REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Mécanique
Spécialité : ingénierie des matériaux et de surface

Prépration des poudres métallique à partir de l'arc fil, broyage et leur application sous forme de revêtement

---

Présenté par

Sekkai salima

Zitouni fariha

Proposé et Dirigé par

Djeghdjough Mohamed

Promotion 2019

DÉDICACES

C'est avec très grand honneur que je dédie ce travail:

A mon père, rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon édiction et mon bien être.

A La personne de la plus chère maman au monde qui par sa douceur et son amour sans limite est donnée pour mon éducation et mon bien être.

A mes chère frère Ali et Mourad et ma chère sœur Dalila.

Et ma chère Siradj et Soujoud

A tout ma famille Djihad ?Razika, Ahlem, Soumia , Malika, Djamila ,et Yhania ....

Ma chère Amis Kenza, Wissam , Samia,

Salima Sekkai

DÉDICACES

C'est avec très grand honneur que je dédie ce travail:

A mon père, rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon édiction et mon bien être.

A La personne de la plus chère maman au monde qui par sa douceur et son amour sans limite est donnée pour mon éducation et mon bien être.

A mes chers frères et mes chères sœurs.

A tout mes amis.

Zitouni Fariha

Remerciement

Nous remercions tout puissant « **ALLAH «** de nous avoir permis et aider à accomplir ce travail en nous assurant l'attente de notre objectif et arriver à notre but.

Nous tenons à remercier particulièrement monsieur **DJEGHDJOUGH MOHAMED** notre promoteur pour ses conseils, son assistance, son suivi et son soutient pour mener à tenir nos différents travaux de notre mémoire de fin d'étude.

Nous témoignons de notre gratitude à l'ensemble des enseignants de l'université **Dr.YAHIA FARES** de Médéa, et particulièrement les enseignants de département de génie mécanique.

Nous remercions le laboratoire de traitement de surface et matériaux (LTSM) du département de génie mécanique de l'Université SaadDahlab de Balida. Je remercie le Professeur Nacer-Eddine Bacha pour son travail et ses conseils pour réaliser ce mémoire. La grande chose que je n'oublie pas, c'est de bénéficier de son expérience et de sa compétence scientifique des matériaux.

Merci à tous ceux qui ont un moment ou un autre, nous ont apporté leur savoir faire
Tous nos remerciements vont à messieurs les membres du jury qui nous ont honorés par leur présence et leur sens du savoir.

Sommaire

Chapitre I : Classification des procédés de production des poudres métalliques.

Introduction.……..10

1-1-Méthode mécanique …….13

1-1-1- Broyage …….....13

1-1-1-1- Type de broyeur …….....15

1-1-1-2- Avantages et les inconvénients du procédé……. ……19

1-2- Méthode physique ……19

1--2-1 Atomisation……19

1-2-1-1 Atomisation par l'eau ……19

1-2-1-2 Atomisation par gaz ……..20

1-2-1-3 Atomisation sous vide ……..21

1-2-1-4 Atomisation centrifuge ……21

1-2-2 Méthode électrolytique ……..23

1-3 Méthode chimique …….24

1-3-2 Electrolyse ……..24

1-1-3-2 Décomposition thermique ……25

1-1-3-3La précipitation en phase gazeuse…….25

1-1-3-4 La précipitation en phase liquide……25

Chapitre II : Les caractérisations et les propriétés de poudre métallique :

2-1 Introduction……..28

2-2 La taille des particules …….28

2-2 -1 Tamisage …….29

2-2 -2 distributions granulométrie……30

2-2 -3 Sédimentation …….30

2-3 La forme des particules……31

2-4 Surface spécifique ……33

2-5 Densité ……..33

2-6 Fluidité (coulabilité)…….34

2-7 Compressibilité ……34

2-8 Analyse chimique …….....35

2-9 Conductivité thermique ……35

2-10Conductivité électrique…….36

2-11 Le point de fusion……36

Chapitre III : matériel et procédé

3 .1 Machine pour la production des poudres métalliques…….38

3.2Balance électronique…….39

3.3. Tamiseuse …….40

3.4. Microscope optique …….40

3.5. Pistolet flamme-poudre ROTOTEC 80 ……..41

3.6 Polisseuse grossier……42

3.7 Polissage de finition…….....43

3.8. Essai de perte de masse……43

Chapitre IV: résultat et discutions

4.1 Production de la poudre……....45

4. 2 Les résultats de tamisage …….46

4.3 Résultat de la métallographie……47

4.4 Application de la poudre produite sous forme d'un revêtement…….48

4.5 Etude métallographie ……49

4.6 Les résultats de perte de masse ……50

Conclusion générale ……..53

Références.

Liste des figures:

Figure 1.1 : le principe de broyeur mécanique……14

Figure 1.2 : schéma représenté le Broyeurs vibrants……15

Figure 1.3 : schéma représente un broyeur tournant……**16**

Figure 1.4 : schéma représenté le broyeur attriteur……..17

Figure 1.5 : Représentation schématique du broyeur planétaire……..17

Figure 1.6 : Représentation schématique du broyeur cylindres……18

Figure 1.7 : Schéma d'un atomiseur à l'eau……20

Figure I.8 : d'atomisation par gaz…….21

Figure1.9 : schéma représente atomisation sous vide……21

Figure I.10 : schéma représenté REP ET PREP …….22

Figure I.11 : Mécanismes de désintégration de la matière fondue pendant

L'atomisation de la force centrifuge……..23

Figure 1.12 : Principe d'électrolyse……24

Figure 2.1 : Définition de DV, un diamètre équivalent d'une sphère…….28

Figure 2.2 : Analyseur de tamis et divers types de tamis…….29

Figure 2.3 : Principe d'analyse de tamis……29

Figure 2.4 : Histogramme de distribution de la taille des particules……30

Figure 2.5 : Entonnoir pour mesurer l'écoulement de la poudre…….34

Figure 2.6 : La cristallographie aux rayons X……35

Figure 3 .1 : la machine d'un arc électrique entre deux filles……..38

Figure 3 .2 : particule fondu……39

Figure 3 .3 : la balance OHAUS……..39

Figure 3.4 : schéma représenté un tamiseur……...40

Figure **3.5** : microscope optique……..41

Figure 3.6 : torche de projection thermique…….. 41

Figure 3.7 : montage de projection thermique……42

Figure 3.8: la polisseuse grossière…….42

Figure 3.9 : la polisseuse de finition.…….43

Figure 4.1 : schéma représente préparation des poudres métallique par projection thermique ……45

