

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عمار ثلجي بالأغواط

UNIVERSITE AMAR TELIDJI, LAGHOUAT



كلية العلوم

Faculté des Sciences

Département: Sciences de la Matière

## MEMOIRE DE MASTER

**Domaine:** Sciences de la Matière  
**Filière :** Chimie  
**Option :** Chimie inorganique

### Présenté par

MERIGUI Nour Eddine

HANNANI Nour Eddine

### THEME

**Effet de la projection thermique par l'aluminium sur la corrosion de l'acier.**

*Soutenu Publiquement devant le jury composée de:*

<i>Mr. SAIDAT Boubakeur</i>	<i>Professeur</i>	Président
<i>Mr. GHRIB Abdelaziz</i>	<i>Professeur</i>	Examineur
<i>Mr. FERHAT Mahmoud</i>	<i>M.C.B.</i>	Examineur
<i>Mme. AMI Yasmina</i>	<i>M.A.A.</i>	Encadreur

*Année universitaire: 2017/2018*

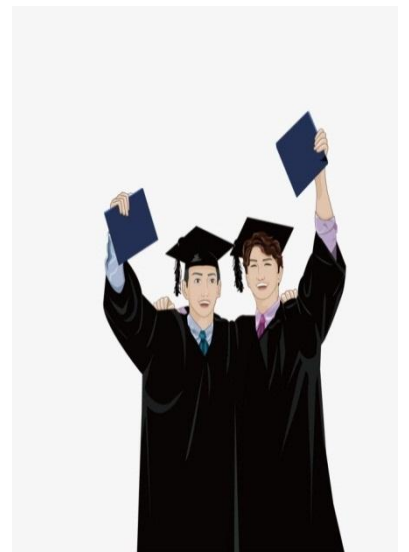
## DEDICACES

*Je voudrais dédier ce modeste travail à ma mère, la flamme de mon cœur, ma vie et la source de mon bonheur, et mon cher père et grand-père, qui m'ont soutenu durant mes études.*

*Grâce à eux et grâce à leurs prières et en les appelants, j'ai atteint à ce stade.*

*Je dédie aussi mon travail à mes frères et soeurs Zahra, Amel et Younes, et aux petits poussins Tasnim, Ashwaq, Marwan, Haroun, Abdallah, Toufik , Azouz et a Toute ma famille sans exception et mes amis.*

*A tous ceux qui ont cru en moi.*



*N.Merigui*

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail à :*

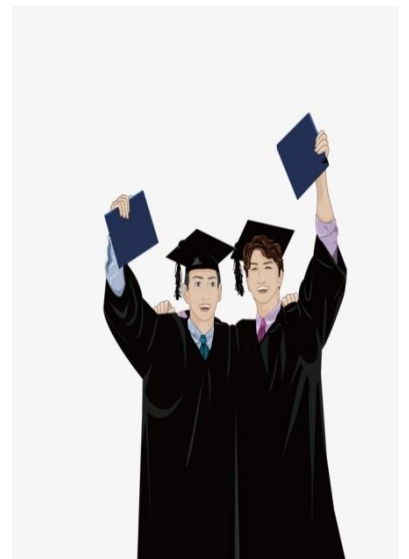
*Ma très chère mère et Mon très cher père pour tous leurs sacrifices pour moi.*

*Mon frère*

*Mes sœurs*

*Et toute ma famille et mes amis*

*A toutes personnes qui ma aider à poursuivre mes études.*



*N.Hannani*

## REMERCIEMENTS

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier **Mme. AMI Yasmina** de nous avoir dirigé tout au long de ce travail et nous avoir enrichie de notions très diverses, pour ses conseils et encouragements.*

*Nous remercions Monsieur **SAIDAT Boubakeur** d'avoir présider notre jury.*

*Nous voudrions exprimer nos vifs remerciements aux examinateurs : Monsieur **GHRIB Abdelaziz** et à Monsieur **FERHAT Mahmoud** de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude et profond remerciement aux **Mr SAIDAT Boubakeur, Mr FERHAT Mahmoud**, les ingénieurs du laboratoire de Chimie de Sciences de la Matière et l'ingénieur du laboratoire de Génie des Procédés.*

*Merci à tous les enseignements qui nous ont aidés pendant la durée de ce travail.*

# Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

## Partie I

### Etude Bibliographique

#### I ) Généralité sur la corrosion

I. 1 Définition de corrosion.....3

I.2 Modes de corrosion.....3

    I.2.1 Corrosion chimique.....3

    I.2.2 Corrosion électrochimique.....3

    I.2.3 Biocorrosion .....3

I.3 Aspect de la corrosion .....3

I.4 Principaux facteurs de la corrosion.....5

I.5 Importance de la corrosion.....6

I.6 Impact de la corrosion.....6

#### II ) Métaux étudiés

II.1. Acier .....6

    II.1.1 Alliage fer-carbone .....7

    II.1.2 Comportement à la corrosion de l'acier .....7

    II.1.3 Mécanismes de la corrosion .....7

II.2. Aluminium .....8

    II.2.1 Principales caractéristiques d'aluminium.....8

    II.2.2 Corrosion d'aluminium et ses alliages.....9

    II.2.3 Mécanisme de la corrosion de l'aluminium.....9

### **III ) Méthodes de protection**

III.1 Protection contre corrosion .....	10
III.2 Méthodes de protection fondées sur la variation des propriétés du métal corrodant_(par revêtement) .....	10
III.3 Projection thermique.....	11
III.3.1 Principe de la projection .....	11
III.3.2 Différents procédés de la projection thermique .....	12

## **Partie II**

### **Procédures et méthodes expérimentales**

<b>II.1. Description du matériau d'étude</b> .....	15
II.1.1 Acier non traité.....	15
II.1.1.1. Préparation des échantillons.....	15
a- Polissage mécanique.....	15
II.1.2.2 Acier traité avec de l'aluminium.....	16
1. Traitement de surface par projection arc.....	16
II.1.2.3 Milieu de corrosion.....	17
II.1.2.4 Mesure du pH.....	18
II.1.2.5 Evaluation de la perte du poids.....	19
<b>II.2 Techniques d'analyses</b> .....	20
II.2.1 Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA).....	20
<b>III Résultats et discussions</b> .....	22
III.1 Perte du poids.....	22
III.2 Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).....	25
III.3 Taux de corrosion.....	29
<b>Conclusion générale</b> .....	32

## Liste des abréviations

**ENH** : Électrode normale à hydrogène

**$m_f$**  : Masse finale après immersion qui correspond à un temps donné .

**$m_0$**  : Masse initiale qui correspond au poids avant immersion.

**pH** : Le potentiel hydrogène

**ppm** : particule par millions.

**S** : Surface de l'éprouvette.

**SAA** : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

**t** : temps d'immersion.

**$\Delta m$**  : Perts de masse

# Liste des Tableaux

## Partie I

### Etude Bibliographique

Tableau I.1 : Différentes formes de la corrosion .....	4
Tableau I.2 : Principaux facteurs de la corrosion .....	5

## Partie II

### Procédures et méthodes expérimentales

Tableau II.1 : Condition de la projection arc .....	17
Tableau II.2 : Solutions utilisées pour le test de corrosion .....	18

# Liste des figures

## Partie I

### Etude Bibliographique

Figure I 1 : Moyens de prévention de la corrosion.....	11
Figure I 2 : Principe de la projection thermique .....	12
Figure I 3: Schéma illustrant la création de l'arc électrique .....	13
Figure I 4 : Schéma de la tête d'un pistolet de projection Arc-Fil équipé d'un système de gaz d'atomisation secondaire.....	14

## Partie II

### Procédures et méthodes expérimentales

Figure II.1 : Polisseuse mécanique .....	15
Figure II.2 : Pistolet de projection à arc électrique « Arc spray 234 ».....	16
FigureII 3 : Echantillon d'acier non traité avant polissage (à gauche) , Echantillon d'acier revêtu par l'aluminium (à droite).....	17
Figure II 4 : Montage de pH mètre .....	18
Figure II 5 : Balance de précision OHAUS.....	19
Figure II 6 : Photo du dispositif expérimental de l'immersion.....	19
Figure II 7 : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique .....	21
Figure II 8: Courbe d'étalonnage du fer.....	21

### Resultats et discussions

Figure II 9 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans HCl à pH=3.....	22
Figure II 10 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans HCl à pH=5.....	23
Figure II 11: Perte du poids d'acier traité et non traité dans milieu neutre.....	23
Figure II 12 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans (NaCl 3.5%).....	24
Figure II 13 : Perte du poids d'acier traité dans (NaCl 3.5%).....	25
Figure II 14: Evolution de la concentration d'acier traité et non traité dans HCl à pH=3 par SAA .....	26
Figure II 15 : Evolution de la concentration d'acier traité et non traité dans HCl à pH=5 par SAA .....	26
Figure II 16 : Evolution de la concentration d'acier traité et non traité dans pH neutre.....	27
Figure II 17 : Evolution de la concentration d'Acier traité et non traité dans (NaCl 3.5%).....	28
Figure II 18 : Taux de corrosion d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=3.....	29
Figure II 19 : Taux de corrosion d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=5.....	29
Figure II 20 : Taux de corrosion d'Acier traité et non traité dans milieu neutre.....	30
Figure II 21 : Taux de corrosion d'Acier traité et non traité dans (NaCl 3.5%).....	31

## Introduction générale

La corrosion des métaux et alliages est un phénomène universellement connu qui entraîne chaque année des pertes matérielles considérables, directes et indirectes, pour l'industrie et la collectivité. Plus grave encore, la corrosion peut causer des dommages irréversibles à l'environnement.

L'acier est un alliage métallique utilisé dans les domaines de la construction métallique et de la construction mécanique. Il est constitué de deux éléments, le fer et le carbone. C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal. De plus, son coût compétitif est aussi un facteur important qui encourage son utilisation, et ce, au détriment d'autres métaux tels l'aluminium ou l'acier inoxydable [1].

