, Etat et évolution de la pollution atmosphérique, Revue française d'allergologie, 381–393, 2010
- [4] :C. ELICHEGARAY,La pollution atmosphérique ambiante en France: source, surveillance, Principaux Effets et mesures préventives, Revue Francophone des Laboratoires, 23-27, 2006
- [5] : Y.AMI, Impact des pluies acides sur quelques métaux, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2012
- [6] : J.PIETTE, La protection de la santé publique et la réglementation nationale et internationale de la pollution par les pluies acides, Revue Québécoise de droit international, II, 139-154, 1985
- [7] : L. BELFARHI, Les Effet de la Pollution Atmosphérique Sur Les Maladies Respiratoires à Annaba(Asthme), Mémoire de Magister, Université Mentouri-Constantine, 2011

Références Bibliographiques

- [8]** :S. LACOUR, Cours de pollution atmosphérique Inventaires d'émissions, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France
- [9]** : C. PALLARES, La pollution atmosphérique, Revue REPORT'AIR d'Alsace, N°3, France, 2004.

I Généralités sur les métaux

I.1 Aciers

Les aciers représentent une importance capitale, car ils rentrent presque dans tous les domaines. Ils sont à l'origine de toutes les révolutions scientifiques et industrielles.

Ce progrès est essentiellement dû à la présence d'une vaste gamme de transformations qui permettent de faire varier considérablement les propriétés mécaniques des aciers, en recourant à l'addition d'éléments d'alliages [1].

En effet, les aciers sont essentiellement constitués du fer et du carbone dont la teneur en ce dernier est inférieure à 2,4 % [2].

Cependant, d'autres éléments sont introduits en faible quantité au moment de son élaboration à fin de modifier certaines propriétés.

I.1.2 Classification des aciers

Les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes, suivant le nombre élevé d'éléments additionnés au fer ainsi leur teneur.

La classification des divers alliages à base du fer se fait selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation [1].

On distingue quatre familles d'aciers qui sont :

- Aciers au carbone d'usage général ;
- Aciers de traitement thermique, alliés ou non ;
- Aciers à outils ;
- Aciers inoxydables.

a. Aciers ordinaires (aciers au carbone)

Les aciers ordinaires sont des aciers standards d'usage général qui sont appelés également aciers au carbone. Ils ne nécessitent pas un traitement ultérieur dans leur utilisation. Ce type d'acier constitue environ **80 %** de la production des aciers.

Outre le carbone, ces aciers contiennent des éléments d'addition et des impuretés dont la présence découle de leur mode d'élaboration : Manganèse (**1.2%**), soufre (**0.06%**), phosphore (**0.06%**). Ces pourcentages présentent les teneurs limites de ces éléments dans ces aciers [1].

b. Aciers de traitements thermiques

Les aciers de traitements thermiques sont définis par rapport à leur composition chimique, qui permet de déterminer le type de traitement à appliquer selon leur propriété souhaitée.

I.2. Aluminium pur

L'aluminium occupe la première place de la métallurgie des métaux non ferreux, avec une consommation mondiale annuelle de 25 millions de tonnes. Il a connu un développement très important grâce notamment à son utilisation dans les industries ayant attiré surtout le domaine du transport (aviation, automobile, marine).

Il est aussi employé dans l'emballage, le bâtiment, l'électricité, la mécanique...etc[3].

I.2.1. Historique

✓ **En 1854 :** Première apparition de l'aluminium était par le chimiste français Sainte-Claire Deville.

✓ **En 1886 : Invention** du procédé d'électrolyse d'aluminium par Paul Héroult (France) et Charles Martin Hall (USA).

I.2.2. Principales caractéristiques d'aluminium

En tonnage, la production d'aluminium ne représente que 2% environ de celle des aciers. Son utilisation s'accroît pour ses propriétés particulières à savoir :

- ✓ **Propriétés mécaniques :** Une excellente ductilité à toute température [3].
- ✓ **Propriétés physiques** (masse volumique de l'aluminium est de **2700 kg/m³**)[3].
- ✓ **Propriétés chimiques :** Il est très réactif ($E^\circ \text{Al}^{3+}/\text{Al} = -1,66 \text{ V/ENH}$) [4].

Certaines propriétés et facteurs peuvent augmenter le pouvoir corrosif d'une atmosphère.

II. Corrosion

Comme tous les matériaux de construction, l'acier tend à se dégrader superficiellement lorsqu'il est soumis à des milieux corrosifs, atmosphères humides, eaux, sols, par la présence de divers facteurs qui interviennent en synergie entre eux: la nature et la structure du matériau, l'environnement avec ses caractéristiques chimiques, la température, le régime hydraulique auquel est soumis le matériau et les contraintes qui lui sont imposées...etc.

II.1 Définition

La corrosion est la destruction chimique ou électrochimique des matériaux métalliques par leur environnement. Elle s'agit également du phénomène auquel les métaux ont tendance à revenir à leur état naturel d'oxyde, sulfate, carbonate...etc., plus stable par rapport au milieu corrosif, avec une dégradation de leurs propriétés [5].

II.2 Types de corrosion

La corrosion des métaux ou des alliages se manifeste suivant différents types :

II.2.1. Corrosion chimique

Il s'agit d'une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase gazeuse ou liquide. Dans le cas où le réactif est gazeux, c'est une corrosion dite sèche. Contrairement au réactif liquide, les produits de corrosion se produisent sur la surface.

En effet, la corrosion purement chimique ne fait pas intervenir le passage d'un courant électrique [6].

II.2.2. Corrosion électrochimique [6]

Dans le cas des matériaux métalliques, la corrosion est généralement d'origine électrochimique, elle consiste en une réaction chimique marquée par un transfert d'électrons entre deux espèces chimiques. Généralement, les atomes métalliques perdent ou donnent des électrons lors d'une réaction dite d'oxydation.

De même, le métal hypothétique M de valence n (ou ayant n électrons de valence) peut s'oxyder selon la réaction suivante :



II.2.3. Corrosion biochimique

La présence d'importantes colonies de bactéries dites anaérobiques qui se développent dans les eaux contenant des sulfates, provoquent une corrosion bactérienne. Ces bactéries consomment donc ces sulfates et les rejettent sous la forme réduite de sulfure, H_2S [3].

II.3 Morphologie de la corrosion

Plusieurs morphologies principales peuvent caractériser une corrosion, à savoir :

II.3.1 Corrosion uniforme

C'est le phénomène de corrosion le plus simple. Il se produit uniformément sur toute la surface considérée. Elle se manifeste dans le cas d'un environnement homogène avec un comportement harmonieux.

Cette homogénéité de comportement s'explique d'une part par l'absence d'inclusion ou de défaut structural, de l'autre part, la non sélectivité de l'environnement vis-à-vis de ces défauts.

Dans le cas de processus de corrosion électrochimique, en toute zone de la surface, il y a alternance aléatoire et régulière entre sites anodique et cathodique[7].

La figure II.1 illustre la corrosion uniforme du métal



Figure II.1 : Corrosion uniforme [5].

II.3.2 Corrosion galvanique

C'est une des formes les plus courantes de corrosion en milieu aqueux. Comme son nom l'indique, elle résulte de la formation d'une pile qui conduit à une hétérogénéité de l'attaque.

Les zones où se produisent les réactions anodiques (corrosion du matériau) et cathodiques (réduction de l'oxydant) sont distinctes.

Cette sélectivité des réactions est due à une différence prévenant soit du matériau, soit du milieu ou des conditions physico-chimiques à l'interface (pile de concentration, aération différentielle) [7].

II.3.3 Corrosion généralisée

La corrosion est généralisée lorsqu'elle progresse à une vitesse quasi-identique sur l'ensemble de la surface du métal exposée au milieu agressif; toute la surface du métal est alors active pour la dissolution [8].

II.3.4 Corrosion par piqûre

C'est une forme de corrosion localisée produite par certains anions, notamment les halogènes et plus particulièrement les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre [9].

La figure II.2 montre l'attaque dans une cavité :

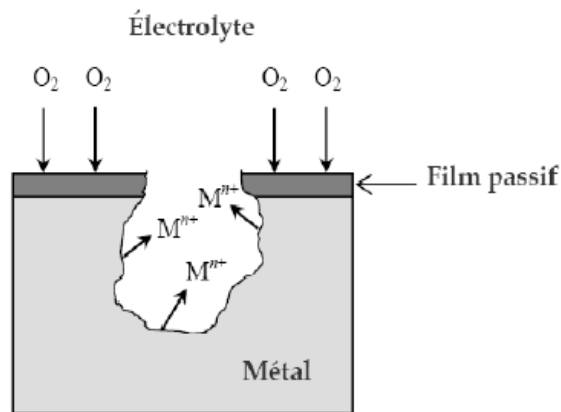
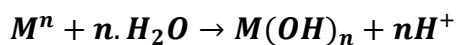


Figure II.2 : Corrosion par piqûre [2].

II.3.5 Corrosion caverneuse

Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique. Cette attaque sélective du métal est observée dans les fissures et autres endroits peu accessibles à l'oxygène, voir la figure II.3 [8].

Réactions anodiques (zone désaérée)



Réactions cathodiques (zone aérée)

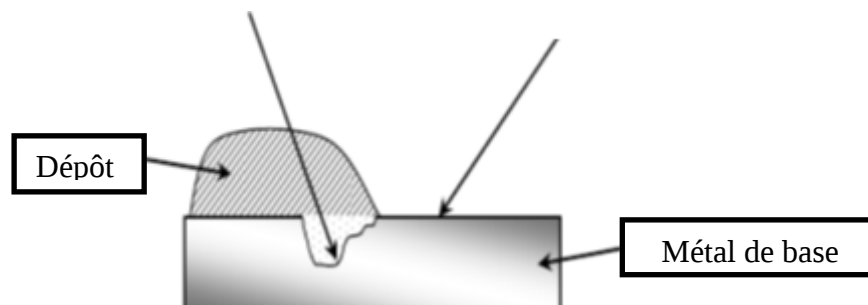
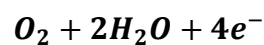


Figure II.3 : Corrosion caverneuse [6].

II.3.6 Corrosion intergranulaire

Cette forme de corrosion se manifeste par une attaque localisée aux joints de grains du matériau. Ces dernières constituent des zones désordonnées par rapport au réseau cristallographique plus régulier des grains. Les joints de grains contiennent de nombreux défauts de structure (lacunes, dislocations) favorables à la précipitation de phases intermétalliques ou de composés métalliques tels que les carbures, ainsi qu'à la ségrégation d'impuretés en solution solide [7].

Cette forme de corrosion est illustrée dans la figure II.4

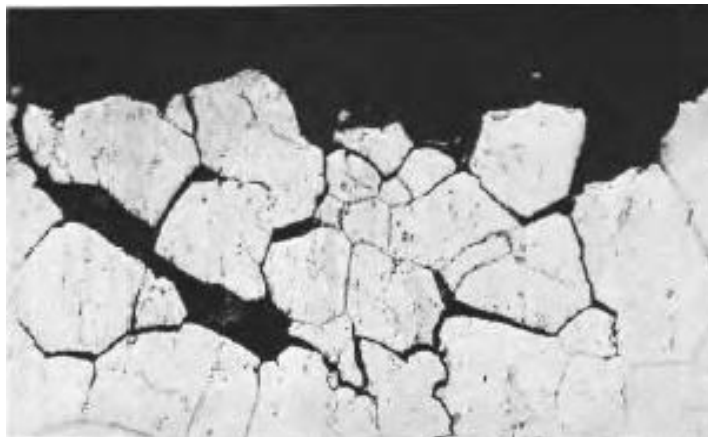


Figure II.4 : Corrosion intergranulaire [5]

II.4 Mécanismes de la corrosion

Le processus de la corrosion des métaux en milieu aqueux est de nature électrochimique. Ce processus repose essentiellement sur l'existence d'une différence de potentiel entre deux éléments d'une micro pile qui conduit à un déplacement de l'équilibre d'oxydo-réduction. Cette différence de potentiel peut résulter d'une hétérogénéité du métal et d'une aération différentielle.

Deux réactions simultanées d'oxydo-réduction atteignent cet effet micro pile :

La réaction anodique correspondant à l'oxydation du métal en espèce soluble [6].



A l'inverse, la réaction cathodique (I.3) correspond à la réduction d'une espèce de ce milieu naturel, il s'agit de l'oxygène dissous s'il est présent



Partie 2 : Métaux et leurs comportements

Les ions métalliques réagissent avec d'autres ions présents dans le milieu aqueux formant ainsi les produits de corrosion [6].

II.5.Principaux facteurs de la corrosion

Les processus chimiques et électrochimiques se produisent au sein de l'électrolyte, les facteurs inhérents au milieu peuvent donc avoir une influence sur leur déroulement [10].

Le tableau II.1 regroupe les principaux facteurs de corrosion

Tableau II.1 : les principaux facteurs de corrosion [11]

<i>Facteurs relatifs au milieu et définissant les modes d'attaque</i>	• Concentration du réactif • Teneur en oxygène, en impuretés, en gaz dissous (CO₂, NH₃, H₂S,) • Acidité (pH) du milieu, salinité, résistivité • Température, Pression • Présence de bactéries
<i>Facteurs Métallurgiques</i>	• Composition de l'alliage, hétérogénéités cristallines • Procédés d'élaboration • Impuretés dans l'alliage, inclusions • Traitements thermiques, mécaniques • Additions protectrices
<i>Facteurs définissant les conditions d'emploi</i>	• Etat de surface, défaut de fabrication • Forme de pièces • Sollicitations mécaniques • Emploi d'inhibiteurs • Procédés d'assemblage (couple galvaniques, soudures,) • Croûtes d'oxydes superficielles • Force électromotrice extérieure (électrolyse)
<i>Facteurs dépendant du temps</i>	• Vieillissement • Tensions mécaniques internes ou externes • Température- Modalité d'accès de l'oxygène ou autres gaz dissous • Modification des revêtements protecteurs • Apparition d'un dépôt (calcique ou autre)

Références Bibliographiques

Chapitre I Partie II

- [1] : H. MAROUF, Caractérisation structurale et mécanique du joint soudé de la liaison bimétallique Acier ordinaire E36/ Acier anti usure NAXTRA70 utilisé par l'unité grue Béjaia dans l'assemblage la pelle chargeuse et godet d'excavation, Mémoire de Magister, université de Mouloud Mammeri de TiziOuzou, 2012
- [2] : S. BEDDEK, Réalisation et étude des couches cuivre/acier(E33) et Evaluation en milieu corrosif, Mémoire d'Ingéniorat, Ecole Nationale Polytechnique, 2014
- [3] : A. HADDOUCHE, Caractérisation physico-chimique des alliages d'Aluminium utilisés comme matériau de revêtement mural, Mémoire de Master, Université Med Khider Biskra, 2014
- [4] : F. AHNIA, Etude du comportement en milieu marin de couches Aluminium /Acier réalisées par projection à l'arc électrique Traité des matériaux, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 2009/2010
- [5] : G. DAUFIN, J. TALBOT. Etude de quelques problèmes de corrosion dans l'industrie laitière. Première partie. Généralités sur la corrosion des métaux et alliages. Le lait ,51(507), 375-398, 1971
- [6] : M. BOUMELIK, Z. GHARBI, Expertise de l'état de corrosion d'une installation pétrolière protégée cathodiquement, Mémoire d'Ingéniorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2011
- [7] : F. ROPITAL, Corrosion et dégradation des matériaux métallique, Université Lyon, France, 2009
- [8] : H. MENDY, Etudes expérimentales et simulations des processus de corrosion aux interfaces matériaux métalliques-environnement, Thèse de Doctorat, Université d'Evry val d'Essonne, France, 2008
- [9] : S. MAHMOUDI, Etude comparative entre deux métaux passifs en milieux neutre, alcalin et acide: un acier inoxydable 304L et un alliage de titane Ti6Al4V, Mémoire de Magistère, Université Mentouri- Constantine, 2008
- [10] : K. BOUASLA, La corrosion des conduites d'alimentation en eau potable en acier Application à l'évaluation de l'état de corrosion de la chaîne d'adduction SPIK, Mémoire d'Ingéniorat, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique d'Alger, 2009
- [11] : L. BABOURI, Etude de la Résistance à la corrosion des alliages de cuivre en milieu salin, Mémoire de Magister, Université du 20 Aout 1955, Skikda, 2008

Le phénomène de corrosion se produit lorsqu'un métal est soumis à un milieu agressif, en particulier à l'humidité et à l'oxygène. L'application de moyens de protection apporte des solutions pour enrayer cette corrosion, du moins la retarder. On cite : traitement de surface, revêtement organique ou métallique, électrodéposition, galvanisation, et même transformation de la surface du métal.

