

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE
DEL'ENSEIGNEMENTSUPERIEURETDE LARECHERCHESCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique

Option : Ingénierie des Matériaux et de Surfaces

***Elaboration de lamelle de zinc comme
charge anti rouille***

Etudié par:

Encadré par :

METIDJI.Merouane Mr. DJEGHDJOUGH. Mohamed

KACHOUANE. Rabah

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

On tient à remercier ALLAH qui nous a donné la puissance d'avoir accordé la volonté et le courage pour réaliser notre travail.

Nous remercions nos familles, à qui revient le mérite d'avoir encouragé et soutenu sans faille durant ces années.

Nous tenons à remercier nos promoteurs Mr. DJEGHJOUR. Mohamed et Mr. Pr. BACHA d'avoir bien voulu nous proposer le sujet et ensuite encadré notre travail en nous apportant l'orientation et l'aide nécessaire.

Nos remerciements à tous les enseignants du département génie mécanique, en particulier ceux de la spécialité science des matériaux, pour avoir offert un agréable cadre de formation.

Dédicace

Nous dédions ce travail:

*A nos parents et à tous les membres de nos familles
pour leurs patientes,
leurs encouragements tout au long de nos études*

À tous nos amis

*Sans oublier nos promoteurs Mr. Djegh Gour et
Mr. Pr. Bacha*

ملخص

يتم ضمان الحماية السلبية للمعادن ضد التآكل من خلال لاطلاءات والدهانات العضوية أو المعدنية (. يحد هذا الأخير من تدفق العناصر العدوانية من خلال إنشاء حاجز مادي. معظم اللاتلاءات ليست مثالية وبالتالي فإن الاتصال المتوسط المعدني التآكل أمر لا مفر منه. تعتمد فعالية الدهانات المضادة للتآكل على الخصائص الجوهرية للفيلم العضوي (تأثير الحاجز)، على التصاقه (واجهة معدنية / طلاء). في عملنا، قمنا بتطوير أغشية الزنك للحصول على مسحوق باستخدام تجميع تجريبي أو هفيم اختبار LTSM علم مستو بقسم الميكانيكا بجامعة سعد دحلبا بالبيدة.

في وقت لاحق، تم استخدام المسحوق كحامل لطلاء أساس لدراسة سلوكه كهيتمقاومة التآكل

Résumé

La protection passive des métaux contre la corrosion est assurée par les revêtements (organiques ou métalliques) et les peintures. Ces derniers limitent le flux des éléments agressifs en créant une barrière physique. La plupart des revêtements ne sont pas parfaits et par conséquent le contact métal/milieu corrosif est inévitable. L'efficacité des peintures anticorrosion est dépendante des caractéristiques intrinsèques du film organique (effet barrière), de son adhésion (interface métal/peinture). Dans notre travail on a élaboré de lamelle de zinc pour obtenir une poudre à l'aide d'un montage réalisé au laboratoire LTSM au niveau du département mécanique USDB. Par la suite, on a utilisé la poudre comme charge dans une peinture primaire afin d'étudier son comportement à la résistance à la corrosion

Abstract

The passive protection of metal against corrosion is ensured by coatings (organic or metallic) and paints. These limit the flow of aggressive elements by creating a physical barrier. Most coatings are not perfect and therefore metal/corrosive media contact is unavoidable. The effectiveness of anti-corrosion paints depends on the intrinsic characteristics of the organic film (barrier effect), its adhesion (metal/paint interface). In our work, we developed a zinc lamella to obtain a powder using an assembly carried out in the LTSM laboratory at the level of the USDB mechanical department. Subsequently, the powder was used as a filler in a primer paint in order to study its behavior in terms of corrosion resistance.

Table des matières

1.1 Le zinc	3
1.2 Les alliages de zinc	4
1.2.1 Les alliages de zinc utilisés dans la protection cathodique	4
1.2.2 Les alliages Zn-Fe, Zn-Ni, Zn-Co et Zn-Mn	5
1.2.3 Les alliages Zn-Al	6
1.2.4 Les alliages Zn-Al 55%	6
1.2.5 Les alliages à faible teneur en aluminium	7
• Les alliages Zamak	8
• Les alliages Kayem	8
• Les alliages Galfan	9
1.3 Les poudres	10
1.3.1 La forme des poudres	10
1.3.2 Elaboration des poudres	11
1.3.2.1 Procédés mécaniques	12
• Broyage	12
• Atomisation	12
1.3.2.2 Procédés physico-chimique	13
• Réduction des oxydes	13
• Electrolyse	13
1.4 Application industrielles du zinc	14
1.5 La corrosion du zinc	15
1.6 Revêtement de zinc	17
1.6.1 La métallisation	17
• Projection flamme-poudre	17
• Projection flamme-fil	18
1.6.2 L'électrozingage	19
1.7 Poussière et poudre de zinc	20
1.8 Peinture riche en zinc	20
1.8.1 Revêtement organique riche en zinc	20
1.8.2 Revêtement époxy	21

2.1 Introduction.....	23
2.2 Préparation des rubans	23
2.3 Broyage des rubans	24
2.4 Tamisage des poudres	25
2.5 Préparation des échantillons.....	25
2.6 Polissage des échantillons	26
2.7 Préparation des revêtements	26
2.8 Le rayure des plaques	27
2.9 Essai de corrosion.....	27
3.1. Préparation des rubans	30
3.2. Broyage des rubans	31
3.3. Opération de tamisage.....	31
3.4. Préparation et application des peintures-poudre de zinc	32
3.6 Essai de corrosion.....	33
Conclusion générale	37
Référence bibliographique	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux du chapitre 1

Tableau 1-1: Propriétés physiques du zinc.....	4
Tableau 1-2: Principaux alliages de zinc utilisés en protection cathodique.....	6
Tableau 1-3: Teneur en pourcentage des éléments d'alliages Zn-Al 55%.....	8
Tableau 1-4: La teneur en pourcentage massique des éléments d'alliages Zamak.....	8
Tableau 1-5: La teneur en pourcentage massique des éléments d'alliages Kayem.....	9
Tableau 1-6 : Teneur en pourcentage des éléments d'alliage Galfan selon la fiche ASTM B750-09 Standard Spécification pour GALFAN (Zinc-5% Aluminum-Mischmetal).....	10

Tableaux du chapitre 2

Tableau 2-1: Élément et pièces du dispositif.....	24
---	----

Tableaux du chapitre 3

Tableau 3.1 : la distribution de la poudre (a) de zinc.....	32
Tableau 3.2 : la distribution de la poudre (b) de zinc.....	32

LISTE DES FIGURES

Figures du chapitre 1

Figure 1.1 Performances anticorrosion des alliages Zn-X au brouillard salin en fonction de la température	5
Figure 1.2 Microstructure d'un revêtement de type Zn-Al 55%	7
Figure 1.3 (a) Diagramme binaire du système Zn-Al dans la zone riche en zinc calculé par Massalski [59], (b) microstructure d'un revêtement de type Zn-Al 5%	7
Figure 1.4 Micrographie d'une poudre de forme sphérique atomisée par gaz ; micrographie d'une poudre de forme irrégulière atomisée à l'eau	10
Figure 1.5 La morphologie des particules	11
Figure 1.6 Principe de broyage mécanique	12
Figure 1.7 Consommation de zinc par utilisations	14
Figure 1.8 Diagramme potentiel en fonction du pH du système zinc-eau à 25°	16
Figure 1.9 Principe de la projection flamme-poudre	18
Figure 1.10 Principe de fonctionnement d'un pistolet flamme-fil	18
Figure 1.11 Schéma de principe du procédé d'électrozingage et dépôt de la couche de zinc	19

Figures du chapitre 2

Figure 2.1 Montage expérimental	23
Figure 2.2 Moulin à café électrique	24
Figure 2.3 Tamiseuse RETSCH	25
Figure 2.4 Polisseuse aux papiers abrasifs	26
Figure 2.5 Plaque rayée	27

Figures du chapitre 3

Figure 3.1 Rubans de zinc issus	30
Figure 3.2 Poudre broyée pendant 10 minutes	31
Figure 3.3 Les différents types des poudres de zinc obtenues après le tamisage	32
Figure 3.4 Échantillons avec peinture-poudre	33

Figure 3.5 Les échantillons pendant l'essai de corrosion..... 34

Figure 3.6 Les échantillons après l'essai de corrosion..... 35

Introduction générale

Le zinc est l'un des métaux les plus utilisés dans le monde. Son application commerciale la plus importante est protection contre la corrosion de l'acier. Les utilisations du zinc sont multiples, allant de la galvanisation aux moulages sous pression en passant par l'électronique.

C'est un matériau d'anode préféré dans les batteries à haute densité d'énergie, si bien que son électrochimie, notamment en milieu alcalin, a été largement explorée. A l'état passif, le zinc est photoélectrochimiquement actif, avec le film passif affichant des caractéristiques de type n. Pour la même raison que le zinc est considéré comme une excellente anode de batterie, elle a été largement utilisée comme anode sacrificielle pour la protection des navires et des pipelines contre la corrosion. En effet, outre les attributs bien connus du zinc comme un élément d'alliage, son utilisation répandue est principalement due à ses propriétés électrochimiques, qui incluent une position bien placée dans la série galvanique pour la protection du fer et de l'acier en milieu aqueux naturel et son comportement de dissolution réversible en milieu alcalin solutions.

Au cours des dernières décennies, une quantité considérable de travaux de recherche a été faite sur les différents aspects de la corrosion du zinc.

L'importance économique de la corrosion dans notre vie quotidienne, domestique ou industrielle, n'est plus à démontrer. Les dégâts causés par ce phénomène entraînent dans le monde des pertes qui se chiffrent chaque année à des milliards de dollars et sans méthodes de prévention et protection ces chiffres peuvent être plus élevés. De ce fait, le développement de technologies de protection plus sûres, économiques et non nuisibles à l'environnement représente un nouveau défi pour l'ingénieur qui devra posséder des connaissances scientifiques approfondies dans les domaines de l'électrochimie et de corrosion des métaux, il devra se familiariser avec les méthodes expérimentales modernes ainsi que les nouveaux matériaux.

La manière la plus commune d'empêcher un métal de se corroder ou de retarder sa corrosion, est d'appliquer un revêtement imperméable sur sa surface. Si la couche du revêtement fournit une barrière protectrice parfaite au métal dans un environnement corrosif, alors ni l'oxygène, ni l'eau ne pourront atteindre sa surface et la corrosion sera finalement empêchée. Le rôle du revêtement est donc de limiter le flux de ces produits (oxygène, eau) en créant une barrière physique.

Dans ce mémoire, l'étude de coulé de zinc et étude leur propriété est présentée en deux parties :

La première partie met à la disposition du lecteur les éléments bibliographiques qui comprennent un chapitre :

Le premier chapitre concerne au zinc et ces alliages et revêtements et les méthodes de production des poudres de zinc ou de métaux en général.