En effet, l'acier au carbone, comme tout matériau, réagit avec son milieu environnant, auquel il est exposé. Sa dégradation par différents milieux corrosifs, acide, basique ou neutre tels que les ions chlorure, est inévitable et limite son application dans l'industrie. Pour cela, il est nécessaire de le protéger contre les agressions de ces milieux, afin d'augmenter leur durée de vie.

La corrosion de l'acier représente 2% du produit brut mondial par ans de ce fait, la recherche de solutions « anti-corrosion » reste tout à fait d'actualité. Par ailleurs, plusieurs méthodes de lutte contre la corrosion sont proposées. En particulier, la protection est assurée, soit par l'addition des inhibiteurs de corrosion, soit par les revêtements et les traitements de surface à savoir la projection thermique [2].

La projection à arc électrique est parmi les techniques les plus utilisées du fait de la diversité des matériaux d'apport à déposer. Ce procédé est employé, en particulier, pour déposer des matériaux à haute température de fusion tels que des alliages métalliques, réfractaires ou des céramiques.

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).

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif de ce travail qui consiste à réaliser des revêtements à partir d'un matériau métallique ductile qui est l'aluminium sur un substrat en acier au carbone par la projection thermique.

Le présent mémoire comporte deux parties :

- Dans la première partie une revue bibliographique est présentée relative à la bonne connaissance du problème de la corrosion et aux différents types, les facteurs qui ont le plus d'influence sur la vitesse de corrosion ainsi les différents modes de protection.
  
- La procédure d'élaboration ainsi que les différentes méthodes de mesure du taux de corrosion, suivie de l'ensemble des résultats obtenus avec leurs discussions constituent l'objet de la deuxième partie.

**Partie I :**  
**ETUDE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

# **I Généralité de la corrosion**

## **I.1 Définition de la corrosion**

La corrosion est une réaction interfaciale irréversible d'un matériau, en présence d'un agent corrosif de son environnement dit milieu corrosif. Ceci implique une consommation du métal et une production d'une forme réduite de l'agent corrosif [3].

En effet, ce phénomène n'est autre que le retour des métaux et alliages à leurs états naturels de minerais.

## **I.2 Modes de corrosion**

### **I.2.1 Corrosion chimique**

Selon le milieu, la corrosion est dite sèche quand elle apparaît dans les environnements gazeux et humide.

Contrairement au réactif liquide, où les produits de corrosion se produisent sur la surface, c'est une corrosion purement chimique [4].

### **I.2.2 Corrosion électrochimique**

La corrosion électrochimique correspond à la dissolution métallique qui est le passage des atomes métalliques sous forme d'ions en solution par réaction anodique (réaction d'oxydation) ou bien par réaction cathodique (réaction de réduction). Le cation dissous peut alors se présenter sous différentes formes: hydratée, hydrolysée ou bien encore il forme des liaisons plus complexes [5].

### **I.2.3 Biocorrosion**



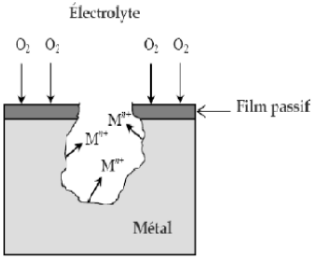

Les bactéries anaérobiques se développent dans les eaux contenant des sulfates, provoquent ainsi une corrosion bactérienne. Ces bactéries transforment les sulfates en hydrogène sulfuré qui se combine avec les sels ferreux pour donner un sulfure de fer.

La pollution locale du milieu corrosif en  $H_2S$  et son effet connu sur la corrosion, suffisent à expliquer les dommages provoqués par les bactéries [6].

## **I.3 Aspect de la corrosion**

Plusieurs morphologies principales peuvent caractériser une corrosion, sont regroupées dans le tableau I.1 :

**Tableau I.1: Différentes formes de la corrosion [6]**

Type	Caractéristique	Exemples
<p>1. Uniforme</p> 	<p>Attaque homogène sur de toute la surface du métal.</p>	<p>Oxydation; dissolution active dans l'acide; et oxydation et passivité anodique; polissage chimique et électrochimique; corrosion atmosphérique</p>
<p>2. Localisée</p> 	<p>Les zones où se produisent les réactions anodiques et cathodiques sont distinctes due à l'hétérogénéité de surface dans le métal.</p>	<p>Corrosion par crevasse ; Corrosion bimétallique ; Corrosion inter granulaire.</p>
<p>3. Corrosion par piqûres</p> 	<p>C'est une corrosion localisée produite par certains anions, notamment les halogènes surtout les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince, en créant des cavités.</p>	<p>Corrosion par piqure des métaux passifs tels que les aciers inoxydables, alliages d'aluminium, ...etc., en présence des ions spécifiques, par exemple ions <math>Cl^-</math>.</p>
<p>4. Dissolution sélective</p> 	<p>Un composant d'un alliage (habituellement le plus actifs) est sélectivement enlevé d'un alliage</p>	<p>Dézincification des laitons (Cu-Zn)</p>
<p>5. Corrosion sous contrainte</p>	<p>Attaque ou rupture localisée due à l'effet d'un facteur mécanique et d'une corrosion action conjointe de la corrosion et d'un facteur mécanique</p>	<p>Corrosion-érosion Corrosion sous tension Corrosion par fatigue</p>

#### I.4 Principaux facteurs de la corrosion

La vitesse de corrosion d'un métal dépend essentiellement par la température, pH, la salinité et acidité du milieu.

En plus à ces facteurs cités précédemment d'autres types existent, sont classés dans le tableau suivant :

**Le Tableau I.2 : Principaux facteurs de la corrosion [7].**

<p align="center"><b>Facteurs physico-chimiques Du milieu</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentration du réactif</li> <li>• Teneur en oxygène, en impuretés, en gaz dissous (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S,)</li> <li>• résistivité</li> <li>• Pression</li> <li>• Présence de bactéries</li> </ul>
<p align="center"><b>Facteurs métallurgiques</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composition de l'alliage, hétérogénéités cristallines</li> <li>• Procédés d'élaboration</li> <li>• Impuretés dans l'alliage, inclusions</li> <li>• Traitements thermiques, mécaniques</li> <li>• Additions protectrices</li> </ul>
<p align="center"><b>Facteurs reliant les conditions d'emploi</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etat de surface, défaut de fabrication</li> <li>• Forme de pièces</li> <li>• Sollicitations mécaniques</li> <li>• Emploi d'inhibiteurs</li> <li>• Procédés d'assemblage (couple galvaniques, soudures., etc.)</li> <li>• Croûtes d'oxydes superficielles</li> <li>• Force électromotrice extérieure (électrolyse)</li> </ul>
<p align="center"><b>Facteurs dépendant du temps</b></p>	<p align="center">Vieillessement</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensions mécaniques internes ou externes</li> <li>• Température- Modalité d'accès de l'oxygène ou autres gaz dissous</li> <li>• Modification des revêtements protecteurs</li> <li>• Apparition d'un dépôt (calcaire ou autre)</li> </ul>

## **I.5 Importance de la corrosion**

L'importance de l'étude de la corrosion est double :

- Economique dans un premier axe, qui concerne de nombreuses installations: Tubes, bacs de stockage, échangeurs de chaleur,....etc.
- la seconde est la conservation appliquée premièrement aux ressources du métal dont les réserves mondiales sont limitées et dont la destruction provoque des pertes importante d'énergie et de réserves d'eau conduisant à la production et à la fabrication des structures métalliques [7].

## **I.6 Impact de la corrosion**

On distingue :

- Pertes directes :

Elles prennent en compte le prix des pièces à changer, la main d'œuvre, le coût de l'entretien et du contrôle, le prix des revêtements, inhibiteurs.....etc.)

- Pertes indirectes :

Leurs évaluations sont très délicates; elles sont relatives, aux pertes de production et de reproductivité [7].

## **II Matériaux étudiés**

### **II.1. Acier**

L'acier est un des matériaux employés dans les constructions métalliques et mécaniques.

La plupart de son application se réfère à l'une de ces deux propriétés importantes:

Sa bonne conductivité thermique et électrique et sa résistance à des sollicitations mécaniques, des agressions chimiques ou une combinaison des deux.

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 [8].

On distingue quatre familles d'aciers qui sont :

- ❖ Aciers au carbone d'usage général.
- ❖ Acier de traitement thermique, allié ou non.
- ❖ Aciers à outils
- ❖ Aciers inoxydables

### II.1.1 Alliage fer-carbone

C'est un alliage à base du fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (0,008 à environ 2.14% en masse).

Cette teneur en carbone a une influence sur les propriétés de l'acier, entre ces deux valeurs. L'augmentation de la teneur en carbone a tendance à modifier la résistance mécanique [9].

D'autre part, un autre type de métaux à base de fer existe autres que les aciers comme les fontes et les ferronickels par exemple.

### II.1.2 Comportement à la corrosion de l'acier

La corrosion obéit aux principes de la thermodynamique et de la cinétique électrochimique : L'approche thermodynamique prévoit la possibilité ou non de la réaction de la corrosion, tandis que l'approche cinétique permet d'évaluer les vitesses des deux réactions élémentaires (anodique et cathodique) et par conséquent la vitesse globale de la corrosion [10].

### II.1.3 Mécanismes de la corrosion [10]

L'acier se dissout selon la réaction suivante :



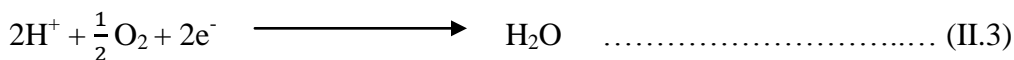
Au cours la corrosion du fer, la vitesse est généralement contrôlée par la réaction cathodique, qui est beaucoup plus lente.