I. Protection contre la corrosion

Le processus de corrosion peut également être ralenti en agissant sur la réaction chimique en elle-même [1].

La protection contre la corrosion des aciers et des structures repose principalement sur la réalisation des traitements de surface par la création des alliages à partir d'un métal de base : cuivre, fer, aluminium...etc., en lui ajoutant d'autres métaux en quantité mesurée pour améliorer ou modifier certaines propriétés [6].

En général, le traitement le plus employé est le revêtement métallique par différentes techniques de dépôts. On distingue deux types de revêtements métalliques et ceci selon leur comportement à la corrosion par rapport au substrat [3].

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

La différence entre eux se remarque en présence de défauts et des pores.

I.1 Projection thermique

La projection thermique occupe une place considérable dans le monde des traitements de surface.

a. Historique

En 1909 : L'invention de la projection du plomb fondu à l'aide d'un vaporisateur, puis du plomb en poudre à travers une flamme par l'ingénieur suisse Schoop.

En 1914 : Les premières applications industrielles qui sont :

- Dans le domaine militaire (projection d'étain sur la face arrière d'obus).
- Dans l'anticorrosion (dépôts d'Aluminium),
- En décoration (dépôts de bronze).

Dès 1914 : Des essais de projection par arc électrique furent réalisés [3].

b. Principe de la projection

La projection thermique regroupe l'ensemble des procédés grâce auxquels un matériau d'apport est fondu ou porté à l'état malléable par une source de chaleur, puis est

projeté sur la surface à revêtir dite substrat où il va se solidifier. Cette surface de base ne subit ainsi aucune fusion, donc il s'agit d'une adhérence mécanique.

La figure I.1 illustre le principe général de la projection thermique.

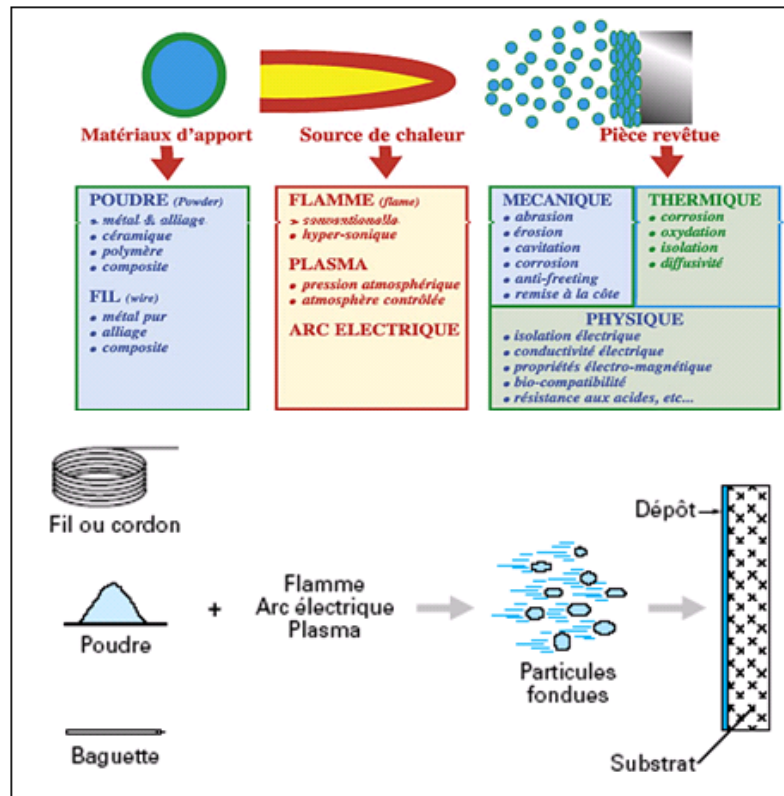


Figure I.1 : Principe de la projection thermique [2].

La matière à déposer peut être sous forme de poudre, de fil, de cordon ou de baguette est fondue totalement ou partiellement dans une source de chaleur (flamme, arc électrique, plasma). La pulvérisation de la matière, et le transport des gouttelettes ainsi formées jusqu'à la surface à revêtir sont assurés par un gaz vecteur [2].

I.1.1 Techniques de la projection thermique

Il existe de nombreux procédés de projection thermique avec le même principe (fondre un matériau d'apport, puis le projeter grâce à un gaz vecteur). Seules deux sources de chaleur sont utilisées la flamme et l'arc électrique.

On distingue cinq principaux procédés : Projection à la flamme, à l'arc, plasma, HVOF et à froid [4].

I.2 Projection à flamme

Le procédé de projection se fait dans une atmosphère ambiante par une flamme basée sur la combustion d'un carburant sous forme gazeuse avec l'oxygène de l'air. Dans la technologie dite flamme-poudre, le matériau est introduit sous forme de poudre dans la flamme diffusante qui le véhicule jusqu'au substrat. La température de la flamme est comprise entre 3000 et 3350 K.

La projection à flamme est très bien adaptée pour projeter les métaux (Zn, Ni, Al, Mo...) ou les alliages (bronze, NiAl, l'acier inoxydable) [5].

La figure I.2 illustre le principe d'un pistolet flamme- poudre.

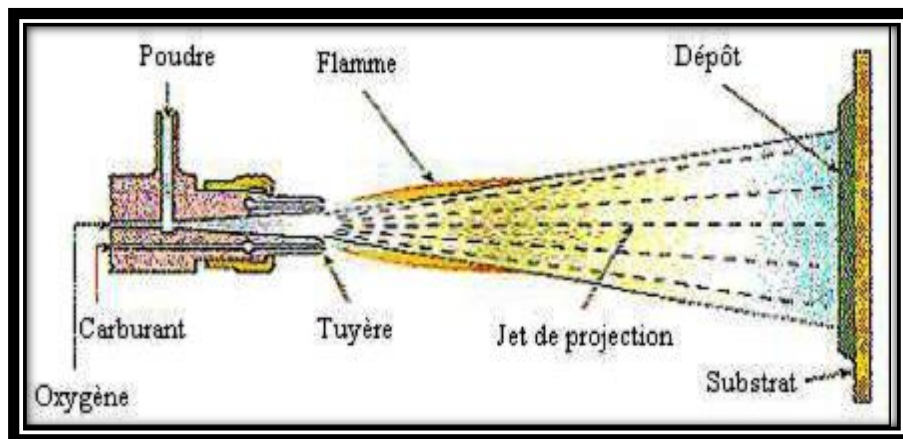


Figure I.2 : Schéma du principe d'un pistolet flamme-poudre [5].

Il existe également le procédé « projection flamme fil » où le matériau d'apport est sous forme de fil, de baguette ou de cordon.

I.3 Projection hypersonique HVOF

Ce procédé est basé essentiellement sur la combustion sous pression d'un carburant gazeux (acétylène, hydrogène) ou liquide (kérosène), en présence de l'oxygène de l'air en particulier pour le kérosène.

La poudre à projeter est propulsée sous pression dans l'axe du jet (injection en amont de la tuyère), ou bien est injectée au voisinage en aval de la tuyère à une pression proche de la pression atmosphérique comme le montre la figure I.4 :

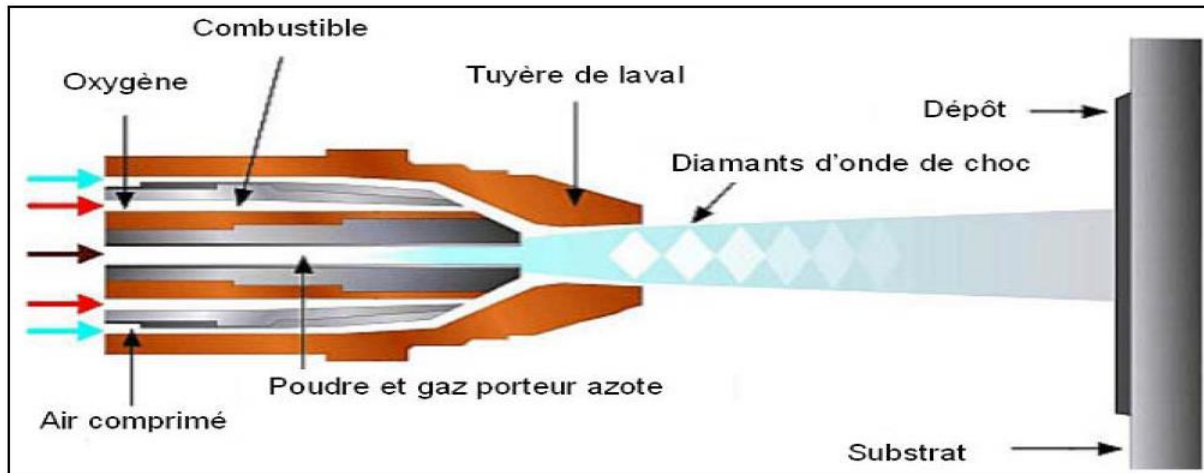


Figure I.4 : Schéma du principe du procédé HVOF [1].

I.4 Projection plasma

Le procédé de projection plasma soufflé utilise comme source thermique un arc électrique éclatant entre une cathode et une anode dans un plasma gazeux.

L'arc électrique de forte intensité est généré entre deux électrodes pour ioniser des gaz dits plasmagènes (argon, hydrogène, hélium ou azote).

Le milieu ainsi créé est électriquement neutre et constitué d'un mélange de molécules, ions, atomes et électrons appelé plasma thermique.

La figure I.5 représente le principe de la projection plasma.

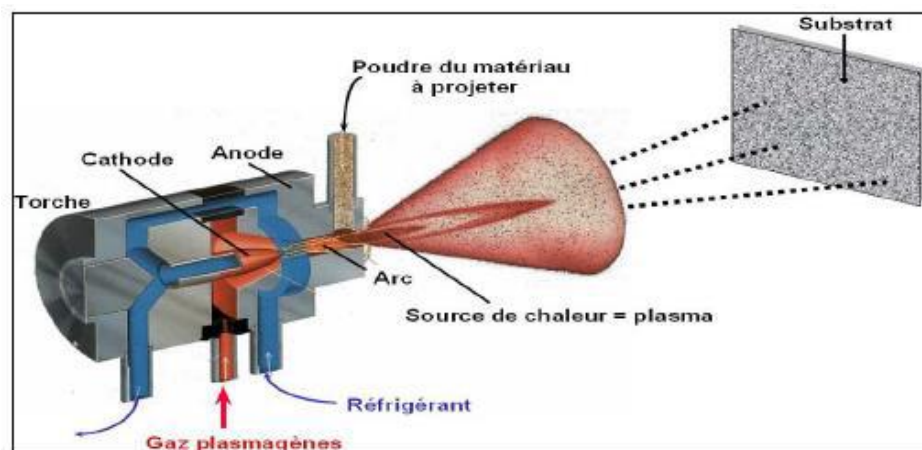


Figure I.5 : Représentation schématique de la projection plasma [1].

Le flux gazeux, est porté à très haute température (**15000 à 20000°C**), est étranglé dans une tuyère, et s'échappe de la buse à vitesse élevée. C'est à l'intérieur de ce jet de plasma à haute énergie que l'on injecte le matériau d'apport sous forme de poudre véhiculée par un gaz

porteur. Les particules sont fondues et transportées par ce jet de gaz sur le substrat. Ce qui permet d'obtenir une bonne fusion et un bon étalement des particules à l'impact.

I.5 Projection arc électrique

La projection arc-fil est une technique de revêtement de surface relativement économique qui compte de nombreuses applications industrielles.

Le principe consiste à créer un arc électrique entre deux fils ductiles consommables et à atomiser le matériau aussi fondu par un jet de gaz comprimé (généralement de l'air) qui le projette sur le substrat (figure I.6).

Les pistolets à arc électrique sont alimentés par des générateurs à courant continu avec des tensions d'arc comprises entre 25 et 40 V, pour des intensités de courant allant de 100 à 500 A. Ils sont essentiellement constitués de deux parties :

- La première sert à l'entraînement des fils ;
- La seconde assure la fusion et la projection du métal fondu.

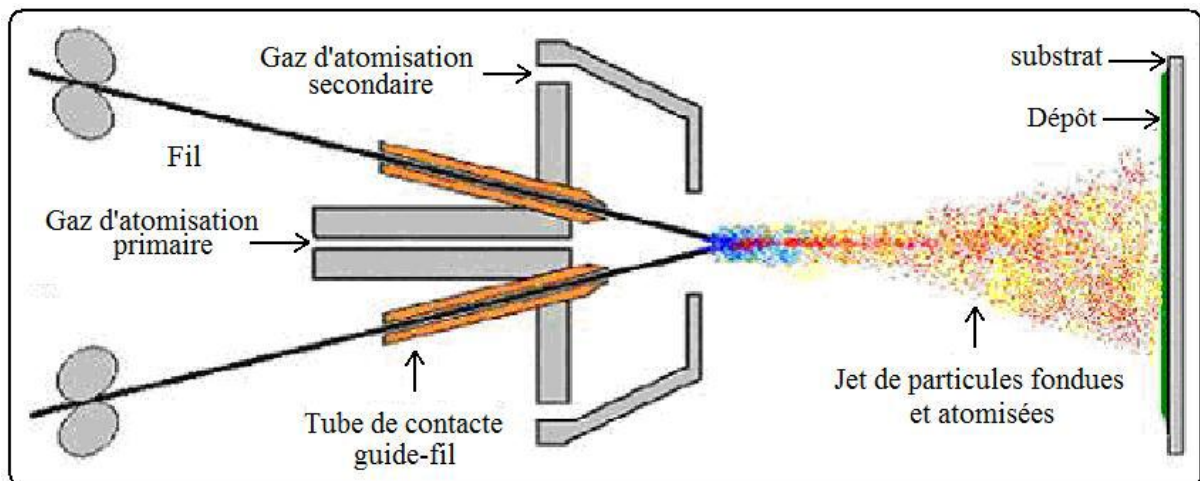


Figure I.6: Schéma de principe d'un dispositif de projection à l'arc électrique [3].