La deuxième partie concerne l'approche expérimentale de notre étude et comprend deux chapitres :

Le deuxième chapitre pour lequel nous présenterons toutes les techniques de réalisation de nos études

Le troisième chapitre englobe les résultats obtenus avec les interprétations.

On termine ce travail par une conclusion générale où nous reprenons les points essentiels de notre étude.

1.1 Le zinc

Le zinc est un métal gris bleuâtre qui est toujours bivalent. Il cristallise dans le système hexagonal compact avec les paramètres de maille suivante : $a=2.664 \text{ \AA}$ et $c= 4.947 \text{ \AA}$. Les propriétés physiques du zinc sont indiquées dans le tableau 1 [1].

Le zinc est un métal largement utilisé pour ses propriétés intrinsèques intéressantes telles que sa durabilité, sa malléabilité, sa faible température de fusion ($419,5^\circ\text{C}$) ou encore son faible potentiel d'oxydoréduction. Cette dernière caractéristique détermine d'ailleurs l'utilisation de près de la moitié de la production mondiale du zinc, celui-ci étant principalement employé dans la protection galvanique cathodique des aciers comme anode sacrificielle [2]. Il est généralement déposé en couche de plusieurs dizaines de microns sur l'acier, par électrodeposition ou par immersion dans du zinc en fusion. Une autre application importante du zinc ou des alliages de zinc concerne le domaine du bâtiment, le zinc est utilisé sous forme de feuilles de fine épaisseur (1mm). La faible épaisseur des plaques facilite le façonnage du métal afin qu'il s'adapte à toutes sortes de géométries. Cependant, le zinc pur présente quelques défauts, comme son coefficient de dilatation thermique ou sa grande sensibilité au fluage : une déformation plastique du zinc entre les chevrons peut d'ailleurs être remarquée sur d'anciennes gouttières. Dans ce cas, c'est le poids du métal qui entraîne sa déformation plastique. C'est pourquoi, le zinc utilisé dans le bâtiment est faiblement allié à d'autres éléments, tels que le titane, le cuivre ou l'aluminium. Ces éléments d'alliages permettent d'améliorer certaines caractéristiques mécaniques du zinc. A titre d'exemple, le cuivre permet d'accroître la dureté et la résistance mécanique, le titane diminue fortement le fluage et l'aluminium en très faible concentration, permet d'augmenter la résistance à la rupture et l'aptitude au moulage. Sa grande durabilité en fait un métal de choix pour une utilisation en environnement extérieur. Aussi, depuis le 19^{ième} siècle, on l'utilise fréquemment pour la réalisation de toitures et pour l'évacuation des eaux pluviales. Plus récemment, l'utilisation du zinc s'est largement étendue à l'habillage des façades, grâce notamment au développement de nouveaux états de surface du métal qui donnent un aspect « pré-patiné » ou encore une gamme de nouvelles teintes légèrement colorées [3]. Le tableau 1-1 résume les propriétés physiques du zinc.

Tableau 1.1: Propriétés physiques du zinc [4].

Numéro atomique	30
Masse molaire	65,38(4) g.mol ⁻¹
Masse volumique	7,14g.cm ⁻³
Point de fusion	419,5 ° C
Point d'ébullition	907° C (sous 1 atm)
Enthalpie de fusion	7,32kJ.mol ⁻¹
Capacité thermique spécifique (à 25°C)	25,470 J.mol ⁻¹ .K ⁻¹
Commande magnétique	Diamagnétique

1.2 Les alliages de zinc

Le zinc de pureté commerciale est utilisé depuis 1824 pour la protection sacrificielle des coques de navires par exemple. Non allié, il permet d'assurer une bonne protection cathodique des structures en acier. Cependant, la mise au point d'alliages permet d'envisager d'améliorer la mise en œuvre, la coulabilité, les performances mécaniques et tribologiques, les traitements des surfaces ultérieurs.

1.2.1 Les alliages de zinc utilisés dans la protection cathodique

Le tableau 6 recense les principaux alliages Zn-X utilisés dans la protection cathodique et leurs domaines d'application.

Tableau 1.2: Principaux alliages de zinc utilisés en protection cathodique [4].

<i>Alliage</i>	<i>Procédés</i>	<i>Application</i>
<i>Zn-Fe, Zn-Ni, Zn-Co, Zn-Mn</i>	<i>Électrodéposition</i>	<i>Carrosserie, visserie</i>
<i>Zn-Al</i>	<i>galvanisation à chaud</i>	<i>Toitures, matériaux pour le bâtiment- Po- teaux, ponts, barrières de sécurité, outillage, fours, appareils ménagers, robinetterie, carrosserie</i>
	<i>coulées sous pression</i>	
<i>Zn-Cu</i>	<i>Laminage</i>	<i>Toitures, barrages</i>

D'autre part, afin d'améliorer la résistance à l'usure des revêtements de zinc, des matériaux composites électrodéposés sont maintenant développés. On peut citer par exemple Zn-SiO₂ [5] ou Zn-Co-Cr-Al₂O₃ [6].

1.2.2 Les alliages Zn-Fe, Zn-Ni, Zn-Co et Zn-Mn

Ces alliages sont développés sous l'impulsion du secteur automobile qui cherche à

- Elaborer des revêtements présentant une résistance à la corrosion comparable, voire supérieure, à celle de leur homologue en zinc pur ;
- Réaliser de bonnes finitions (phosphatation, cosmétique) à des fins d'applications spécifiques.

Les alliages Zn-Ni ont généralement des teneurs en nickel comprises entre 7 et 15%. Plus la teneur en nickel est élevée, plus la vitesse de corrosion du revêtement diminue. Cependant, la protection galvanique devient moins efficace et le matériau peut souffrir de corrosion localisée sous la forme de piqûration.

Concernant les alliages Zn-Fe et Zn-Co, l'addition de moins de 1% d'élément d'alliage dans la matrice de zinc assure la meilleure tenue à la corrosion (*Figure 1.1*).

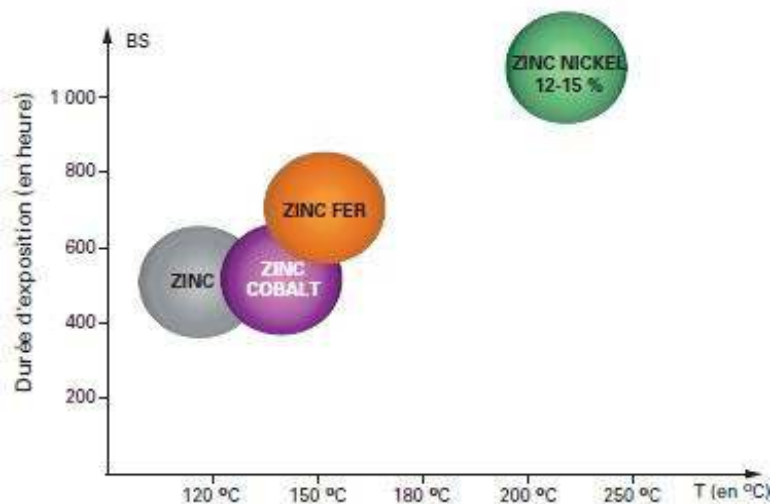


Figure 1.1 : Performances anticorrosion des alliages Zn-X au brouillard salin en fonction de la température [7].

Les alliages Zn-Mn (teneur en Mn comprise entre 12 et 15%) présentent des performances de résistance à la corrosion bien supérieure à celles du zinc non allié et même meilleures que celles des autres alliages mentionnés en particulier en atmosphère marine. La vitesse de corrosion est fortement diminuée tout en maintenant une protection galvanique très efficace. Ceci est dû à la formation de dioxyde de manganèse amorphe et d'un oxychlorure de manganèse très protecteurs.

1.2.3 Les alliages Zn-Al

Il existe 2 types de compositions d'alliages Zn-Al utilisées industriellement pour la protection cathodique : Zn-Al5% et Zn-Al55%. Les alliages à faible teneur en aluminium offrent une meilleure coulabilité et de meilleures propriétés mécaniques que le zinc non allié, en plus d'une meilleure résistance à la corrosion. Les alliages à haute teneur en aluminium offrent eux une résistance à la corrosion exceptionnelle dans bon nombre d'environnements, en particulier à haute température.

1.2.4 Les alliages Zn-Al55%

Les alliages de types Galvalume sont utilisés pour revêtir des tôles d'acier par traitement au défilé dans un bain en fusion. La composition des alliages est donnée dans le tableau 1-4 et la microstructure du revêtement est schématisée dans la micrographie illustrée par la figure 13.

Tableau 1.3: Teneur en pourcentage des éléments d'alliages Zn-Al55%. [7].

<i>Elément</i>	<i>Zn</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>
<i>Teneur(%mass)</i>	43	55	1.5

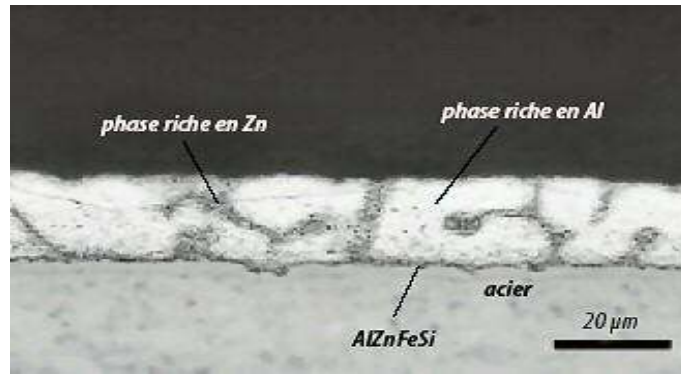


Figure 1.2 : Microstructured'un revêtement de type Zn-Al 55% [7].

Outre les applications classiques des aciers galvanisés, les alliages à forte teneur en aluminium sont utilisés pour des panneaux solaires, des fours, des appareils électroménagers.

1.2.5 Les alliages à faible teneur en aluminium

Ces alliages peuvent être soit coulés sous pression ou moulés (pour des teneurs en aluminium entre 3.5 et 4.5% : Zamak, Kayem), soit utilisés comme revêtements dans des bains de galvanisation (Galfan). La figure 14 représente un zoom sur le diagramme binaire du système Zn-Al dans la zone riche en zinc et une photographie d'un revêtement de type Zn-Al 5%.