En solution désaérée, la réaction cathodique est la suivante :

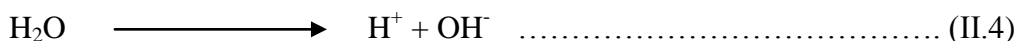


Dans un milieu acide, cette réaction est assez rapide. En revanche, elle est lente dans les milieux aqueux neutres ou basiques.

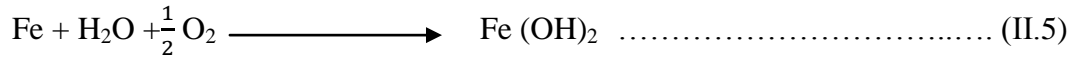
L'oxygène dissous peut accélérer la réaction cathodique comme suivant:



En ajoutant les équations (II.1) et (II.3) qui font intervenir la réaction:

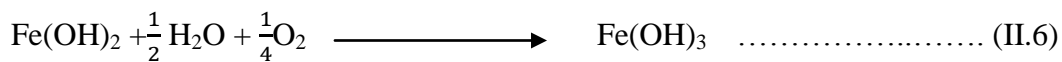


On obtient l'équation (II.5)



L'hydroxyde ferreux,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  compose la barrière de diffusion à l'interface métal solution à travers la quelle l' $\text{O}_2$  doit diffuser.

La surface extérieure du film d'oxyde exposée à l'oxygène dissous, se transforme d'hydroxyde ferreux en hydroxyde ferrique hydraté ou en hydroxyde ferrique :



## II.2. Aluminium

L'aluminium est connu par sa grande réactivité issue de la formation spontanée, notamment à l'air, d'un film d'oxyde à sa surface avec un potentiel normal (par rapport à ENH) du couple  $\text{Al}^{3+}/\text{Al}$  est de  $-1,66 \text{ V}$ .

Ce film d'oxyde est généralement composé de deux couches:

- Une couche interne d'oxyde anhydre ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) très compacte et très peu conductrice.
- Une couche externe poreuse se développant en milieu humide et constituée d'oxydes hydratés (bayerite ( $\text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ ) ou boehmite ( $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ )) [11].

### II.2.1 Principales caractéristiques d'aluminium [6]

L'aluminium et ses alliages arrivent en seconde position dans l'utilisation des matériaux métalliques malgré que sa production ne représente que 2% environ de celle des aciers, ceci est dû à un ensemble de propriétés qui lui donne aujourd'hui une place importante dans les différents domaines de l'industrie. Son utilisation s'accroît de jour en jour grâce à ses propriétés particulières.

Parmi ces caractéristiques on cite :

#### a. Masse volumique

La masse volumique de l'aluminium est de  $2700 \text{ kg/m}^3$ .

Son utilisation s'impose donc dans les domaines de la construction aéronautique et du transport.

#### b. Mise en forme

L'aluminium a une température de fusion relativement basse ce qui résulte une facilité de fusion qui présente un avantage certain pour les opérations de fonderie.

### **c. Conductibilité électrique**

La conductibilité électrique de l'aluminium commercialement pur atteint 62 % de celle du cuivre. Un conducteur en aluminium, dont sa masse est inférieure à celle d'un conducteur en cuivre, s'échauffe moins.

### **d. Propriétés mécaniques**

L'aluminium et ses alliages ont une structure cristalline cubique à faces centrées. Ils font donc preuve, à l'état recuit, d'une excellente ductilité à toute température.

### **e. 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...etc.

La tenue à la corrosion dépend des paramètres suivants :

- 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.

## **II.2.2 Corrosion d'aluminium et ses alliages**

Suite à la formation de la couche d'oxyde en surface, les alliages d'aluminium résistent à la corrosion.

Cependant, dans les milieux corrosifs, les alliages d'aluminium sont susceptibles à ce phénomène de corrosion à savoir par piqûres, de la corrosion sous contrainte, de la fatigue corrosion, voire de la corrosion généralisée.

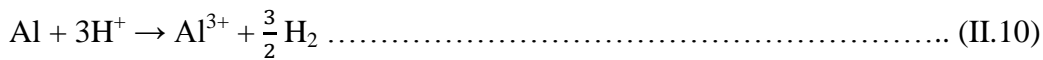
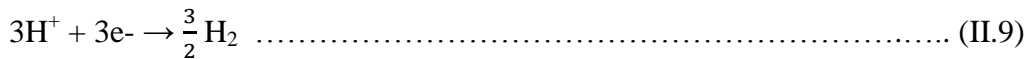
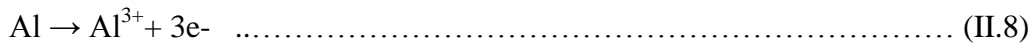
En effet, l'aluminium peut s'attaquer dans des atmosphères marines ou bien industrielles selon les proportions des polluants [12].

## **II.2.3 Mécanisme de la corrosion de l'aluminium [13]**

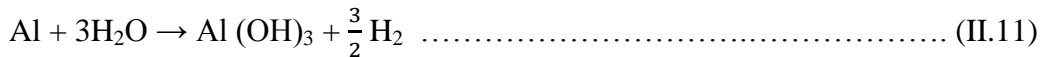
En milieu aqueux la réaction d'oxydation de l'aluminium sur les sites anodiques est traduite par la réaction :



En général, la corrosion de l'aluminium en milieu aqueux est la somme de deux réactions électrochimiques d'oxydation et de réduction :



Ou bien :



La corrosion de l'aluminium se traduit par la formation de l'hydroxyde  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , qui est insoluble dans l'eau et précipite sous forme d'un gèle blanc qu'on observe sur les piqures sous forme de flocons gélatineux blancs.

### III Méthodes de protection

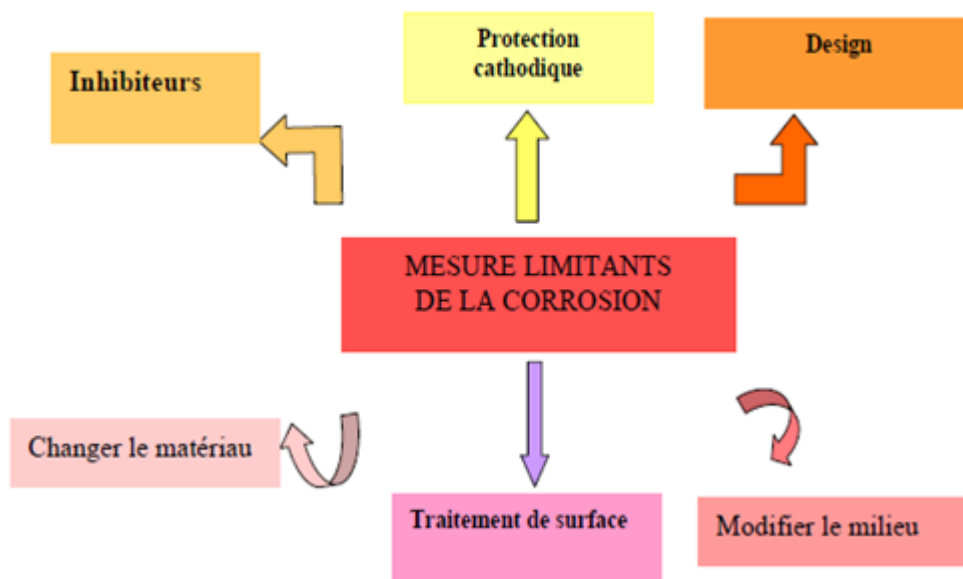
#### III.1 Protection contre la corrosion

Elle permet de déposer des métaux et des céramiques sur des pièces qui peuvent être de grandes surfaces et des géométries complexes.

Le problème de la corrosion ne date pas d'aujourd'hui mais il existe depuis des ères ce qui implique l'emploi de certains matériaux possédant des propriétés répondant aux besoins de l'industrie. Les matériaux les plus utilisés comme des revêtements protecteurs contre la corrosion, l'usure sont l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et le système nickel d'aluminium (Ni-Al). Ces matériaux sont d'un grand intérêt technologique en raison de leurs remarquables propriétés mécaniques et thermiques, à savoir une grande résistance et un haut point de fusion. Ils sont également résistants à la corrosion à haute température [14].

#### III.2 Méthodes de protection fondées sur la variation des propriétés du métal corrodant (par revêtement) :

Ce sont des méthodes qui ont pour but de modifier la nature ou les caractéristiques physico- chimiques de la surface.



**FigureIII.1 : Moyens de prévention de la corrosion [15].**

Dans cette étude, on s'intéresse au traitement de surface voire la projection thermique. Cette dernière est devenue importante dans le monde des traitements de surface.

### **III.3 Projection thermique**

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 [16].

Il s'agit de techniques de traitement de surface par voie sèche.

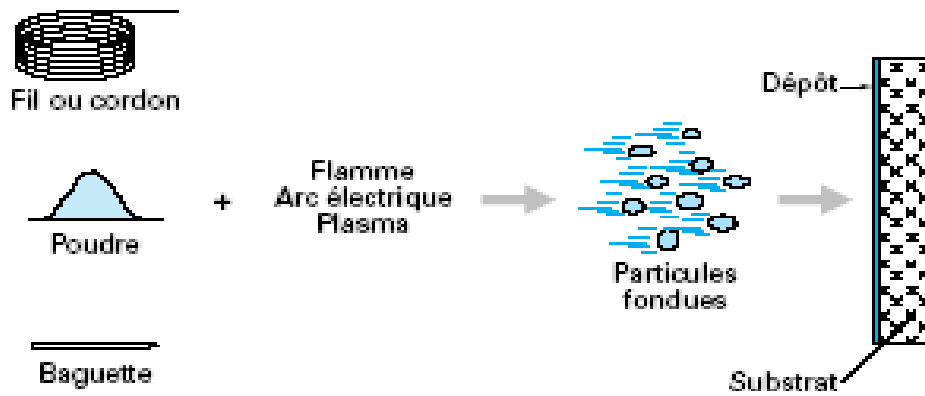
#### **III.3.1 Principe de la projection**

La projection thermique est une technologie utilisée pour produire un revêtement épais fondu qui est accéléré, puis il est pulvérisé sur la surface à revêtir où il va se solidifier (substrat).