A l'intérieur du pistolet, les fils sont guidés par deux tubes permettant, d'une part, le positionnement du fil avant son entrée dans la zone de fusion et, d'autre part, la transmission du courant électrique aux fils.

La figure I.7 représente le schéma de la tête d'un pistolet de projection Arc-Fil équipé d'un système de gaz d'atomisation secondaire [3].

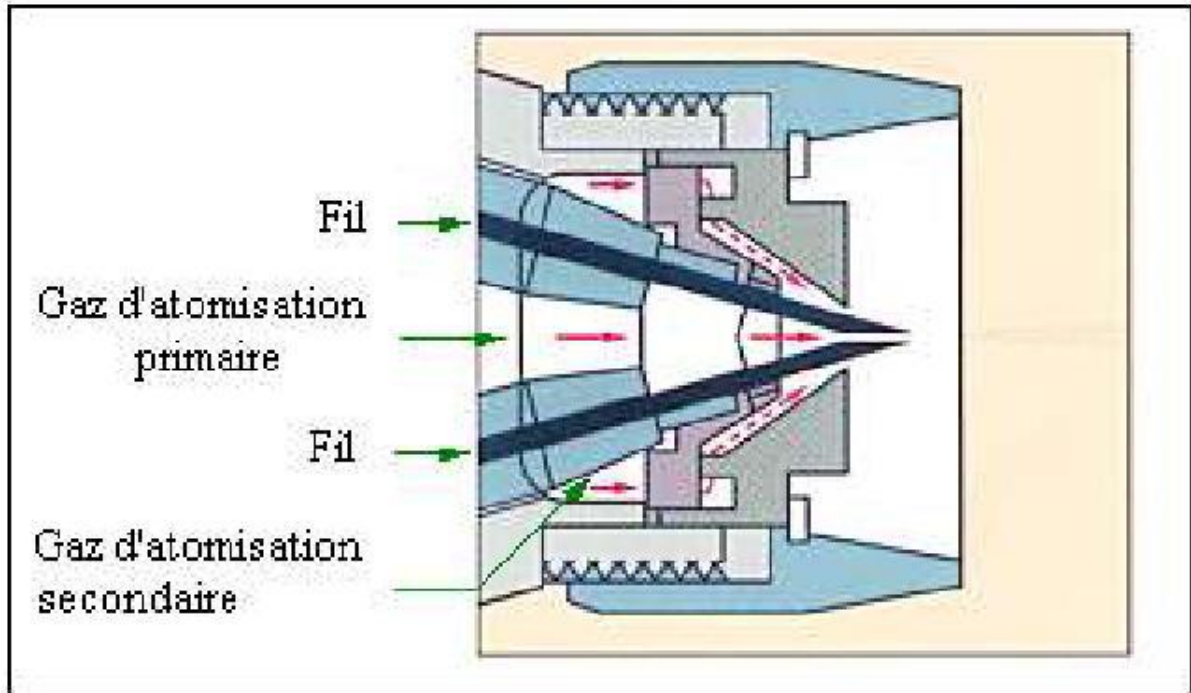


Figure I.7 : Schéma de la tête d'un pistolet de projection Arc-Fil équipé d'un système de gaz d'atomisation secondaire

L'utilisation d'un gaz d'atomisation secondaire (gaz de gainage) conduit à une meilleure canalisation du jet des particules et à l'augmentation de leurs vitesses à l'impact sur le substrat, ce qui améliore les propriétés du dépôt. Le gaz d'atomisation secondaire permet aussi de réduire l'entraînement de l'air ambiant et l'oxydation du dépôt [3].

La plupart des matériaux métalliques tels que le zinc, le cuivre, l'aluminium, le bronze, l'acier ainsi que de nombreux alliages peuvent être projetés par cette technique.

Il existe deux types de fils pour la projection thermique par arc-fil :

- Pour les métaux purs ou certains alliages ductiles, des fils pleins sont utilisés. Ils sont composés uniquement du matériau à déposer ;
- Pour des alliages plus complexes ou des composites, des fils fourrés peuvent être utilisés. Ils sont constitués d'une enveloppe métallique ductile électriquement conductrice à l'intérieur de laquelle est introduite une poudre.

Ce type de traitement fait sujet de notre étude pour son intérêt économique par rapport aux autres cités précédemment, et à sa conception simple nécessitant une maintenance réduite ainsi une utilisation de gaz courants comme l'air comprimé ou l'azote.

Références Bibliographiques

Chapitre I Partie III

- [1] : S. BEDDEK, Réalisation et étude des couches cuivre/acier(E33) et Evaluation en milieu corrosif, Mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique, 2014
- [2] : M. BENDJEDIA, Etude de la corrosion d'un acier inoxydable réalisé par projection thermique, Mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique, 2007-2008
- [3] : F. AHNIA, Etude du comportement en milieu marin des couches Aluminium /Acier réalisées par projection à l'arc électrique Traité des matériaux, Mémoire de Magister, ENP Alger, 2010
- [4] :M. KEHIL, Tenue à l'usure d'un acier ordinaire à dépôt d'alumine par plasma, Thèse de Magister, Université de Ferhat Abbas-Setif, 2012
- [5] : D.DJEZIRI, Comportement électrochimique d'un dépôt en acier inoxydable réalisé par projection thermique, Mémoire de Magister, Ecole nationale polytechnique, 2007
- [6] :C. VARGEL, Corrosion de l'Aluminium, 1^{er} Édition, DUNOD, Paris, 1999.

L'objectif de la présente étude se focalise sur l'évolution de la corrosion de l'acier au carbone avec et sans traitement, dans de l'eau de pluie contenant l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique.

II. 1 Matériaux utilisés

Deux matériaux sont utilisés dans ce projet, l'acier au carbone comme étant le substrat et l'aluminium qui a été projeté sur le substrat par un traitement thermique.

II.1.1 Substrat

L'acier utilisé dans cette étude est un acier de construction non allié laminé à chaud de norme **NF 10025** et de nuance **E24-2**, produit par la société ANABIB, avec un taux de carbone qui varie entre 0.21 et 0.25%.

II.1.2 Préparation des échantillons

Une préparation des échantillons a été faite pour les échantillons traités et non traités.

a. Acier pur

Les échantillons de l'acier pur sont des plaques rectangulaires, qui sont découpées par la suite en éprouvettes d'environ 15mm×10mm avec 2mm d'épaisseur, puis elles sont percées d'un trou de 2 mm de diamètre.

- **Polissage mécanique**

Le polissage est effectué pour les échantillons en acier purs à l'aide d'une polisseuse de marque Struers Labopol-5 (voir la figureII.1).

Les échantillons sont polis manuellement au moyen de disques abrasifs en carbure de silicium (**SiC**), de grade progressif (**800 et 1200**) montés sur des tourets de polissage dont la vitesse est d'environ **500 tr/min** jusqu'à l'obtention d'un bon état de surface, suivi d'un polissage de finition avec un tissu en feutre imprégné de poudre d'alumine (**Al₂O₃**) pour atteindre une rugosité dite 'poli-miroir'.

La figure suivante illustre une polisseuse automatique.



Figure II.1 : Polisseuse mécanique.

b. Acier traité

La plaque d'acier utilisée est de forme rectangulaire de dimensions (20 x 15 cm) et de 2 mm d'épaisseur.

Avant la réalisation de la projection, une préparation de la surface de cette plaque est nécessaire, par un polissage mécanique puis un grenaillage avec des grains de fonte (figure 2).



Figure II .2 : Plaque d'acier grenaillée avec des grains de fonte (à gauche) et une plaque traitée par l'aluminium (à droite).

Ce grenaillage permet rugosité moyenne (R_a : 4 à 6 μm) à la surface du substrat, afin d'assurer une meilleure adhérence du dépôt au substrat.

Le traitement choisi dans notre étude s'agit d'un traitement thermique par projection arc :

- **Traitement de surface par projection arc**

Le dépôt d'aluminium a été réalisé moyennant la technique de projection à arc entre deux fils en aluminium.

La projection à arc électrique a été effectuée par un appareil **ARCSPRAY 234** pour l'élaboration des échantillons.

La figure suivante représente un pistolet de projection :



FigureII.3 : Pistolet de projection à arc électrique « Arc spray 234 ».

Le tableau II.1 résume les conditions opératoires réalisées sur les différents échantillons.

TableauII.1 : Condition de la projection arc.

<i>Pression de projection</i>	<i>90 bars</i>
Tension du générateur	40 V
Intensité de courant	100 A
Distance de projection	150 mm
Angle de tir	90°
Diamètre des fils	1,6 mm

Le système de projection par arc électrique comporte un pistolet ayant une puissance électrique et des fils. L'arc électrique est réalisé à la sortie de la buse par le contact entre les deux fils d'aluminium.

Chapitre II : Procédures et méthodes expérimentales

Le dépôt est réalisé par la disposition de plusieurs couches de fil fondu, par balayage sur toute la surface de la plaque d'acier plusieurs fois par le pistolet.

Ensuite, la plaque est découpée en éprouvettes rectangulaires (15mm x 10mm) et percées d'un trou de 2 mm de diamètre puis elles sont nettoyées aux ultrasons dans un bain d'acétone pendant 1min à 20°C.

II.1.3 Milieu de la corrosion

Le milieu choisi dans notre projet consiste l'eau de pluie acidulée par l'ajout de H₂SO₄ dont sa composition est donnée comme suit :

L'eau de pluie utilisée dans cette étude a été collectée dans la région de TiziOuzou, embouteillée par la suite dans des bouteilles en polypropylène, gardée au réfrigérateur pour sa conservation. L'analyse de cette eau de pluie a été effectuée par une auto analyseur à flux continue, sa composition chimique est donnée dans les tableaux II.2 et II.3 :

Tableau II.2: Tableau donnant la minéralisation globale de l'eau de pluie [1]

<i>pH</i>	<i>Conductivité (ms/cm)</i>	<i>Ca²⁺ mg/l</i>	<i>Mg²⁺ mg/l</i>	<i>Na⁺ mg/l</i>	<i>K⁺ mg/l</i>	<i>Cl⁻ mg/l</i>	<i>SO₄²⁻ mg/l</i>	<i>HCO³⁻ mg/l</i>	<i>CO³⁻ mg/l</i>
6,21	0,15	23	trace	4	7	11	22	31	0
SiO ₂ (mg/l)		TH(°f)			TAC(°f)			TA	
1,21		6			3			0	

Tableau II.3 : Paramètres de la pollution de l'eau de pluie analysée [1]

<i>Ammonium NH₄⁺ (mg/l)</i>	<i>Nitrite NO₂⁻ (mg/l)</i>	<i>Nitrate NO₃⁻ (mg/l)</i>
0,02	Néant	11,93

II.1.4 Tests d'immersion dans la solution corrosive

La solution corrosive a été préparée par l'eau de pluie avec une fixation du pH du milieu en différentes valeurs (3, 4 et 5), par l'ajout de l'acide chlorhydrique (HCl 0,1M) et l'acide sulfurique (H₂SO₄ 0,1M) dans des flacons en verre, ainsi qu'une solution témoin de l'eau de pluie. Ensuite, les échantillons sont suspendus à l'aide d'un fil de pêche.

Ces essais sont réalisés pour les deux aciers (avec et sans traitement).

II.1.5 Mesure du pH

Le pH est mesuré avec un pH mètre (figure II.4).Ce montage comprend une sonde (constituée d'électrodes).

La valeur du pH est affichée par l'appareil juste après avoir plongé cette sonde dans la solution.



Figure II.4 : Montage de pH mètre.

II.1.6 Evaluation de la perte du poids

Après la préparation des échantillons (avec et sans traitement thermique), une première pesée dite à blanc (m_0) a été prise à l'aide d'une balance de précision numérique de marque OHAUS (figure II.5).



Figure II.5 : Balance de précision OHAUS

Chapitre II : Procédures et méthodes expérimentales

De plus, les échantillons immergés dans la solution corrosive sont pesés quotidiennement pendant **3 semaines** pour évaluer la progression de la corrosion en fonction du temps.

La figure II.6 représente la photo du dispositif expérimental d'immersion :

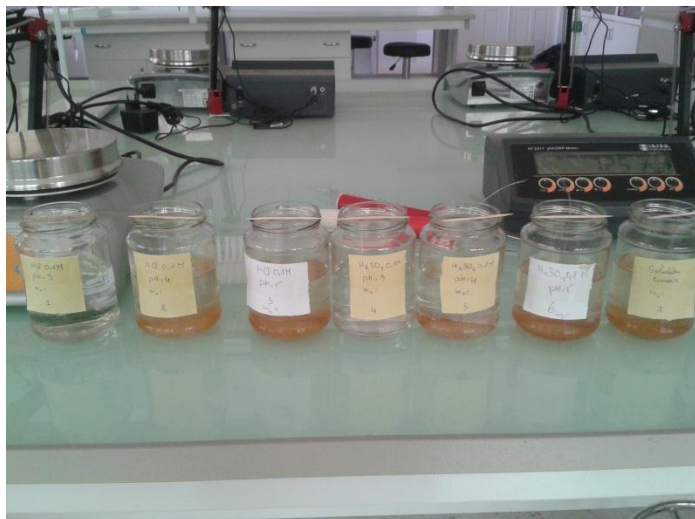


Figure II.6 : Photo du dispositif expérimental de l'immersion.

La perte du poids est mesurée par le calcul de la variation de la masse moyenne pour chaque type d'échantillon par unité de surface de l'éprouvette [2] :

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_f}{S} \quad (\text{II .1})$$

Avec

m_f : Masse finale après immersion qui correspond à un temps donné ;

m_0 [mg] : Masse initiale qui correspond au poids avant immersion ;

S [cm²] : Surface de l'éprouvette.

II.1.7 Techniques d'analyses

Cette étude de la corrosion a été évaluée par la microscopie optique, la microscopie électronique à balayage :

a. Microscopie optique

L'analyse de la surface des échantillons avec et sans traitement thermique a été faite par stéréomicroscope optique de marque **NOVEX** de différent grossissement (10 fois- 40

fois). Les images sont collectées à l'aide d'un appareil photo numérique lié à un ordinateur.

b. Microscopie Electronique à Balayage (MEB)

L'analyse du MEB a été effectuée dans le but de déterminer l'épaisseur et la morphologie du dépôt réalisé sur le substrat.