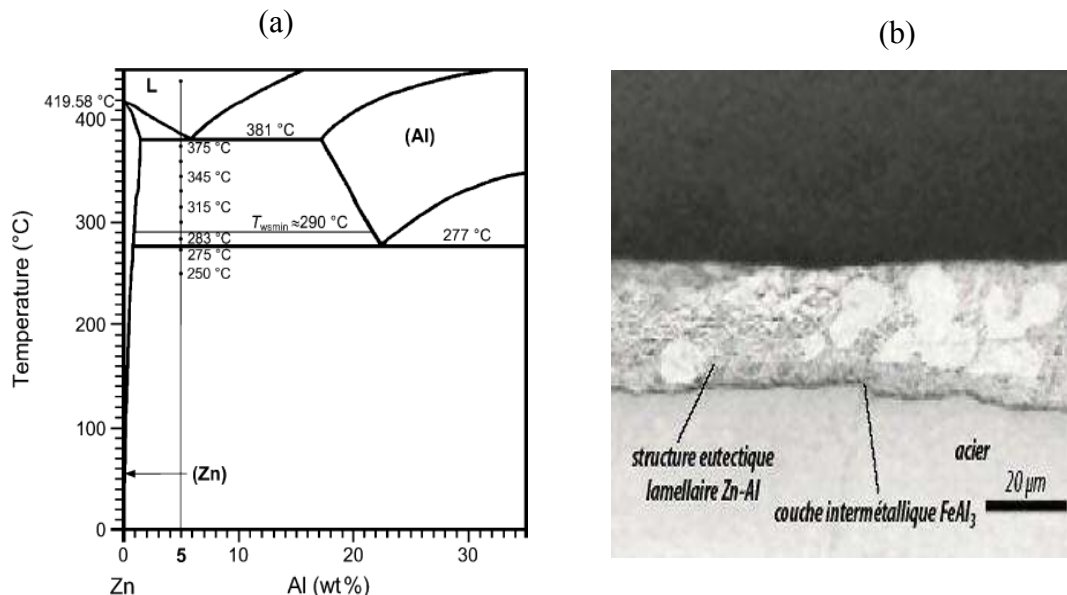


Figure 1.3 : (a) Diagramme binaire du système Zn-Al dans la zone riche en zinc calculé par Massalski TB [8], (b) microstructured'un revêtement de type Zn-Al 5%

- **Les alliages Zamak**

La composition des alliages Zamak est présentée dans le tableau 8. La précision dimensionnelle des pièces coulées en *zamak* est exceptionnelle et peut s'appliquer à des parois d'une grande finesse. Les qualités spécifiques des alliages *zamak* sont, notamment, une excellente coulabilité (formes complexes, faibles épaisseurs), des températures de fusion peu élevées (394°C), caractéristiques mécaniques élevées, aptitude à la décoration, cadences de production élevées, l'absence de fissuration à chaud et une bonne répartition des porosités au retrait lors de la solidification. Ces alliages sont les plus utilisés en raison de leur très bonne résistance à la corrosion.

Tableau 1.4: La teneur en pourcentage massique des éléments d'alliages Zamak [7].

<i>Elément</i>	<i>Al</i>	<i>Cu</i>	<i>Mg</i>
<i>Teneur(%mass)</i>	3.9 à 4.3	0 à 1.25	0.03 à 0.06

- **Les alliages Kayem**

Le tableau 9 regroupe les différents teneurs en pourcentage des éléments d'alliage Kayem.

Tableau 1.5: La teneur en pourcentage massique des éléments d'alliages Kayem [7].

<i>Elément</i>	<i>Al</i>	<i>Cu</i>	<i>Mg</i>
<i>Teneur(%mass)</i>	3.9 à 4.3	2.75 à 3.25	0.03 à 0.06

Les alliages *Kayem* sont utilisés pour une fabrication économique, par moulage au sable, des outillages de presse (outils de découpe, moules de soufflage ou de thermoformage des matières plastiques).

D'autres alliages, appelés ZL peuvent être coulés en coquille ou sous pression, ce qui leur confère un bon état de surface (apprécié en décoration) et des caractéristiques mécaniques élevées convenant bien à la réalisation de prototypes, de préséries et de pièces susceptibles de recevoir un traitement thermique.

- **Les alliages Galfan**

Le Galfan est une tôle d'acier revêtue sur les deux faces par défilement en continu dans un bain en fusion composé de 95% de zinc, de 5% d'aluminium et de quelques ppm (part par million) de terres rares en alliage (UNS Z38510).

La bonne adhérence du Galfan provient de l'absence de phase intermétallique fragile à l'interface acier/revêtement. L'excellente souplesse résulte d'une structure type eutectique dure revêtement (Figure 14). La composition de l'alliage est spécifiée dans le tableau 10.

Tableau 1.6: Teneur en pourcentage des éléments d'alliage Galfan selon la fiche ASTM B750-09 Standard Specification pour GALFAN (Zinc-5% Aluminum-Mischmetal) [7].

Elément	Al	Ce+La, total	Fe, max	Si, max	Pb, max	Cd, max	Sn, max	Autres Cha-cun, max	Autres Cha-cun, max	Zn
Teneur (% mass),	4.2-6.2	0.03-0.1	0.075	0.015	0.005	0.005	0.002	0.02	0.04	Reste

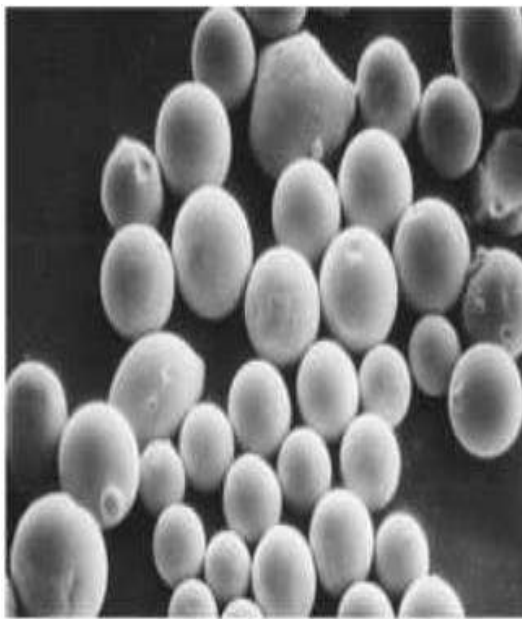
La résistance à la corrosion du Galfan non peint est au moins double de celle du galvanisé classique, à poids de revêtement égal et cela même après emboutissement ou déformation sévère. Le Galfan assure une excellente protection cathodique, due à la présence de lanthanides dans la couche de corrosion. Les résultats de tests de corrosion accélérée en exposition atmosphérique en bord de mer (type brouillard salin) ou test SO₂ (atmosphère à 93-94% d'humidité relative contenant 10 ppm de SO₂ à 35°C) sont confirmés en atmosphère naturelle: la perte de poids de revêtement est très faible par rapport à l'acier galvanisé.

1.3 Les poudres

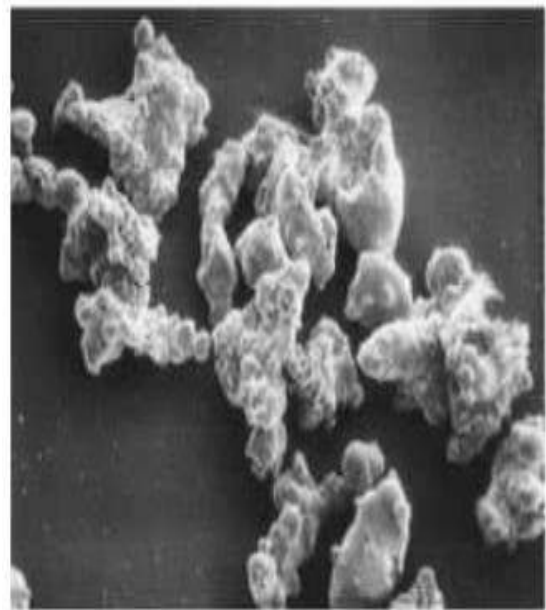
Les poudres ou les milieux granulaires font l'objet de définition variées en raison de leur comportement complexe. Une poudre est un milieu granulaire dont les particules ont des dimensions habituellement inférieures à $100\mu\text{m}$. La nature granulaire d'un matériau pulvérulent est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques : la masse totale (m), le volume total de la poudre (V), le volume de la partie solide (V_s), le volume des vides (V_v), la masse volumique de la matière dense, la densité relative rapportée à la masse volumique du matériau dense, etc. Ces paramètres qualifient essentiellement l'état du matériau au regard de la porosité au cours des phases caractéristiques des procédés de mise en forme.

1.3.1 La forme des poudres

La forme des particules d'une poudre est l'aspect extérieur des grains, cette caractéristique morphologique est intimement liée au procédé de fabrication des poudres (figure) [9].



(1)



(2)

Figure 1.4: (1) micrographie d'une poudre de forme sphérique atomisée par gaz ;
(2) micrographie d'une poudre de forme irrégulière atomisée à l'eau. [9]

Les différentes formes des particules ont une influence importante sur le comportement de lapoudre. La particule qui a la forme sphérique n'a pas les mêmes propriétés que celle de forme irrégulière. Les différentes formes des particules les plus fréquentes sont schématisées à la figure(1.6).

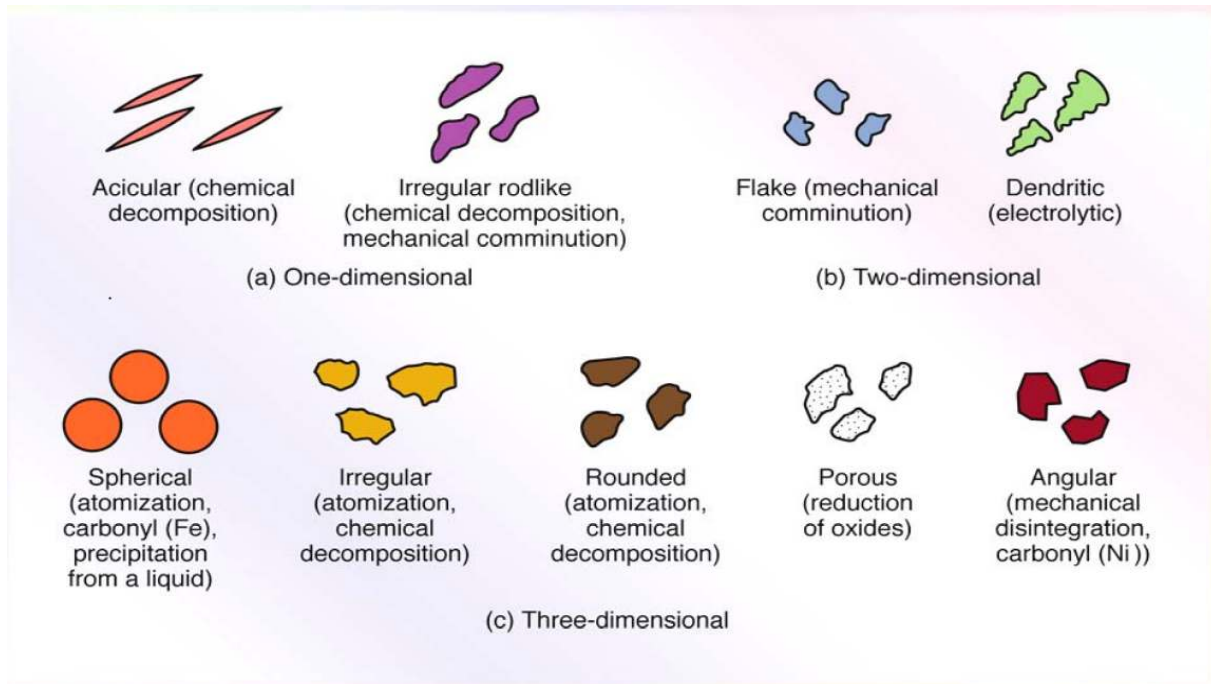


Figure 1.5: lamorphologiesdes particules[10].