Ce substrat ne subit ainsi aucune fusion, ce qui présente d'une adhérence mécanique.

En effet, le revêtement souhaité avec une caractéristique spécifique ne peut pas toujours être réalisé à faible adhérence [17].

La figure suivante résume le principe général de la projection thermique



**Figure III.2 : Principe de la projection thermique [18].**

La matière à projeter est variée à savoir : poudre, fil, cordon ou baguette est fondue totalement ou partiellement dans une source de chaleur différente soit flamme, arc électrique ou plasma.

La pulvérisation de la matière, et le transport des gouttelettes fondues ainsi formées jusqu'à la surface à revêtir sont assurés par un gaz vecteur [19].

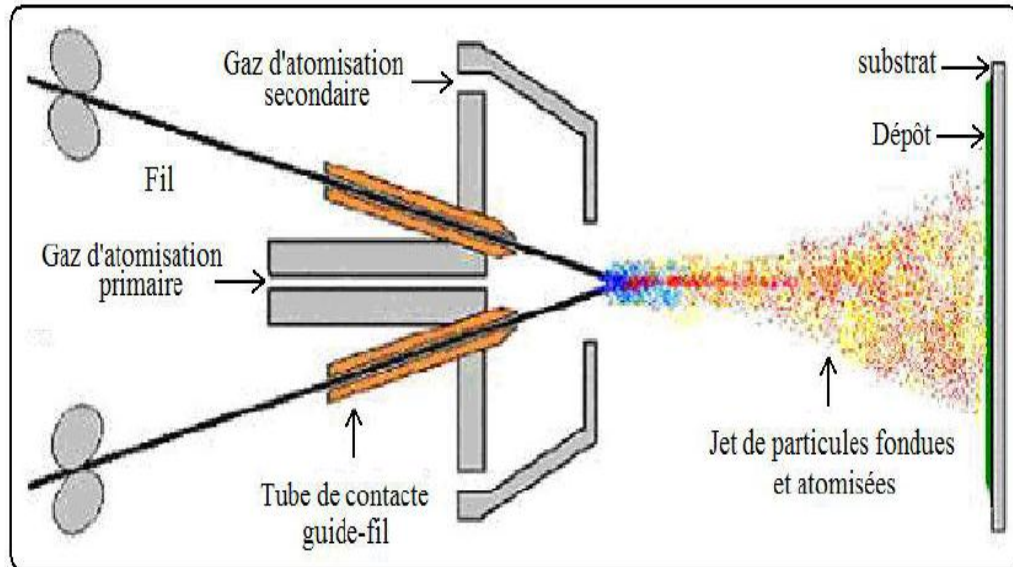
### **III.3.2 Différents procédés de la projection thermique**

- Projection Flamme.
- Projection plasma.
- Projection arc électrique.

#### **III.3.2.1 Projection arc électrique**

Le principe consiste à faire éclater 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 III.3).

La figure III.3 suivante montre le fonctionnement de la projection arc électrique :



**Figure III.3: schéma illustrant la création de l'arc électrique [20].**

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. Son principe de fonctionnement est essentiellement réalisé en deux parties :

➤ Entraînement des fils dans la première partie :

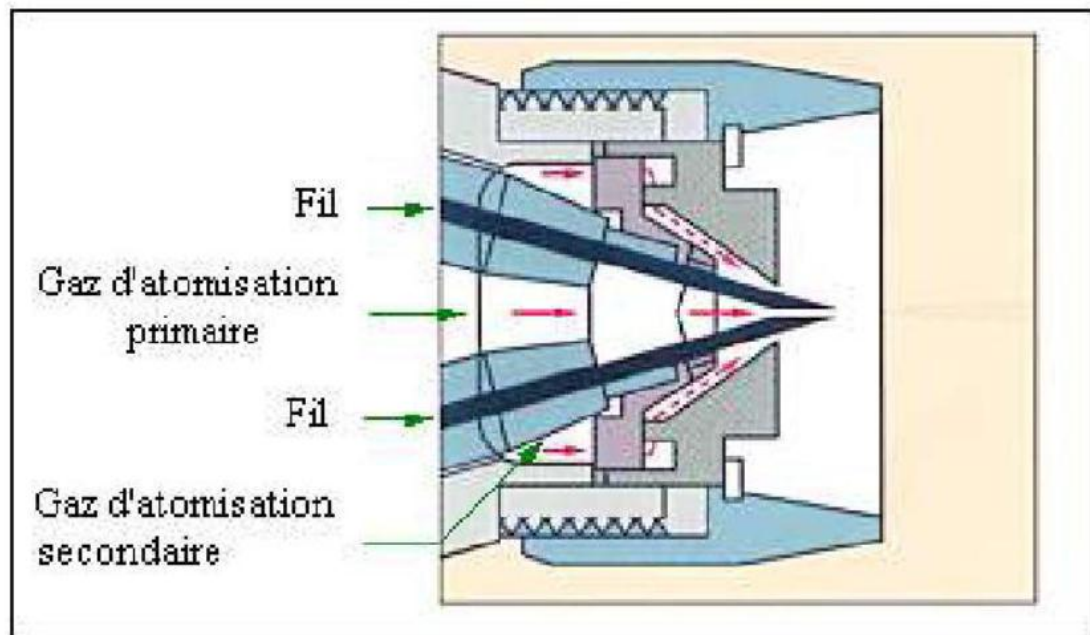
Les fils sont introduits à l'intérieur du pistolet, par deux tubes permettant, d'une part, le positionnement du fil avant son entrée dans la zone de fusion et, d'autre part, la transmission du courant électrique aux fils.

➤ Réaliser la fusion puis la projection du métal fondu :

Le jet des particules est assuré par l'utilisation d'un gaz d'atomisation secondaire (gaz de gainage) qui conduit à une meilleure canalisation, ainsi à l'augmentation de leurs vitesses d'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 [20].

La figure III.4 représente zoomé le schéma de la tête d'un pistolet de projection Arc-Fil équipé d'un système de gaz d'atomisation secondaire [17].



**Figure III.4 : Schéma de la tête d'un pistolet de projection Arc-Fil équipé d'un système de gaz d'atomisation secondaire**

Plusieurs matériaux métalliques peuvent être projetés par cette technique comme le zinc, le cuivre, l'aluminium, le bronze, l'acier ainsi que de nombreux alliages.

**Partie II :**  
**Procédures et**  
**méthodes**  
**expérimentales**

avec et sans tr )

## II.1 Description du matériau d'étude et solution

Dans ce travail, les matériaux utilisés sont acier comme étant le substrat et l'aluminium comme matériaux de revêtement.

### II.1.1 Acier non traité

utilisé dans cette étude est un acier S235 JR EN10025-2 de norme E24-2, laminé

+

**Sa composition est:** C=1,7% , Mn=1,4% , P=0,03% , S=0,035% , Cu=0,55% , N=0,012%

#### II.1.1.1. Préparation des échantillons

##### a. Polissage mécanique

Les échantillons en acier subissent un polissage mécanique en utilisant des papiers abrasifs 800, 1000 et 1200, placés sur un disque rotatif Montech 233 (voir la figure II.1).

Ces échantillons sont par la suite rincés à l'eau et séchés à l'air chaud séchoir, ( $Al_2O_3$ ) pour atteindre une rugosité dite 'poli-miroir'.

La figure II.1 illustre une polisseuse automatique.



Figure II.1 : Polisseuse mécanique.

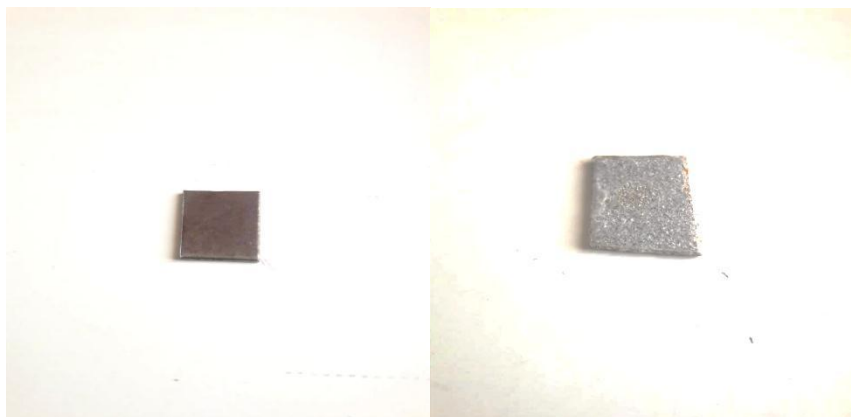


La réalisation de cette projection nécessite des conditions opératoires qui sont données dans le tableau II.1 :

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

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

Par ailleurs, les deux types de plaques traitée et non traitée sont découpées en éprouvettes rectangulaires (15mm x 10mm) avec une épaisseur de 2mm puis elles sont nettoyées aux ultrasons dans un bain □ endant 1 min à 20°C.



**Figure II.3: Echantillon d'acier non traité avant polissage (à gauche) , Echantillon d'acier revêtu par l'aluminium (à droite)**

### II.1.2.3 Milieu de corrosion

Différentes solutions aqueuses sont préparées □ □ □ HCl (0,1M) et NaCl à 3,5% afin de réaliser les tests de corrosion quotidiennement pendant une durée de 40 jours.

Pour cela, quatre (4) échantillons ont été préparés à des pH différents qui sont donnés dans le tableau (II.2).

**Tableau II.2: Solutions utilisées pour le test de corrosion acier traité et non traité**

Les échantillons	Acier traité et acier non traité
Solutions	pH 3
	pH 5
	Neutre (6.81)
	NaCl à 3.5%

Le suivi du comportement à la corrosion      l'aluminium, a été    e ces échantillons dans ces solutions aqueuses.

