



Populaire et Démocratique Algérienne
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي **République**
Ministère de l'enseignement et de la recherche scientifique
البلدية جامعة 01
UNIVERSITE SAAD DAHLEB-BLIDA 01



Faculté de technologie

Département de mécanique



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en **mécanique**

Option : **Ingénierie de Surface et Matériaux**

Thème :

Étude des paramètres opératoires d'une galvanisation industrielle

Présenté par :

Mazouzi Mohamed mouncef

Promoter: Mr, Bacha Nacer

2021/2022

Résumé

L'objectif principal du travail est d'étudier la prévention de la corrosion en utilisant la technique de la projection thermique et de la galvanisation à l'aide de zinc, qui crée une couche qui recouvre la pièce après l'avoir traitée et en avoir éliminé les impuretés et l'oxydation.

Si bien que nous avons testé plusieurs dimensions des pièces utilisées pour le procédé et les différents temps d'immersion et l'effet de pliage sur la couche de zinc formée à partir de la peinture utilisée.

Pour étudier la résistance du zinc, nous avons proposé un test de corrosion à l'acide chloré pour nous permettre de choisir le meilleur type de revêtement.

المخلص

الهدف الرئيسي للعمل دراسة الوقاية من التآكل باستعمال تقنية الرش الحراري والغلفنة باستعمال الزنك فيخلق طبقة تغلف القطعة بعد معالجتها وازالة الشوائب والأكسدة منها

بحيث قمنا بتجربة عدة ابعاد للقطع المستعملة للعملية ومختلف ازمنا الغمر وتأثير الطي على طبقة الزنك المتشكلة من الطلاء المستعمل

ولدراسة مقاومة الطلاء اقترحنا اختبار التآكل باستعمال حمض الكلور ليسمح لنا باختيار النوع الفضلل للطلاء

Remerciement

Louange à notre Dieu, seigneur le tout - puissant et miséricordieux, le maitre des cieux et de la terre, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail et nous a éclairés de son immense et infinie sagesse.

Notre reconnaissance et nos sincères remerciements à notre promoteur Monsieur Bacha Naser.

A notre doctorant TEMMAR Mustapha, qui est une personne attentive et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris. Ils ont été et resteront des moteurs pour mon travail pour l'avenir.

Et enfin, nos remerciements s'adressent également à tous nos enseignants de la faculté de mécanique et de l'université de Blida 1.

Dédicace

Avant tout je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force, le courage et la patience pour continuer mon parcours...

Au meilleur des pères ;

A ma très chère maman ;

Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté A qui je dois tout.

A ma sœur IKRAM,

A mon frère DHIA,

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite ;

A mes Amis A tous ceux qui me sont chers

Et à tous ceux qui m'ont aidé de loin et de près

Table De Matières

Remerciement	
DédicaceRésumé	
Table De MatièresListe	
FiguresListe	
Tableaux	
Introduction générale	1

CHAPITRE IBIBLIOGRAPHI E

I.1. Galvanisation à chaud	3
I.1.1. Introduction	3
I.1.2. Généralités sur le zinc	3
I.1.3. Préparation des surfaces	4
I.1.3.1. Préparation de surface d'un matériau nu avant traitement de surface	4
I.1.3.2 Le dégraissage	5
I.1.3.3. Le rinçage	6
I.1.3.4. Fluxage	6
I.1.3.5. Le séchage	8
I.1.4. La galvanisation	8
I.1.5. Une protection anticorrosion qui va au-delà d'un simple dépôt de zinc	9
I.1.6. Acier Galvanisé	9
I.1.7. Microstructure d'une Acier Après la Galvanisation	10
I.1.8. Avantages de la galvanisation	11
I.2. Projection thermique des revêtements	11
I.2.1. La projection à arc électrique	12
I.2.2 Avantages et inconvénients de la projection arc-fil	12
I.2.3 Formation et structure des dépôts	13
I.2.3.1 intensité de courant d'arc	13
I.2.3.2 tension d'arc.....	14
I.2.4. Vitesse relative pistolet-substrat	14
I.2.5 Distance de tir	14
I.2.6 préparation de substrat	14

CHAPITRE II

Méthodologie expérimentale

II. 1. Choix des éprouvettes d'essai de galvanisation	16
II.2. Système de galvanisation	16
II.3. Moyen de levage (pont roulant)	17
II.4. Les Bassins	17
II.4.1. Bassin de dégraissage	18
II.4.2. Bassin de rinçage	18
II.4.3. Bassin de décapage	18
II.4.4. Bassin de fluxage,	18
II.5. Chambre de séchage	18
II.6. Bain de Zinc	18
II.7. Préparation de la solution de corrosion	19
II.8. Choix des éprouvettes d'essai de projection thermique	19
II.9. System de projection a arc électrique (Arc-fil)	19
II.9.1. Module de commande LCAE	20
II.9.2. Pistolet de projection LCAG	20
II.9.3. Module de commande d'arc électrique LCA	21
II.9.4. Module de commande LCA/LCAE	21
II.10. Positionnement des échantillons	22
II.11. Appareil de mesure d'épaisseur	22

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1 Introduction	24
III.2. Effet du temps d'immersion	24
III.3. Effet de l'état de surface	25
III.4. Effet de pliage	28
III.5. Influence du temps de décapage sur la qualité du dépôt de zinc	29
III.6 Essais de corrosion	30
CONCLUSION	35
REFERENCES	37

Liste Figures

Figure I

Figure I. 1. Représentation schématique d'une surface métallique industrielle	5
Figure I. 2. Représentation schématique de procédés de galvanisation au trempé.	7
Figure I. 3. Les différentes étapes de la galvanisation de produits finis	9
Figure I. 4. Vue en coupe transverse de phases formées après la galvanisation de l'acier.	10
Figure I. 5. Deux cas possibles de protection : active ou sacrificielle (a -b),	11
Figure I. 6. Coupe schématique d'une torche arc-fil	12

Figure II

Figure II. 1. Pont roulant	17
Figure II. 2. Les bassins de la zone de préparation	17
Figure II. 3. Ecran d'observation	18
Figure II. 4. Bain de zinc	19
Figure II. 5. Module de commande LCAE	20
Figure II. 6. Torche de projection à arc électrique	21
Figure II. 7. Module de commande LCA/LCAE	21
Figure II. 8. Appareil de mesure des épaisseurs Positest DFT	22

Figure III

Figure III 1. éprouvette pour le test de galvanisation à chaud.	25
Figure III 2. Plaque polie avec papier émeri de 80 et galvanisée. durant une minute.	26
Figure III 3. Plaque polie avec papier émeri de 80 / 220 et galvanisée. durant une minute.	27
Figure III 4. Plaque polie avec papier émeri de 80/220/600 et galvanisée. durant une minute	27
Figure III 5. Plaque polie avec papier émeri de 80/220/600/1200 et galvanisée. durant une minute.	27
Figure III 6. Pliage à 45°	28
Figure III 7. pliage à 90°	28
Figure III 8. Pliage à 135°	29
Figure III 9. Influence du temps de décapage sur l'épaisseur du zinc	30
Figure III 10. Revêtement de zinc déposé par projection thermique	31
Figure III 11. Dépôt de zinc galvanisé de 6 µm avant et après l'essai de corrosion	32
Figure III 12. Dépôt de zinc galvanisé de 42 µm avant et après l'essai de corrosion.	32
Figure III 13. Dépôt de zinc galvanisé de 60 µm avant et après l'essai de corrosion.	32
Figure III 14. Dépôt de zinc galvanisé de 76 µm avant et après l'essai de corrosion.	33

Liste Tableaux

Tableau I

Tableau I. 1. Caractéristiques de zinc	4
Tableau I. 2. Caractéristiques des phases Fe-Zn.	10

Tableau III

Tableau III. 1. Variation du temps d'immersion dans le bain de zinc	25
Tableau III. 2. Effet de la rugosité de surface	26

Introduction Générale

Introduction générale

La corrosion est le phénomène suivant lequel les métaux ont tendance, sous l'action d'agents atmosphériques ou de réactifs chimiques, à retourner à leur état original d'oxyde, carbonate, plus stable par rapport au milieu considéré, et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés.

Le problème de la corrosion a pris de nos jours une importance considérable, étant donnée l'utilisation de plus grande des métaux et alliages dans la vie moderne [1].

L'étude de la corrosion se situe à croisée de divers domaines : Electrochimie, physique du solide, métallurgie, chimie, physique, thermodynamique... outre son intérêt scientifique interdisciplinaire, elle répond à un enjeu industriel important.

Il existe plusieurs méthodes de protection contre la corrosion et les plus courantes dans les entreprises et les institutions en Algérie, nous citons la galvanisation à chaud et la projection thermique

La galvanisation est l'action de recouvrir une pièce d'une couche de zinc dans le but de la protéger contre la corrosion. Le traitement est dit anticorrosif. Cette méthode est très ancienne datant depuis la fin du 17^{ème} siècle.

Dans l'industrie, ce terme désigne essentiellement les procédés de « galvanisation à chaud au trempé ».

La projection thermique est considérée comme l'une des technologies clés de l'ingénierie de surface. Etant donné que la technique de la projection thermique a été inventée au début du XX^e siècle l'utilisation de revêtements thermique pulvérisés a augmenté énormément et ils sont largement utilisés dans l'ensemble des industries mécaniques modernes.