Figure 4.2 : les poudres produites……45

Figure 4.3 : histogramme de tamisage de poudre (Al ; Zn)……47

Figure 4.4 : micrographie des particules de poudre d'aluminium……47

Figure 4.5: l'application de la poudre produite (Al ; Zn) comme un revêtement……48

Figure IV.6: les échantillons revêtus d'alliag (AlZn)…….49

Figure IV.7 : microstructure d'un revêtement d'aluminium……49

Figure IV.8 : l'échantillon montré après une minute l'essai de corrosion…….50

Figure IV.9 : l'échantillon montré après trois minutes l'essai de corrosion……51

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Différentes formes de grains de poudre selon les caractéristiques Géométriques Extérieures…….31

Tableaux IV.2 : résultat de tamisage de poudre (Al ; Zn)……46

Les traitements des matériaux regroupent l'ensemble des techniques permettant d'améliorer les propriétés chimiques, physiques ou mécaniques des produits industriels, on modifiant les caractéristiques superficielles des matériaux afin de leur apporter certaines propriétés spécifiques comme la résistance à la corrosion ou à l'usure, l'amélioration de la dureté ou de l'aspect décoratif. Pour ce faire on effectue des revêtements (métalliques ou organiques), des traitements de conversion (phosphatation, chromatisions) ou des traitements de diffusion qui apportent une grande valeur ajoutée aux matériaux en leur permettant de travailler dans des conditions extrêmes. **[1]**

La métallurgie des poudres est un ensemble de procédés technologiques permettant la réalisation de composants de formes prédéterminées à partir des poudres (métalliques, céramiques ou composites) dont la granulométrie et la constitution sont maitrisées. En pratique, il existe trois méthodes de fabrication des poudres : mécanique, physique et chimique. 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. **[2]**

Les revêtements par projection thermique sont parmi les procédés d'application de la métallurgie des poudres. Ces revêtements sont constitués par l'empilement de couches de lamelles.

Le but de notre travail est la production des poudres de zinc et l'aluminium par projection à arc fil, et possibilité d'utiliser ces deux poudres comme revêtements.

Notre recherche est organisé en deux partie qui sont divisé partie en deux chapitre le première partie en deux chapitre présenté les études bibliographique et le deuxième partie divisé en deux chapitre présenté les méthodes expérimentale.

Dans le première chapitre on a faire une étude bibliographique permettant de présenter classification des procédés de production des poudres métalliques.

Dans le deuxième chapitre on a présenté les déférente méthodes de caractérisations et les propriétés de poudre métallique, parmi c'est caractéristique : la taille et la forme des particules, surface spécifique, fluidité et la densité.

Dans le troisième chapitre on a présenté le protocole expérimental, dont l'appareil pour la production de la poudre ainsi que le matériel utilisé pour chaque caractérisation réaliser

Dans quatrième chapitre sont présentés les résultats de nous expérience ainsi que des discussions et des commentaires. Enfin une conclusion générale.

Chapitre I :

Les Classification des procédés de production des poudres

Introduction :

Généralement, les composants sont fabriqués à la taille et à la forme requise par usinage, coulée à chaud. Certains métaux ne peuvent pas être usinés à la forme requise. Certains métaux ayant un point de fusion élevé, il est difficile de le fondre et de le couler. Les inconvénients ci-dessus sont résolus par un procédé spécial appelé métallurgie des poudres.
Les poudres métalliques élémentaires (pures), ou sous forme d'alliages, sont la matière première de nombreuses applications industrielles (projection thermique, fusion laser…). L'élaboration de ces poudres métalliques peut être réalisée par plusieurs méthodes de fabrication. On distingue trois grandes familles d'élaboration de poudre métallique : les procédés mécaniques, essentiellement par broyage, les procédés chimiques, et enfin les procédés physiques essentiellement par atomisation. Chacune de ces méthodes d'élaboration a un impact sur les caractéristiques des poudres produites (distribution de particules, morphologie, microstructure…), ainsi que sur leurs applications.

Par définition de la métallurgie des poudres ; est une science de la production de poudres métalliques et leurs alliages et de la fabrication d'objets finis ou semi-finis, avec ou sans addition de constituants non métalliques.

1.1. Les Classification des procédés de production des poudres métalliques :

Les caractéristiques de la poudre jouent un rôle important dans le processus de fabrication des pièces solide par métallurgie de poudres et déterminent en partie leurs propriétés finales. La forme, la taille, la coulabilité, la densité apparente, la surface spécifique, etc., sont des propriétés de la poudre à l'issue de son élaboration. Il y a de nombreuses méthodes de fabrication de poudres qui peuvent être regroupées en 3 principales techniques : méthode mécanique, physique et chimique etc…

1.1.1 **Méthode mécanique :**

Du point de vue mécanique, les techniques couramment utilisées sont celles du broyage .

1.1.1. Broyage :

Le broyage est une technique très utilisée pour fabriquer des poudres en partant de matériaux ductiles ou fragiles. Le matériau est placé dans un récipient contenant des billes ou des barres, marteaux ou rouleaux dures, animés d'un mouvement rotatif ou vibratoire permette la fracturation des poudres par choc. Qui fragmentent les particules par impact et ainsi diminuent la taille de la poudre. La taille de la poudre dépend essentiellement du temps de broyage. **Figure 1.1.**

Pour les matériaux ductiles tels que l'aluminium, le cuivre, le fer, l'or et l'argent. Pour la fabrication des poudres frittées. Un lubrifiant est ajouté pour empêcher le soudage des particules individuelles les poudre de flocon trouvent de nombreuses application dans les peintures et les encres, mais ne son généralement pas adaptés pour la consolidation ultérieure en plusieurs pièces.