L'échantillon a analysé a subi un traitement de surface par projection arc.

c. Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA)

La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique consiste à déterminer la concentration en fer présents dans les différentes solutions.

Nous avons effectué de prélèvements de **2ml** de chaque solution en fonction du temps puis des dilutions ont été réalisées de dix fois, avec une filtration des échantillons.

Une série de solutions à différentes concentration respectivement de **1, 2, 3, 5, 8, 10, 1.2, 15, 20, 30 ppm** ont été préparé.

Ces solutions sont analysées par la SAA au sein de laboratoire de Génie de Procédés à l'Université Amar telidji Laghouat, afin de tracer une courbe d'étalonnage qui est donnée dans la figure II.7 :

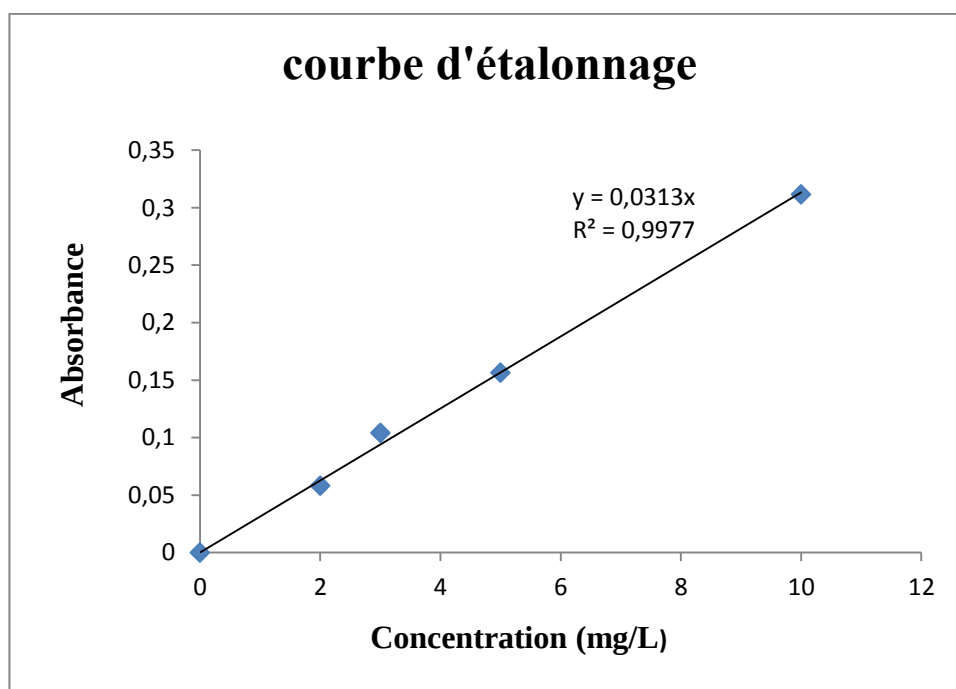


Figure II.7 : Courbe d'étalonnage du fer.

Référence

Chapitre II

- [1] : Y.AMI, Impact des pluies acides sur quelques métaux, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2012
- [2] : A.YOUCHEF AZOUZ, Effets de la concentration de NaCl sur la corrosion de l'acier doux en présence des cations Zn^{2+} et anions CrO_4^{2-} , Mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar Batna, 2010

Chapitre III : Résultats et Discussion

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats obtenus par les différentes techniques (perte du poids, microscopie optique, MEB) et leur interprétation.

III.1 Perte du poids

Les figures III.1 à III.3 représentent les résultats de la perte du poids en fonction du temps dans HCl :

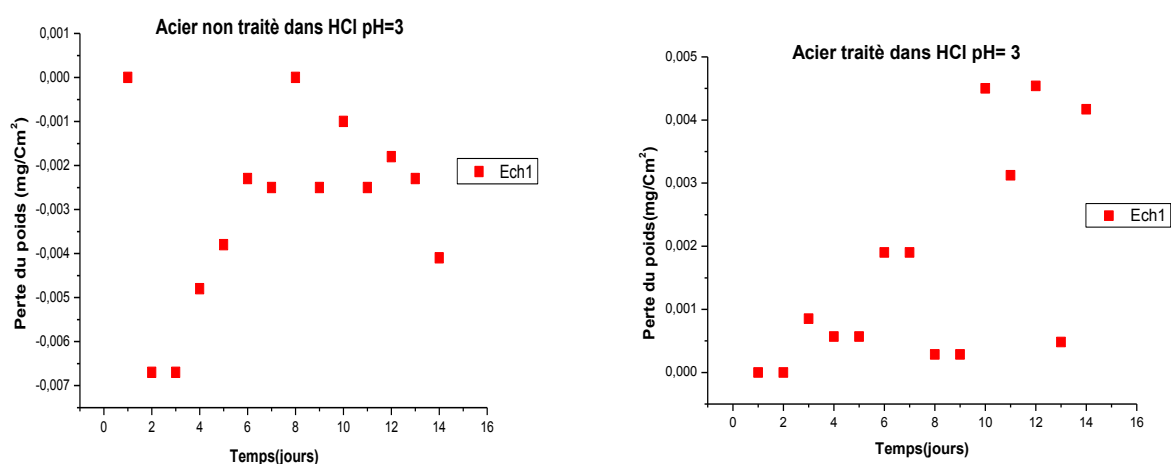


Figure III.1 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans HCl à pH=3

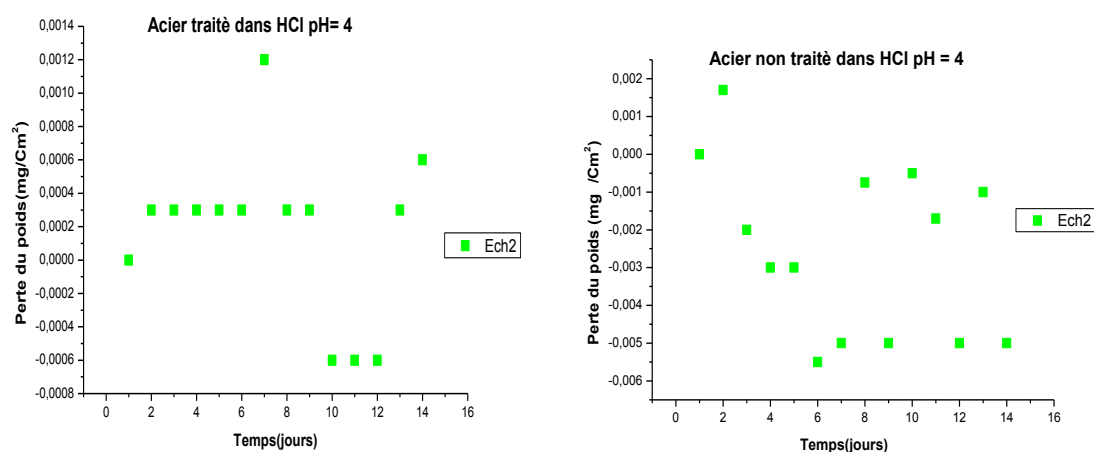


Figure III.2 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans HCl à pH=4

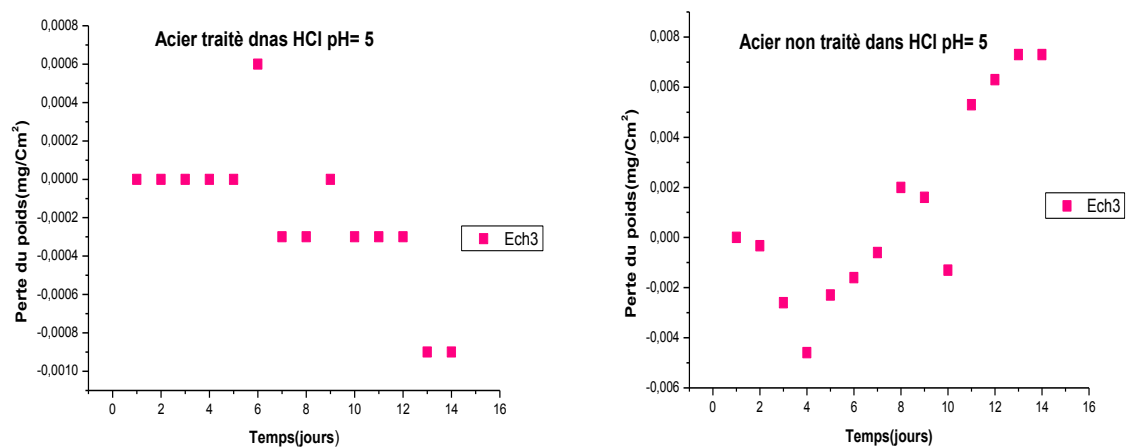


Figure III.3 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans HCl à pH=5

Les figures III.4 à III.6 représentent les résultats de la perte du poids dans H_2SO_4 :

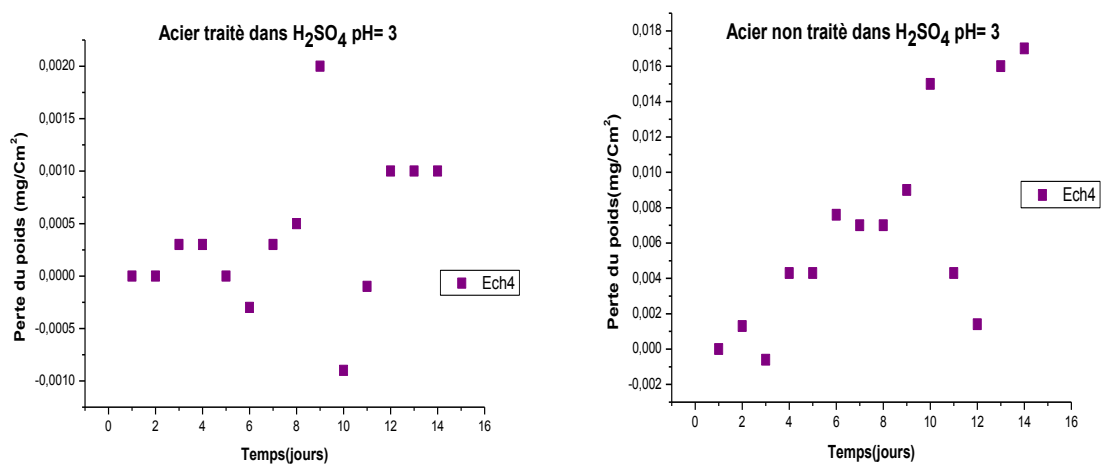


Figure III.4 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans H_2SO_4 à pH=3

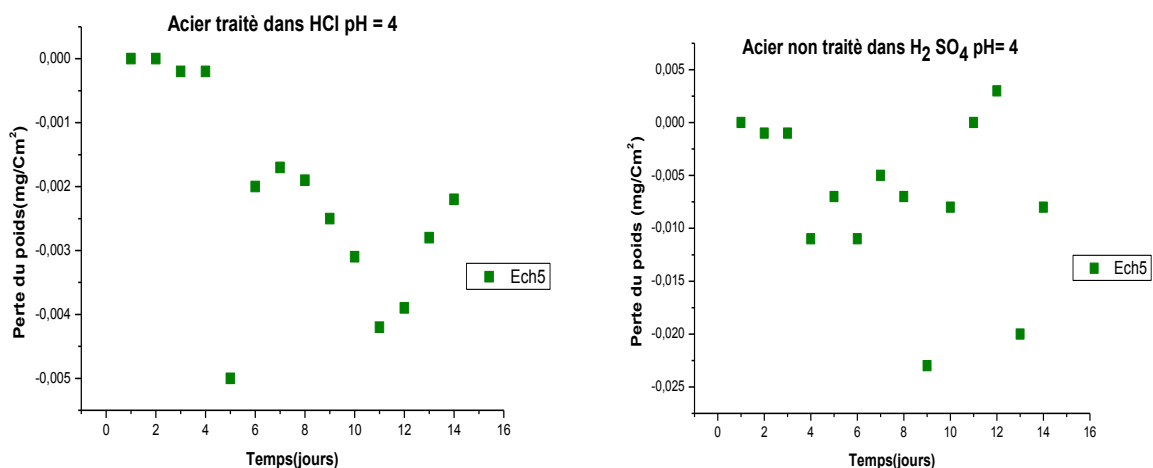


Figure III.5 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans H₂SO₄ à pH=4

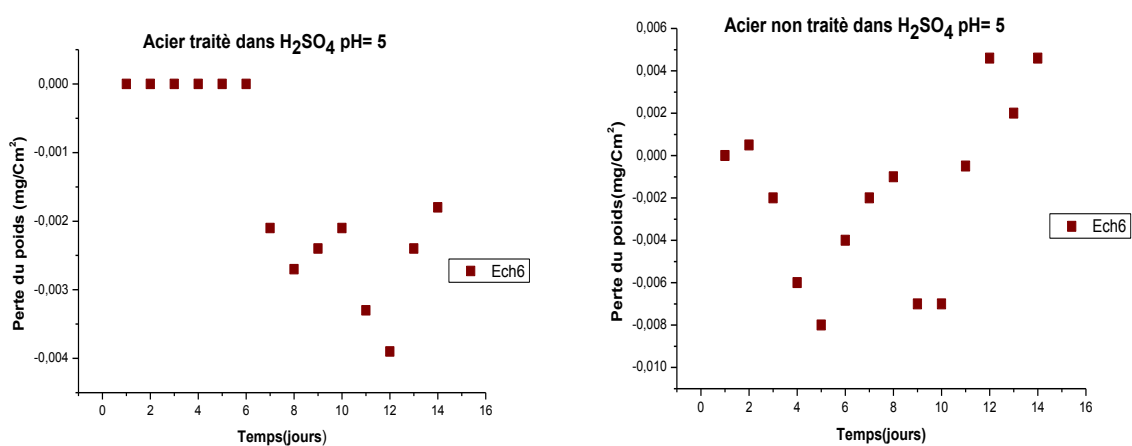


Figure III.6 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans H₂SO₄ à pH=5

La figure III.7 représente les résultats de la perte du poids d'une solution témoin :

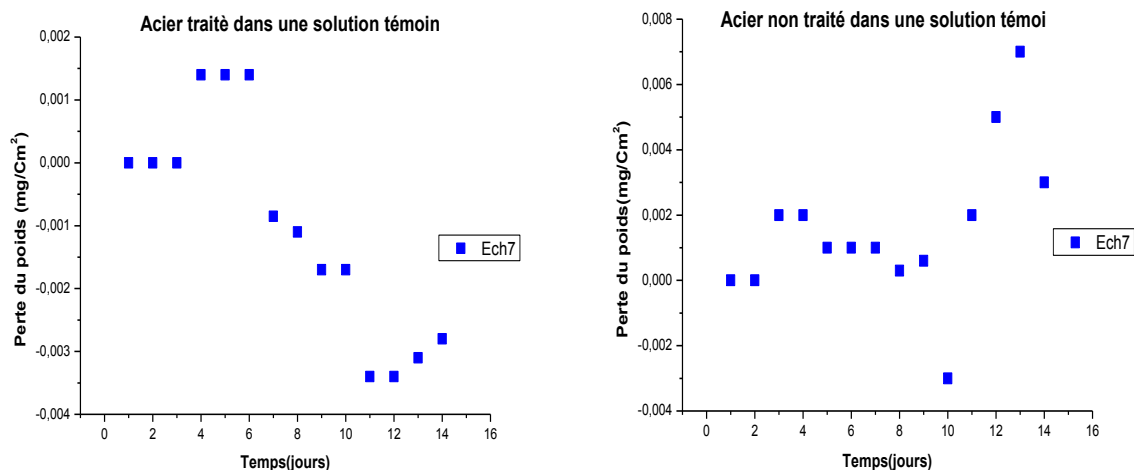


Figure III.7 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans une solution témoin

III.1.1 Discussion des résultats de perte de poids

a. Dans une solution d'immersion contenant HCl

Les techniques de masses ont été utilisées dans ce travail afin d'étudier l'efficacité de ces derniers dans des conditions expérimentales différentes (pH solution et milieu d'immersion).