La projection par arc électrique présente un meilleur rendement de dépôt par rapport aux autres procédés de projection. Cette technique nécessite des matériaux conducteurs électriques. La plupart des matériaux métalliques tels que le zinc, le cuivre, l'aluminium, le bronze, l'acier et le molybdène, ainsi que de nombreux alliages peuvent être projetés par cette technique.

CHAPITRE I BIBLIOGRAPHIE

I.1. Galvanisation à chaud

I.1.1. Introduction

La galvanisation à chaud est un procédé de revêtement anticorrosion traditionnel. Il a connu de nombreux développements, techniques (fluxage) dans les années qui suivent (1837-1842). La quantité d'acier galvanisé produit est en croissance chaque année et atteint en 1996 jusqu'à 57.8 millions de tonnes métriques selon le "Pocket Guide to World Zinc" (1998).

Le procédé de galvanisation consiste à enduire d'une couche mince de zinc des matériaux d'acier. Cette couche de zinc étant anodique par rapport à l'acier, elle joue un rôle d'anode sacrificielle et protège l'acier de la corrosion. Il existe plusieurs méthodes pour enduire l'acier de zinc, par exemple, on peut mentionner la galvanisation à chaud par immersion et la déposition électrolytique de zinc.

Le procédé de galvanisation à chaud consiste à recouvrir le fer par le zinc fondu à une température de 450°C. Le zinc a un potentiel électrochimique plus négatif que celui du fer. Dans la pile fer-zinc, il constitue l'anode (zinc) qui est attaquée et se dissout, alors que le fer qui constitue la cathode qui reste inattaquée. Ce qui lui donne un pouvoir «sacrificiel» puisqu'il protège celui-ci électrochimiquement en se consommant à son profit, le protégeant ainsi contre toute attaque par corrosion et lui évitant sa transformation en oxyde de fer (ou rouille Fe_2O_3). Cette protection est efficace même si le revêtement de zinc est rendu discontinu par rayures aux cassures et se prolonge jusqu'à complète disparition du zinc. Le revêtement ne sera correctement réalisé que si un bon mouillage a été obtenu entre le métal à revêtir et le métal fondu à déposer. Le mouillage est toujours réactif, en ce sens que des composés intermétalliques précipitent à l'interface entre l'acier et le métal liquide durant l'immersion. La réactivité de l'acier vis-à-vis du bain de métal fondu est gouvernée par quatre familles de facteurs : la composition chimique du bain de métal fondu, les facteurs déterminant l'état de surface de l'acier à l'immersion, la température à laquelle se déroule la réaction avec le métal liquide et sa durée. Le zinc en tant que revêtement anticorrosion, reste encore actuellement d'un rapport performance, coût inégalé. Cela explique l'utilisation de tels produits dans les différents domaines de l'industrie, surtout à l'état de tôles zinguées pour l'automobile, l'électroménager.

I.1.2. Généralités sur le zinc

Le zinc est un élément chimique métallique blanc légèrement bleuâtre et brillant, appartenant au sous-groupe II b de la classification périodique. Il est cassant à froid mais devient malléable et ductile entre 100 et 150°C. Dans un environnement humide, il se couvre d'une mince couche d'hydrocarbonate qui le patine et le protège contre l'oxydation. Le zinc se différencie sensiblement des autres métaux industriels, notamment par point de fusion relativement bas et par sa structure cristalline, c'est en effet, un des rares métaux cristallisant dans le système hexagonal compact. Le

zinc

est

principalement

utilisé comme revêtement protecteur du fer et de l'acier. Il se prête facilement à cet usage étant donné sa parfaite adhérence sur le métal de base. En outre, le zinc étant nettement moins noble que le fer, il offre une résistance cathodique à la corrosion. En effet, l'attaque par les agents corrosifs a lieu préférentiellement sur le zinc et non sur le fer, même si ce dernier n'est que partiellement recouvert. Ces caractéristiques sont présentées sur le tableau I.1 suivant :

Tableau I. 1. Caractéristiques de zinc [2]

Symbole	Numéro atomique	Masse atomique g/mole	Densité g/cm ³	Température de fusion	Etat d'oxydation	Température d'ébullition °C
Zn	30	65.37	7.133	419	2	906.9

I.1.3. Préparation des surfaces

La qualité et l'adhérence de la couche galvanisée, dépend en grande partie de l'état de surface de l'acier. Ce dernier est généralement oxydé et couvert d'huile ou de graisses, donc nécessite une préparation rigoureuse en nettoyant préalablement et soigner la surface avant l'immersion dans le bain de zinc.

I.1.3.1. Préparation de surface d'un matériau nu avant traitement de surface

La surface d'une pièce industrielle (figure 1.1) est toujours souillée par différents polluants : les pollutions organiques (huiles, graisses...) et les composés métalliques (oxydes, nitrure, carbures...). Il s'agira donc de passer d'une surface métallique polluée à une surface physiquement et chimiquement propre en éliminant la couche souillure. Le processus de préparation comporte les opérations suivantes :

1. Dégraissage
 2. Rinçage
 3. Décapage
 4. Rinçage
 5. Fluxage
 6. Séchage
 7. Galvanisation
 8. Refroidissement
- et contrôle

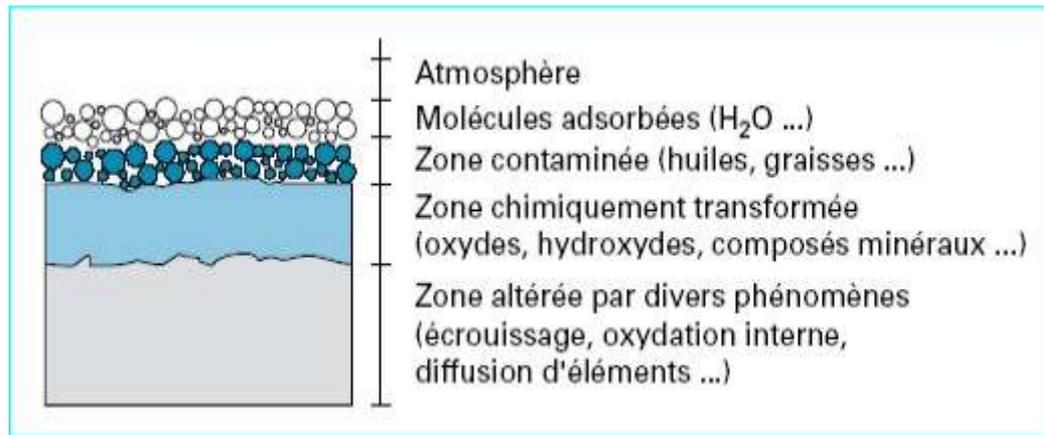


Figure I. 1. Représentation schématique d'une surface métallique industrielle [2].

II.1.3.2 Le dégraissage

C'est l'une des opérations qui déterminent la qualité de la galvanisation. Le but est d'enlever les graisses, les huiles, le lubrifiant et les traces des manipulations précédentes. Elle confère un caractère hydrophobe à l'interface et qui gêne la suite des opérations de celle-ci (couche graisseuse) sur le métal ou plus précisément à rompre la liaison huile-oxyde métallique [3]. Cette opération est nécessaire pour avoir un bon décapage. Le dégraissage peut se faire par plusieurs façons

1. Dégraissage solvant
2. Dégraissage en phase aqueuse

I.1.3.2.1 Dégraissage solvant

Il fait appel au pouvoir dissolvant de liquides organiques divers : solvant chlorés, hydrocarbures dérivés, oxygénés. On peut citer par exemple le trichloréthylène (C_2HCl_3), le perchloroéthylène (C_2Cl_4) et le trichloroéthane ($CHCl_3$). Ils sont souvent utilisés en pré dégraissage dans le cas des pièces très grasses, ils donnent aux dégraissages chimiques ou électrochimiques postérieurs un matériau d'efficacité et une longévité plus importante [2].

I.1.3.3.2. Dégraissage en phase aqueuse

Il met en œuvre des solutions alcalines ou neutres. Ce type de solutions est plus couramment utilisé, il se fait dans des bains contenant du carbonate de sodium ou de la soude additionné de détergents (polyphosphates ou silicates de sodium) à une température comprise entre 60 et 80°C. Le dégraissage doit être suivi d'un rinçage efficace et soigné pour débarrasser les pièces des corps gras surnageant et des mousses qui se seraient redéposées sur les pièces lors de la sortie du bain.

I.1.3.3. Le rinçage

Un rinçage est effectué après le dégraissage afin de ne pas polluer les opérations suivantes.

I.1.3.3.1. Décapage

Le décapage est l'opération destinée à débarrasser les oxydes superficiels formés lors des traitements thermiques ou mécaniques ultérieurs ou ceux engendrés au cours de la phase précédente (dégraissage). Dans le cas de l'acier, on parle de décalaminage qui élimine les couches d'oxyde (calamines, Fe_2O_3) formés à hautes températures sur leurs surfaces et de dérouillage qui élimine la rouille qui se forme à température ambiante. En industrie deux types de décapage sont réalisés :

1. Par voie humide à l'aide d'acide chlorhydrique ou sulfurique.
2. Par voie mécanique (grenailage)

I.1.3.3.2 Décapage par voie humide

Il est effectué par immersion dans une solution d'acide chlorhydrique (HCl) dilué à température ambiante (concentration 120 à 210 g/l). Il a comme avantages de donner des chlorures de fer très solubles, un bon aspect de surface satiné et de ne provoquer qu'un faible risque de fragilisation du métal. Le décapage se fait aussi par l'acide sulfurique mis en œuvre à 70-80°C°. Cette méthode est moins utilisée car elle nécessite un chauffage et une extraction rigoureuse des vapeurs acides toxiques.