Pour les matériaux fragiles se prêtent à une attrition mécanique comme la principale méthode pour la production de poudre. Cette approche est la plus efficace sur les métaux ou alliages de dureté intermédiaire (et donc la résistance) et ainsi que la ductilité pour cette combinaison de propriétés. L'énergie mécanique nécessaire pour la fragmentation est minimale. L'antimoine, le bismuth, et le béryllium entrent dans cette catégorie. Dans ce dernier cas, un broyage mécanique doit être effectué dans une atmosphère inerte pour réduire l'oxydation. **[1 ;11]**

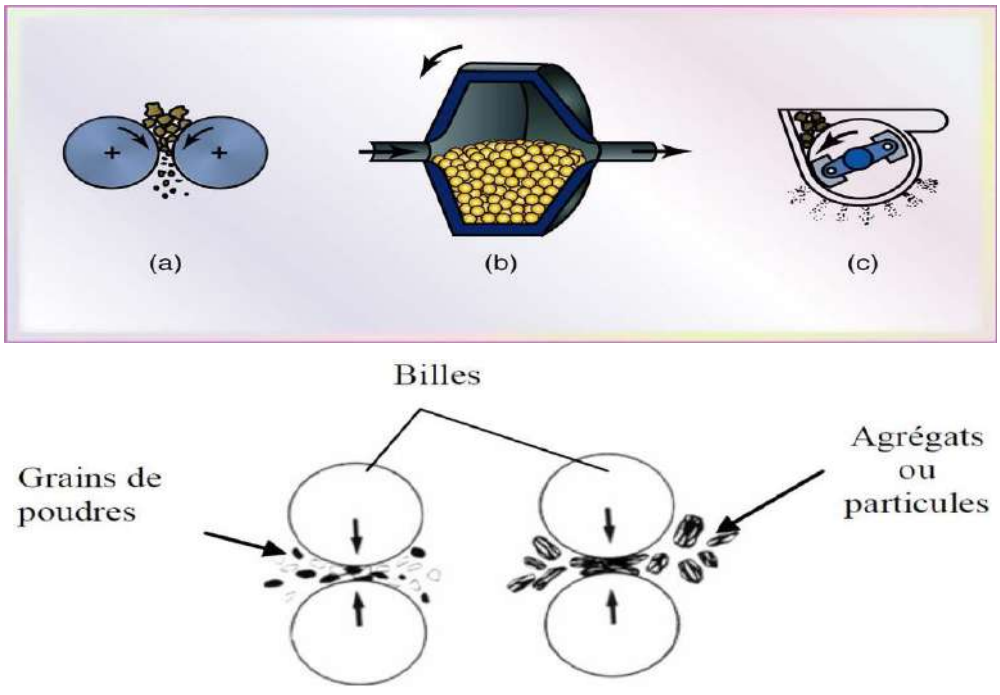


Figure 1.1: le principe de broyeur mécanique **[3]**

Ce broyage peut être réalisé par voie sèche ou humide.

Cette méthode permet aussi de fabriquer des alliages à partir de mélanges de poudres de différentes caractéristiques. [1]

1.1.2. Type de broyeur :

II y a plusieurs types de broyeurs

- **Broyeurs vibratoires :**

Le principe de ce broyeur est basé sur un mouvement vibratoire à haute fréquence d'un cylindre contenant la poudre et les billes. Ce dernier peut traiter une certaine quantité de poudre dans un temps relativement court. **Figure I.2**

Ils se présentent le plus souvent sous la forme d'un cylindre à axe horizontal animé d'un mouvement vibratoire. Les mouvements des billes et des particules de poudre dépendent de nombreux facteurs, dont la fréquence et l'amplitude de vibration, la courbure des parois de l'enceinte, etc… Les forces d'impact dépendent également de la masse des éléments broyant. Un broyage très énergétique peut être obtenu en utilisant des fréquences élevées et des amplitudes faibles. 1es billes utilisées sont généralement plus petites que dans un broyeur a tambour. Ces broyeurs très énergétiques sont très efficaces pour produire des alliages à I 'état solide et des métaux renforcés par dispersion d'oxydes. **[4]**

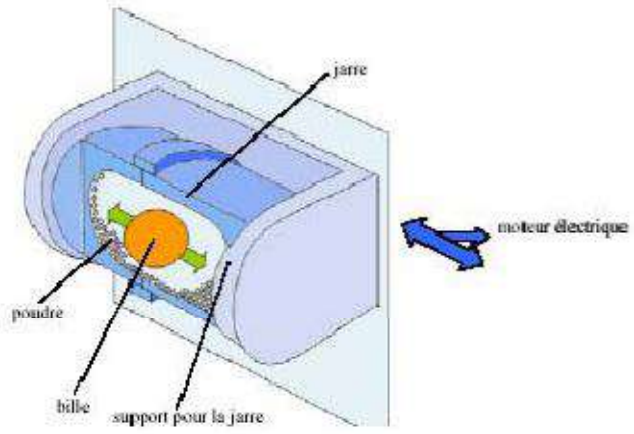


Figure 1.2: schéma représente la broyeur vibrant. **[5]**

- **Broyeurs tournant** :

Ces broyeurs sont des tambours tournants cylindriques a axe horizontal **figure (1.3).** Le mouvement des billes a l'intérieur de l'enceinte dépend de la vitesse de rotation (généralement quelques dizaines de tr/min) elles peuvent soit rouler en rangées parallèles le long de la paroi en écrasant la poudre contre celle-ci, soit tombé en chute libre sur les autres billes et les particules au fond du tambour. Des arêtes peuvent être placées à l'intérieur de la cuve pour favoriser l'entraînement des billes et de la poudre. Les billes ont généralement un diamètre de 6 a 25 mm pour un diamètre de broyeur compris entre 1,2 et 1,8 m. Les durées de broyage sont plus longues que dans un attriteur ou un broyeur vibrant, mais la productivité est nettement supérieure- Ces broyeurs sont habituellement utilises pour broyer des métaux, en utilisant un adjuvant destiné à empêcher l'agglomération par soudage et limiter l'oxydation. Figure I.3. **[4]**