#### **II.1.2.4 Mesure du pH**

Le pH est mesuré avec un pH mètre (voir figure II.4) qui comprend une sonde (constituée d'électrodes). Sa précision est assurée par un calibrage avant chaque utilisation.

La figure suivante donne la photo du pH mètre :



**Figure II.4 : Montage de pH mètre.**

### II.1.2.5 Evaluation de la perte du poids

Une fois les échantillons (acier traité et non traité ) ont été préparé, une première pesée dite à blanc ( $m_0$ ) après l'avoir enrobé de vernis sauf la surface à exposer à la solution, a été prise

□ □ □ précision numérique □ □ □ -<sup>-4</sup> g de marque OHAUS (figure II.5) avant de le plonger dans les différentes solutions quotidiennement pendant une durée de 40 jours à température ambiante (figure II.6).

La photo suivante représente la balance numérique :



**Figure II.5 : Balance de précision OHAUS**

Par la suite, l'échantillon est retiré et il est pesé de nouveau après rinçage à l'eau distillée et séchage.

Ces photos sont prises après immersion :



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

de la progression de la corrosion a été suivie par la perte du poids qui est mesurée par le calcul de la variation de la masse  $m_0 - m_f$  divisé de  $S \cdot t$  +

L'utilité de mesurer la masse perdue consiste en l'évaluation du taux de corrosion qui se définit comme une perte de poids par unité de surface et de temps et il est exprimé en  $(g/cm^2 \cdot an)$ . Le taux de corrosion est calculé à partir de la formule suivante [21] :

$$\Delta m = m_0 - m_f$$

$$\tau = 365 \frac{\Delta m}{S \cdot t}$$

Avec :

$m_f$  [g]: Masse finale après immersion qui correspond à un temps donné .

$m_0$  [g]: Masse initiale qui correspond au poids avant immersion.

$S$  [cm<sup>2</sup>]: Surface de la plaque +

$t$  [jour]: Temps d'immersion.

$\tau$ : vitesse de la corrosion

## II.2 Techniques d'analyses

### II.2.1 Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA)

Plusieurs éléments chimiques voire soixantaine peuvent être dosé par la spectrométrie par

absorption atomique (SAA) , +  
 (SAA) )

utilise à cet effet en général des solutions sauf dans le cas des hydrures.

Une préparation est donc souvent nécessaire comme dissolution d'un métal, comme notre cas.

La méthode est :

- Quantitative
- Relative : Une courbe d'étalonnage est obligatoire.

Nous avons effectué la mesure de l'absorbance afin de déterminer la concentration en fer présents dans les différentes solutions.

Un prélèvement de 2 ml de chaque solution en fonction du temps a été fait suivi par des dilutions, avec une filtration des échantillons.

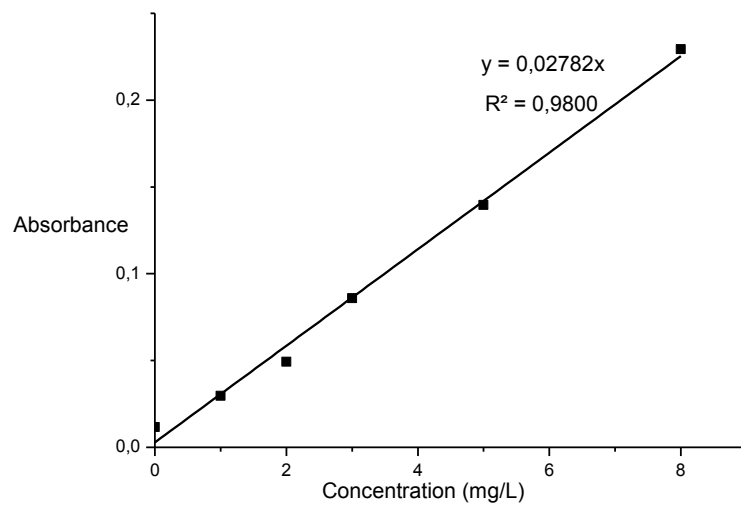
Ces solutions sont analysées par la SAA au sein de laboratoire de Génie de Procédés à l'université Amar Telidji -Laghouat.

La photo suivante       :



**Figure II.7 Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.**

a été effectué par une étude précédente au sein de même laboratoire [22] est donnée dans la figure II.9 :



**Figure II.8 : Courbe d'étalonnage du fer.**

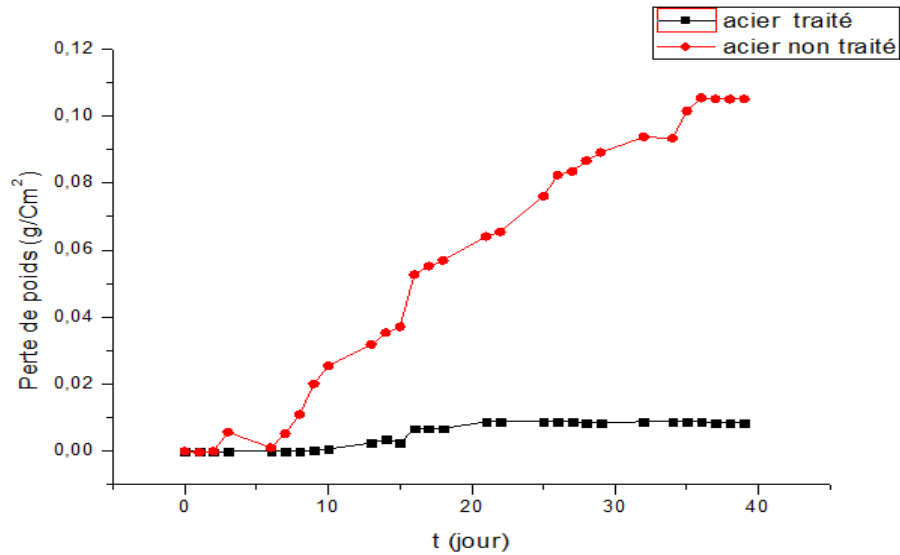




Après 35 jours, on observe une stabilité relative par la suite.

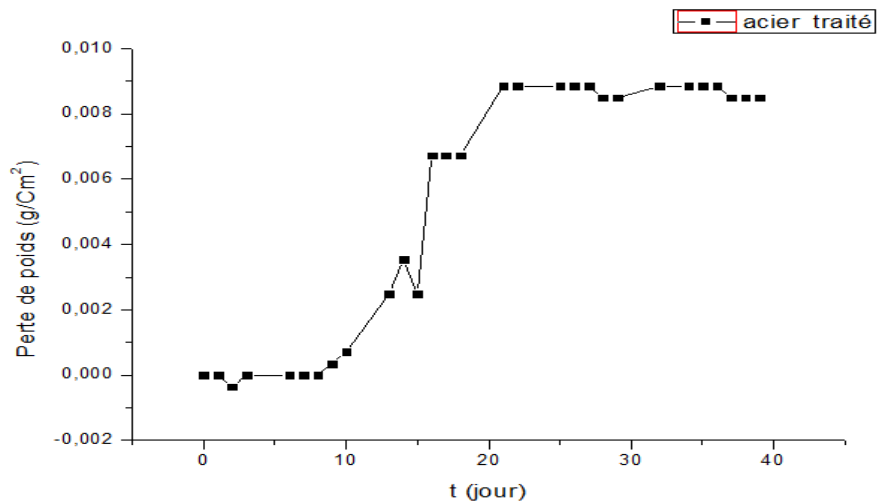
Ces constatations nous permettent de dire que pour la solution à pH neutre, les produits de corrosion, formés durant la stabilité, restent attachés à la surface métallique et limitent la variation de masse, il y a lieu à noter que le milieu augmente.

**d. Perte du poids d'acier traité et non traité dans milieu salin (NaCl 3.5%).**



**Figure II.12 : Perte du poids d'acier traité et non traité dans (NaCl 3.5%).**

Puisque la v descriptive, nous avons ajouté une courbe de ce dernier seule présentée dans la figure II.13 afin de bien suivre son evolution:



**Figure II.13 : Perte du poids d'acier traité dans (NaCl 3.5%).**

Pour une concentration de 35g/l en NaCl, on remarque dans la figure II.12 que la perte de poids est négative jusqu'à 10 jours, puis elle devient positive et augmente rapidement à partir de 12 jours, atteignant une valeur maximale d'environ 0.009 g/cm² après 20 jours. Cette augmentation est due à la dissolution métallique des ions du Fe<sup>2+</sup> vers la solution. Par ailleurs, la stabilité remarquée au delà de 20 jours pour le fer traité est interprétée par la formation du film de corrosion. De plus la valeur de la variation de masse est supérieure à 0.01g/cm².

### III.2 Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA)

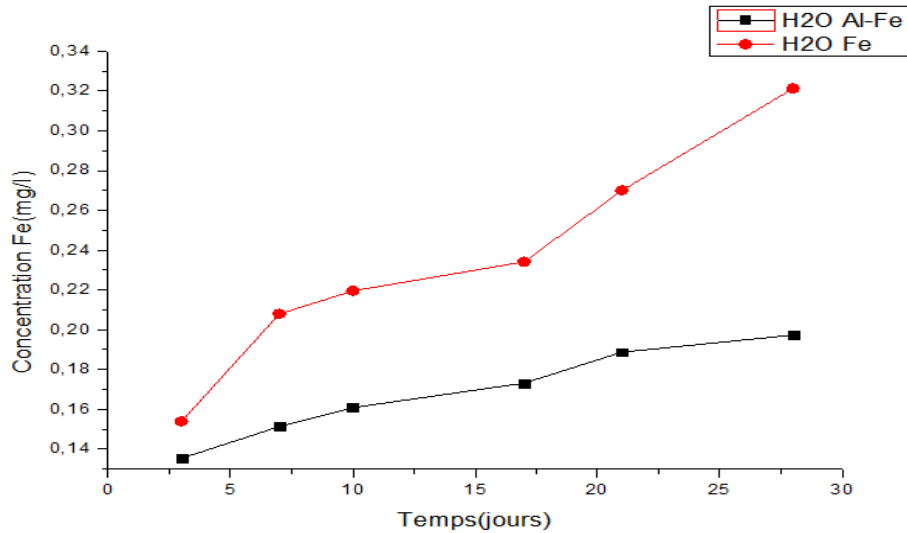
Dans notre étude, la cinétique de la corrosion a été contrôlée par mesures de perte de poids. Les résultats de la SAA sont présentés dans les figures suivantes:



Une croissance de la concentration de  $Fe^{2+}$  est remarquée pour les deux métaux avec un interval plus faible que celui du pH=3 (0,15- 0,45mg/L).