I.1.3.3.3. Décapage par voie mécanique

Il est réalisé généralement par grenailage. Il consiste en une projection sur des pièces de grenailage d'acier permettant une élimination efficace des peintures, calamines...etc. Il est utilisé plus particulièrement pour des pièces en fonte et en acier moulé, il peut être éventuellement suivi d'un court décapage humide. Un rinçage est également effectué après le décapage afin de laver les pièces des sels de fer et des traces d'acide qui pollueraient l'opération suivante :

I.1.3.3.4. Le rinçage post décapage

Un rinçage est également effectué après le décapage afin de laver les pièces des sels de fer et des traces d'acide qui pollueraient l'opération suivante.

I.1.3.4. Fluxage

Il évite à l'acier de se réoxyder entre la sortie du décapage et l'entrée dans le bain de zinc. Le fluxage a trois objectifs :

- le premier est la dissolution des oxydes de fer reformés à la surface au cours des rinçages
- le second est la protection de la surface des pièces par un film de flux qui évite l'oxydation
- le dernier objectif est d'assurer une bonne mouillabilité par le zinc fondu. Le bain de fluxage est composé de chlorure de zinc et de chlorure d'ammonium sous forme de sel double $ZnCl_2 \cdot 2(NH_4Cl)$ de concentration comprise entre 300 à 700g/l. Pendant l'immersion de l'acier dans ce flux, il se forme une fine couche qui protège l'acier de l'oxydation en attendant qu'il soit en contact avec le zinc chaud. La couche de flux fond, ce qui garantit un excellent contact et permet aussi également de favoriser la réaction métallurgique Fer/Zinc, lors de l'immersion de la pièce dans le bain de zinc. Après fluxage, les pièces sont séchées à une température de $120C^\circ$ dans une étuve pour former une pellicule de flux à la surface du métal. Ce séchage doit être complet pour éviter des projections de zinc liquide lors de l'introduction des pièces dans le bain. Lors de la galvanisation, plusieurs réactions chimiques sont mises en jeu.

I.1.3.4.1. Décomposition du flux

Les sels du flux se décomposent selon la réaction suivante :



I.1.3.4.2. Attaque des oxydes

NH_3 et HCl dissolvant les oxydes selon les réactions suivantes :



Les ammoniacales, chimiquement ce sont des complexes ($FeCl_2, NH_3$ et $ZnCl_2, NH_3$), appelés sels brûlés, donnent des «cendres» qui surnagent à la surface de zinc (figure I.2)

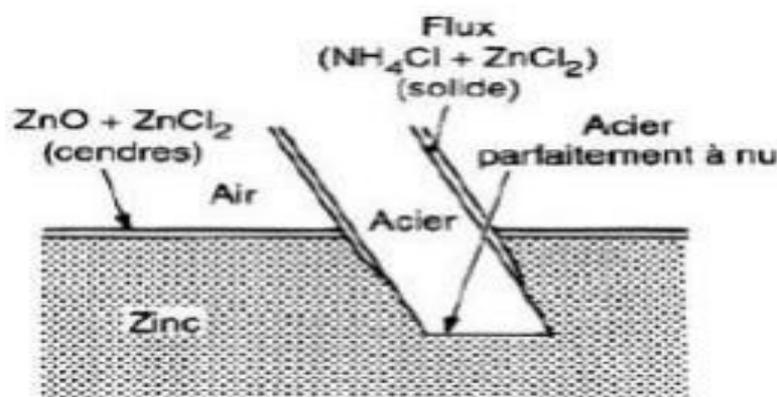


Figure I. 2. Représentation schématique de procédés de galvanisation au trempé [4].

Le flux se décompose au moment de l'immersion dans le bain de zinc, permettant le démarrage uniforme de la réaction fer-zinc.

I.1.3.5. Le séchage

Le séchage est effectué dans une étuve afin d'éviter les projections de zinc au moment de l'immersion de la pièce.

I.1.4. La galvanisation

Les pièces sont ensuite immergées dans le bain de zinc fondu à 450°C. Les temps d'immersion varient suivant l'importance des charges, des dimensions et de l'épaisseur des pièces : de 3 à 4 minutes pour des pièces de forme simple, et de 10 à 15 minutes pour des ensembles massifs ou des corps creux de grandes dimensions.

Pour des raisons environnementales, le plomb autrefois utilisé est désormais remplacé par de l'étain dans les bains de zinc. L'aluminium est également présent (moins de 0,01%). L'étain est utilisé en raison de sa faculté à favoriser la fluidité du zinc tandis que l'aluminium permet d'éviter l'oxydation superficielle du bain et de favoriser la brillance.

Toutes les opérations de traitement de surfaces étant déroulées correctement on peut considérer que la surface des pièces est prête à assurer de bonnes réactions fer-zinc l'immersion dans le bain de zinc peut maintenant être réalisée. Les paramètres principaux d'une opération réussie sont :

1. La nature de l'acier
2. La composition du bain
3. La température du bain
4. La vitesse et durée d'immersion
5. Le vibrage et la centrifugation
6. Le refroidissement.

Tous les aciers réagissent avec le zinc pour former un revêtement composé d'alliages fer-zinc. La qualité du revêtement obtenu dépend de la composition de l'acier

Les aciers dont la composition correspond au domaine de Sandelin sont rejetés car les Revêtements sont épais, fragiles peu adhérents [5].

Les pièces galvanisées sont ensuite refroidies à l'air libre et contrôlées.

Il faut en moyenne de 60 à 70 kilos de zinc pour protéger une tonne d'acier contre la corrosion. La figure 1.3 suivante représente les différentes étapes de la galvanisation de produits finis.

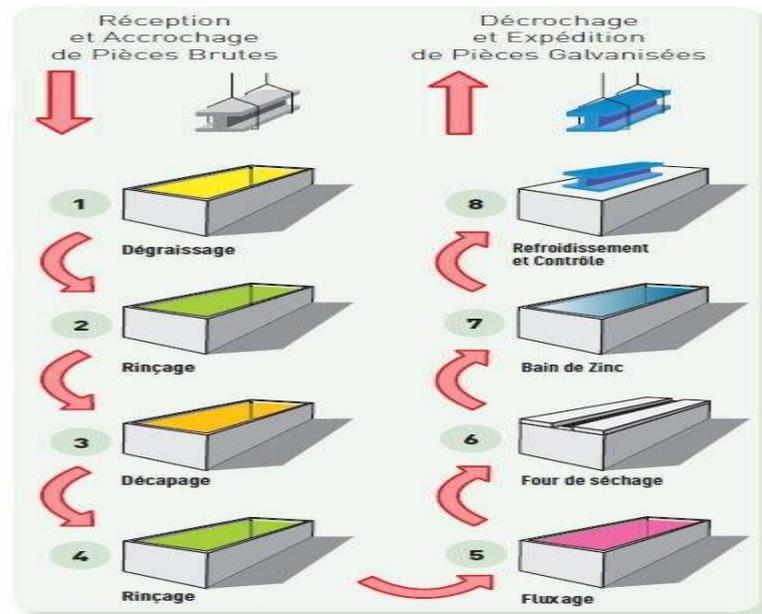


Figure I. 3. Les différentes étapes de la galvanisation de produits finis.

I.1.5. Une protection anticorrosion qui va au-delà d'un simple dépôt de zinc

La galvanisation à chaud ne consiste pas uniquement à déposer du zinc à la surface de l'acier. Le revêtement de zinc est métallurgiquement lié à l'acier de base, car il se produit une réaction métallurgique de diffusion entre le zinc et le fer.

Quand on retire l'acier du bain, il s'est formé à sa surface plusieurs couches d'alliages zinc-fer sur lesquelles le zinc entraîné se solidifie.

Ces différentes couches d'alliages plus dures que l'acier de base ont une teneur en zinc de plus en plus élevée au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface du revêtement.

I.1.6. Acier Galvanisé

Le procédé de Galvanisation en continu consiste à recouvrir de zinc un métal ferreux, par immersion dans un bain de zinc fondu à 450°C environ. Au cours de l'immersion, il produit entre les deux métaux une réaction conduisant à une diffusion du zinc dans le fer. Il en résulte la formation de composés intermétalliques d'alliage Fe-Zn, entre sa couche interne (fer) et externe (zinc), avec des compositions différentes en fonction de la distance à l'acier. Cette couche a une épaisseur courante de 55 µm.

En réalité ces composés intermétalliques vont dépendre de la composition exacte du bain et de l'acier ainsi revêtu est alors refroidi ce qui permet au revêtement riche en zinc de se solidifier [6].

I.1.7. Microstructure d'une Acier Après la Galvanisation

L'immersion de l'acier dans le bain de zinc entraîne la formation d'un revêtement par diffusion du zinc.

Dans l'acier cette immersion forme différentes phases qui sont représentées à la figure I.4 et dont les caractéristiques sont données au tableau I.2.