1.3.1 Elaboration des poudres

C'est un ensemble des particules dont la taille est généralement comprise entre 1 et 500 μm [11]. Les procédés de fabrication des poudres sont nombreux et s'appliquent en fonction de la nature des métaux, quantités, prix de revient caractéristiques, pureté et application des poudres [12].

Il existe différentes méthodes disponibles pour la production de poudres, Chacune de ces méthodes a une influence sur la taille des grains solides, leur répartition, leur forme, leur composition chimique, leur microstructure et le coût des poudres obtenues... etc.

Dans ce qui suit, on essaye de donner un aperçu sur les méthodes de fabrication des poudres.

1.3.2.1 Procédés mécaniques

Parmi les procédés mécaniques on cite :

- **Broyage**

Le broyage est une opération consistant à diviser un solide, pour augmenter sa surface spécifique (surface développée de la poudre par unité de masse) et donc sa réactivité. En minéralurgie, le broyage se fait jusqu'à la maille de libération. La maille de libération d'un minéral est la taille au-dessous de laquelle une particule de minerai est parfaitement libérée, c'est à dire constituée uniquement de poudres introduites[13].

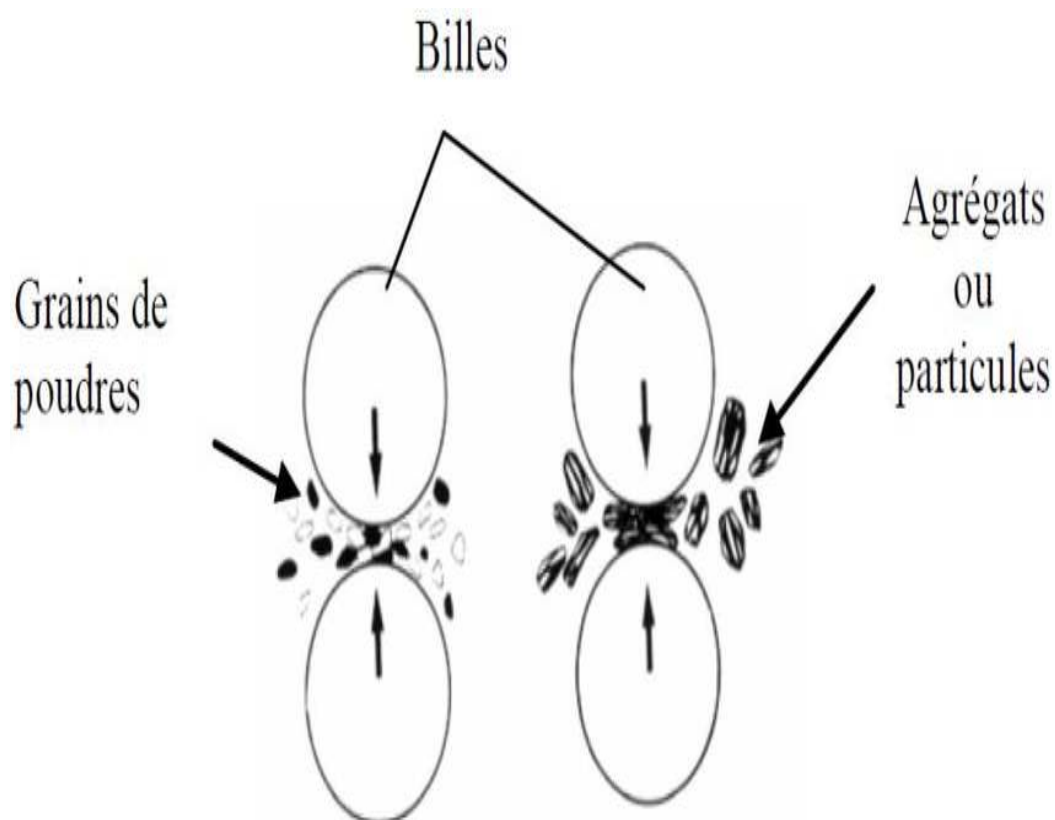


Figure 1.6 : principe de broyage mécanique

- **Atomisation**

L'atomisation est une méthode qui consiste à désintégrer un métal liquide à l'aide d'un gaz ou d'un liquide sous pression, ou d'ultrasons. Le degré de dispersion, de forme et de structure des particules de poudre peut varier en changeant l'énergie mise en jeu, la température, la viscosité, la tension de surface et les conditions de refroidissement de l'alliage liquide [13].

1.4 Procédés Physico-chimiques

Ce sont des procédés qui permettant d'obtenir de la poudre après une réaction chimique ou une transformation de phase parmi ces procédés, on a :

- **Réduction des oxydes :**

Les oxydes métalliques sont en général fragiles et peuvent être facilement réduites en poudres fines par broyage. En réduisant les poudres d'oxydes à une température inférieure au point de fusion du métal correspondant, on obtient une poudre métallique dont la finesse dépend en grand partie de la finesse de l'oxyde utilisé. La densité apparente des poudres réduites est faible car les grains sont spongieux. La compressibilité est bonne et le comprimé a une résistance à la flexion élevée [14].

- **Electrolyse :**

Les méthodes chimiques sont utilisables pour un grand nombre de métaux. La plus employée est la réduction d'un composé (généralement un oxyde, plus rarement un sulfure ou un chlorure) par un agent chimique (gaz, liquide ou solide) qui fractionne le composé en métal à l'état de fins granules et en un sous-produit qui peut être éliminé. Si le composé métallique initial est un solide, la dimension des granules du métal résultant dépend fortement de la morphologie du composé de départ. Quand le sous-produit de la réduction est gazeux, son élimination s'effectue directement par le gaz porteur ou à l'aide d'une installation à vide

1.4 Applications industrielles du zinc

Le zinc métal est utilisé dans quatre grands domaines : galvanisation, objets bronze, moulage sous pression et zinc laminé (tôle). En laiton et en Outre l'utilisation du zinc comme métal ouvré, d'importantes quantités de ce métal entrent dans la fabrication de pigments et d'autres produits chimiques. Le zinc est essentiellement utilisé pour protéger contre la corrosion les produits laminés en acier ou les produits en acier après leur fabrication. La plupart des zingages s'effectuent au moyen de la galvanisation à chaud par trempage, mais le zingage électrolytique des feuilles d'acier prend de plus en plus d'importance dans l'industrie automobile. » Le laiton sert à la fabrication d'objets ornementaux ainsi que d'équipements sanitaires et de chauffage central. Les alliages de zinc sont largement utilisés pour le moulage sous pression, notamment dans l'industrie automobile, pour la fabrication aussi bien de pièces mécaniques (corps de carburateur, pompes, etc.). Le zinc est utilisé dans l'industrie du bâtiment, pour les systèmes d'étanchéité des toitures et d'évacuation des eaux pluviales et pour la fabrication de boîtiers de pièces de monnaie. Les poudres et poussières de zinc piles sèches et de pièces monnaie. Dans les réactions chimiques, pour les servent d'agents de réduction dans les peintures et la récupération de métaux précieux. Quant à l'oxyde de zinc, il est largement utilisé dans l'industrie des pneumatiques en caoutchouc et comme pigment pour les peintures extérieures et intérieures, ainsi que dans la fabrication de céramiques, de produits cosmétiques et pharmaceutiques. Et de revêtements de sols[15].

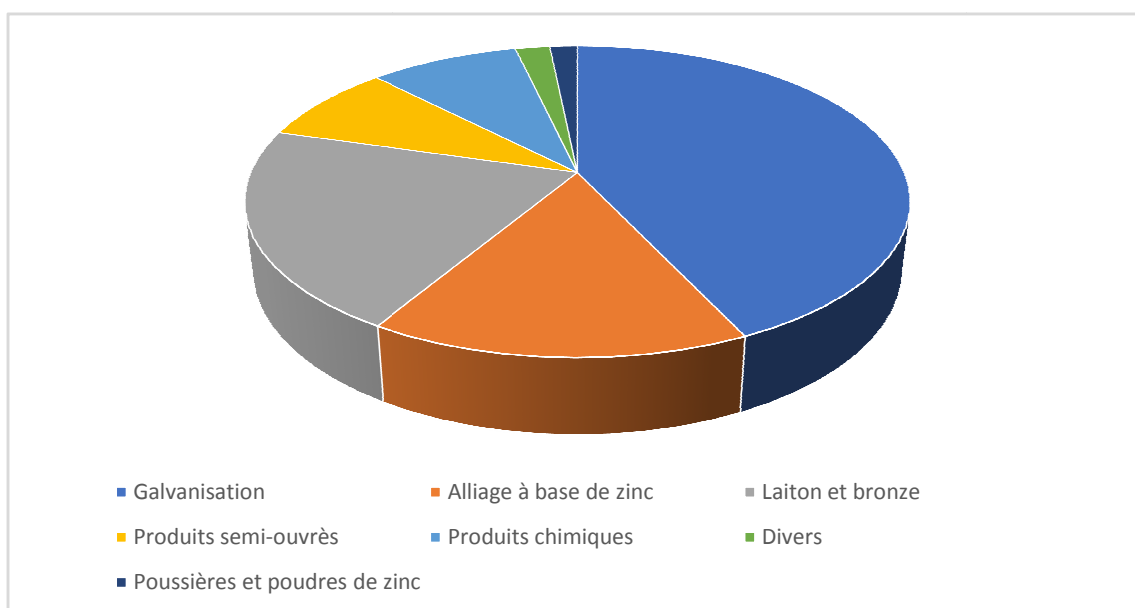


Figure 1.7 : Consommation de zinc par utilisations[15]

1.5 La corrosion du zinc

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 corrosion, tandis que l'approche cinétique permet d'évaluer les vitesses des deux réactions élémentaires et par conséquent la vitesse globale de la corrosion. La réaction d'oxydation se produit soit par dissolution du matériau dans le milieu, soit par la formation d'oxydes, d'hydroxydes, d'oxyhydroxydes ou d'autres composés oxydés dont la stœchiométrie est plus ou moins complexe. Ils sont adhérents ou non aux surfaces corrodées.