Ces courbes de perte de poids tracés en fonction du temps présentent une différence des allures différentes sachant que pour l'acier non traité, une instabilité est remarquée pour les trois pH avec un gain dans certains cas et des pertes en d'autres.

En revanche, pour l'acier traité on a constaté une stabilité de la variation de masse durant 5 jours d'exposition, un gain de -0.0006ppm/cm^2 est obtenue pendant une semaine traduit l'accumulation de la couche formée.

De même pour **pH=4**, la variation est constante dans les neuf premiers jours en $+0.0003\text{mg/cm}^2$, puis on constate une diminution jusqu'à -0.0006ppm/cm^2 .

Contrairement au **pH=3**, une importante augmentation jusqu'au **10j** reflète une perte de masse considérable, due à l'attaque du revêtement (aluminium est sensible à la présence du chlore) [1].

Une observation visuelle nous montre une présence abondance d'une poudre blanche dans la solution à **pH=5**, sa quantité est décroissante avec les valeurs du pH.

La plupart de la littérature disponible sur l'Aluminium [2] révèle l'existence d'une fine couche d'alumine à des pH alcalins (couche protectrice) [3]. Donc, on prévoit que la poudre blanche présente dans la solution s'agit de l'alumine Al_2O_3 [4]. Ce qui confirme la stabilité de la perte de masse a pH=5 par la présence d'une pellicule d'oxyde empêchant la dissolution des ions.

Pour l'acier non traité, nous avons observé la formation de la rouille qui peut rester coller sur la surface de l'échantillon. Ce phénomène explique le gain et la perte du poids obtenue par les graphes précédents

b. Dans une solution d'immersion contenant H_2SO_4

Une différence d'allure est remarquée où une perte est obtenue pour l'acier non traité et un gain du poids apparu après une stabilité durant la première semaine pour l'acier traité avec un revêtement d'aluminium à pH=5. Par contre, la variation du poids augmente pour les deux cas à pH=3.

En revanche, les variations de la masse à pH=4 indiquent un gain du poids dont les valeurs sont comprises entre -0.005 et -0.001mg/cm² pour acier non traité, les valeurs du gain dans acier traité entre -0.005 jusqu'à -0.001ppm/cm² Ces dernières sont inférieures à celle de la solution d'immersion d'HCl (0.0005 et 0.0015 mg/cm²).

Selon [4]., l'aluminium est beaucoup moins sensible à l'action du soufre que l'acier, ce qui confirme les résultats trouvés par la perte du poids en comparant entre l'acier traité et non traité au même pH (la variation de la masse est cinq fois supérieure dans l'acier non traité que celui traité à pH=4). Cette différence est due à la présence d'une poudre blanche concernant les échantillons traités.

On conclue donc que, les masses perdues dans le cas d'acier traité plongé dans la solution corrosive d' H_2SO_4 , sont inférieures à celle de l'acier traité immergé dans la solution d'HCl dans les mêmes conditions.

Pour les aciers : en présence de l'acide sulfurique, la réaction globale conduit à la dissolution du fer et à la formation de sulfate de fer selon [5] :



La poudre blanche s'agit probablement de sulfate de fer.

c. Solution de l'eau de pluie (témoin)

Un essai à blanc a été effectué pour les deux types d'acier traité et non par immersion des échantillons dans l'eau de pluie sans l'ajout des acides (HCl et H₂SO₄).

Une perte est observée pour l'acier non traité allant jusqu'à **0.008 ppm/cm²** contrairement à l'acier traité, la variation de la masse est quasiment nulle. Ce qui interprète l'efficacité du revêtement qui joue un rôle de barrière physique isolant le métal du milieu corrosif.

III.2 Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA)

Les figures III.8 à III.10 représentent la variation de la concentration en fonction du temps dans HCl :

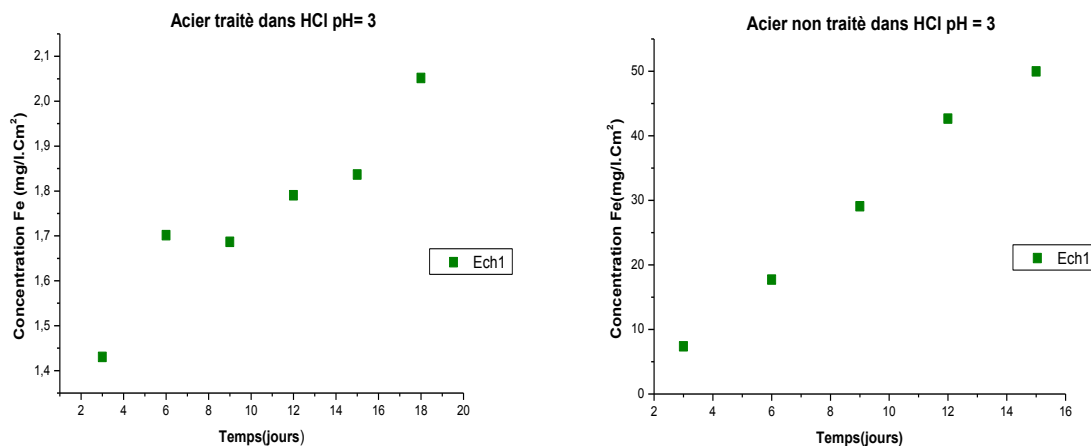


Figure III.8 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=3

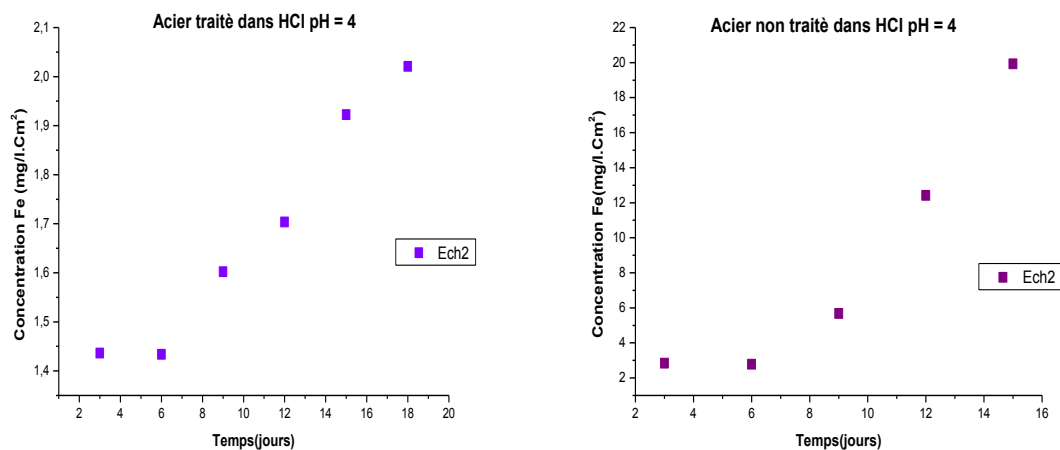


Figure III.9 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=4

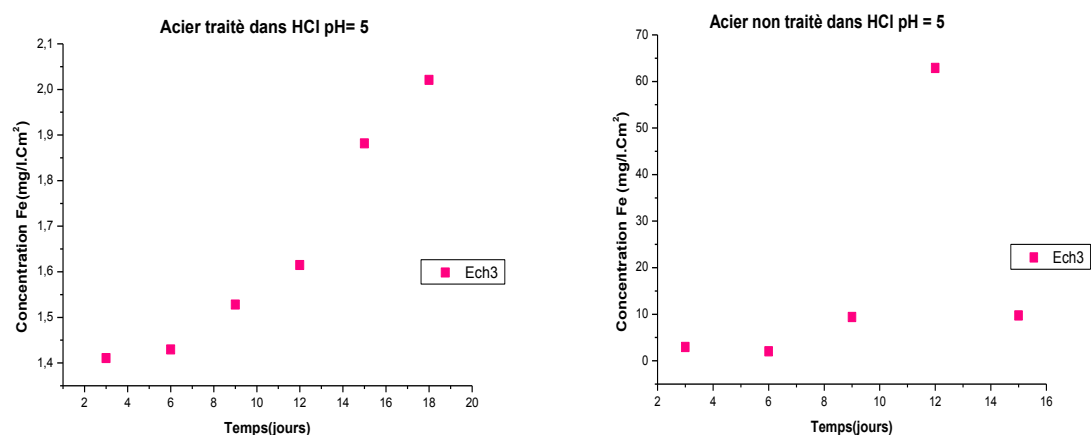


Figure III.10 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=5

Les figures III.11 à III.13 représentent la variation de la concentration en fonction du temps dans H₂SO₄ :

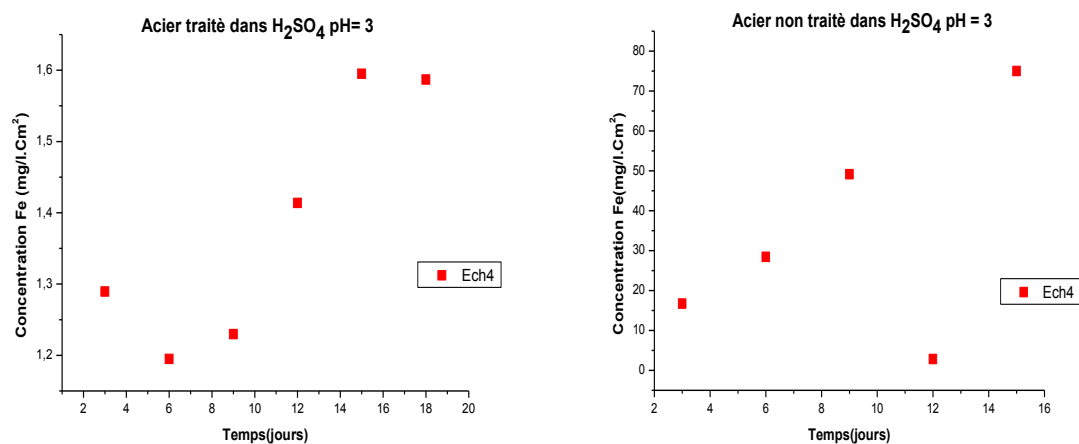


Figure III.11 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans H₂SO₄ à pH=3

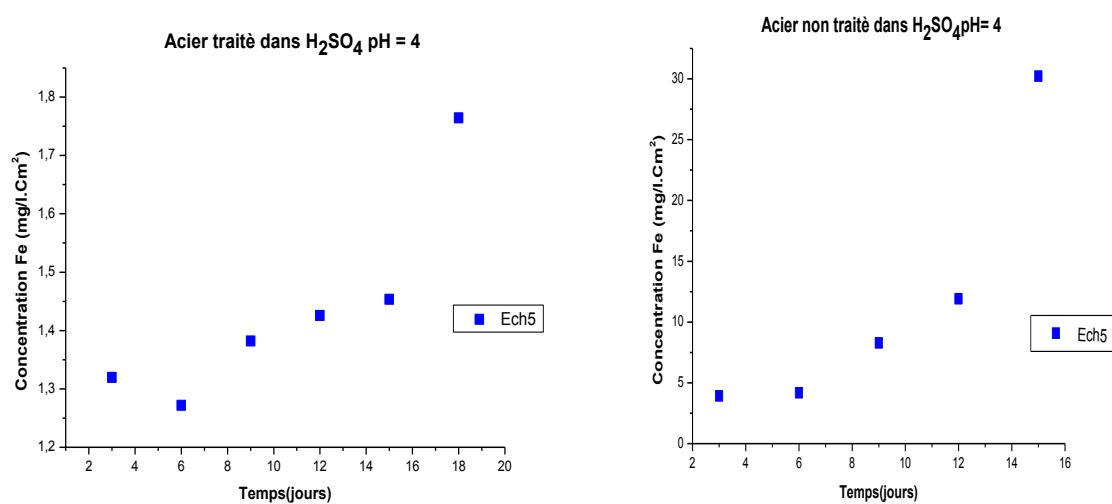


Figure III.12 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans H₂SO₄ à pH=4

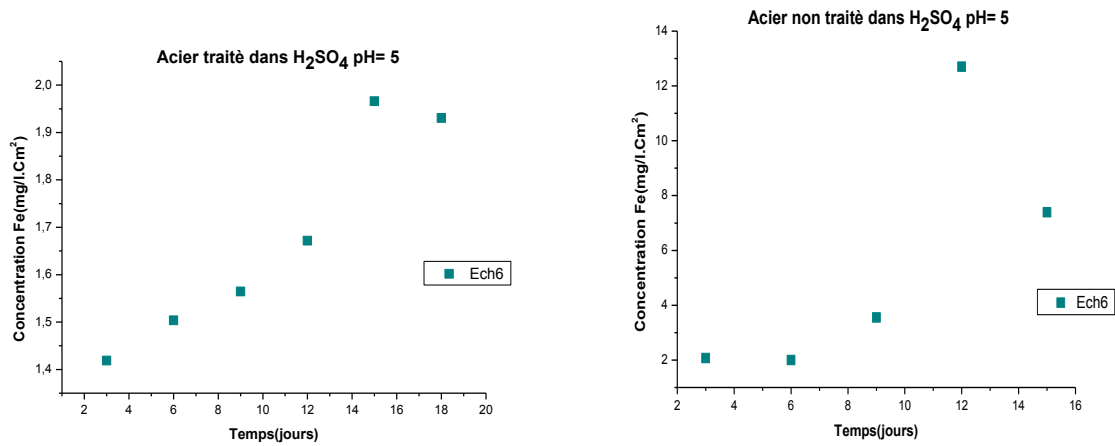


Figure III.13 : Résultat de l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique d'Acier traité et non traité dans H₂SO₄ à pH=5

III.2.1 Discussions des résultats de la SAA

a. Dans une solution d'immersion contenant HCl

L'acier immergé est sujet à des réactions électrochimiques de corrosion, ces dernières libèrent de nombreux ions entraînant une dissolution du métal.