Figure I. 4. Vue en coupe transverse de phases formées après la galvanisation de l'acier. [5]

Tableau I. 2. Caractéristiques des phases Fe-Zn. [25]

Phase	Composé	F (% en masse)	Densité	Épaisseur (micro mètre)
Éta (η)	Zn	≤0,03	7,14	8 à 12
Dzêta (ζ)	Fe Zn ₁₃	5 à 6	7,18	7 à 20
Delta (δ1)	FeZn	7 à 12	7,25	30 à 40
Gamma (Γ)	FeZn FeZn ₀ Fe5Zn ₁	21 à 28	7,36	1 à 2
Substrat	Acier	100	7,85	-

L'épaisseur, la structure et l'aspect du revêtement obtenu dépendent essentiellement de la qualité des métaux utilisés et du processus de fabrication. Ces paramètres doivent répondre à un certain nombre de normes (teneur de Silicium et de Phosphore). Dans le respect de ces normes, la durée de vie d'un acier galvanisé peut être de plus de 30 ans. Dans le cas contraire, une couche de galvanisation de mauvaise qualité (par exemple couche ζ trop épaisse) risque de se désagréger rapidement (effet de sable) et de donner à l'eau une coloration rouge-rouille [7].

I.1.8. Avantages de la galvanisation

Plus qu'un revêtement, la galvanisation produit une véritable fusion entre le fer et le zinc, qui assure une protection passive et active : si la couche de zinc subit une rayure profonde, le zinc périphérique produit des sels qui viennent combler la blessure (protection cathodique comme l'indique la figure I.5). Le procédé confère également à l'acier une longévité exceptionnelle (supérieure à 50 ans), une résistance aux chocs, à l'abrasion et aux contraintes mécaniques.

D'autres procédés peuvent être employés pour protéger l'acier par le zinc (galvanisation en continu, métallisation ou zingage électrolytique) mais n'offrent pas les mêmes performances que la galvanisation à chaud.

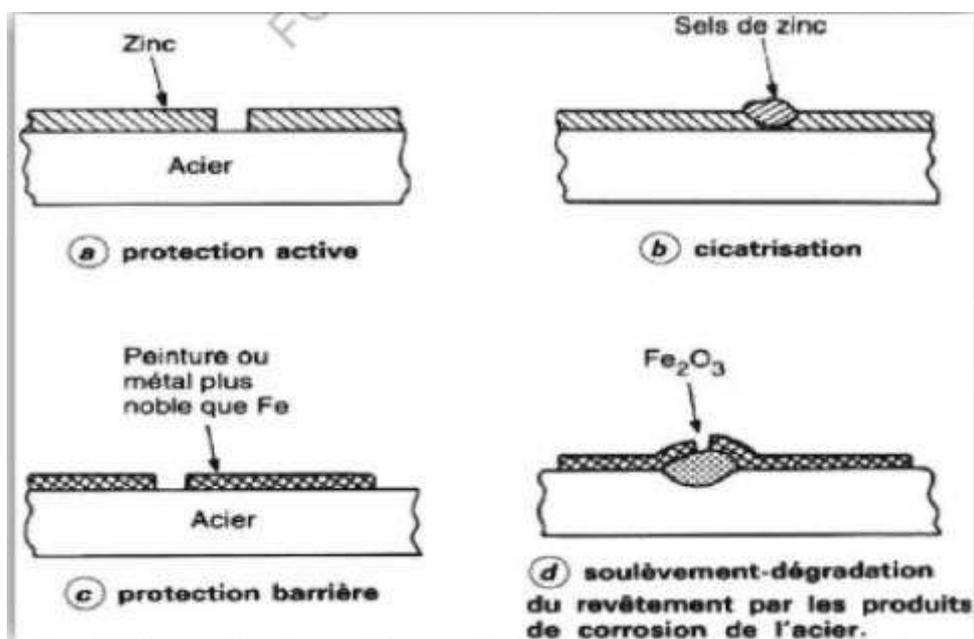


Figure I. 5. Deux cas possibles de protection : active ou sacrificielle (a -b),

Passive ou barrière (c -d) [5]

I.2. Projection thermique des revêtements

La projection thermique est un traitement de surface par voie sèche visant à améliorer les propriétés du matériau. La résistance à l'usure et au frottement, les propriétés thermiques, la protection contre la corrosion, et les propriétés thermiques sont recherchées par ces traitements. Dans cette section, nous citons sommairement les revêtements déposés à l'arc électrique. D'autres procédés existent mais ne seront pas discutés ici.

I.2.1. La projection à arc électrique

La projection Arc fil, schématisé à la figure 6, est basée sur l'interaction entre l'extrémité de deux fils l'anode et la cathode, la création d'un arc électrique. L'action d'un gaz comprimé à haute pression forme un jet qui est projeté la partie fondue sur un substrat pour former un dépôt.

Les torches à arc électrique sont alimentées par des générateurs à courant continu, sous des tensions d'arc comprises entre 25 et 40 V, pour des intensités allant de 100 à 500 A. Elles comprennent deux parties :

1. Une partie entraînement du fil ;
2. Une partie fusion/projection du métal fondu.

L'application d'un courant électrique sur les fils génère un arc électrique qui permet de les fondre (température d'environ 4200 C°). Les fils fondus sont alors pulvérisés grâce à un jet d'air comprimé et projetés sur le substrat pour former le dépôt, une coupe schématique d'une torche arc fil est montrée à la figure I.6.

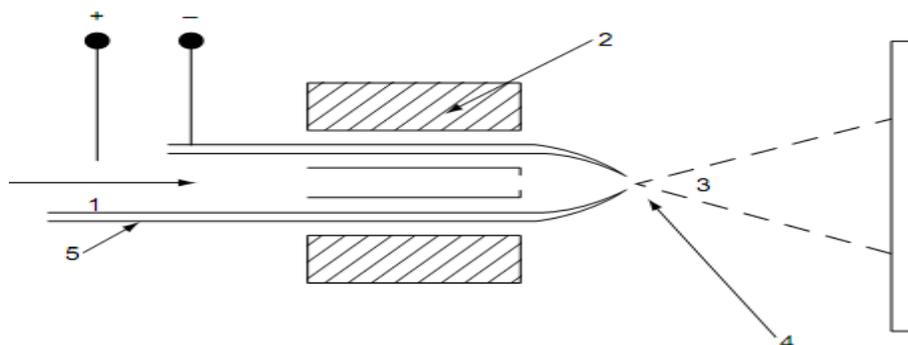


Figure I. 6. Coupe schématique d'une torche arc-fil [8].

1. Gaz de pulvérisation ;
2. Protection externe de la torche ;
3. Jet des particules fondues ;
4. Arc électrique ;
5. Électrodes.

I.2.2 Avantages et inconvénients de la projection arc-fil

1. Système de projection plus simple de mise en œuvre (pas de circuit d'eau de refroidissement, un seul circuit de gaz).
2. Système moins cher à l'investissement.
3. Système plus simple d'utilisation avec moins de paramètres à régler et optimiser.

4. Moindre surchauffe du substrat très localisée à la jonction des deux fils.
5. Bonne adhérence, en principe supérieure à celle des revêtements déposés par projection à flamme.
6. Rendement de projection en principe supérieur au plasma (70%) et débit pondéral projeté bien supérieur.
7. Le matériau à projeter est stocké sous forme de fil et est donc plus facilement manipulable.
8. Pas besoin de stockage de gaz (argon, hydrogène) pouvant être dangereux.

I.2.3 Formation et structure des dépôts

Les dépôts formés par projection thermique sont obtenus par empilements successifs de gouttelettes de matériau fondu. La structure ainsi formée est du type lamellaire.

Afin de réaliser un bon accrochage mécanique, la surface des pièces à revêtir est préalablement préparée pour en augmenter la rugosité et permettre aux particules de s'ancrer dans les irrégularités de surface [9].

La formation du dépôt présente deux étapes caractéristiques :

1. L'écrasement de chaque gouttelette ;
2. La formation d'une couche de matériau, résultant de la cinématique liée au processus

Les particules métalliques en fusion, s'oxydent pendant leur trajet de la buse au support. Même si la distance est courte, de 150 à 200 mm et que la durée du parcours n'est que de 1 millième de seconde, elles subissent l'action chimique des gaz environnant (air mélangé au gaz de combustion). Ceci entraîne une baisse de densité du dépôt de 10% environ par rapport au matériau projeté. Cette porosité peut être un avantage dans le cas d'un rechargement de surface, puisqu'elle crée des rétentions possibles pour l'absorption d'un lubrifiant souvent bénéfique en mécanique. Par contre, elle devient néfaste en protection de surface, ou son manque de compacité est un handicap pour l'étanchéité du revêtement si le revêtement est cathodique

Les paramètres sont liés entre eux et doivent être harmonisés. La variation de l'un, devant être compensé par la modification de l'autre. Les autres paramètres tels que : pression de l'air, distance et angle de projection, ou vitesse de rotation, influent de la même façon que dans le cas d'un pistolet à flamme.

I.2.3.1 Intensité de courant d'arc

En projection à l'arc électrique, le débit de matière est asservi à l'intensité électrique transmise aux fils de sorte que l'énergie fournie aux matériaux reste relativement constante.

I.2.3.2 Tension d'arc

Les fluctuations de tension résultent également de l'avance du fil à travers les tubes de contact. En effet, la résistance réelle de contact entre le fil et le guide fil change en raison des variations de la courbure et du comportement du fil [10]. Pour limiter les fluctuations de tension, un système d'asservissement permet de diminuer la vitesse d'avancement des fils en abaissant l'intensité de courant. Le courant et la tension sont donc deux paramètres importants du procédé puisqu'ils déterminent, en grande partie, la façon dont les gouttelettes sont formées à l'extrémité des électrodes.