Dans la majorité des cas, le zinc et ses alliages ne doivent leur longévité qu'à la formation en surface d'une couche d'oxyde (couche passive) qui joue un rôle de barrière entre le milieu oxydant et la surface du matériau, réduisant ainsi la vitesse d'oxydation à une valeur négligeable et permettant de stabiliser l'épaisseur de la couche d'oxyde, sur une échelle de temps comparable à la durée de vie du matériau.

Les différents processus électrochimiques jouent un rôle important pour la production et l'application du zinc et ses alliages. Pourbaix [16] a montré, à partir des données thermodynamiques, que le comportement d'un métal dans un système simplifié tel que l'eau à 25°C peut être prévu à l'aide du tracé des diagrammes potentiel-pH. Dans le cas du zinc, le diagramme potentiel-pH du système zinc-H₂O à 25°C fait apparaître trois domaines selon la figure 2:

- ❖ Un domaine de corrosion : en solution acide ou en présence d'agents oxydants, (même faiblement oxydants), le diagramme prévoit la dissolution du zinc avec la formation d'ions zinciques Zn²⁺. Il faut cependant ajouter que la cinétique de corrosion du zinc très pur est lente à cause de la très forte surtension de la réduction de l'eau en hydrogène sur ce métal. En solution alcaline, le zinc s'oxyde sous forme d'ions zincates HZnO₂⁻, ou bizincates ZnO₂⁻².
- ❖ Un domaine de passivité : la corrosion du zinc permet la précipitation d'oxydes et /ou d'hydroxydes sur un étroit domaine de passivation (entre pH=8.5 et pH=10.5). La formation d'oxydes ou d'hydroxydes à la surface du métal ralentit le processus de corrosion.
- ❖ Un domaine d'immunité où la forme la plus stable est le zinc à l'état métallique.

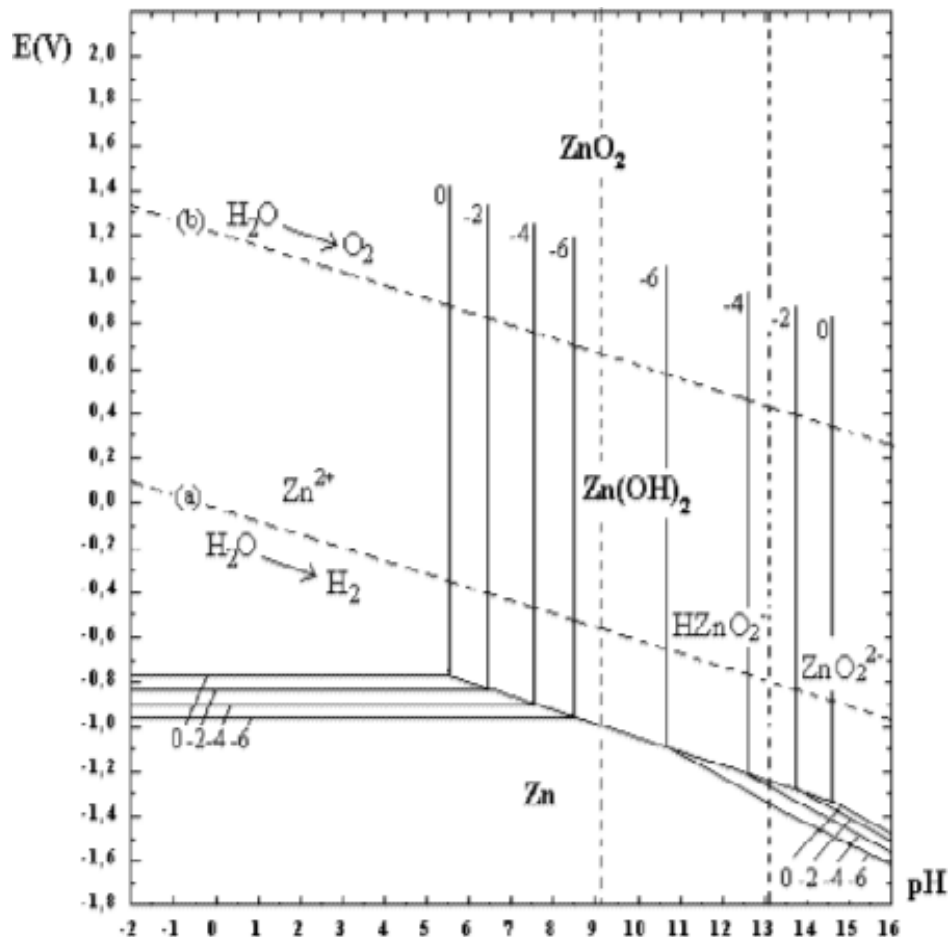


Figure 1.8: Diagramme potentiellen fonction du pH du système zinc-eau à 25°C [16]

1.6 Revêtements de zinc

1.6.1 La métallisation

Ce procédé de protection anticorrosion consiste à effectuer une projection thermique d'un métal ou d'un alliage sur le substrat métallique. La technologie a été développée au tout début des années 1910 et a connu un essor très important dans les années 1930, tout d'abord aux USA, puis ensuite dans le reste du monde dans les années 1950-1960, période au cours de laquelle les procédés de base connus aujourd'hui trouvèrent leur naissance. Depuis les technologies se sont perfectionnées pour couvrir des domaines de pointe (notamment l'aéronautique) et accroître les performances (rendements, qualité des dépôts, etc.). Le choix du métal d'apport est important, son rôle étant de protéger l'acier : il doit être plus anodique que l'acier (même principe que la galvanisation). C'est pourquoi, les projections thermiques s'effectuent généralement avec du zinc - Zn, de l'aluminium - Al ou des combinaisons zinc/aluminium – Zn/Al (la répartition 85/15 étant couramment utilisée). Le zinc, l'aluminium ou l'alliage utilisé doit satisfaire à la norme NF EN ISO 14919. La norme NF EN ISO 2063 a normalisé les différentes épaisseurs de zinc déposées par métallisation et constitue la base de tout cahier des charges. L'agressivité de l'atmosphère ambiante ainsi que la durée de vie requise déterminent l'épaisseur de la couche de métallisation. Pour le Zn et les alliages Zn/Al, l'épaisseur de couche se situe généralement entre 50 µm et 150 µm. Pour l'Al, les épaisseurs requises peuvent aller jusqu'à 250 µm. Les principaux avantages du procédé de métallisation sont que les revêtements sont disponibles pour une utilisation presque instantanée, sans temps de séchage ni durcissement [20]. Citons les technologies le plus couramment utilisées :

- **Projection flamme-poudre**

On désigne généralement sous le nom de projection flamme-poudre le procédé de projection thermique le plus ancien, consistant à introduire un matériau sous forme de poudre dans une flamme oxy-combustible et à le véhiculer grâce à l'énergie cinétique transmise par les gaz de combustion (figure I.6). Cette technologie repose sur l'usage d'une flamme à environ 3 000° C dans laquelle est pulvérisée par air comprimée la poudre d'apport qui se transforme au contact de la flamme en gouttelette de métal d'apport fondu qui vient se déposer à la surface du métal à traiter.

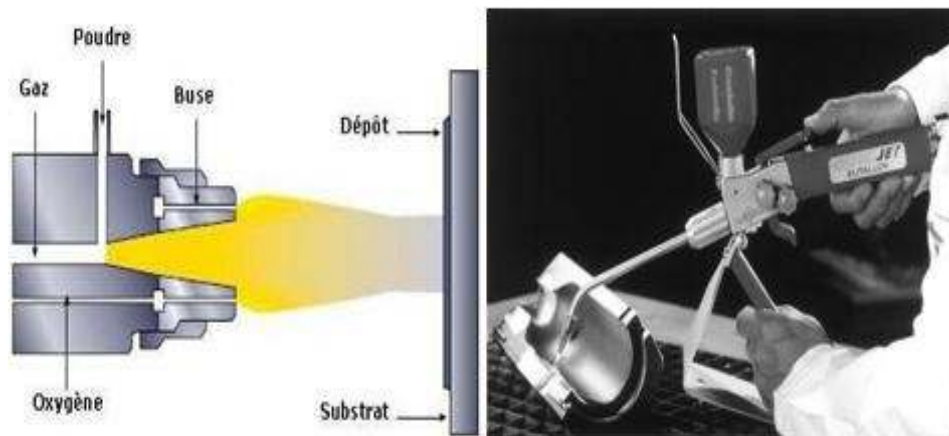


Figure 1.9 :Principe de la projection flamme-poudre [21].

- **Projection flamme-fil**

Contrairement au procédé flamme-poudre, la flamme ne sert en projection flamme-fil qu'à fondre le métal d'apport, introduit sous forme de fil, de cordon, ou de barguette, en son centre. Une fois fondu, le matériau d'apport est projeté sur le substrat par un courant d'air comprimé.

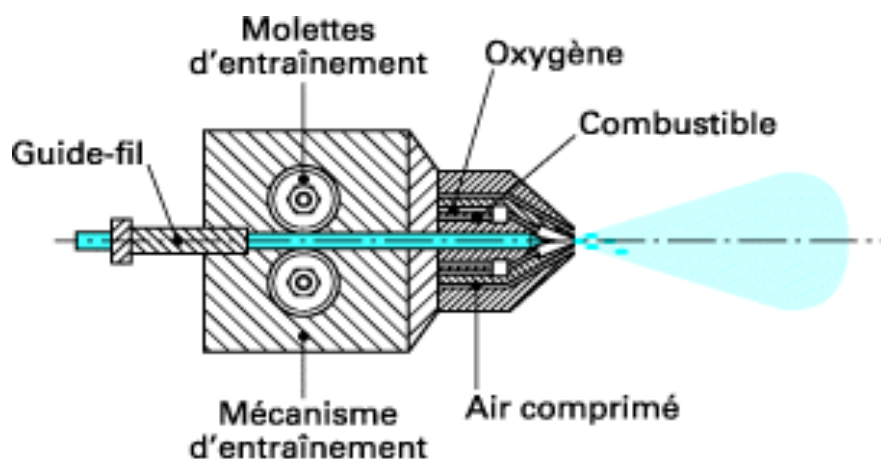


Figure I.10 :Principe de fonctionnement d'un pistolet flamme-fil [21].