De plus, une augmentation progressive pour le fer

**c. Concentration du fer traité et non traité à pH neutre**



**Figure II.16 : Evolution de la concentration d’acier traité et non traité dans pH neutre**

A pH neutre la dissolution des ions du fer augmente en fonction du temps pour les deux échantillons à des valeurs plus faible que les deux pH étudiés 3 et 5.

agressif comme le chlore. En revanche, à de faibles valeurs.

Nous constatons que la concentration des ions du fer pour les tracés présentent une augmentation pour les trois pH étudiés à savoir 3,5 et temoin, nous remarquons aussi que les valeurs de ces concentrations sont importante pour le fer pur.

En effet, cette différence de concentration entre le fer non traité et le fer revetu par efficace ce qui traduit la réduction de la dissolution des ions du fer dans la solution.

Ces résultats sont en concordance avec ceux trouvés dans de la perte de masse pour des durées moins étendues.



### III.3 Taux de corrosion

Les taux de corrosion obtenus sont donnés dans les figures suivantes :

#### a- Taux de corrosion à pH=3

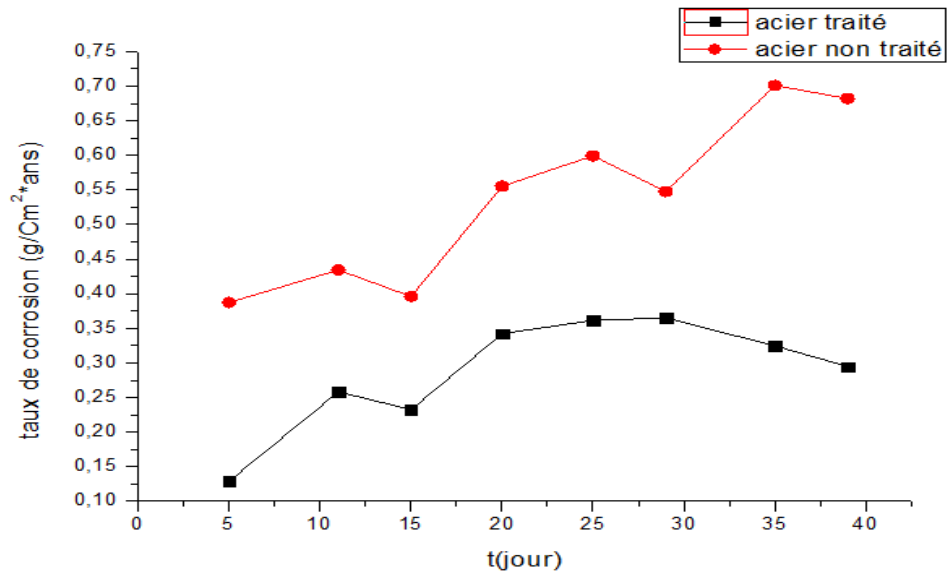


Figure II.18 : Taux de corrosion d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=3

II.18) Les revêtements contiennent en général des pores et des porosités qui peuvent laisser la voie libre à l'agent corrosif, lui permettant d'atteindre le substrat [2].

#### b- Taux de corrosion à pH=5

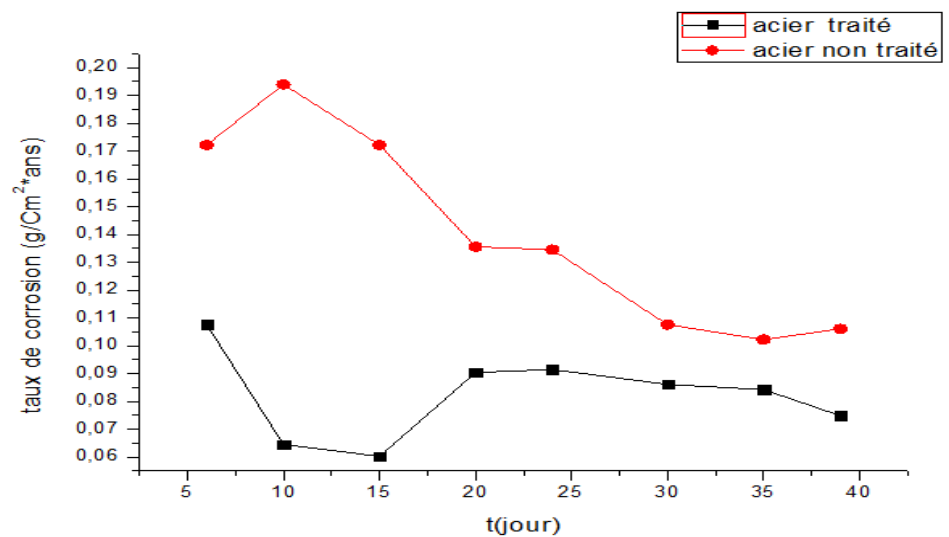
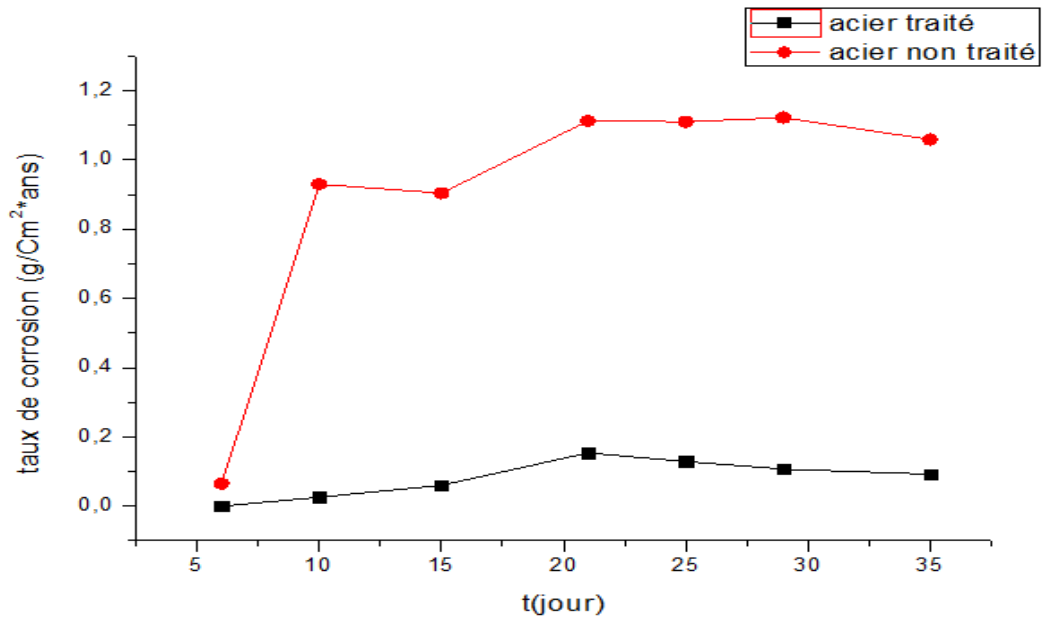


Figure II.19 : Taux de corrosion d'Acier traité et non traité dans HCl à pH=5



**d- Taux de corrosion à milieu salin (NaCl 3.5%)**



**Figure II.21 : Taux de corrosion d'Acier traité et non traité dans (NaCl3.5%)**

Pour une concentration de 35g/l en NaCl, on remarque dans la figure II.21 que le taux de corrosion est plus élevé pour l'acier non traité que pour l'acier traité. On observe une légère stabilité et ce à partir du 20 jours pour l'acier non traité. La surface durant les dix premiers jours qui peut être considérée comme un oxyde du fer. Cette stabilité est due à la formation d'une couche d'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) qui agit comme une barrière protectrice. Cette couche se forme au cours du premier jour et sa stabilité est influencée par la variation de la température en ce temps.

La stabilité de la perte de masse pour le fer revêtu est confirmée par la présence d'une pellicule d'oxyde empêchant la dissolution des ions.

Pendant nos expériences réalisées, nous avons remarqué le gonflement de la couche du vernis, au bout de quelques jours, ce qui peut influencer sur la variation de la masse.

## Conclusion générale

L'ensemble des travaux réalisés et présentés dans ce mémoire vise d'une part la protection de l'acier contre les effets néfastes de la corrosion par traitement de surface et d'autre part l'étude de son comportement dans différentes solutions vis-à-vis de la corrosion.

La synthèse de l'ensemble des résultats obtenus permet de dégager les constatations suivantes :

- Du point de vue de corrosion, l'application d'un revêtement d'aluminium améliore la résistance de l'acier vis-à-vis le chlore.
- Une poudre blanche présente dans les solutions à pH= 3 et NaCl (3,5%) qui peut être de l'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [16].
- L'application de la technique de la SAA a montré son efficacité pour l'analyse et le dosage gravimétrique de la dissolution des ions du fer après diverses immersions en milieu chloruré (NaCl 3,5%) neutre et acide, sachant que les concentrations des ions de fer sont plus importantes dans les échantillons du fer non traité.
- La vitesse de la corrosion de l'acier non traité augmente avec le temps d'immersion plus que celle de l'échantillon revêtu par l'aluminium.
- A défaut de quelques techniques de caractérisation comme DRX, nous n'avons pas pu confirmer le produit de corrosion qui se forme selon les littératures.