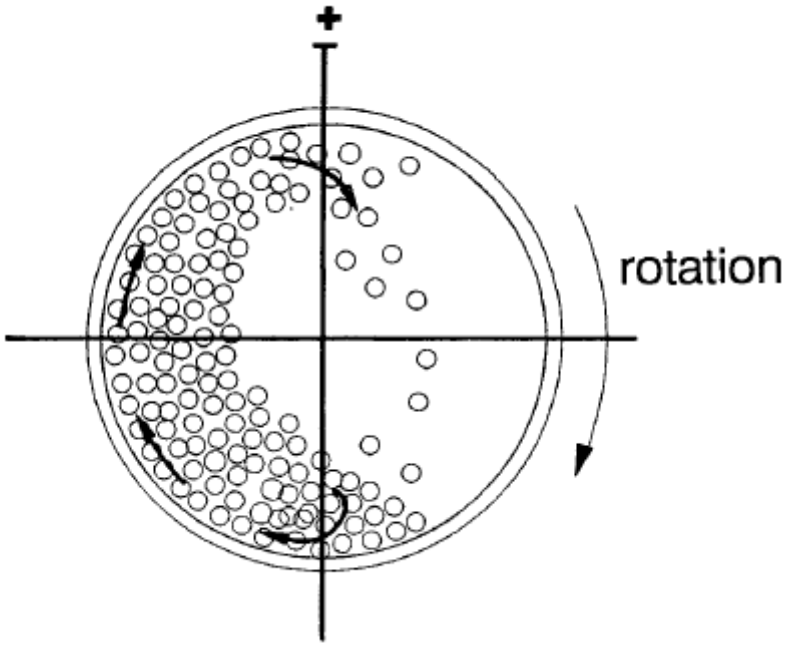


Figure 1.3 : schéma représenté un broyeur tournant.

- **Broyeurs attriteurs :**

Dans lequel plus de 1000 billes de 0,2 à 1 cm de diamètre sont entre tenues avec la poudre dans un caisson vertical et sont agitées par des éléments fixés à l'axe, qui tourne. **Figure 1.4 [6]**

Les broyeurs de ce type sont constitués d'une cuve cylindrique munie d'un arbre tournant vertical sur lequel sont fixés des bras horizontaux entraînant les billes dans leur mouvement.

Le broyage s'effectue par impact et par cisaillement.

Pour les matériaux durs (céramiques, carbures ou métaux durs), les attriteurs sont plus efficaces que les broyeurs tournants ou vibrants. Dans des mélanges de carbure de tungstène et de cobalt utilise pour la fabrication d'outils coupants, ils permettent d'obtenir rapidement une poudre très fine (< 1µm) avec une excellente répartition du cobalt. Ces broyeurs peuvent aussi être utilisés pour broyer des poudres métalliques sous atmosphère inerte, par exemple pour réaliser le mécano synthèse, mais ils sont dans ce cas nettement moins intéressants du point de vue économique que les gros broyeurs tournants ou vibrants. **[4]**

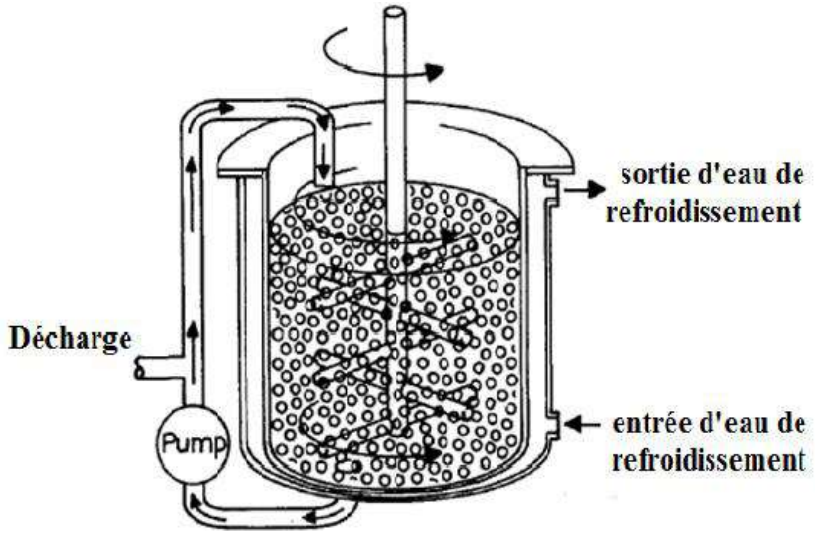


Figure 1.4 : schéma représente un broyeur attriteur

- **Broyeur planétaire :**

Présenté en Figure I-5 broyeur planétaire. Deux ou quatre jarres contenant de la poudre et des billes sont fixées sur un disque en rotation à la vitesse angulaire. Les jarres, quant à elles, tournent dans le sens opposé.

Nous avions a notre disposition deux types de jarres et de billes : en acier et en carbure de tungstène. Lors de broyage, seules les jarres et billes en acier ont été retenues, car celles en Carbure de tungstène provoquaient un broyage trop énergétique, conduisant a d'importants Problèmes de collage. Le broyage étant une opération exothermique, il est important de réaliser des Pauses entre les cycles de broyage afin de laisser refroidir la poudre et les jarres. **[7]**

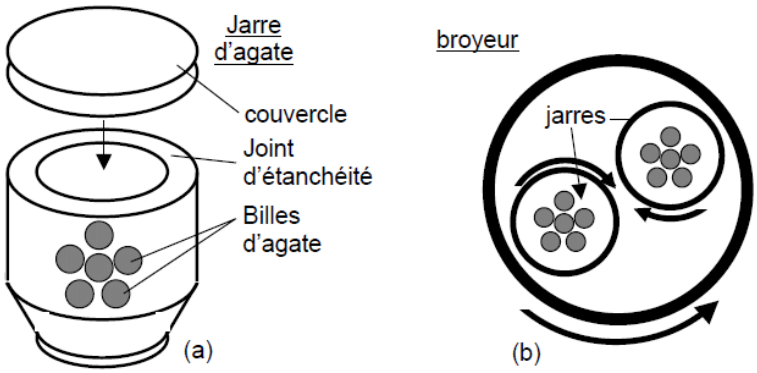


Figure 1-5: Représentation schématique du broyeur planétaire.