1.6.2 L'électrozingage

Le dépôt de la couche de zinc est assuré par la précipitation d'ions métallique de zinc que l'on a dissous dans un électrolyte depuis une anode par circulation d'un courant continu (figure 15). La pièce à traiter étant ici la cathode et la source de zinc jouant le rôle d'anode. Le zinc est oxydé et transformé en ions dissous dans une solution électrolytique. Ces ions zinc sont ensuite réduits en zinc métallique à la cathode et se déposent ainsi en formant une couche superficielle de zinc. Les réactions d'oxydo-réduction en jeux sont les suivantes [17]:

Anode : oxydation du zinc : $Zn + 4OH^- \rightarrow ZnO_2^{2-} + 2e^- + 2H_2O$

Cathode : Réduction du zinc : $ZnO_2^{2-} + 2e^- + 2H_2O \rightarrow Zn + 4OH^-$

L'épaisseur souhaitée de la couche est obtenue en contrôlant à la fois le courant imposé au système électrolytique et le temps d'exposition. Il n'y a pas de diffusion entre les couches de zinc et d'acier.

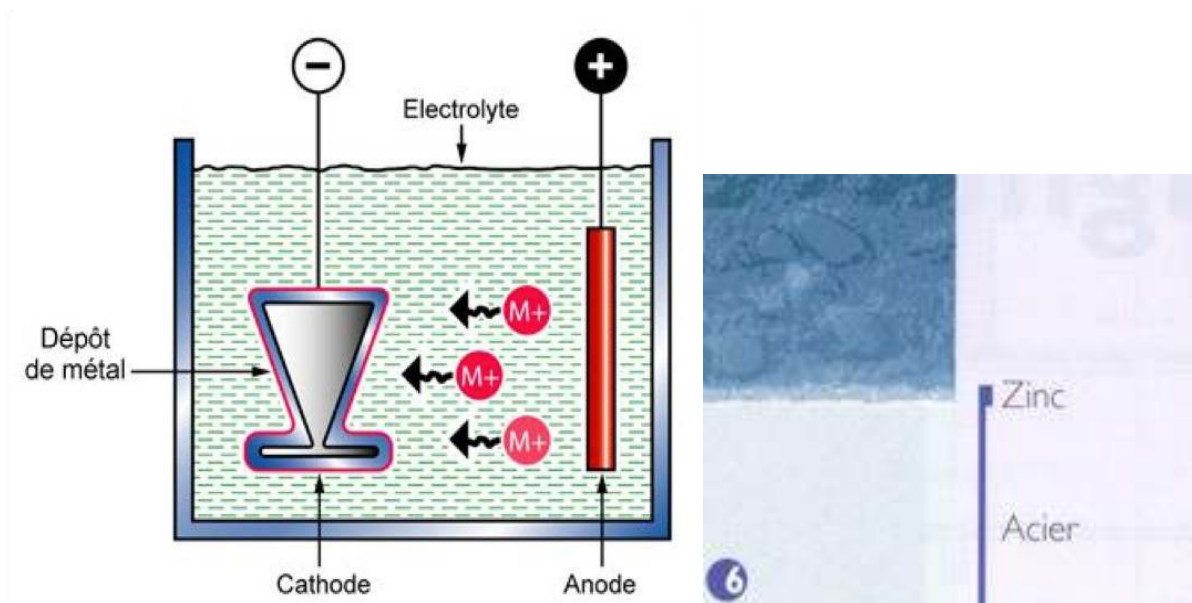


Figure 1.11 : Schéma de principe du procédé d'électrozingage [18] et dépôt de la couche de zinc [19].

Le dépôt sur la cathode est en général fait par trempage pour des pièces déjà fabriquées, mais il peut aussi être fait en continu dans le cas de fils ou de tôles [19].

1.7 Poussière et poudre de zinc

La poussière de zinc et la poudre de zinc sont des matières particulaires. Le mot "poussière" est utilisé pour les fines particules, généralement de 2 à 20 μ m de diamètre, et "poudre" pour les particules plus grossières. Une différenciation est souvent fabriquée, la "poussière de zinc" faisant référence au produit fabriqué par condensation de zinc vapeur, et "poudre de zinc" au produit de l'atomisation du zinc fondu par un jet d'air ou un gaz inerte [Sol].

La poussière de zinc peut également être fabriquée sous forme de flocons par broyage dans un fluide non réactif tel qu'un hydrocarbure, un processus appelé "écaillage". Épaisseur de flocon tend à être de 1 μ m ou moins, et le rapport diamètre/épaisseur peut être d'environ 10.

La poussière et la poudre de zinc sont principalement utilisées comme réactifs pour la production de produits chimiques, dans le métal procédé de raffinage. Comme composant pour la fabrication de peintures riches en zinc. Et comme matière active pour les piles au zinc. Ils sont également utilisés en plus petites quantités comme matériau de shérardisation et la projection thermique et comme additif dans les plastiques[22].

1.8 Peinture riche en Zinc

Comme tous les revêtements de peinture, la peinture riche en zinc est un revêtement de surface, lié mécaniquement à l'acier à quelques centaines de livres par pouce carré (psi). Les peintures riches en Zinc sont soit organiques, composées d'époxydes, d'hydrocarbures chlorés et d'autres polymères ; soit inorganiques à base de silicates d'alkyle organiques. Les peintures organiques ou inorganiques sont appliquées sur une épaisseur de film sec de 2,5 à 3,5 mils (64-90 μ m).

1.8.1 Revêtement organique riche en zinc

Les revêtements organiques riches en zinc sont des apprêts anticorrosifs utilisés pour protéger les surfaces en fer et en acier. Ils contiennent un pourcentage élevé de poussière de zinc qui agit de manière sacrificielle lorsqu'il est en contact direct avec le fer ou l'acier. La poussière de zinc fournit une protection cathodique au métal et est similaire à la galvanisation à froid. Le liant utilisé dans un revêtement riche en zinc organique est souvent un époxy.

Les revêtements organiques riches en zinc sont utilisés par de nombreuses industries pour protéger les substrats en acier de la corrosion. Ils sont utilisés pour les applications industrielles, automobiles, routières et d'infrastructure.

Les revêtements riches en zinc organique offrent une protection cathodique, tandis que les peintures ordinaires protègent en formant une barrière imperméable entre la surface métallique et l'humidité de l'atmosphère. Lorsqu'une cellule cathodique se forme, elle protège l'acier au détriment du zinc. Ici, le zinc agit comme une source sacrificielle. De plus, l'apprêt au zinc fournit une certaine barrière de protection à la surface.

Bien que les apprêts riches en zinc soient parfois utilisés comme revêtement autonome, ils sont également souvent recouverts d'une couche de peinture ou d'époxy. Ces revêtements fournissent une méthode de secours ou supplémentaire pour protéger l'acier de la corrosion sous une couche de finition de peinture époxy ou uréthane en offrant de meilleures propriétés d'adhérence.

1.8.2 Revêtement époxy

Un revêtement époxy est un composé de revêtement composé de deux éléments distincts : une résine époxy et un durcisseur polyamine (également appelé catalyseur). Lorsqu'ils sont mélangés, la résine et le durcisseur s'engagent dans une réaction chimique qui crée une réticulation des éléments au fur et à mesure qu'ils durcissent. Lorsque le revêtement époxy est complètement durci, le produit résultant est un revêtement plastique rigide et durable avec de nombreuses propriétés mécaniques souhaitables.

Les revêtements époxy sont réputés pour leurs propriétés mécaniques exceptionnelles, telles que la dureté et la durabilité, ainsi que la résistance à l'abrasion, aux chocs et aux produits chimiques. Ces attributs font des revêtements époxy un matériau de revêtement protecteur idéal pour les composants dans des environnements industriels exigeants.

Les revêtements de sol époxy, par exemple, sont couramment utilisés pour prolonger la durée de vie des sols en béton dans les installations industrielles, les entrepôts, les centres logistiques et autres lieux soumis à une circulation automobile légère et à une circulation piétonnière moyenne à intense. Sa résistance aux attaques de produits chimiques, tels que ceux trouvés dans les huiles, les nettoyants et l'eau de javel, fait des revêtements époxy un moyen de protection populaire dans l'industrie automobile

La technologie de revêtement époxy lié par fusion est largement utilisée dans l'industrie du pétrole et du gaz et de l'eau/des eaux usées pour protéger les actifs des pipelines contre la corrosion.

Chapitre 2
:procédure
Expérimentale

2.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la partie expérimentale de notre travail. Les étapes de préparation et de réalisation

Le premier objectif de notre étude est d'obtenir des rubans de zinc pour préparation de poudre comme charge pour une application de peinture-poudre sur les tôles d'acier.

Le second objectif est de tester ces échantillons revêtus par des essais de corrosion (méthodes accélérées de corrosion).

2.2 Préparation des rubans

Les rubans de zinc ont été réalisés à l'aide d'un montage expérimental au niveau du laboratoire de traitement de surface et matériaux.

Notre montage est constitué d'un moteur électrique qui entraîne un arbre en acier qui est solidaire à une roue en aluminium. Un creuset en acier perforé au fond est fixé au voisinage de la roue en haut ; ce creuset est entouré d'une résistance électrique. Le creuset est mené d'une visse démontable avec un orifice sur cette visse pour laisser passer le métal liquide au travers et se déverser sur la roue. La distance entre le creuset et la roue est de 10 mm. La résistance est utilisée pour chauffer le creuset et maintenir le métal en état de fusion. La figure 3-2 montre le montage expérimental réalisé.

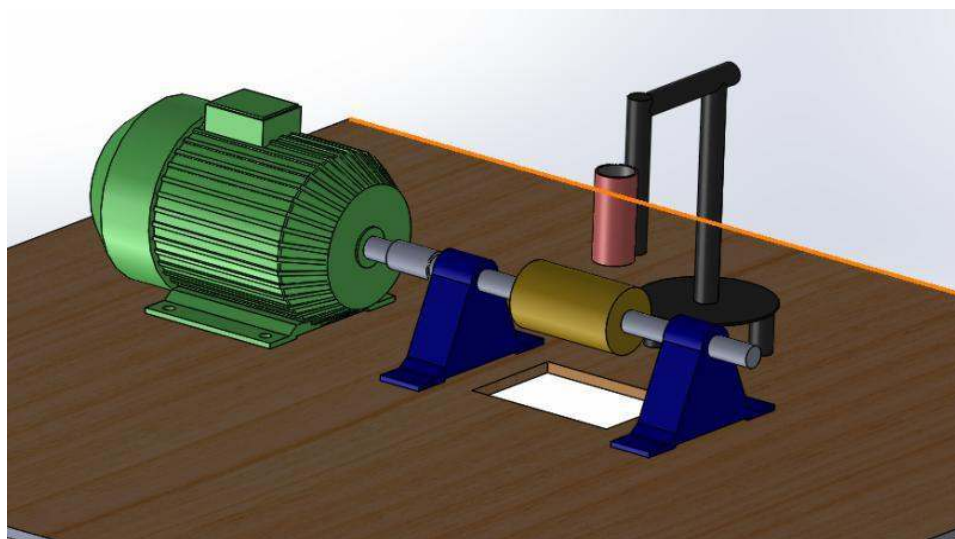


Figure 2.1 : montage expérimental

Tableau 2.1 : élément et pièces du dispositif

Elément/pièces	Matériaux
Moteur électrique	/
Arbre	Acier
Roue	Aluminium
Résistance	Alliage de cuivre
Creuset	Acier
Four électrique	/

2.3 Broyage des rubans

L'équipement utilisé pour le broyage des rubans est un moulin à café électrique. Les rubans de zinc sont stockés dans une trémie qui les guide jusqu'aux meules. Ces meules peuvent être coniques ou plates, en acier ou en forme de lame.