I.2.4. Vitesse relative pistolet-substrat

La vitesse de déplacement transversal du pistolet conditionne l'épaisseur et donc le refroidissement de la couche déposée. Une vitesse trop lente peut causer un échauffement de la surface et une irrégularité dans l'épaisseur du dépôt. Une vitesse trop rapide peut aboutir à une épaisseur de passe trop fine.

En projection thermique, l'épaisseur déposée par passe est un facteur primordial dans la tenue en service des dépôts. En effet, une épaisseur par passe trop importante peut conduire à un gradient de température élevé entre les deux faces de la couche déposée et à la formation de fissures horizontales entre chaque passe consécutive au développement de contraintes résiduelles. Ces fissures peuvent être responsables de la décohésion du dépôt en cours d'usage.

I.2.5 Distance de tir

La distance de projection est donc un paramètre prépondérant pour s'assurer que les particules présentent encore un état de fusion satisfaisant au moment de l'impact. Une distance de projection trop courte peut entraîner un échauffement excessif du substrat. Par contre lorsque la distance est trop grande, les particules peuvent être trop froides voire partiellement resolidifiées lorsqu'elles impactent sur le substrat.

I.2.6 Préparation de substrat

Les techniques de préparation de surface doivent permettre de nettoyer les matériaux et de modifier l'état géométrique de leur surface. La réalisation d'un dépôt par projection thermique impose de réaliser une série d'opérations indispensables dans un ordre bien établi :

Un dégraissage qui consiste à débarrasser la surface des films passivant et des graisses.

C'est la première étape de préparation des pièces destinées à être revêtues. En effet, elle a pour conséquence la destruction et l'élimination de la plupart des impuretés (graisses, inclusions superficielles, etc.) généralement responsables de la mauvaise tenue des revêtements.

CHAPITRE II

Méthodologie expérimentale

II. 1. Choix des éprouvettes d'essai de galvanisation

Pour faire un bon revêtement, on choisit un acier d'une épaisseur de (0.4mm), pour les essais de l'immersion, de polissage.

Pour le test d'épaisseur on prend des échantillons avec différentes épaisseurs pour les tester sur différentes tôles, ainsi pour avoir de bons résultats on passe par les étapes de galvanisation suivantes :

1. Le dégraissage :
2. Le rinçage
3. Le décapage
4. Le rinçage
5. Le fluxage
6. Le séchage
7. La galvanisation
8. Refroidissement et contrôle

Pour avoir une pièce bien traiter il faut prendre un temps suffisant dans les bains de dégraissage et décapage et fluxage, afin d'éliminer les phénomènes d'oxydation et la graisse déposée sur la surface

II.2. Système de galvanisation

L'endroit a été construit par une société italienne appelée (gimmico) afin que l'endroit soit divisé en quatre zones.

Le lieu se compose d'une première zone appelée la zone de 'crochage', dans laquelle les plaques sont attachées avec un fil et suspendues à une barre transversale, à travers laquelle la pièce destinée à la plongée est transportée.

Un deuxième domaine consiste à préparer les pièces en éliminant les impuretés et les agents oxydants et en les séchant en vue de l'immersion à chaud appelée zone de préparation avant galvanisation.

La troisième zone s'appelle la zone de galvanisation, dans laquelle se trouve un bassin de zinc, de sorte que le processus se fait en y immergeant les pièces pendant une période suffisante.

Enfin, la zone de refroidissement et de contrôle technique, à travers laquelle le produit est surveillé avant d'être utilisé.

II.3. Moyen de levage (pont roulant)

Le mécanisme de production consiste à amener différents échantillons de métal attachés à une barre de levage muni de crochets ou ils sont accrochés, levé à l'aide d'un pont roulant, contrôlé par une télécommande pour les abaisser, les soulever ou les déplacer de droite à gauche, à l'intérieur des bassins. Comme le montre la figure suivante (figure II.1).



Figure II. 1. Pont roulant

II.4. Les Bassins

Les bassins de dégraissage, rinçage, décapage et de fluxage, d'une longueur de 12 mètres chacun et un mètre et demi de large, mitoyens, de manière à respecter l'ordre des étapes du processus de galvanisation. La zone de préparation se compose de 10 bassins dont 6 de galvanisation (figure II.2).

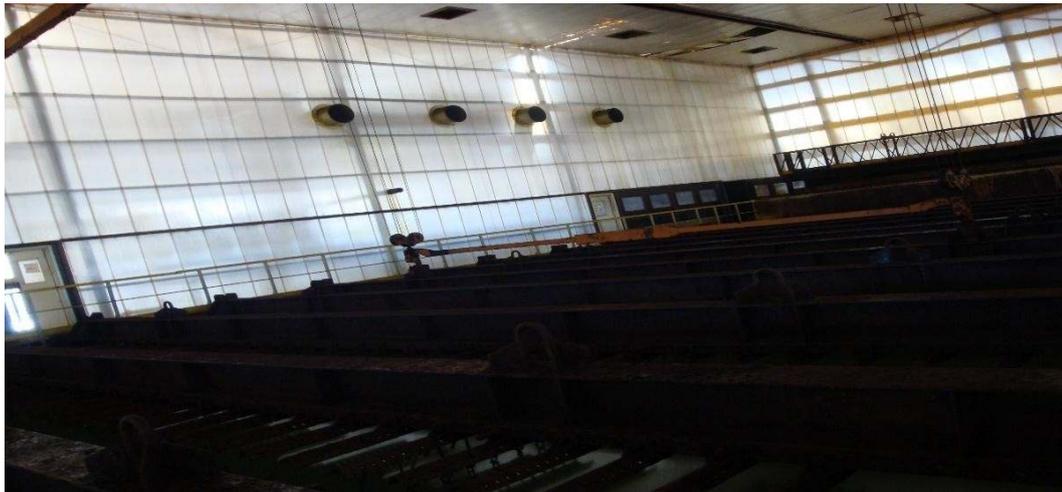


Figure II. 2. Les bassins de la zone de préparation

Le temps d'immersion des pièces dans les bassins est suivi sur un écran programmé par gimnico, représenté sur la figure II.3.



Figure II. 3. Ecran d'observation

II.4.1. Bassin de dégraissage

Le bassin contient de la soude avec addition de détergents et de tensioactifs à 60°C / 80°C. Parfois, des dégraissants acides peuvent être utilisés.

II.4.2. Bassin de rinçage

Le bassin de rinçage est rempli d'eau chaude, le rinçage est effectué après l'opération de dégraissage.

II.4.3. Bassin de décapage

Le bassin de décapage est rempli d'une solution d'acide chlorhydrique dilué à température ambiante de concentration 31.44, additionné d'un inhibiteur qui permet d'éviter l'attaque de l'acier lorsqu'il est débarrassé de ses oxydes.

II.4.4. Bassin de fluxage,

Le bassin de fluxage est rempli par une solution aqueuse de chlorure de zinc et de chlorure d'ammonium portée à 60°C.

II.5. Chambre de séchage

Le tunnel de séchage est conçu principalement pour sécher les produits dans un flux d'air, à une température située entre 25°C et 30°C, afin d'éviter les projections de zinc au moment de l'immersion de la pièce.

II.6. Bain de Zinc

Le bain de zinc est constitué de l'étain, de zinc et d'aluminium ; l'étain est utilisé favoriser la fluidité du zinc, l'aluminium pour la favoriser la brillance et éviter l'oxydation superficielle du bain (figure II.4).



Figure II. 4. Bain de zinc

II.7. Préparation de la solution de corrosion

La solution électrolytique pour l'essai de perte en masse a été préparée à partir d'un solvant, l'eau, et de l'acide chlorhydrique. La solution avait un volume de deux litres d'eau et 10 ml d'acide chlorhydrique.

La bouteille d'acide chlorhydrique avait les données suivantes :

MW (masse moléculaire) = 36.46 g

P (pourcentage en poids) = 37 %

d (densité de l'acide) = 1.19 ml/g

Ces données ci-haut nous donne une molarité égale à

$$M = (10 \times 1.19 \times 0.37) / (36.46 \times 2) = 4.403/72.92 = 0.06$$

Des essais préliminaires avec une solution électrolytique une solution électrolytique de 0.6 M a détruit rapidement le revêtement de zinc déposé par projection thermique et par la galvanisation.

II.8. Choix des éprouvettes d'essai de projection thermique

Nous avons réalisé les dépôts sur des substrats d'acier bas carbone XC18, couramment employé dans l'industrie. Les substrats ont été réalisés à partir d'une plaque de XC18. La plaque est découpée aux dimensions requises à l'aide d'une scie à métaux. Tous les échantillons utilisés sont des plaques de 150 X 100 mm saines et exemptes de rouille. Pour les essais de perte de poids, nous avons découpé des plaques de 60 x 50 mm .

Un total de 2 échantillons a été préparé pour réaliser les différents essais. De cet ensemble, une plaque sans revêtement a été utilisée comme plaque témoin.

Tous les échantillons ont été identifiés avec un numéro séquentiel en plastique attaché à l'aide d'un mince fil.

II.9. System de projection a arc électrique (Arc-fil)

La projection des revêtements de zinc ont été réalisés à l'aide de la machine Value-Arc de Sulzer Metco. Cette machine électrique comprend des composants qui fournissent et contrôlent de l'air comprimé, de l'électricité et du fil à métalliser utilisés durant le processus de projection à l'arc. Le système de projection à

arc offre un niveau élevé de performance et des fonctions avancées pour toutes les applications de métallisation à arc.