- **Broyage cryogénique**

Le broyage cryogénique a été effectue avec un broyeur CryoMill de la société Retsch. Le Principe est : la poudre et les billes sont placées dans le bol qui est maintenu a la température de -196°C par de l'azote liquide pendant toute la durée de l'opération. Afin d'assurer l'apport d'azote liquide dans la machine, la bouteille d'azote est mise sous pression a environ 0,5 bar (pression relative) par de l'air comprime. Le broyage est assure par un mouvement alternatif secouant le bol de gauche a droite a une fréquence donnée. Les paramètres les plus importants du procède sont comme précédemment le rapport _ auquel s'ajoute la fréquence de broyage. Il est aussi possible de broyer sans utiliser le refroidissement. Différents paramètres ont été testes dans le but d'obtenir des poudres les plus homogènes possible (cœur de particule affecte mécaniquement). L'utilisation ou non du refroidissement a également été teste pour évaluer l'influence de celui-ci et développer des cycles plus économiques en azote liquide. **[7]**

- **Broyeurs à cylindres**

Les cylindres peuvent être lisses ou striés de fines cannelures et tournent presque l'un au contact de l'autre à des vitesses différentielles ou synchrones (voir Figure I.6 ci dessous). Dans certains appareils où les surfaces doivent être soigneusement polies, une rectifieuse automatique montée sur le broyeur permet de maintenir l'état de surface des cylindres. De même, pour le traitement des produits collants, des racloirs réglables sont prévus sur les appareils. Le réglage de l'écartement des cylindres se fait par un système de coins ou par vis micrométrique. La pression de broyage est généralement obtenue par voie hydraulique **[8]**

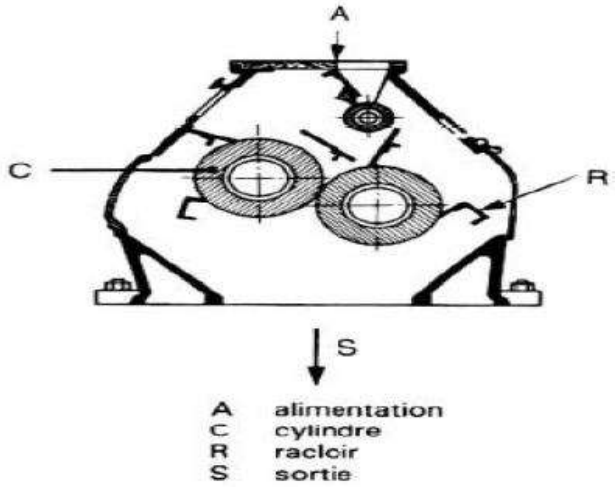


Figure I.6 : schéma représenté un broyeur cylindre. **[8]**

1-1-1-1-3 Avantages et les inconvénients du procédé :

1- Avantage

- Le broyage augmente la surface d'échange entre le solide pulvérulent et le milieu extérieur (liquide, gaz);
- Il permet de faciliter le mélange avec un autre solide;
- Il augmente les transferts dans des opérations de séchage, refroidissement ou chauffage, extraction, etc.

2- Inconvénients :

- Le broyage est une opération consommatrice d'énergie ;
- La maintenance des appareils est coûteuse ;
- Les investissements sont lourds.

1-1-2 Méthode physique :

Les méthodes physiques se réfèrent essentiellement aux techniques *d'atomisations, méthode électrolytique*

1-1-2-1 Atomisation :

L'atomisation consiste à pulvériser un filet de métal ou d'alliage fondu par un jet de gaz ou d'eau sous pression. Ce procédé est l'un des procédés les plus utilisés pour la fabrication

de poudres car il permet d'obtenir des poudres avec une haute pureté et dans le cas d'atomisation au gaz, les poudres sont sphériques.

La centrifugation d'un jet de métal liquide sous vide permet de disperser les gouttelettes qui refroidissent dans sa trajectoire.

La forme des particules est aussi sphérique **[2]**

1-1-2-1-1 Atomisation par l'eau :

Un schéma d'un atomiseur à l'eau est présenté à la Figure 1-7. Des jets d'eau haute pression sont dirigés vers le filet de métal en fusion, ce qui force le bris du film de métal liquide en fines gouttes qui se solidifieront rapidement par la suite. Les principales composantes d'un système d'atomisation à l'eau sont l'équipement de fusion, le système de pressurisation de l'eau, les buses d'atomisation, la chambre d'atomisation et le système de collecte et de séchage de la poudre produite. Tout dépendant du métal ou de l'alliage à atomiser, la charge est fusionnée par induction à l'air, sous gaz inerte ou sous vide. Des fours de fusion à arc électrique ou au gaz sont aussi quelquefois utilisés.