La concentration en ion de fer est suivie en fonction du temps qui est donnée dans les courbes précédentes.

Tableau III.1 : Concentration des ions de fer pour l'acier non traité et traité dans la solution de HCl

pH	Acier non traité concentration en fer (ppm)	Acier traité Concentration en fer (ppm)
3	7-50	1.5-2
4	3-20	1.5-2
5	3-70	1.4-2

Le tableau précédent récapitule les intervalles de concentration de fer pour les deux types d'aciers traité par la projection arc et non traité. On a constaté une évolution de cette concentration, ce qui traduit une augmentation importante de la dissolution ionique notamment pour l'acier non traité, ce qui confirme la perte du poids.

Chapitre III : Résultats et Discussion

La présence du revêtement d'aluminium empêche le passage des ions du fer dans la solution d'immersion.

b. Dans une solution d'immersion contenant H_2SO_4

Les résultats donnés par les courbes de la SAA peuvent se résumer sous forme du tableau récapitulatif suivant :

Tableau III.2 : Tableau récapitulatif des résultats de la SAA de l'acier avec et sans traitement

pH	Avec traitement (ppm)	Sans traitement (ppm)
3	1-1.6	10-80
4	1.5-1.8	5-35
5	1.5-2	2-14

D'après ces résultats, on déduit que les concentrations ferriques dans le cas de l'acier sans traitement sont plus élevées à celle d'acier traité par un dépôt d'aluminium par projection arc.

En comparant entre les deux tableaux, les concentrations des ions dissous dans la solution de H_2SO_4 sont inférieures à celles de HCl.

III.3. Micrographie au MEB

La figure III.14 présente la coupe métallographique de l'interface de l'échantillon réalisé avec un dépôt d'aluminium.

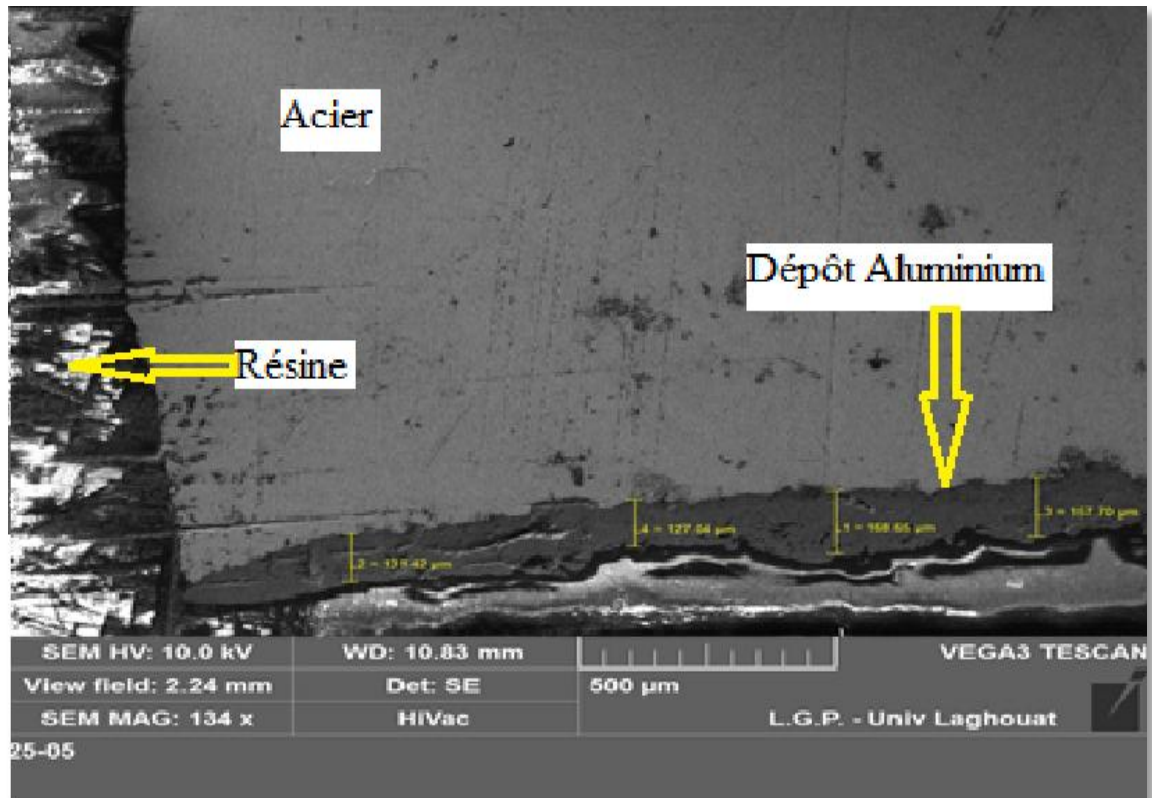


Figure III.14 : Micrographie au MEB de l'épaisseur du dépôt sur l'interface de l'acier.

Cette figure nous donne l'épaisseur du revêtement qui est sous forme d'un relief, avec une distinction entre la couche d'aluminium et la couche d'acier qui sont respectivement foncée et claire.

III.4. Microscopie optique

III.4.1. Epaisseur du revêtement

L'observation par microscopie optique nous permet de localiser l'épaisseur du dépôt effectué ainsi que l'évaluation de la corrosion en fonction du temps d'immersion.

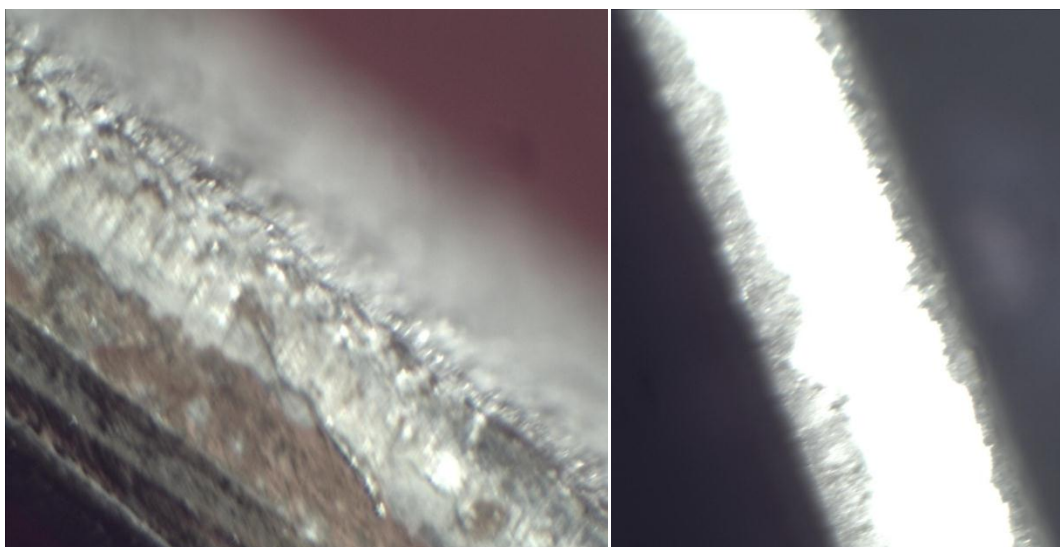


Figure III.15 : Micrographie optique de l'interface.

On remarque deux couches sombres des deux faces qui correspondent au revêtement de l'aluminium réalisé sur les côtés de la plaque, avec une couche de fer claire au centre.

L'épaisseur du dépôt n'est pas homogène sur toute la plaque revient à la possibilité d'avoir de défauts.

III.4.2 Morphologie de l'acier traité

- **Acier traité dans une solution témoin pendant 5 semaines**

La figure III.16 montre la morphologie de l'échantillon traité dans une solution témoin pendant 5 semaines à différents grossissements :

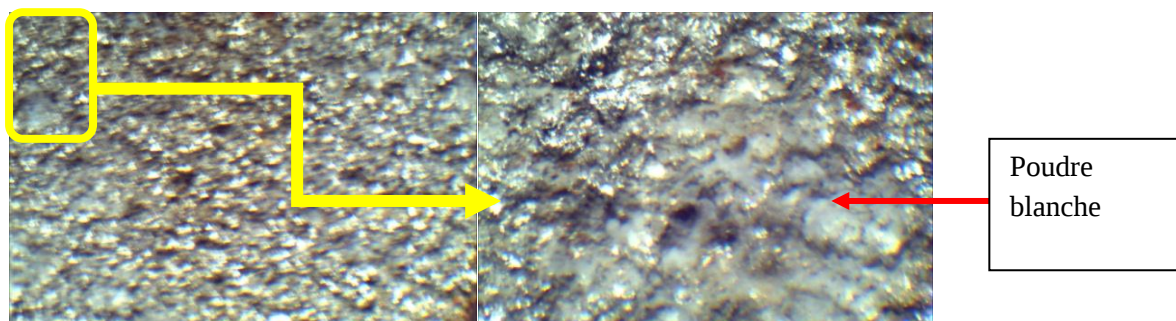


Figure III.16 : Micrographie d'un acier dans une solution témoin immergé pendant 5 semaines (10 X à gauche et 40X à droite)

- **Acier traité dans H_2SO_4 pendant 5 semaines**

La figure III.17 montre la morphologie de l'échantillon traité à pH=5 immergé pendant 5 semaines à différents grossissements :

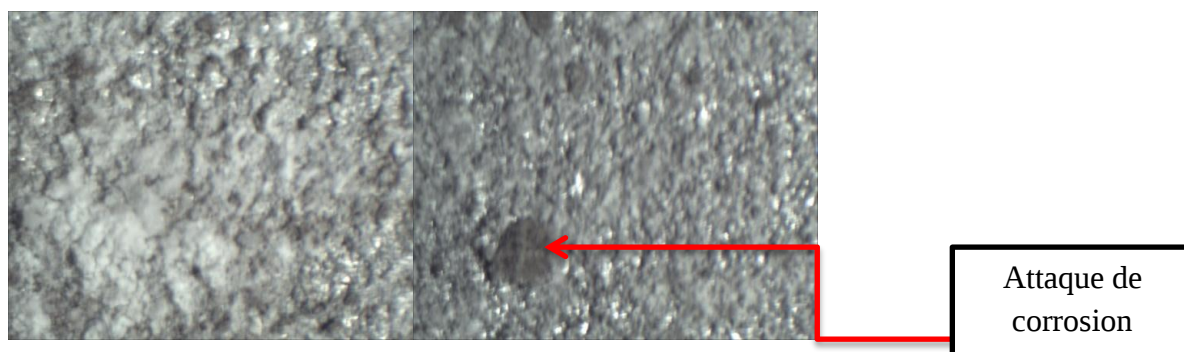


Figure III.17 : Micrographie d'un acier traité à pH=5 immergé dans H_2SO_4 pendant 5 semaines (40 X à gauche et 10X à droite)

- **Acier traité dans HCl pendant 5 semaines**

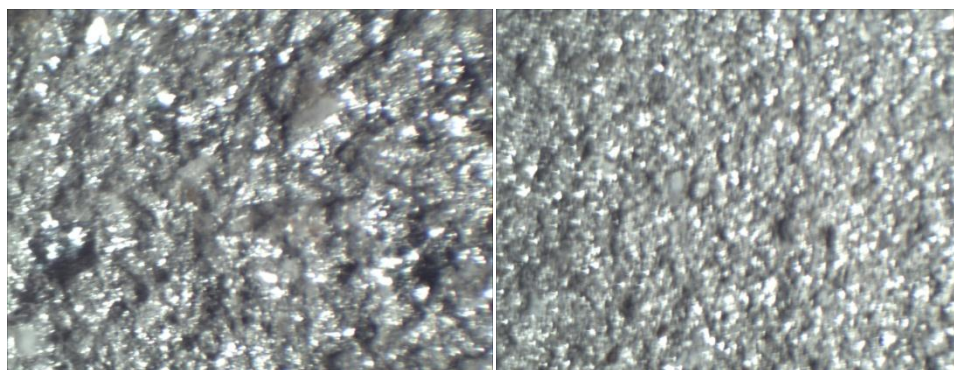


Figure III.18: Micrographie d'un acier traité à pH=5 immergé dans HCl pendant 5 semaines (40 X à gauche et 10X à droite)

La figure III.19 montre le grossissement qui est basé sur la substance blanche formée :

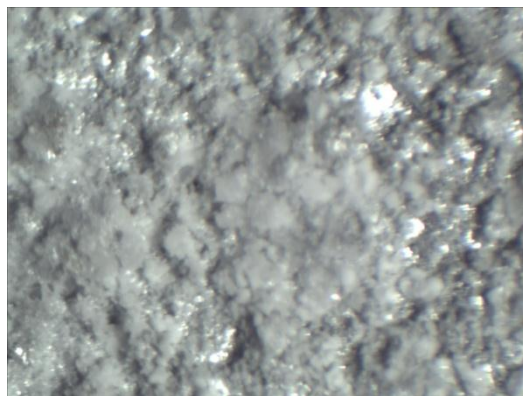


Figure III.19 micrographie de la poudre blanche formée à un grossissement 40X

Les figure ci-dessus montrent a priori la présence d'une poudre blanche observée visuellement sous forme d'un film dans le cas de l'acier sans traitement, due à l'aluminium attaque de corrosion sur les éprouvettes métalliques.

Cette couche est abondante à **pH=5** qui peut jouer le rôle d'une barrière empêchant le passage des ions dans la solution. Ceci confirme la stabilité de la masse durant le temps d'immersion.

Une piqûration est constatée sur la surface des échantillons d'acier traité dans les deux milieux corrosifs à tous les pH. On conclue que le dépôt lui-même a subi une corrosion localisée dans certains endroits où l'épaisseur est très faible.

Un essai blanc a été effectué dans les mêmes conditions en immergeant un échantillon traité dans de l'eau de pluie présentée dans la figure III.16

De même pour pH=4, cette pellicule blanche était présente (voir annexe 2), et à pH=3 elle est minime.

Ces résultats démontrent la faible concentration des ions de fer trouvés par la SAA dans l'acier traité.

La variation de la masse dans les autres pH revient au fait que la couche formée soit accumulé dans certains points ce qui explique le gain de masse, ou bien détachée qui traduit la perte de masse.