Figure 2.2 : moulin à café électrique

2.4 Tamisage de poudres

L'opération de tamisage consiste à répartir les grains de poudre en une série de classes dimensionnelles de plus en plus petites, par passage à travers des tamis de différentes échelles granulométriques.



Figure 2.3 : Tamiseur RETSCH

2.5 Préparations des échantillons

Les échantillons utilisés sont des plaques de forme rectangulaire, d'un acier ordinaire, et d'une épaisseur très pratique pour réaliser nos revêtements.

Ces échantillons sous forme de plaquette de dimensions de (5cm x 6.5cm) ont été découpés à l'aide d'une tronçonneuse. Le découpage est réalisé dans l'atelier de soudage du département de mécanique.

2.6 Polissage des échantillons

Le but du polissage est d'obtenir une forme qui soit bien lisse. Pour ce faire, on doit faire disparaître les micro-rayures, taches, ainsi que l'oxydation de la peinture.

Cette opération s'effectue manuellement avec des disques tournants en carbures de silicium (papiers abrasifs de 280, 400, 600, 800, 1000 et 1200), on a utilisé l'eau courante comme un refroidisseur pour éviter le risque de surchauffe, la figure 2.6 montre la polisseuse disponible au niveau du laboratoire de SDM.



Figure 2.4: Polisseuse aux papiers abrasifs

2.7 Préparations des revêtements

Dans cette partie, on mélange la poudre préparée précédemment avec la peinture commerciale choisie. Chaque lot de poudre, désigné par un tamis correspondant à une taille particulière inscrite sur ce dernier, est mélangé à la peinture organique

- Masse de poudre de zinc : 3g
- Masse de peinture : 7g

On a mélangé 1 g de poudre pour chaque gobelet avec 7 g de la peinture. Nous avons peint tous les échantillons à l'aide d'un pinceau. Nous laissons sécher l'ensemble suffisamment pour que l'éprouvette préparée soit complètement sèche au toucher.

2.8 Le rayage des plaques

Cette méthode indique que les rayures doivent être réalisées sur les diagonales des plaques, d'un coin à l'autre de manière à tracer un X. Ceci doit être réalisé au moyen d'une lame bien tranchante tenue à un angle de 30° par rapport à la plaque, le plan étant perpendiculaire à la plaque (tel que montré à la figure 2.6 ci-dessous).



Figure 2.5 : plaque rayée

2.9 Essai de corrosion

Un test de corrosion accélérée est généralement défini comme étant une méthode qui évalue la performance de résistance à la corrosion, de métaux et de revêtements, et dont les résultats sont

obtenus après une période de temps plus courte qu'avec une exposition naturelle. Les tests de corrosion accélérée sont essentiels pour le développement et la qualification de nouveaux matériaux, revêtements et traitements de surface. Dans cet essai, les échantillons ont été placés dans une solution de 1,5 litre d'eau distillé+ 20g NaCl+25 ml de HCl sur une période de 48 heures.

Chapitre 3 : résultats Et interprétation

3.1 Préparation des rubans

A l'aide de notre montage réalisé auparavant, on a obtenu après coulé de notre métal des rubans de zinc.

Après des essais préliminaires, on a varié :

- L'orifice (trou) du creuset (2 mm, 4 mm)
- La distance entre le creuset et la roue est de 10 mm
- La vitesse est toujours constante (vitesse de la roue est de 1400 tr/min)

Les paramètres opératoires optimaux pour ces conditions ont été fixés à

: Température de coulé = 750°C , \varnothing de l'orifice = 3 mm, distance entre le creuset et la roue est de 10 mm et vitesse de la roue est de 1400 tr/min.

La figure 3-1 montre le résultat de la coulée issue de cette expérience. Les rubans de zinc sont très minces et répondent bien aux attentes de nos besoins pour la suite de nos essais de transformation en poudre.



Figure 3.1 : rubans de zinc issus

Les paramètres derubans obtenus :

- Epaisseur : 10 à 80 μm
- Longueur : 80mm, 100mm
- Largeur : 2 à 3mm

3.2 Broyagedesrubans

L'opération de broyage consiste à fractionner les rubans et obtenir une poudre de zinc.

Les rubans sont broyés dans un moulin à café.

Le temps de broyage était de 10 minutes ; 2 minutes broyage, 1 minute de repos. Les résultats sont montrés à la figure 3.2



Figure3.2 : poudre broyée pendant 10 min

3.3 Opérationdetamisage

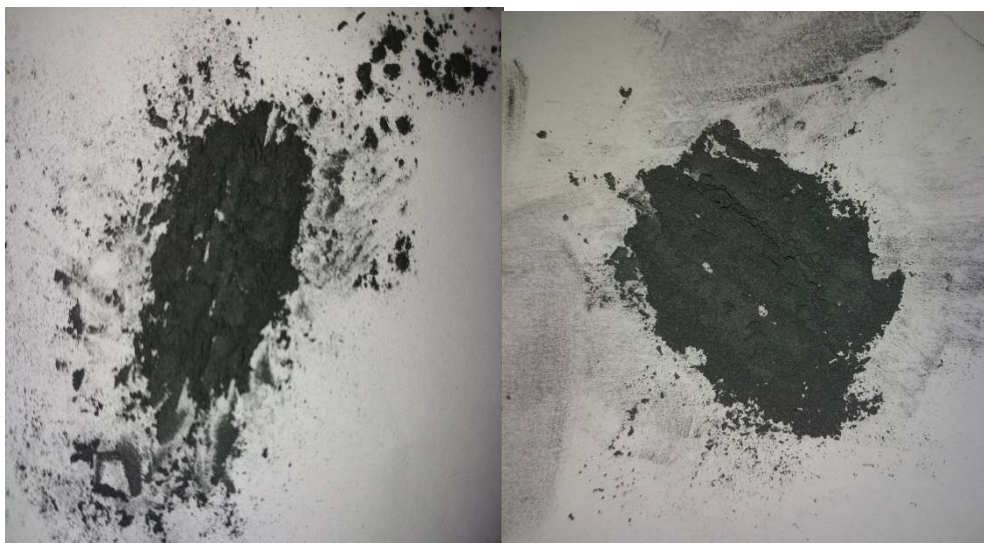
On passer les poudres obtenues de broyage par une tamiseuse. Après 3 minutes de tamisage d'amplitude +3, le résultat est regroupé au deux tableaux dessous :

Tableau3.1 :ladistribution delapoudre (a) dezinc

Tamis(μm)	Poids de poudre (g)
150	32,65
32	3

Tableau3.2 :ladistribution delapoudre (b) dezinc

Tamis (μm)	Poids de poudre(g)
150	48,82
20	3



La taille de poudre (a)= $32\mu\text{m}$ La tailledepoudre (b)= $20\mu\text{m}$

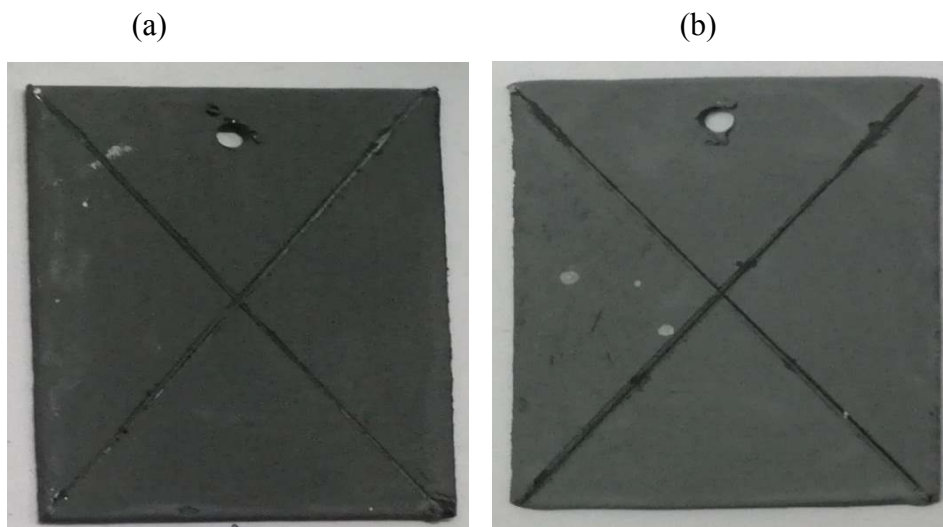
Figure 3.3: les différents types de poudres de zinc obtenir après le tamisage.

Préparation et applications des peintures-poudre de zinc

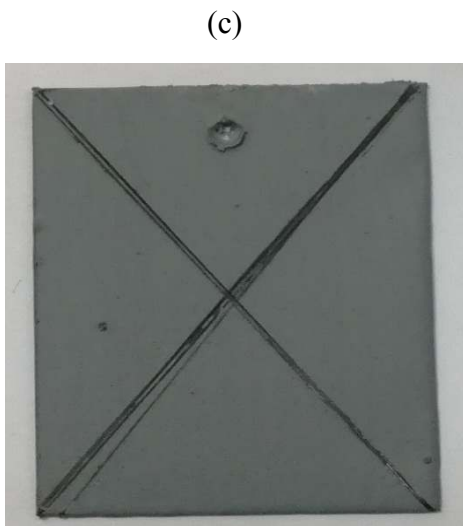
Les poudres préparées au laboratoire sont appliquées comme charge dans la résine (organique) par préparation d'une peinture à base de zinc.

Cette peinture est comparée à une autre de même résine préparée avec une charge de zinc (poudre commerciale).

Après l'application de la peinture avec pinceau, les résultats sont montrés sur les figures suivantes. La forme X est pour le test de corrosion.



Poudre élaborée 32 μm poudre élaborée 20 μm



Poudre commercial

Figure 1.4 : (a) échantillons avec peinture-poudre élaborée 32 μm ; (b) échantillons avec peinture-poudre élaborée 20 μm ; (c) échantillons avec peinture-poudre commercial de zinc

Essai de corrosion

Les échantillons ont été immergés à la solution de corrosion de 1,5 litre d'eau distillé+ NACL + 25 ml de HCl dans pendant un total de 48 heures.

Tous les échantillons ont été exposés aux mêmes conditions d'essai. En remarque l'apparition de petites bulles de dihydrogène à cause de la solution de 1,5 litre d'eau distillé+ 20g NACL + 25 ml de HCl

La figure 3.6 présente une photo d'échantillons pendant l'essai de corrosion.