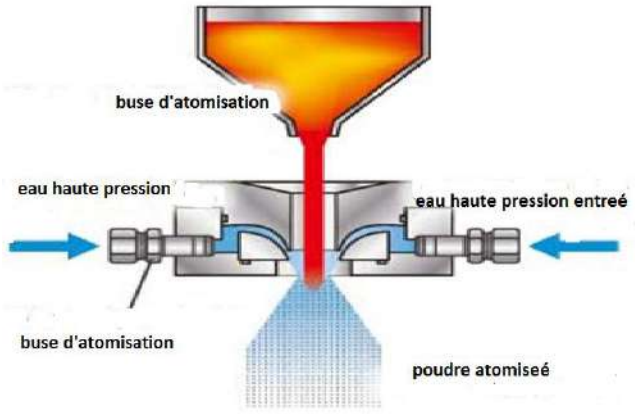


Figure 1-7: Schéma d'un atomiseur à l'eau **[9]**

1-1-2-1-2 Atomisation par gaz :

La méthode la plus commune de production de poudre. La matière première est fondue sous une couverture d'air ou de gaz inerte, ou bien sous vide. La chambre est ensuite remplie de gaz pour forcer le passage de l'alliage en fusion dans une buse dans laquelle un écoulement d'air ou de gaz N, He ou Ar à grande vitesse vient heurte la coulée pour la briser. La poudre est généralement sphérique et comporte quelques particules se forme de satellite quand une

particule plus petite se colle à une autre d'un volume plus important au cours de la solidification. La granulométrie vari entre de 1 à 500 micromètre. En générale utilisée pour des alliages de Ni, Co et Fe, mais également disponible pour des alliages de Ti et d'Al. **Figure 1-8**

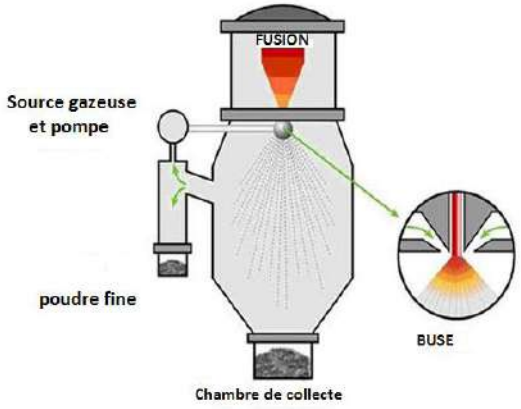


Figure I.8: d'atomisation par gaz **[9]**

I-1-2-1-3 Atomisation sous vide :

La technique d'atomisation sous vide ou d'exploration en fusion utilise la dépendance à la pression de la solubilité dans mes métaux en fusion. Après l'induction sous vide, la masse fondue est saturée à une pression accrue (1-3MPa) avec un gaz, généralement de l'hydrogène. Le système de buses en céramique est ensuite immergé dans la masse fondue pour le connecter à la chambre d'atomisation sous vide. Le gaz est libéré spontanément et décompose le flux de fusion en gouttelettes. La morphologie des poudres obtenue est similaire à celle des poudre atomisées sous gaz inerte, à la fois en forme de particules et en taille. **[10]**

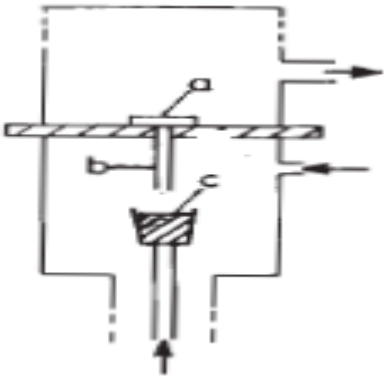


Figure 1.9 : schéma représente atomisation sous vide**. [11]**

a- piège de porte.

b- tube de transfert.

c-métal de fusion.

1-1-2-1-4 Atomisation centrifuge :

Les procédés d'atomisation à l'état fondu utilisant la force centrifuge peuvent être divisés en une étape et en deux étapes (Figure I-9). Les méthodes de base utilisant le procédé en une étape incluent le processus d'électrode de rotation (REP) et le procédé d'électrode rotative de plaz (PREP).

Le procédé REP, un film liquide est produit à la surface d'une barre d'alliage consommable à rotation rapide par un arc (processus d'électrode tournante), un plasma ou une source de faisceau d'électrons. L'électrode ou la barre d'alliage, qui tourne jusqu'à 15 000 tr / min, doit répondre à des exigences strictes en matière de stabilité, d'uniformité et de qualité de surface. La matière fondue ne peut pas être surchauffée car le matériau fondu s'écoule rapidement de l'électrode. Le processus en Le processus en deux étapes surmonte ces problèmes par la séparation des étapes de fusion et de fusion-intégration. Ce dernier est effectué par une roue, un disque ou une coupelle refroidis à rotation rapide. Le problème avec le processus en deux étapes est de transférer des vitesses de rotation à la fusion. **[9]**

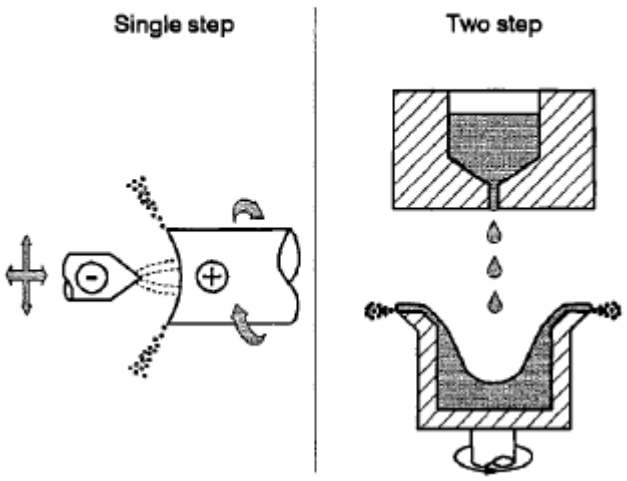


Figure 1-10 : schéma représenté REP ET PREP. **[9]**

La base d'atomisation centrifuge est l'éjection d'un métal fondu provenant d'un récipient tournant à haute vitesse, plaque ou disque avec une récipient tournant à haut vitesse, la force centrifuge provoque l'élévation pour déplacer le métal liquide à la lèvre ou le liquide est éjecté sous forme de gouttelettes. Puis refroidis dans l'environnement de la chambre de collecte ou peuvent être refroidis par un gaz soufflé. **[11]**

Le diamètre des gouttelettes de liquide diminue avec l'augmentation de la vitesse de rotation. La forme des particules est sphérique. L'un des avantages de l'atomisation centrifuge réside dans la plage étroite de distribution granulométrique. La taille moyenne des particules est toutefois relativement grossière, dans la plage de 150 à 250 µm pour les procédés en une étape. Les poudres d'une taille moyenne de 80 à 90 µm ne peuvent être préparées que dans des installations en deux étapes, où une vitesse de rotation du creuset allant jusqu'à 25 000 tr / min est réalisable.