III.4.3 Morphologie de l'acier non traité

- **Dans un milieu d' HCl à pH= 5 pendant 3 Semaines**

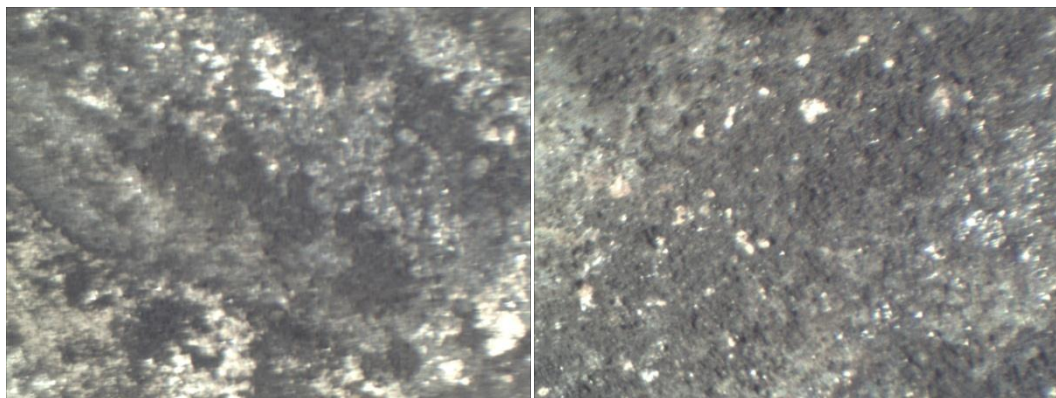


Figure III.20 : Micrographie de l'acier non traité à pH 5 3Semaines à un grossissement 10 X et 40X

- Dans un milieu d' H_2SO_4 à pH= 5 pendant 3 Semaines

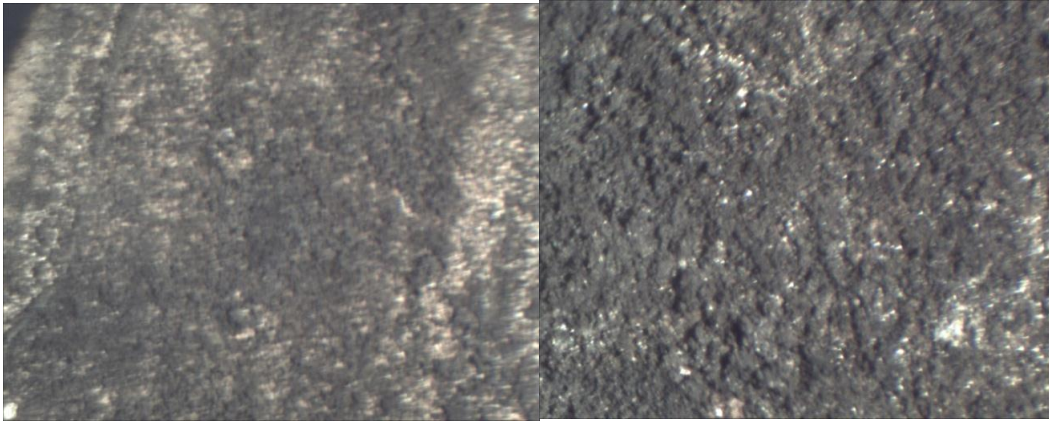


Figure III.21 : Micrographie de l'acier non traité à pH 5 3Semaines à un grossissement 10 X et 40X

- Dans une solution témoin pendant 3semaines

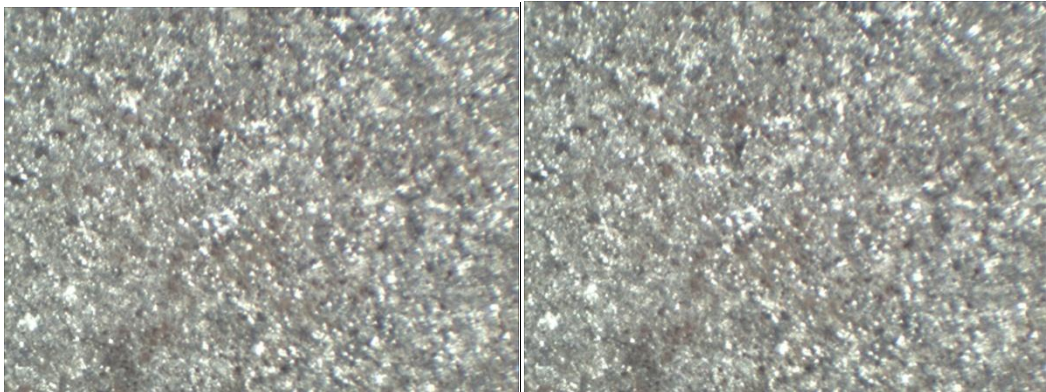


Figure III.22 : Micrographie de l'acier non traité dans une solution témoin 3semaine à un grossissement 10 x et 40x

Après trois semaines d'immersion, une attaque est éventuellement observée pour le cas d'acier non traité est dans les deux milieux.

La figure démontre une dégradation avancée par la rouille qui s'est formée pratiquement sur toute la surface, cette dernière commence à s'arracher au bout d'une certaines périodes (voir les figures données dans l'annexe 2).

Néanmoins, dans le cas de la solution témoin, l'attaque est localisée sous formes de piqures étalée sur toute la surface.

Chapitre III : Résultats et Discussion

Selon la littérature la poudre blanche consiste en alumine qui se forme dans le cas d'aluminium. Dans notre étude à défaut de l'analyse d'EDS et de la diffraction des rayons X, nous ne pouvons pas la confirmer ; également pour le cas de l'acier non traité le produit de la corrosion peut être le sulfate de fer.

Références Bibliographiques

Chapitre III

[1] :H. Ding, et al., Corrosion wear behaviors of 2024Al in artificial rainwater and seawater at fretting contact, Wear 267, 292–298, 2009.

[2] : A.PERNOT-GEHIN, Etude des procédés de colmatage d’alliages d’aluminium anodisé, Université Henri Poincaré Nancy-I, 2007.

[3] :E.L. DIN-ȘTIRBU, Comportement à la corrosion des alliages d’aluminium utilisés dans l’industrie automobile pour la fabrication de radiateur de chauffage, Thèse de Doctorat, Université de PITEȘTI, Roumanie, 2005.

[4] : C, VARGEL, Corrosion de l’aluminium, 1^{er} Édition, Dunod, Paris, 1999

[5] :F.ROPITAL, corrosion et dégradation des matériaux métallique, IFP Publications, EDITION Technip, Paris, 2009

Conclusion générale

Les études menées, afin de mieux comprendre les mécanismes de la corrosion de l'acier ordinaire, se sont articulées autour de deux axes. Les effets de la pollution acides sur l'environnement d'une part, et l'étude du comportement des métaux par la corrosion de ce type de pollution de l'autre part.

Ce projet avait pour objectif d'étudier le comportement de l'acier au carbone à la corrosion avant et après traitement par la projection arc d'aluminium, immergé dans l'eau de pluie acidulée avec l'acide sulfurique (H_2SO_4) et l'acide chlorhydrique (HCl) à différents degrés d'acidité.

Nous résumons ci après l'essentiel de nos résultats obtenus :

- En premier lieu, nous avons effectué une caractérisation du dépôt réalisé par la micrographie optique et électronique à balayage, qui a révélé la non homogénéisation de l'épaisseur du dépôt.
- Les essais d'immersion effectués dans des solutions corrosives de H_2SO_4 et HCl montrent que les échantillons à différentes valeurs de pH présentent un comportement dissemblable dans certains cas :
 - A **pH=3** : un gain de poids est enregistré pour l'acier traité et sans traitement dans H_2SO_4 , contrairement à la présence de HCl une perte de poids est constatée uniquement dans le cas d'acier traité.
 - A **pH=4**, le comportement n'est pas le même dans la solution d'HCl.
 - A **pH=5**, une stabilité est indiquée pour l'acier traité dans les deux solutions.
- L'essai a blanc nous a donné une perte du poids pour l'acier non traité contrairement a celui traité qui est marqué par une stabilité tout au long de la période d'immersion.
- La variation de la masse pour l'acier traité avec l'aluminium est mieux que l'acier pur, due à la réactivité de l'aluminium en lui attribuant une bonne affinité à l'oxygène, ce qui permet la formation d'une pellicule d'oxyde d'alumine (Al_2O_3).
- La différence du comportement de l'acier traité dans les deux milieux à différents pH s'explique par l'attaque du dépôt dans des endroits où l'épaisseur est très faible.
-

Conclusion générale

- Le comportement d'acier pur vis-à-vis les milieux corrosifs n'est pas le même que l'aluminium, pour une possibilité de détachement de la couche de rouille formée ou de son accumulation dans certains points de la surface.
- L'aluminium est moins sensible à l'action du soufre que l'acier.
- D'après les résultats de la SAA, une corrélation entre la perte de masse et la dissolution ionique, avec des concentrations minimales pour le cas de l'acier traité.
- La microscopie optique nous permet de prédire que l'acier non traité a subi une corrosion uniforme, et localisée sous forme de piqure pour le dépôt.

Annexe 1 :

1. Microscopie électronique à balayage (MEB)

Définition et principe

Le microscope électronique à balayage (MEB) est un appareil d'analyse ; pouvant fournir rapidement des informations sur la morphologie et la composition chimique d'un objet solide. Le principe du MEB a été proposé par KNOLL dès 1935, Alors que ce dernier se développa très rapidement et devint opérationnel vers 1939, grandissement pouvant varier de quelques unités à 50000 ou 100000. Son utilisation est courante en biologie, chimie, métallurgie, médecine et géologie.

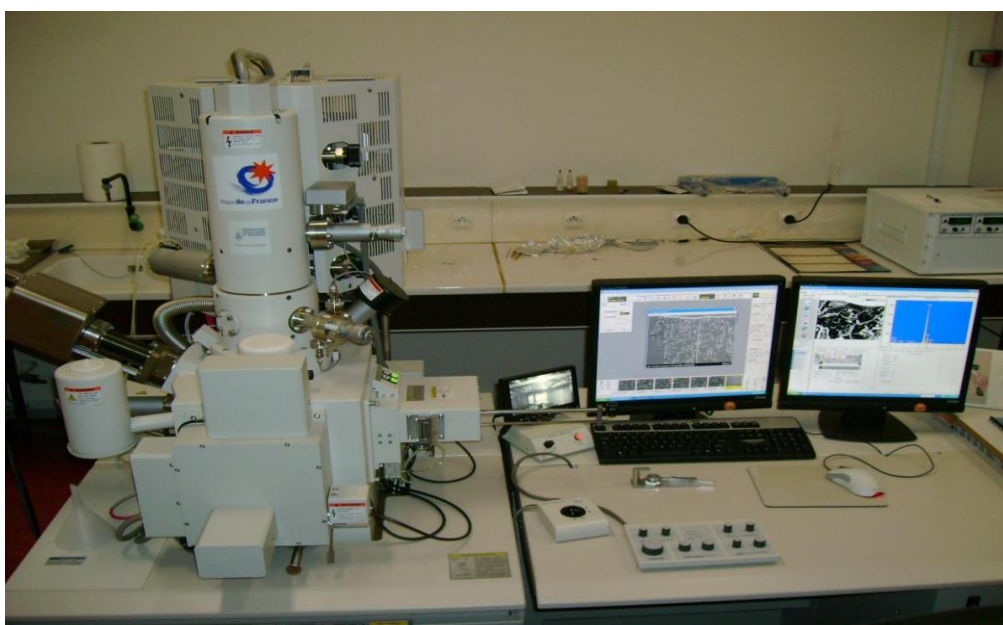


Figure 1 : Photo d'un Microscopie électronique à balayage (MEB)

Principe

- 1) Des électrons produits par l'émission thermique d'un filament chauffant, en tungstène, puis les électrons seront accélérés sous l'effet d'une haute tension allant jusqu'à 40KV.
- 2) Les électrons traversent le canal du vide du microscope et est focalisé par un ensemble de lentilles électromagnétiques pour contrôler la direction des électrons.
- 3) les trous sur la longueur du canal pour bute de contrôler la largeur de faisceau des électrons.

Annexes

- 4) à l'intérieur de la chambre de MEB sous vide les électrons vont subir des collisions avec la surface de l'échantillon conduisant à l'émission des électrons secondaires et des électrons rétrodiffusés pour donner une image de la surface d'un trois dimension. Aussi les rayons X, qui ont un rôle important dans l'analyse qualitatif et quantitatif.
- 5) chaque signal sera détecté par un détecteur qui sera analysé et traité, et l'apparence de l'image pour les deux signaux (électrons secondaires et de diffusion des électrons) ou d'une spectrale avec les rayons X.

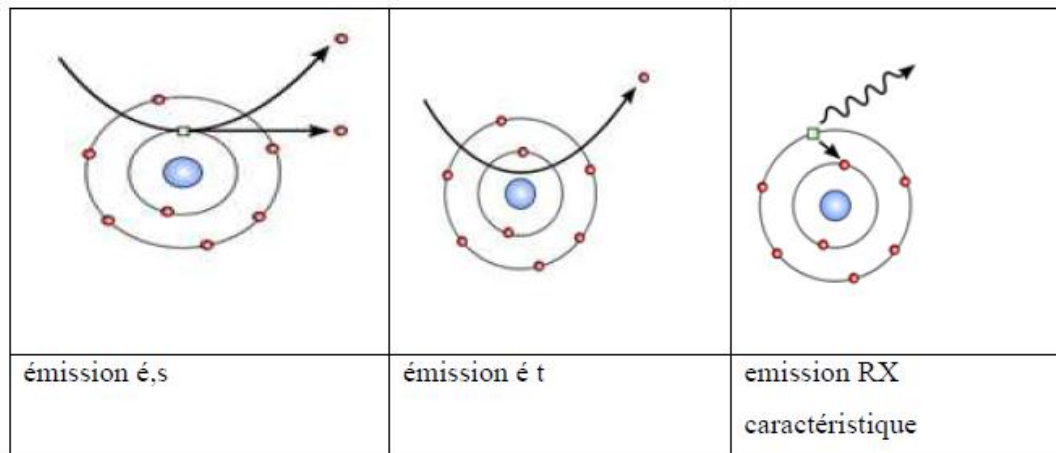


Figure 2 : Mécanismes d'émission des électrons secondaires, des électrons rétrodiffusés et les rayons x.

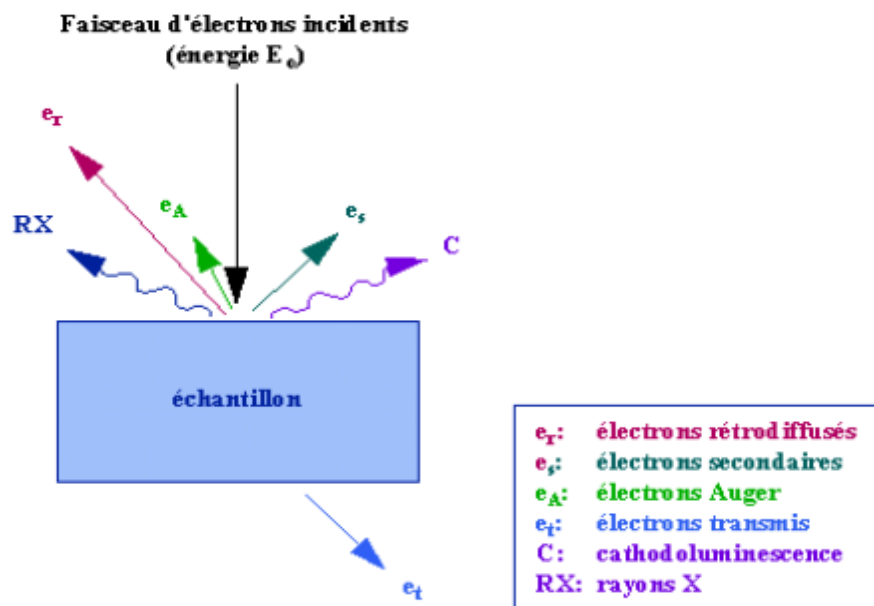


Figure 3: Différentes émissions et particules produites par l'interaction du faisceau d'électron Avec la surface de l'échantillon.