En perspective de ce travail, il serait intéressant de compléter les résultats obtenus dans cette étude par d'autres traitements thermiques à différentes températures, variation de la concentration.

## Référence :

- [1] : S. Simard ÉTUDE DES mécanismes de corrosion de l'acier doux 1024 en milieux légèrement alcalins, thèse de doctorat, Sherbrooke, , Canada, 1997
- [2] : T . OUELLET. Etude de l'utilisation de la projection plasma pour une application de résistance à la corrosion dans un milieu industriel. Mémoire la maîtrise en ingénierie. Université du Quebec A Trois-Rivieres . 2015.
- [3] : F.Z.MENNAD, Etude de corrosion de l'acier API5CTGradN 80 dans des puits d'injection d'eau par l'inhibiteur N-(2-aminoéthyl), Mémoire de Master, Université kasdi Merbeh Ouargla, 2015.
- [4] : S.SAADOUNE, Synthèse et caractérisation d'inhibiteurs bi- fonctionnels : application à la corrosion des aciers de construction, Mémoire de magistère, Université Ferhat Abbas-Sétif, 2010.
- [5] : M.BOUMELIK, Z.GHARBL. Expertise de l'état de corrosion d'une installation pétrolière protégée cathodiquement. Mémoire d'Ingéniorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2011.
- [6] : A.HADDOUCHE, Caractérisation physico-chimique des alliages d'Aluminium utilisés comme matériau de revêtement mural, Mémoire de Master, Université Med Khider Biskra, 2014
- [7] : L. BABOURI, Etude de la résistance a la corrosion des Alliages de cuivre en milieu salin, mémoire de magister, l'université du 20 aout 1955 – Skikda, 2008.
- [8] : 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 Bejaïa dans l'assemblage la pelle chargeuse et godet d'excavation, Mémoire de Magister, université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2012.
- [9] : S.BEDDEK, Réalisation et étude des couche cuivre/acier(E33) et Evaluation en milieu corrosif, Mémoire d'ingéniorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2014.
- [10] : K. DOUIDI, Etude de l'influence des paramètres opératoires sur l'efficacité inhibitrice de l'extrait brut de trigonelle foenum-graecum L vis-à-vis de la corrosion de l'acier au carbone en milieu d'acide chlorhydrique 1N HCl, Mémoire de Master, Université Ziane Achour De Djelfa, 2014.
- [11] : F.BELLENGER. Etude et contrôle de la corrosion feuilletant des alliages d'aluminium 2024 et 7449 par bruit électrochimique et émission acoustique. Analyse microstructurale et caractérisation de l'endommagement. Thèse de doctorat. École doctorale : Matériaux de Lyon. France .2002

- [12] : M. M. Lohrengel, Thin anodic oxide layers on aluminium and other valve metals : high field regime. *Materials Science & Engineering : R.Reports*, Volume 11, issue 6, 1993, p.243-294.
- [13] : S. TIERCE, Etude de la corrosion des alliages d'aluminium brases Constituant les échangeurs thermiques utilisés dans les Véhicules automobiles, thèse de doctorat, l'institut national polytechnique de Toulouse, 2006.
- [14] : M. BENDJEDIA, Etude de la corrosion d'un acier inoxydable réalisé par projection thermique, Mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2008.
- [15] : 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 PITESTI, Roumanie, 2005.
- [16] : C.VARGEL. Corrosion de l'Aluminium, 1<sup>er</sup> Edition.Dunod.Paris.1999.
- [17] : F. AHNIA, Etude du comportement en milieu marin découches Aluminium /Acier réalisées par projection à l'arc électrique *Traité des matériaux*, Mémoire de Magister, ENP Alger, 2010.
- [18] : F. CHOUIT, Elaboration et caractérisation des matériaux de revêtements de types (Ni-Al-Zn) par projection thermique (torche), mémoire de magister, université Badji Mokhtar Annaba, 2008.
- [19] : Y. Smaili, Contribution a la caractérisation mécanique et thermique des revêtements d'alumine et de carbure de tungstène obtenus par projection plasma, Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara, Boumerdès, 2006.
- [20] : A.PERNOT-GEHIN, Etude des procédés de colmatage d'alliages d'aluminium anodisé, Université Henri Poincaré Nancy-I, France, 2007.
- [21] : W.Harzallah, Préparation et caractérisation de dépôts composites électrodéposés en présence présence d'inhibiteurs organiques. Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider ,Biskra. 2006
- [22] : H.Rachda Etude de la corrosion des métaux par les pluies acides , Mémoire de Magister , Université Amar Telidji , Laghouat . 2015

# Annexes

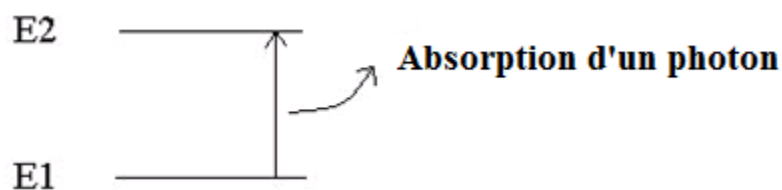
## SPECTROMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE

### I – INTRODUCTION

La spectrométrie d'absorption atomique (AAS) est une technique décrite pour la 1ère fois par Walsh (1955). AAS 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).

### II – PRINCIPE

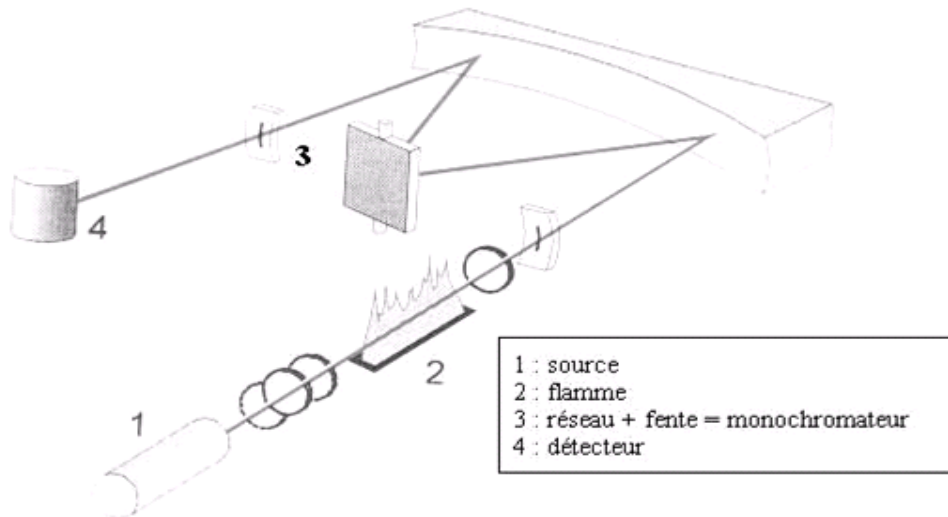
L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 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  $\nu$  est la fréquence du photon absorbé. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés.



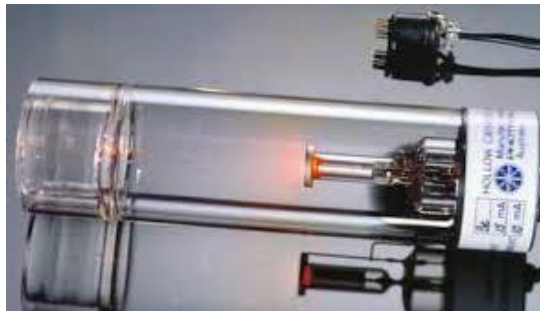
Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au nombre d'atomes d'élément absorbant selon la loi de distribution de Boltzmann, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments à doser. L'analyse par absorption atomique utilise la loi de Beer- Lambert. S'il y a plusieurs éléments à doser, on réalise cette manipulation pour chaque élément de l'échantillon en se plaçant à une longueur d'onde fixée. Il faut donc à chaque manipulation choisir une source adaptée pour éclairer l'élément que l'on cherche à exciter.

### III - INSTRUMENTATION DE BASE

Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose d'une source, la lampe à cathode creuse, d'un brûleur et un nébuliseur, d'un monochromateur et d'un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition.



- **La lampe à cathode creuse**



La lampe à cathode creuse est constituée par une enveloppe de verre scellée et pourvue d'une fenêtre en verre ou en quartz contenant une cathode creuse cylindrique et une anode. La cathode est constituée de l'élément que l'on veut doser. Un vide poussé est réalisé à l'intérieur de l'ampoule qui est ensuite remplie d'un gaz rare (argon ou néon) sous une pression de quelques mm de Hg.

Lorsqu'on applique une différence de potentiel de quelques centaines de volts entre les deux électrodes, une décharge s'établit. Le gaz rare est alors ionisé et ces ions bombardent alors la cathode, arrachant des atomes à celle-ci. Ces atomes sont donc libres et sont excités par chocs : il y a émission atomique de l'élément constituant la cathode creuse. La particularité du rayonnement ainsi émis est qu'il est constitué de raies très intenses et très fines.

- **Le nébuliseur**

L'échantillon à analyser est en solution. Celle-ci est aspirée au moyen d'un capillaire par le nébuliseur. A l'orifice du nébuliseur, du fait de l'éjection d'un gaz à grande vitesse, il se crée une dépression (effet Venturi). La solution d'analyse est alors aspirée dans le capillaire et à la sortie, elle est pulvérisée en un aérosol constitué de fines gouttelettes. Cet aérosol pénètre alors dans la chambre de nébulisation dont le rôle est de faire éclater les gouttelettes et d'éliminer les plus grosses. Ce brouillard homogène pénètre alors dans le brûleur.