Il s'agit d'un système portable à arc électrique qui utilise une technique d'alimentation à fil poussé. Fiable et facile à utiliser, il permet d'exécuter des opérations de projection standard jusqu'à 4 mètres du module de commande (avec un fil de 1,6 mm, grosseur 14) [14].

Ce système peut produire des revêtements contrôlés avec précision selon quatre types de projection jet fin, jet réparti (éventail), jet concentré, jet rugueux. Il peut également projeter des fils mous ou durs. Grâce à un ensemble d'accessoires facultatifs, le module de commande et le pistolet peuvent être convertis pour projeter uniquement des fils de 2 mm, uniquement des fils de grosseur 14 ou des fils de grosseur 11 en zinc, en métal antifriction et en aluminium. En usine, le système est configuré pour projeter du fil mou de grosseur 14.

II.9.1. Module de commande LCAE

Le module de commande d'arc électrique LCAE contrôle l'approvisionnement en air, en électricité et en fil à métalliser du pistolet de projection. Le module comprend trois assemblages distincts un boîtier électrique, un distributeur de fil et un porte bobines. Le boîtier électrique est fixé au distributeur de fil. Egalement fixé au distributeur, la porte bobines peut supporter deux bobines de fil à métalliser. Les spécifications du module de commande LCAE sont indiquées ci-dessous (voir figure II.5).

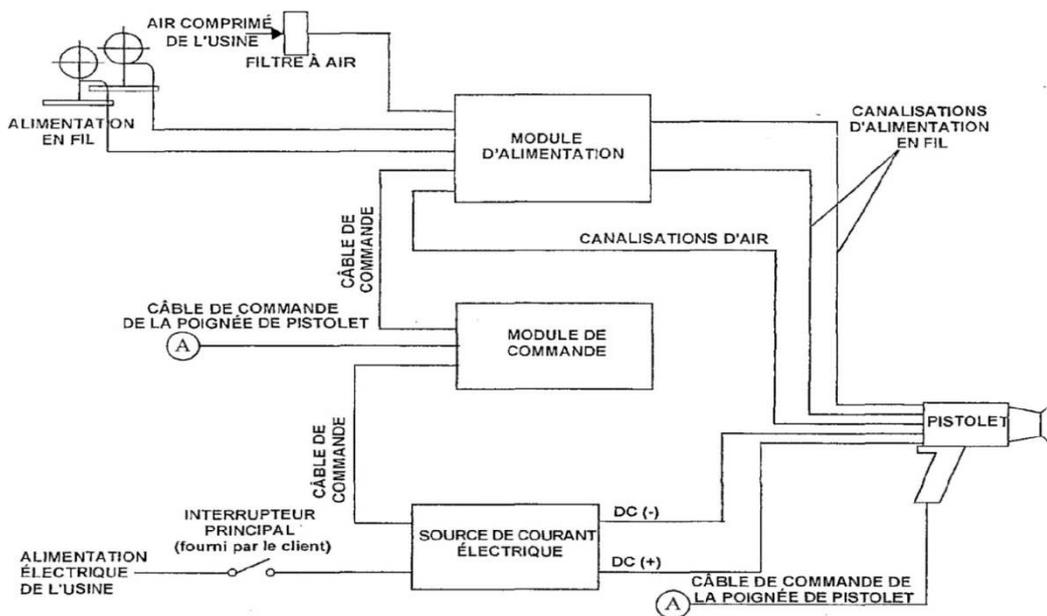


Figure II. 5. Module de commande LCAE

II.9.2. Pistolet de projection LCAG

Le pistolet de projection à arc électrique LCAG se divise en deux sections : le canon et le boîtier arrière. Les électrodes de contact, les tubes de contact, les bornes d'électrode, le manchon à air, le cache protecteur d'arc et les raccords d'alimentation c. c. sont installés sur le canon. Le pistolet (figure II.6) est fourni avec un manche pour les utilisations à la main. Réglage des paramètres.

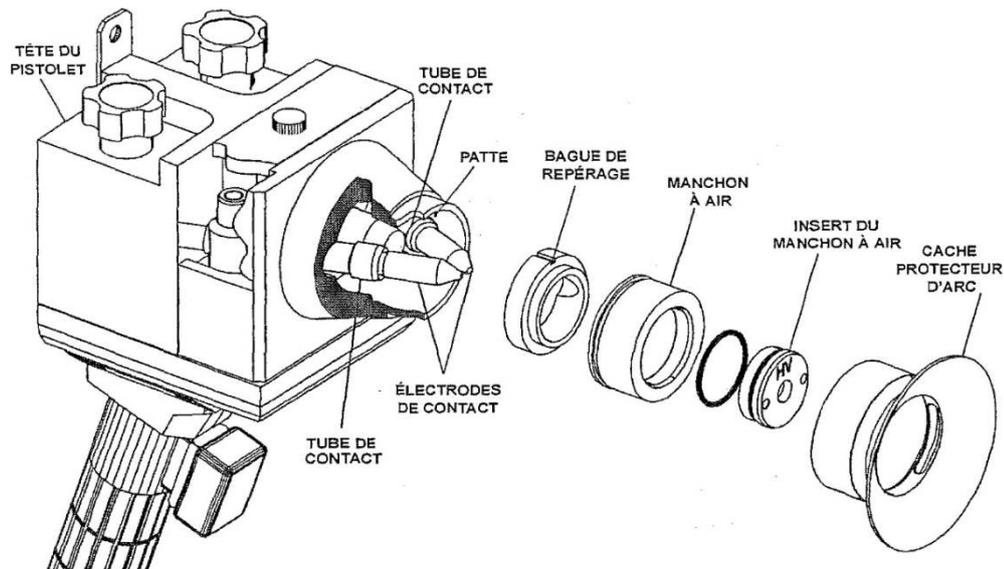


Figure II. 6. Torche de projection à arc électrique

II.9.3. Module de commande d'arc électrique LCA

Le panneau avant du module de commande contient des interrupteurs clairement identifiés et des témoins lumineux. Ces derniers lumineux permettent de connaître immédiatement l'état du système. Se reporter au paragraphe "Commandes et témoins", décrit plus loin dans cette section.

Le distributeur de fil contient un mécanisme d'alimentation en fil (comprenant des galets et des guide-fils) et un moteur d'entraînement du fil qui fournit la poussée nécessaire pour faire avancer le fil à métalliser dans le pistolet.

Un manomètre (utilisé pour surveiller l'air primaire) et un régulateur d'air sont installés sur le panneau arrière du module de commande. Si la pression d'air chute au-dessous d'un seuil prédéterminé, un interrupteur de sécurité du circuit d'air primaire s'ouvre et arrête automatiquement le système.

II.9.4. Module de commande LCA/LCAE

Les fonctions des commandes et des témoins (situés sur le panneau avant du module LCA/LCAE) sont les suivantes (voir figure II.7) :

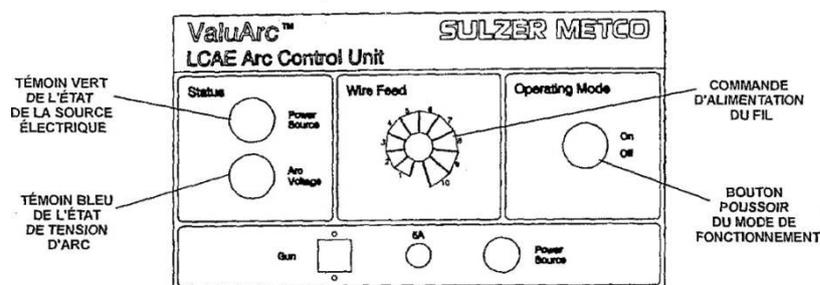


Figure II. 7. Module de commande LCA/LCAE

1. Commande d'alimentation du fil : permet le réglage du paramètre de fonctionnement Ampères de la table de projection
2. Botton poussoir de mode de fonctionnement : permet activation du module de commande
3. Témoin bleu de l'état de tension d'arc : s'allume lorsque la séquence de projection a commencé et que la tension d'arc est présente au niveau du pistolet
4. Témoin vert de l'état de la source électrique : s'allume quand la source électrique est en mise en marche.

II.10. Positionnement des échantillons

En ce qui a trait au positionnement des échantillons, la norme indique que les échantillons doivent être positionnés ou suspendus à une inclinaison variant entre 15 et 30° par rapport à la verticale.

Les échantillons ne doivent pas être en contact et doivent être suffisamment espacés de manière à ce que les surfaces étudiées ne soient pas couvertes par d'autres échantillons. De plus, les supports utilisés doivent préférablement être de matériaux neutres ne pouvant pas interférer dans le processus de corrosion.

Par ailleurs, chaque échantillon a été identifié à l'aide d'un numéro lequel a été attaché. Enfin, les échantillons ont été placés de façon aléatoire à l'intérieur du caisson pour s'assurer que les conditions subies soient équivalentes.

II.11. Appareil de mesure d'épaisseur

Après projection thermique et réchauffage de certain échantillon avec torche et d'autre dans le four, le tour de mesure d'épaisseur est venu, ce dernier se fait avec un appareil qui s'appelle Positest DFT qu'on le voit sur la figure 2.8.