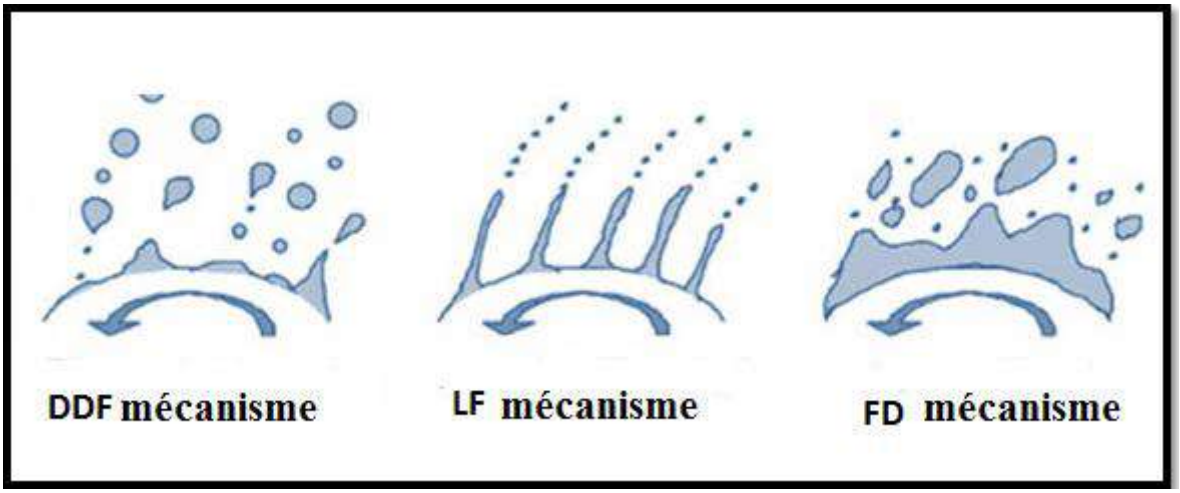


Figure 1-11 : Mécanismes de désintégration de la matière fondue pendant

L'atomisation de la force centrifuge ; (DDF) : la désintégration de la matière fondue se fait par le mécanisme de formation directe de gouttes ; (LD) : le mécanisme de désintégration de ligament ; (FD) : le mécanisme de désintégration du film.

L'avantage principal de l'atomisation centrifuge en une seule étape est que la masse fondue n'a aucun contact avec les creusets ou les chemises en céramique. Le procédé convient donc à la production de poudres réfractaires telles que le tungstène ou de poudres hautement réactives, par exemple des alliages de titane. La capacité de production est faible (1-6 kg min^{-1}). L'atomisation centrifuge deux étapes est utilisée pour la production d'aluminium, d'alliages de titane, de superalliages et de poudres de métaux réfractaires. **[9]**

1-1-2-1-4 Méthode électrolytique :

C'est un procédé simple, ou le métal à poudrer sert d'anode (positif) et le métal sur lequel la poudre droit être déposée sert de cathode (négatif). Les deux métaux sont plongés dans un électrolyte. Lorsque l'alimentation en courant contenu est donnée, le métal de l'anode se déposé sur la cathode comme une éponge. Ensuit la poudre métallique est séparée.

L'électrolyte est une solution saline de métal à mettre en poudre. A titre d'exemple, La solution de sulfate de cuivre est utilisée comme électrolyte pour produire de la poudre de cuivre. Qui va être adsorbée sur une plaque d'aluminium qui sert comme de cathode. Cette méthode et aussi utilisé pour la production de zinc, étain, nickel, cadmium, antimoine, argent, plomb, béryllium.

1-1-3 Méthode chimique :

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 :

1-1-3-1 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.

Figure 1-12

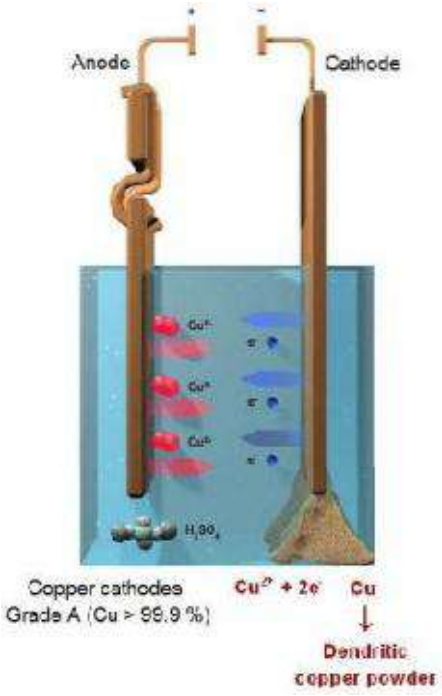


Fig. 1-12 : Principe d'électrolyse

1-1-3-2 Décomposition thermique :

Dans ce procédé de production de poudre du métal se condense à partir de sa phase vapeur sous forme de poudre. Le cadmium et le zinc sont produits commercialement de cette façon. La poudre est de forme sphérique avec de petites particules ; d'un diamètre 5×10^{-8}m. De même, la pyrolyse gazeuse est largement utilisée pour produire des poudres de nickel et de fer. Les deux carbonyles nickel et fer de forme métallique qui, lorsqu'elle est refroidie dans des conditions soigneusement contrôlées, brisée à la poudre élémentaire. La poudre de fer carbonyle est généralement sphérique avec un diamètre moyen de particule 10µm. en revanche, la poudre de carbonyle de nickel est irrégulière et poreuse. Les principales impuretés dans les deux poudres sont le carbone, l'azote et l'oxygène. [11]