2. Microscopie optique

L'évolution des couleurs des échantillons avec les traitements thermiques et le nombre des couches déposés a été suivie à l'aide d'un stéréomicroscope optique de type NOVEX et grandissement 10 fois-40 fois, relié à un micro-ordinateur sur lequel s'affichent les micrographies (faites à l'aide d'un appareil numérique).

L'avantage de stéréo-microscope optique, outre sa grande facilité d'utilisation, est de permettre l'observation de grandes surfaces et de collecter ainsi une information globale sur l'aspect de la surface observée.



Figure 4 : Photo du stéréomicroscope optique

3. Spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

Définition et principe

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une technique décrite pour la 1ère fois par Walsh (1955). SAA étudie les absorptions de lumière par l'atome libre. C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible utilisée en analyse chimique. Elle permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques (métaux et non-métaux). Les applications sont nombreuses étant donné qu'on atteint couramment des concentrations inférieures au mg/L (ppm).

Principe

L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites

La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre : $DE=h \nu$ où h est la constante de Planck et ν est la fréquence du photon absorbé. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés.



Figure 5 : Photo du novAA 350 analytikjena

Annexes 2

NOUS REPRESENTONS les observations au microscope optique de l'acier taité et non traité dans des solution d'HCl et d'H₂SO₄ immergé pendant 3semaines

a. Acier traité

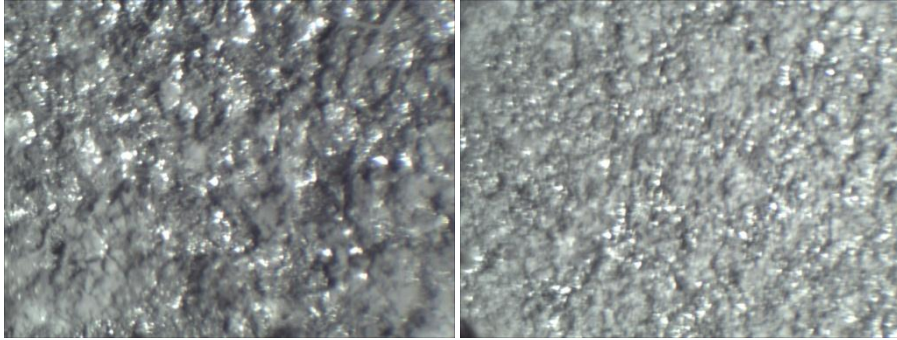


Figure 6: Micrographie de acier traité ph 4 5Semaines dans H₂SO₄ à un grossissement 40X ET 10X

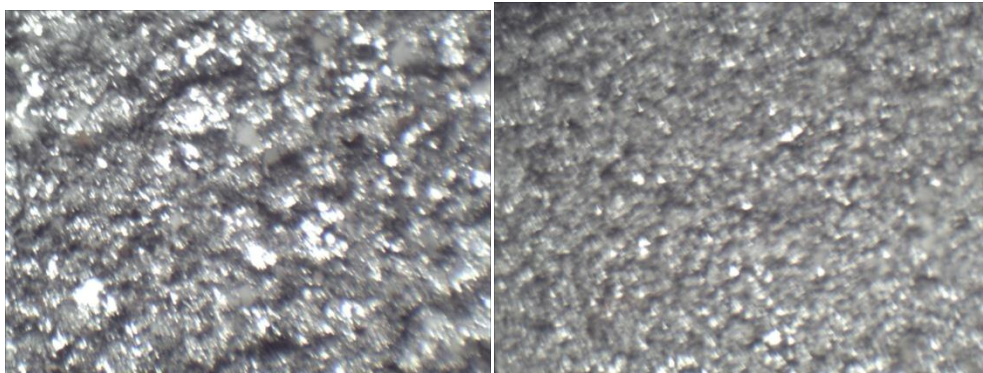


Figure 7 : Micrographie de L'acier traité à Ph4 5Semaines dans HCl à un grossissement 40X ET 10 X

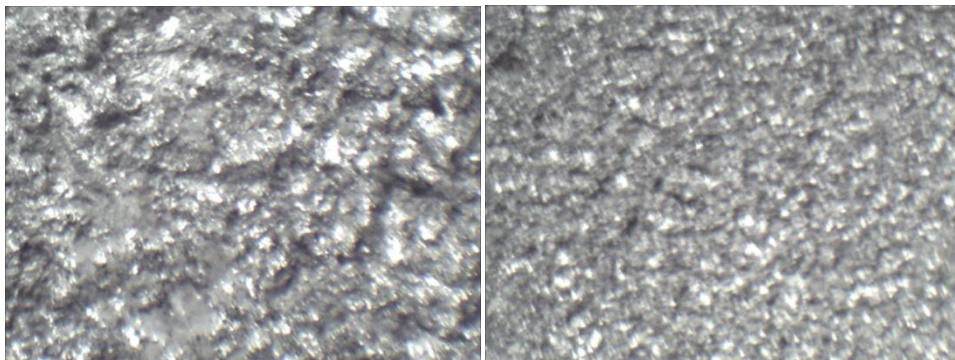


Figure 7 : Micrographie de L'acier traité à Ph 3 5S dans H₂SO₄ à un grossissement 40X ET 10 X

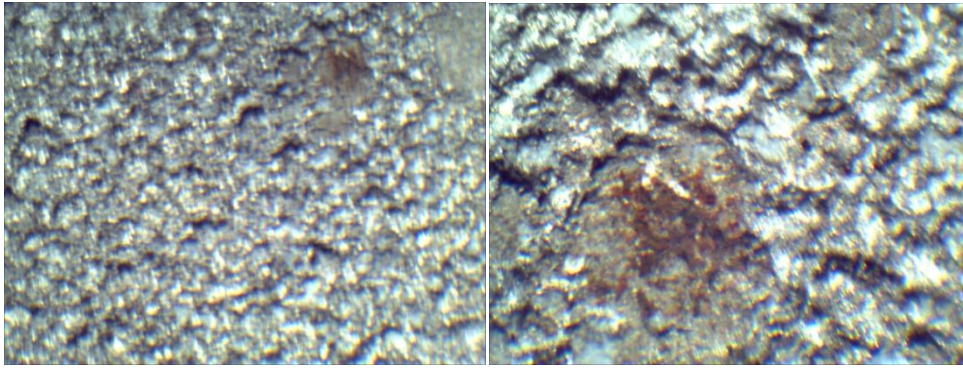


Figure 8 : Micrographie de L'acier traité à pH 3 5Semaines dans HCl à un grossissement 40X ET 10 X

b. Acier non traité

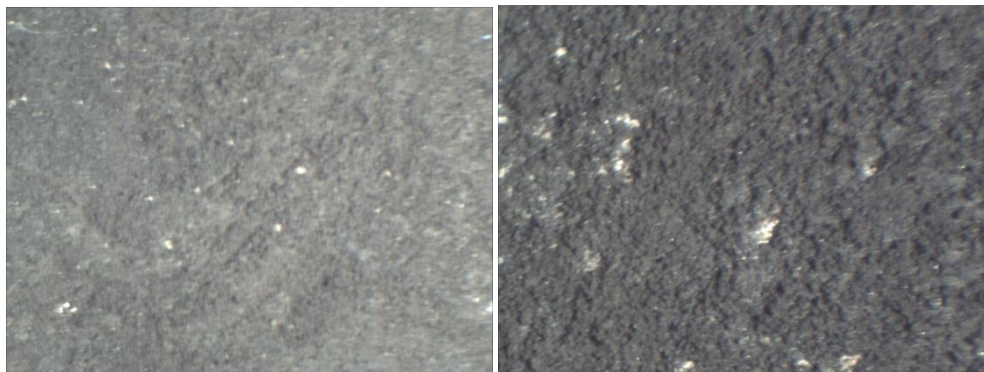


Figure 9 : Micrographie de l'acier non traité dans HCl à pH4 3Semaine à un grossissement 10 X ET 40X

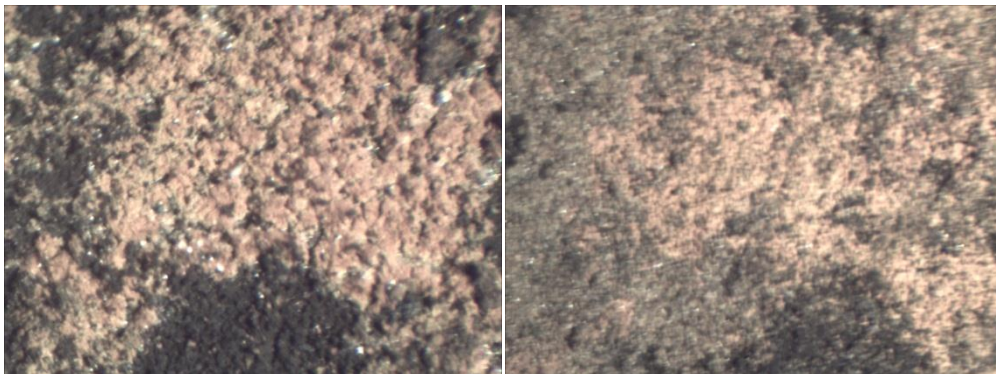


Figure 10 : Micrographie de l'acier non traité dans H₂SO₄ à pH 4 3Semaines à un grossissement 40X et 10 X

Annexes

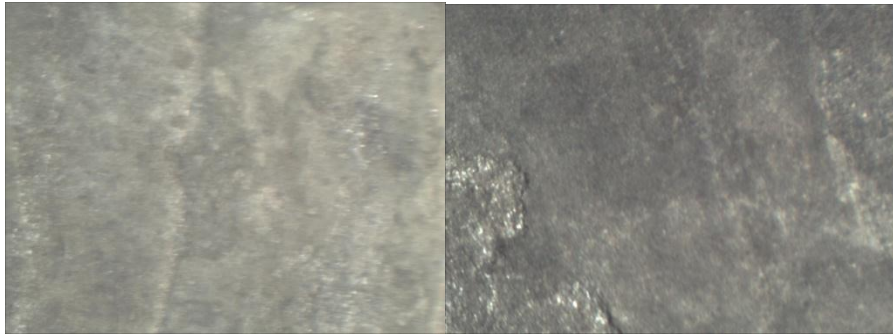


Figure 11 : Micrographie de l'acier non traité dans HCl à pH 3 3Semaines à un grossissement 40X ET 10 X

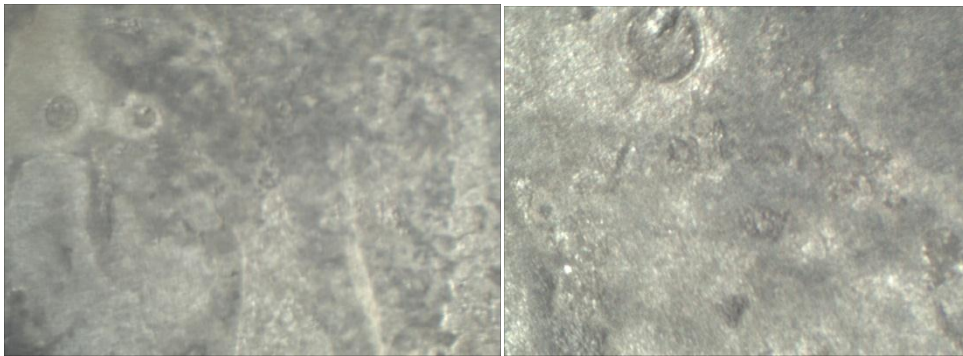


Figure 12 : micrographie de l'acier non traité dans H₂SO₄ à Ph 3 3S à un grossissement 10 X ET 40X ans le même pH

ملخص

الدراسة الحالية تعتمد على تقييم حالة الفولاذ المعالج بالرش بالقوس الكهربائي والغير معالج إزاء الأمطار الحمضية من الضروري إعداد عينات الفولاذ النقي مسبقاً التي تمت معالجتها بالطلاء بالألومنيوم، وغطسها في بيئتي تآكل (حمض الهيدروكلوريك و حمض الكبريتيك) رصد تطور التآكل تم أساساً باستعمال التقنيات التالية: فقدان الوزن، المجهر الضوئي، و الامتصاص الطيفي الذرية كشفت النتائج أن حالة الفولاذ ليست متماثلة في البيئتين. وهناك ارتباط بين فقدان الوزن والحل الأيونية، هذه الأخيرة برهنت أن الألومنيوم هو أكثر حساسية لمادة الكلور من مادة الكبريت والانحلال هو الحد الأدنى في العينات المعالجة ومن هنا تأتي أهمية المعالجة السطحية

كلمات المفاتيح : الأمطار الحمضية، الفولاذ ، والألمنيوم ، التآكل ، الرش بالقوس الكهربائي

Résumé

La présente étude consiste à évaluer le comportement de l'acier traité avec projection arc et non traité vis-à-vis les pluies acides.

Une préparation des échantillons d'acier pur préalable est nécessaire, qui sont traités par la suite par un revêtement d'aluminium, plongés par ailleurs dans deux milieux corrosifs (HCl et H₂SO₄). Le suivi de l'évolution de la corrosion est effectué essentiellement par la perte de poids, microscopie optique et par la SAA.

Les résultats ont révélé que le comportement n'est pas le même dans les deux milieux. Une corrélation entre la perte du poids et la dissolution ionique, cette dernière démontre que l'aluminium est sensible au chlore plus que le soufre et la dissolution est minime dans les échantillons traités d'où l'importance d'un traitement de surface.

Mots clés : Pluie acide, acier, aluminium, projection arc, corrosion.

Abstract

This study is to evaluate the effect of the treated steel with arc spraying and pure steel by acid rain.

A preparation of the pure steel specimens is required, which is further treated by a coating of aluminum, also immersed in two corrosive environments (HCl and H₂SO₄). Corrosion's Evolution was followed by experimental methods : Weight loss, Optical microscopy and the SAA.

The results revealed that the corrosion behavior of metals is not the same in both environments. A correlation between weight loss and the ionic dissolution. From this study, we concluded that aluminum is more sensitive to the chlorine than the sulfur and the dissolution is minimal in the samples treated, hence the importance of surface treatment.

Keywords : Acid rain, steel, aluminum, arc spraying, corrosion.