Figure II. 8. Appareil de mesure des épaisseurs Positest DFT

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1 Introduction

Nous avons obtenu plusieurs résultats, que ce soit en galvanisation à chaud ou par projection thermique, qui consiste à enduire les échantillons de zinc pour les protéger des agressions extérieures dont les plus importantes sont la rouille et la corrosion.

Les échantillons galvanisés à chaud nous ont été réalisés gracieusement à la société d'éclairage Spa impliquée dans ce domaine.

Afin d'obtenir une bonne galvanisation, nous avons prospecté plusieurs facteurs qui peuvent influencer une bonne galvanisation à chaud sur un substrat. Une 'bonne' galvanisation à chaud signifie pour nous un revêtement complètement revêtu de zinc avec une épaisseur uniforme choisie et une brillance de toute la surface sans aucun défaut apparent.

Afin de comprendre comment se forme un revêtement de zinc déposé par galvanisation à chaud, nous avons suivi toutes les étapes de préparation et d'immersion réalisées par la société en question en faisant varier plusieurs paramètres opératoires qui influencent l'épaisseur et la qualité du dépôt de zinc.

III.2. Effet du temps d'immersion

Nous avons procédé à l'immersion d'une première série d'échantillons dans un bain de zinc pendant laquelle se forme le revêtement galvanisé. La figure III.1 montre le dispositif utilisé pour réaliser nos expériences. Nous avons fait varier la durée d'immersion des pièces dans le bain de zinc évalué en secondes, afin d'apprécier l'épaisseur de la couche de zinc qui se forme en fonction du temps. Le tableau 3.1 regroupe les résultats de variation du temps d'immersion des éprouvettes de zinc en fonction du temps.

Nous constatons que plus le temps d'immersion augmente plus l'épaisseur du dépôt de zinc augmente. A six secondes de temps d'immersion, l'épaisseur du revêtement formé par galvanisation à chaud était de 6 μm . A 120 secondes de temps d'immersion, cette épaisseur passe à 76 μm . Le gain en épaisseur en fonction n'est pas proportionnel. Entre 6 et 120 secondes, il y a un multiplicateur de 20 alors que pour l'augmentation de l'épaisseur est un peu plus de 12. Il devrait donc y avoir un temps ou l'épaisseur n'augmentera plus et il n'est alors plus rentable de prolonger le temps d'immersion d'une pièce.

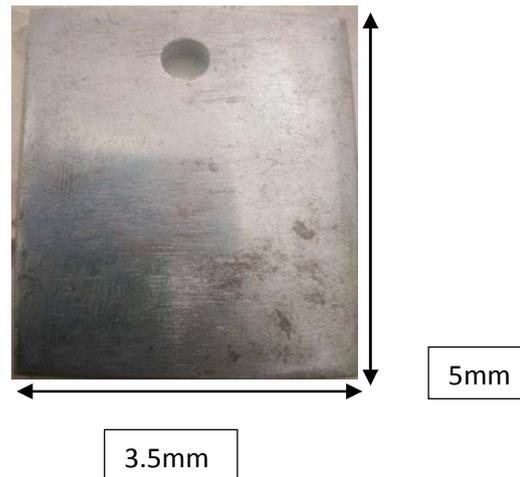


Figure III 1. Éprouvette pour le test de galvanisation à chaud.

Tableau III. 1. Variation de épaisseur en fonction du temps d'immersion

Ech	1	2	3	4	5	6
Temps (secondes)	6	20	40	60	90	120
Épaisseur (μm)	6	42	60	62	41	76

Remarque : Nous expliquons la faible épaisseur du cinquième échantillon par l'existence d'une erreur lors de l'immersion

III.3. Effet de l'état de surface

Nous avons constaté sur place, que les pièces qui recevaient une galvanisation avaient un aspect parfois brillant parfois non. Afin d'éclaircir la source du problème nous avons entrepris en premier de polir la surface des échantillons pour vérifier si la rugosité de surface avait une influence sur cette brillance. Pour ce faire, nous avons pris quatre échantillons découpés à partir d'une tôle en acier au carbone et nous les avons polis avec du papier émeri. La manière dont ces échantillons était poli est décrite ci-dessous:

Le 1er effectué avec un papier de 80

Le 2eme effectué avec des papiers émeri de 80 et 220

Le 3eme effectué avec des papiers émeri de 80, 220 et 600

Le 4eme effectué avec des papiers émeri de 80, 220, 600 et 1200.

En principe, avec cette méthode, la finesse de polissage des échantillons augmente du premier échantillon jusqu'à quatrième échantillon respectivement. Après nettoyage et décapage des échantillons, ces derniers sont plongés dans le bassin de galvanisation pendant une durée d'une minute, puis on les sort. Ils sont alors rincés et séchés.

Tableau III. 2. Effet de la rugosité de surface

Ech	01	02	03	04
Epaisseur (μm)	61	62	58,5	66

Les aspects des surfaces des différents éprouvettes obtenus après le polissage avec les papiers émeri décrits ci-haut sont montrés aux figures III.2, III.3, III.4, III.5 et III.6.



Figure III 2. Plaque polie avec papier émeri de 80 et galvanisée durant une minute.

Visuellement, il est extrêmement difficile d'apprécier l'apport de ce polissage par rapport à l'aspect extérieur de la galvanisation. Les échantillons se ressemblaient beaucoup et il nous est difficile de tirer une conclusion sur ces expériences.



Figure III 3.Plaque polie avec papier émeri de 80 / 220 et galvanisée durant une minute.



Figure III 4.Plaque polie avec papier émeri de 80/220/600 et galvanisée durant une minute.



Figure III 5.Plaque polie avec papier émeri de 80/220/600/1200 et galvanisée durant une minute.

III.4. Effet de pliage

Comme l'expérience de polissage ne nous a pas donné de résultats quantifiables, nous nous sommes intéressés à l'adhérence des revêtements de zinc déposés par galvanisation. Pour cela, nous avons galvanisé trois éprouvettes polies (environ 1 min) avec un papier émeri de 80 et immergé dans le bain de zinc durant une minute. Ceci nous donne une épaisseur moyenne commerciale d'environ 60 μm . Les trois éprouvettes ont été pliées chez la société d'Eclairage de Rouïba en utilisant leur système d'essai de pliage. Les éprouvettes ont été pliées respectivement à des angles de 45°, 90° et 135°. En principe, si l'adhérence est mauvaise, il y aura écaillage des revêtements de zinc déposés par galvanisation à chaud. Les pièces sont alors rebutées. S'il y a absence d'écaillage, le lancement de la production est lancée. Les images suivantes montrent l'effet du pliage sur la couche de zinc



Figure III 6.Pliage à 45°



Figure III 7.pliage à 90°



Figure III 8.Pliage à 135°

Dans les trois cas de pliage, il n'y a pas eu d'écaillage du revêtement de zinc déposé par galvanisation à chaud. Nous pouvons conclure que la tôle galvanisée peut être commercialisée.

III.5. Influence du temps de décapage sur la qualité du dépôt de zinc

En plus de la rugosité de surface qui aurait pu influencer la qualité du dépôt, notamment son adhérence au substrat, le décapage est une opération dans le procédé de galvanisation à chaud. L'objectif de cette opération étant d'enlever toute trace de souillure, trace de rouille, reste de peinture, etc. C'est pourquoi, nous avons réalisé une série d'expériences de galvanisation à des éprouvettes avec des temps de décapage de 30, 45, 60 et 90 minutes. Les bains utilisés sont ceux couramment utilisés par la société d'Eclairage de Rouïba. La figure 3.9 regroupe les différents aspects de surface des éprouvettes pour des temps de décapage différents.

Nous remarquons que le temps de décapage ne semble avoir aucun effet sur l'uniformité de la galvanisation. Toutes les éprouvettes présentent un manque ou une tâche noirâtre sur la surface. Notre recherche bibliographique nous a montré que lorsque le bain de galvanisation n'est pas optimale ou qu'il lui manque des éléments d'addition, des défauts de surface apparaissent en surface comme cela était le cas pour nous. Nous avons donc informé les responsables de la société d'Eclairage de Rouïba de notre résultat et ils nous ont confirmé qu'effectivement que le bain était appauvri en aluminium et en étain. Un retard dans la livraison de ce deux éléments les ont forcés à faire des galvanisations à chaud à leurs clients pour éviter les retards de livraison.