- **La flamme – atomisation**



L'aérosol pénètre dans le brûleur puis dans la flamme. Au bout d'un certain parcours au seuil de la flamme, le solvant de la gouttelette est éliminé, il reste les sels ou particules solides qui sont alors fondus, vaporisés puis atomisés. La flamme air acétylène est la plus répandue et permet de réaliser le dosage de nombreux éléments. Sa température est de 2500°C environ. A la place d'une flamme, on peut également utiliser un four cylindrique en graphite pour atomiser l'échantillon. La lumière qui quitte la source n'est pas monochromatique. On obtient un spectre de raies contenant :

- les raies de l'élément à doser,
- les raies du gaz de remplissage dans la source,
- les raies d'éventuelles impuretés,
- les raies de l'atomiseur (flamme).

Le rôle du monochromateur consiste à éliminer toute la lumière, quelle que soit son origine, ayant une longueur d'onde différente de celle à laquelle on travaille.

- **Le détecteur**

Le faisceau arrive ensuite sur le détecteur. Ce dernier mesure les intensités lumineuses nécessaires au calcul des absorbances. Il est relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition. On détermine : **Absorbance spécifique = Absorbance totale – Absorbance non spécifique**

L'absorption spécifique est due à l'élément à doser (sur une raie). L'absorption non spécifique est due à l'absorption continue de la matrice. Des mesures permettent la correction des absorptions non spécifiques.

#### **IV - PERTURBATIONS PHYSIQUES ET CHIMIQUES**

Un élément est dosé par absorption de sa raie la plus intense. Cependant, plusieurs facteurs peuvent affecter la position des raies donc conduire à des dosages inexacts.

Les interférences perturbant l'analyse sont de quatre types :

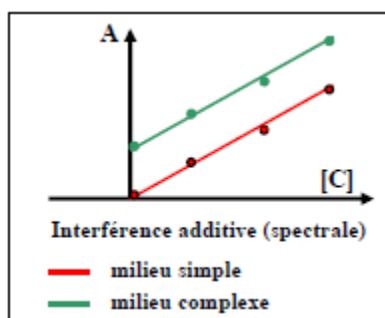
- ✓ Chimique,
- ✓ d'ionisation,
- ✓ physique,
- ✓ spectrale

**Interférences spectrales** (= absorptions non spécifiques)

Ces phénomènes ont leur siège dans la source d'atomisation et affectent la mesure spectrale d'absorbance de l'analyte :

- par superposition de raies : raie de l'élément à doser et raie appartenant à un autre élément
- par superposition d'absorbances provenant de molécules
- par la diffusion de la lumière incidente sur des particules solides ou liquides présentes dans l'atomiseur.

Elles se traduisent souvent par une **translation** de la droite d'étalonnage établie en milieu complexe, par rapport à celle obtenue en milieu simple (interférences additives).



## **Correction des interférences spectrales**

Le rôle des correcteurs est de mesurer automatiquement les absorbances non spécifiques dues aux interférents en tout genre afin de les soustraire de l'absorbance. Lors des réglages préliminaires de l'appareil (c.à.d. en l'absence d'échantillon), il faut ajuster  $\log I_0/I = 0$  si on veut obtenir une mesure correcte

## **Interférences chimiques**

Elles sont dues au fait que certains sels métalliques sont difficiles à atomiser, ou qu'ils forment des oxydes réfractaires dans la flamme. L'anion qui accompagne le cation que l'on dose joue un rôle important dans ce cadre : Exemple : Le  $\text{CaCl}_2$  est plus facile à atomiser, donc plus facile à doser que du Ca sous forme de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  : phosphate tricalcique. Donc, on n'utilise jamais l'acide phosphorique comme acide redissoudre les échantillons après minéralisation, car il forme des phosphates difficiles à atomiser.

## **Correction des interférences chimiques**

Il faudra faire l'étalonnage et les dosages sous la même forme saline ; par exemple, si on dose du Ca dans  $\text{CaCl}_2$ , on prendra  $\text{CaCl}_2$  pour faire la gamme d'étalonnage.

## **Interférences physiques**

Elles sont généralement liées aux propriétés physiques des solutions étudiées (changement de viscosité entre les étalons et les échantillons).

Si la solution dans laquelle on veut doser un métal donné renferme un ou plusieurs autres ions en concentration importante, quand on va provoquer la nébulisation de la solution dans une flamme, ces autres sels métalliques s'insolubilisent

- Il ya formation de petites particules qui vont physiquement provoquer des perturbations, car ils dispersent la lumière.

Ce phénomène est appelé le scattering effect : effet de diffusion de la lumière par des particules qui s'insolubilisent dans la flamme.

## **Correction des interférences physiques**

- On fait une mesure à la longueur d'onde de la raie de résonance.

On a l'absorption atomique, et la diffusion de la lumière par les particules.

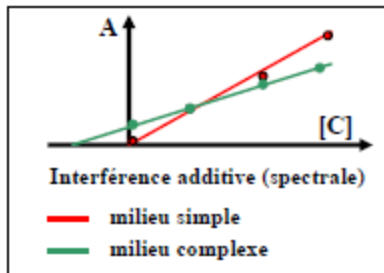
- On se place à une longueur d'onde complètement différente de la raie de résonance :

Le métal n'absorbe plus.

Mais il ya toujours la diffusion de la lumière par les particules qui s'insolubilisent.

- On fait la différence des 2 mesures : d'où l'absorption du métal que l'on veut doser.

Les interférences chimiques et physiques entraînent un **changement de pente** de la droite par rapport à la droite d'étalonnage établie en milieu simple



### Interférences d'ionisation

Les interférences d'ionisation se rencontrent lorsque l'analyte est un élément facilement ionisable, car tout atome qui s'ionise ne peut plus être dosé. On choisit donc des conditions de température qui permettent d'éviter l'ionisation.

Cependant, on ne peut pas toujours l'éviter : la présence d'un autre élément plus facilement ionisable modifie l'équilibre d'ionisation de l'analyte. Il peut être ajouté sciemment afin de diminuer l'ionisation de l'analyte (effet tampon) et donc accroître l'absorbance.

### Correction des interférences d'ionisation

-Si on veut doser les alcalino-terreux (ex : Ca), pour éviter l'ionisation, on ajoute dans la solution à doser des éléments qui s'ionisent davantage ( ex : un alcalin)

- Le Ca est protégé.

- Pour doser les alcalins, il existe un élément qui s'ionise plus facilement qu'eux : un sel de tantale.

- Il y a protection de l'alcalin, car ce sel supporte l'ionisation.

## VI – DOSAGE PAR ABSORPTION ATOMIQUE

La courbe d'étalonnage est déterminée de deux manières différentes :

- Etalonnage direct → matrice simple (un seul élément à doser )

- Méthode des ajouts dosés → matrice complexe ou inconnue

**Remarques :**

- S'assurer de la similitude de composition (solvant, concentration en acide, teneur en sels...) entre les solutions d'étalonnage et d'échantillons.

- Ne pas comparer des échantillons en solution organique à des étalons aqueux.

**VII - QUELQUES APPLICATIONS**

La spectrophotométrie d'absorption atomique est essentiellement une méthode d'analyse quantitative qui convient beaucoup mieux à la détermination des traces qu'à celle des composants majeurs.

La spectrométrie d'absorption atomique permet le dosage de nombreux matériaux inorganiques (roches et minerais, métaux et alliages...). Elle est donc très adaptée à l'étude du matériel archéologique. Elle permet aussi de quantifier les éléments métalliques en solutions (Gestion des déchets). Citons quelques exemples .:

- l'analyse des constituants majeurs et mineurs de céramiques archéologiques
- le dosage du Ca, Sr, Zn dans les os
- l'analyse des éléments traces pour identification des pierres
- la dégradation des verres
- dosage des particules métalliques (Cu, Fe...) dans le papier
- l'analyse des eaux
- l'analyse des tissus végétaux et animaux, des liquides biologiques
- l'analyse des aliments et boissons,
- l'analyse des sols, engrais et sédiments
- l'analyse des produits industriels

**Avantages :** haute sensibilité, grande spécificité, rapidité, faible quantité de substance nécessaire (1 mL de la solution peut suffire) et facilité de préparation des solutions étalons.

**Inconvénients :** nécessité d'utiliser pour chaque élément à doser une source caractéristique, technique d'analyse destructrice, domaine d'application limité presque exclusivement aux métaux (Cu, Zn, Pb, Cr, Fe, Cd, etc....), nécessité d'avoir des concentrations assez faibles.



## ملخص

الدراسة الحالية تعتمد على تطبيق تقنية الرش بالقوس الكهربائي على الفولاذ بالطلاء بالألومينيوم ، ومتابعة سلوكها إزاء التآكل ولهذا الغرض قمنا بدراسة عينات في أوساط مختلفة لقياس تطور التآكل وذلك بإستعمال طريقة فقدان الوزن والامتصاص الطيفي الذري بغطس العينات في مختلف البيئات المتآكلة بعد فترات من الزمن .

**كلمات مفتاحية :** التآكل، كلوريد الصوديوم (3.5 % )، حمض الهيدروكلوريك، الإسقاط الكهربائي، مطيافية الامتصاص الذري.

## Résumé

L'objectif de ce travail étant l'élaboration des revêtements de l'aluminium sur d'acier; par la projection arc électrique et d'étudier leur comportement vis-à-vis la corrosion.

Les échantillons ont subi une étude de la masse perdue, afin de mesurer la vitesse de la corrosion dans différents milieux.

Pour compléter notre investigation et s'assurer des résultats obtenus, nous avons par la spectroscopie d'absorption atomique, analysé et dosé les cations dans les solutions corrosives dans le but d'étudier le mécanisme de dissolution du matériau après diverses périodes d'immersion.

**Mots Clés :** Corrosion, NaCl (3,5%), HCl, Projection électrique, Spectroscopie d'absorption atomique.

## Abstract

The objective of this study is the elaboration of aluminum covering on steel by the electric arc spraying and follow their behavior against corrosion attack.

Corrosion's evolution was followed by experimental methods like weight loss and the dissolution's mechanism was analyzed by atomic absorption spectroscopy in different corrosive environments after various periods of immersion.

**Keywords :** Corrosion, NaCl (3.5%), HCl, Electrical projection, Atomic absorption spectroscopy.