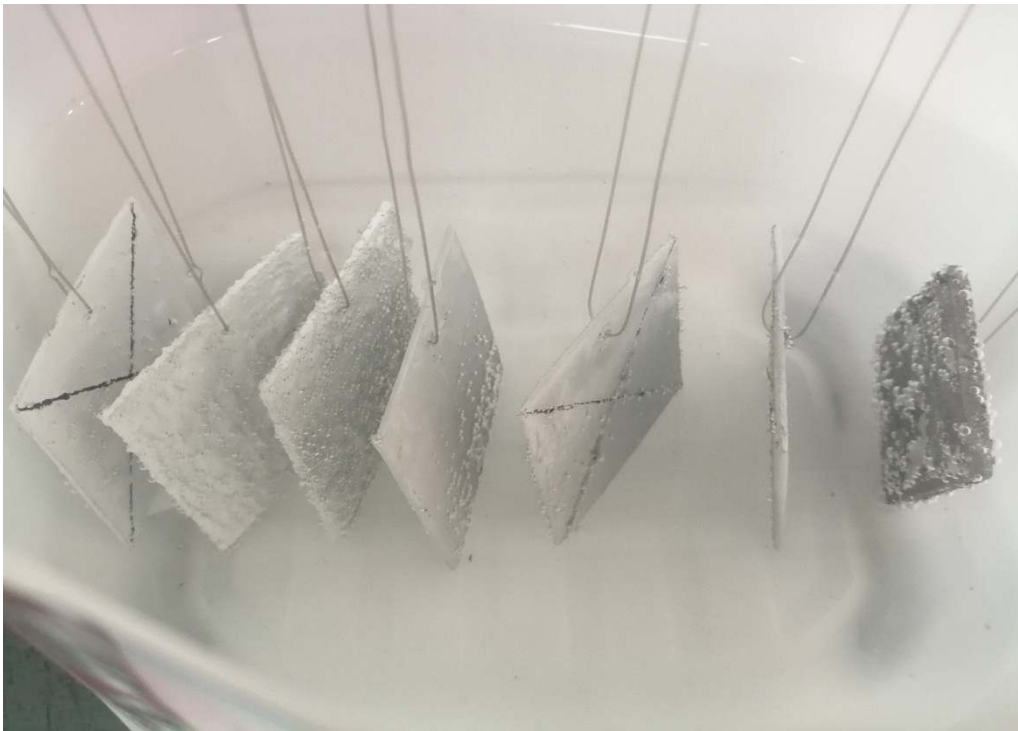
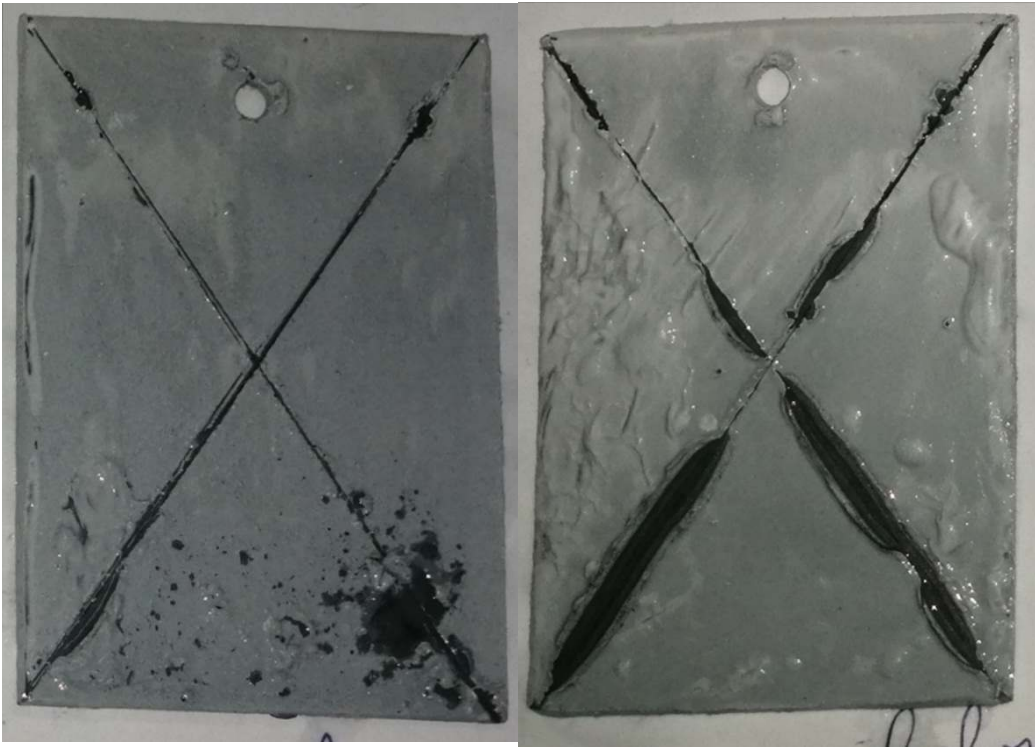


Figure 3.5 : les échantillons pendant l'essai de corrosion.

La réaction de HCL avec l'eau dégage la chaleur et des vapeurs corrosive.

Le zinc réagit également avec HCL, libérant de petites bulles de dihydrogène et formant du chlorure de zinc ZnCl_2



Poudre élaboré 32 μm Poudre élaboré 20 μm



Poudre commercial

Figure 3.6 : les échantillons après l'essai de corrosion

D'après les résultats de ces essais on remarque :

Dans le premier échantillon (peinture poudre élaborée 32 μ m : l'arrachement ou délaminage du revêtement

Dans le deuxième échantillon (peinture-poudre élaborée 20 μ m : un gonflement (mauvaise adhérence) du revêtement.

Dans le troisième échantillon (peinture-poudre commercial) : un gonflement du revêtement

On avait une infiltration de l'électrolyte, cela est dû à la présence de porosités de zinc ou d'oxyde de zinc.

Conclusion

Le but de cette étude est d'étudier la résistance à la corrosion des revêtements organiques ou bien des revêtements peinture riche en zinc. Le résultat de ce travail devait aboutir à une solution pratique qui augmenterait la durée de vie des matériaux.

Les poudres de zinc élaboré et la poudre commerciale sont utilisées comme charge dans la peinture organique pour produire des revêtements sur des plaques en acier, les revêtements sont déposés par application au pinceau et on les compare après l'essai de corrosion.

Les tests de corrosion accélérée sont essentiels pour le développement et la qualification de nouveaux matériaux, revêtements et traitements de surface, en particulier pour l'industrie aéronautique. Cependant, la pénurie de tests précis de corrosion qui concordent avec les conditions réelles de service a mené à une lourde dépendance aux tests extérieurs à long terme.

Les résultats de l'essai accéléré de corrosion après 48 heures d'exposition ont montré que pour la durée de l'essai, il n'y a pas de grande différence entre le revêtement de peintures-poudre commerciale et les revêtements des peintures-poudre élaboré. Ces revêtements soufflent de gonflement et d'arrachement. C'est une preuve que ces revêtements ont une mauvaise adhérence.

En général, la qualité du revêtement peinture plus poudre est améliorée lorsque la déposition de ce dernier est faite avec une bonne homogénéité, faible porosité et une bonne meilleure adhérence.

Références Bibliographiques

- [1] Xiaoge Gregory Zhang, « Corrosion and Electrochemistry of Zinc », Plenum (Ed.), New York, (1996).
- [2] Z. Panossian, L. Mariaca, M. Morcillo, S. Flores, J. Rocha, J.J. Peña, F. Herrera, F. Corvo, M. Sanchez, O.T. Rincon, G. Pridybailo, J. Simancas, *Surface and Coatings Technology* 90(2005)244-248.
- [3] GHEZAL.abdelwahab, KASSOUS.djamel eddine, mémoire de master, élaboration d'une poudre à base d'alliage de zinc comme renfort d'une peinture organique, 2017.
- [4] Xiaoge Gregory Zhang, « Corrosion and Electrochemistry of Zinc », Plenum (Ed.), New York, (1996).
- [5] M. Abe, Y. Shiohara, A. Okado "Coating Systems: Metallurgy and Performance", G. Krauss and D.K. Matlock (eds.), The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, Pennsylvania, (1990) 171-181.
- [6] A. Yasuda, S. Umino, K. Kyono, K. Yamamoto, ASM Corrosion-Resistant Automotive Sheet Steels Conference, Chicago, 24-30(1988) 21-30.
- [7] KHADOUDJ.guessoum, mémoire de doctorat, nouveaux alliages zinc-terre rare pour des applications anticorrosion: Elaboration, propriétés et traitements des surfaces, 2012.
- [8] Massalski TB et al., editors. "Binary alloy phase diagrams", Materials Park, OH: ASM International; (1993) 239.
- [9] DAVIS, J.R. " Handbook of Thermal Spray Technology " [Livre]. - United States of America: ASM International, 2004.
- [10] D. Bouvard et G. Cizeron « La métallurgie de poudre », N° 270, volume 25, 1994.
- [11] R. Cazaud « Métallurgie, mise en forme et traitement », Ed. Dunod, Paris 1974, pp75-88
- [12] M. Eudier « Métallurgie des poudres », Technique de l'Ingénieur ; M866.
- [13] Franck Toussaint. Etude expérimentale et simulation numérique de la mise en forme par compression et frittage de poudres. Mécanique [physics.med-ph]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2001. Français. <tel-00266456>
- [14] R. Mayer « Généralités sur la métallurgie des poudres », Technique de l'Ingénieur ; M860 – M862.
- [15] Gatt Association, Site web Disponible à l'adresse: <http://www.wto.org>

- [16] M. Pourbaix. Atlas d'équilibres électrochimiques à 25°C. Paris : Gauthier Villars, (1963).
- [17] Hassine Ferid Ayedi, Martine Depetris-Wery, sept. 2007, Électrozingage, Techniques de l'ingénieur Traitements de surface des métaux en milieu aqueux, ref. article : m1600, base documentaire : TIB359DUO, Editions T.I..
- [18] CES EduPack, 2011, *Database Process Universe*, Granta Design Limited. Software used in the Material Engineering section at the EPFL, available in the Material Engineering's computer room.
- [19] Galvazinc Association, Site web de l'association.
Disponible à l'adresse: <http://www.galvazinc.com>
- [20] SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION et RENFORCEMENT DE STRUCTURES, Site web de l'association.
Disponible à l'adresse: <http://www.stres.org>
- [21] TEGGUICHE. zakaria, mémoire de master, traitement de surfaces combinées d'un acier faiblement allié, 2015.
- [22] Xiaoge Gregory Zhang, «Corrosion and Electrochemistry of Zinc», Plenu (Ed.), New York, (1996).