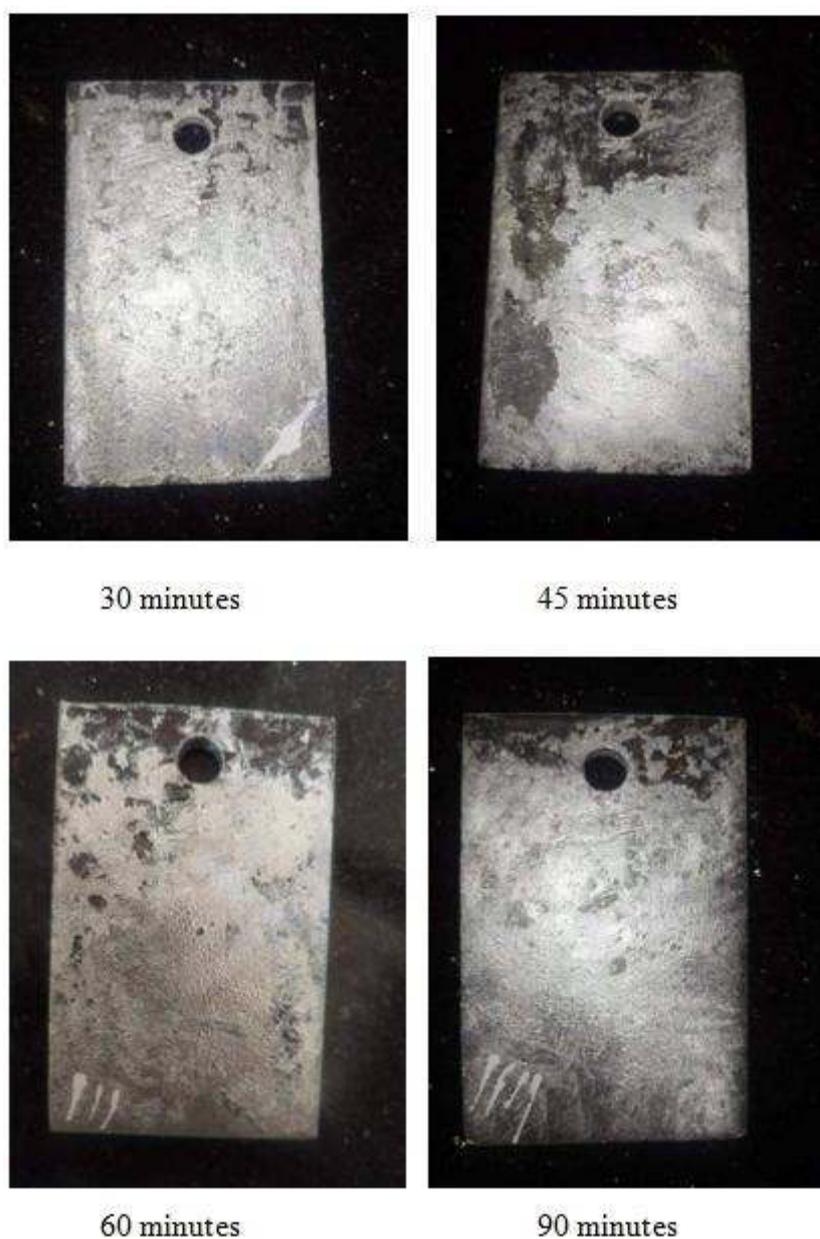


Figure III 9.Influence du temps de décapage sur l'épaisseur du zinc

III.6 Essais de corrosion

Le but de cette étude n'était pas de faire des essais de corrosion de perte de masse mais plutôt voir macroscopiquement la dégradation du revêtement de zinc en fonction de son épaisseur. Nous avons aussi introduit un revêtement de zinc déposé par projection thermique à arc électrique.

Au départ, nous avons préparé deux éprouvettes recouvertes de revêtements de zinc déposés par projection à l'arc électrique. La figure III.10 montre un exemple d'éprouvette préparé par cette technique.



Figure III 10. Revêtement de zinc déposé par projection thermique

Malheureusement, pour la première éprouvette, il y avait une mauvaise préparation de surface, son revêtement s'est détaché dès que l'on a plongé dans le bac remplie de solution d'acide chlorhydrique à 2M. Le deuxième à qui nous avons apporté une attention particulière quant à sa préparation de surface avait une très bonne adhérence. Cependant, la concentration de l'acide chlorhydrique était telle qu'il s'est dissout en quelques dizaines de minutes.

Les figures III.11, III.12, III.13 et III.14 regroupent les résultats de corrosion des éprouvettes galvanisées avec différentes épaisseurs du dépôt de zinc. Le critère habituel pour déterminer la durée de vie attendue des revêtements de zinc est l'épaisseur : plus le revêtement est épais, plus la durée de vie est longue. Il s'agit d'un critère acceptable lorsque l'on compare des revêtements de zinc produits par le même procédé.

Dans la figure III.11, nous remarquons que la plaque de départ renfermait une tâche noire en plein milieu de sa surface. Nous avons déjà signalé ce problème qui est causé principalement par un bain de galvanisation manquant d'éléments d'alliages tels que l'aluminium et l'étain. Nous remarquons aussi que la périphérie de la tâche noirâtre est recouvert d'un dépôt de zinc mais qui est non uniforme telle une mousse formée autour du cratère noir.



Figure III 11.Dépôt de zinc galvanisé de 6 μm avant et après l'essai de corrosion



Figure III 12.Dépôt de zinc galvanisé de 42 μm avant et après l'essai de corrosion.



Figure III 13.Dépôt de zinc galvanisé de 60 μm avant et après l'essai de corrosion.



Figure III 14.Dépôt de zinc galvanisé de 76 μm avant et après l'essai de corrosion.

Dans la partie corrodée de la figure III.11, on voit que la corrosion a complètement rouillé la surface de l'éprouvette alors que la périphérie est fortement corrodée et y est presque dénudée. C'est souligner ici l'importance de la composition du bain de galvanisation. La société Eclairage de Rouiba ne doit pas galvaniser les pièces des clients si des éléments d'alliages sont manquants. Cela provoque une corrosion dans la partie noirâtre qui crée une petite anode devant une grande, ce qui à terme accélère la corrosion et peut perforer une citerne, rompre une pièce avec le temps. Le contrôle de la composition du bain de galvanisation est donc primordiale pour la qualité des pièces produites et pour la sécurité des pièces remises aux clients.

Pour les épaisseurs de 42 μm et plus, pour le temps d'essai accompli et la concentration et la nature de l'électrolyte choisies, les éprouvettes ne semblent pas souffrir du défaut d'éléments d'alliages du bain de galvanisation. Nous pouvons conclure que si la société Eclairage de Rouiba veut absolument fournir les pièces galvanisées à leurs clients, ils doivent impérativement augmenter l'épaisseur du revêtement de zinc le plus possible, selon leur utilisation, pour compenser la qualité médiocre de leur bain.

CONCLUSION

CONCLUSION

La galvanisation à chaud consiste à immerger du fer ou de l'acier dans un bain de zinc fondu pour produire un revêtement multicouche résistant à la corrosion, constitué d'un alliage zinc-fer et de zinc métallique. Pendant que l'acier est immergé dans le zinc, une réaction métallurgique se produit entre le fer de l'acier et le zinc fondu. Cette réaction est un processus de diffusion, de sorte que le revêtement se forme perpendiculairement à toutes les surfaces, créant une épaisseur uniforme sur toute la pièce.

Nous avons séjourné, pendant une grande partie de notre travail, chez la société Eclairage de Rouiba où nous avons suivi un stage complet sur le processus de galvanisation. Durant notre passage chez cette société, nous avons remarqué un certain de lacunes que nous avons essayé de comprendre certaines expériences que nous avons réalisé notamment: la qualité des bacs de décapage, la qualité du bain de galvanisation et la qualité des pièces reçues et leur traitement de surface.

Après les expériences que nous avons réalisé, nous tirons les principales conclusions suivantes:

1. Le gain en épaisseur en fonction n'est pas proportionnel. Entre 6 et 120 secondes, il y a un multiplicateur de 20, alors que pour l'augmentation de l'épaisseur est un peu plus de 12. Il devrait donc y avoir un temps ou l'épaisseur n'augmentera plus et il n'est alors plus rentable de prolonger le temps d'immersion d'une pièce.
2. Les essais de polissage sur des pièces avant leur décapage n'avait aucune influence sur la brillance ni l'uniformité des dépôts de zinc galvanisés à chaud.
3. Les essais de pliage ont été tous concluants. Il n'y a pas eu d'écaillage du revêtement de zinc déposé par galvanisation à chaud.
4. Le temps de décapage ne semble avoir aucun effet sur l'uniformité de la galvanisation. Le bain était appauvri en aluminium et en étain et provoquait une discontinuité dans le dépôt de zinc avec des épaisseurs non uniformes.
5. Le contrôle de la composition du bain de galvanisation est donc primordiale pour la qualité des pièces produites et pour la sécurité des pièces remises aux clients.
6. Si la société Eclairage de Rouiba veut absolument fournir les pièces galvanisées à leurs clients en sachant que leur bain d'immersion manque d'éléments d'alliages, ils doivent impérativement augmenter l'épaisseur du revêtement de zinc le plus possible, selon leur utilisation, pour compenser la qualité médiocre de leur bain.

REFERENCES

REFERENCES

REFERENCES

- [1] J. Bernard, A. Michel, J. Philibert, J. Talbot, *Métallurgie générale*, 2ème Edition, Masson, Paris, 1991.
- [2] M. WERY «Dégraissage», *technique de l'ingénieur*, M1450.
- [3] B. NORMAND, N. PÉBÈRE, C. RICHARD, M.WERY, «Prévention et lutte contre la corrosion», Presses polytechniques et universitaires romands, 2004.
- [4] DANIELE QUANTIN, *traitements de surface des métaux « Galvanisation à chaud»*, *technique de l'ingénieur*, M1534, 1-28.
- [5] Danièle Quantin « Galvanisation à chaud procédés ». *Techniques de l'ingénieur*. M 1 531
- [6] Batiactu, *la galvanisation, un procédé industriel plus que centenaire mais toujours D'actualité* [archive].
- [7] Quantin d. *Galvanisations à chaud. Technique de l'ingénieur, traité corrosion*. 2006
- [8].Lech Pawlowski, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, 2008
- [9]. Proner (A.). – *Revêtements par projection thermique*. M 1 645 (1999).
- [10].D. Sacriste, N. Goubot, *An Evaluation of the Electric Arc Spray and (HPPS) Prouesses for the Manufacturing of High Power Plasma*