1-1-3-3La précipitation en phase gazeuse :

Dans la précipitation en phase de gaz, la poudre est produite par la réduction d'un composé du métal sous forme gazeuse. Par exemple, le sodium ou magnésium réduisent les chlorures anhydres gazeux des éléments réactifs tels que le titane, le zirconium et le vanadium.la poudre résultante est spongieuse et doit être pulvérisé. D'autres réaction de précipitation en phase gazeuse comprennent la réduction des hexafluorures ou des oxyde de molybdène et de

tungstène par le l'hydrogène gazeux.la réduction des hexafluorures de tungstène résulte une poudre fine sphérique de tungstène.[11]

1-1-3-4 La précipitation en phase liquide :

Les techniques hydro métallurgique dépondent du fait que, sous certaines conditions, les poudres de métaux purs sont précipitées à partir des sels par l'hydrogène lorsqu'ils sont soumis à une combinaison appropriée de haute température et pression. La réaction chimique est de la forme :

$M^{2+} + H_2 \rightarrow M^0 + 2H^+$

Le nickel, le cuivre et le cobalt sont le plus souvent fabriqués de cette manière. A titre d'exemple spécifique, le traitement du sulfate d'amine de nickel avec de l'hydrogène à 20°C et sous une pression de 2.413 MPa résulte la précipitation direct de poudre de nickel. La forme des particules peut changer de sphérique en irrégulière en changeant la combinaison température-pression. Pour la poudre de cuivre, une solution de sulfate est utilisée.cinétiquement, la réduction du sulfate est augmentée par une concentration faible en H^+, une forte concentration Cu^{2+}.et une haute pression de H_2. La pureté de la poudre est élevée et une distribution de taille appropriée pour le compactage ultérieur. [11]

Chapitre *II :*

Caractérisations et les propriétés De la poudre métallique

2 .caractérisation et propriétés de poudre métallique :

2-1 Introduction :

L'observation des propriétés des poudres métalliques est surtout importante pour la compréhension des processus basiques de la métallurgie des poudres. Un comportement des Poudres au cours de processus particuliers de leur transformation en un matériau compact dépend de nombreux paramètres. Le meilleur contrôle des propriétés d'un matériau en poudre initial, le plus précisément le produit final est fait, avec moins de déviations admissibles de ses propriétés. Les propriétés des poudres métalliques, en particulier la taille, la forme et la distribution des particules, dépendent d'une méthode de fabrication et de traitement. Lors de la caractérisation des poudres, il est nécessaire d'évaluer les propriétés des particules individuelles (taille, forme, composition chimique, microstructure, densité, microdureté) ainsi que leurs propriétés volumiques communes, telles que la fluidité, les propriétés de surface, etc.

2-2 La taille des particules :

Une taille de particule peut être définie sur la base des caractéristiques géométrique d'une projection des particules. Considérant que les particules sont généralement de tailles irrégulières. La distribution de taille des particules est mesurée par différents méthode, la plus utilisée étant le tamisage. Il existe d'outre méthode sédimentation ou la diffraction laser. La microscopie est aussi utilisée pour déterminer la taille des particules mais le problème de cette technique est la représentativité de l'échantillon analysé. La méthode par adsorption de gaz (BET) est souvent utilisée pour calculer la taille moyenne des poudres céramiques de l'ordre des quelques microns ou inférieure. [2]

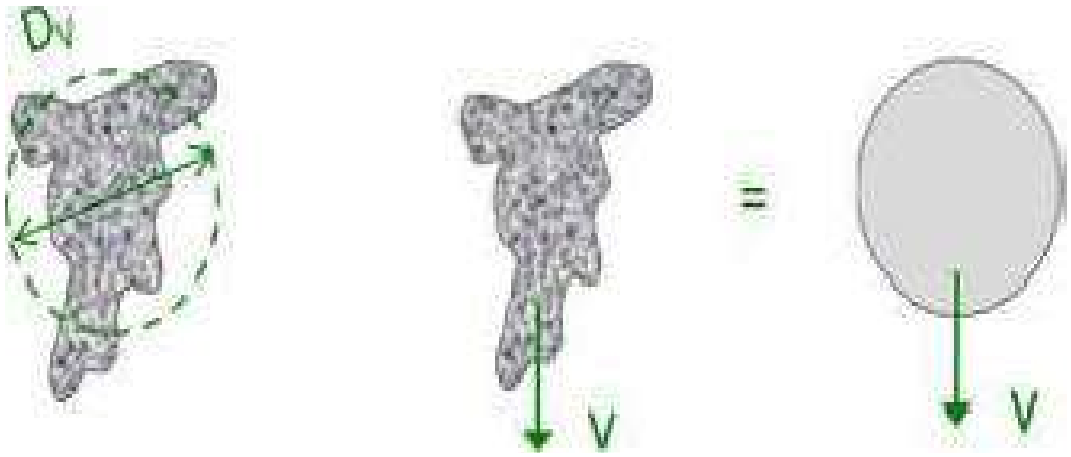


Figure 2.1: Définition de DV, un diamètre équivalent d'une sphère.

DV : un diamètre d'une sphère qui a un volume V identique à celui de la particule.

2-2 -1 Tamisage :

Il est possible d'obtenir des tamis standard pouvant être rattachés à l'Institut national de la normalisation et de la technologie (NIST) pour déterminer la distribution granulométrique. Cette méthode utilise des tamis spéciaux. Pour réalisée un mouvement vibratoire (140 -160 cycles / min). **[12]**

Une tamiseuse est constituée d'un système de tamis de différentes tailles de mailles **(Fig. 2.2).** Ces tamis comprennent un treillis métallique avec une épaisseur de fil et un espacement exactement définis entre des fils particuliers. Des micro-tamis en feuilles métalliques, fabriqués par la méthode électrochimique, peuvent être utilisés pour l'analyse par tamisage de particules très fines. A l'aide du tamisage, on peut obtenir sur chaque tamis les fractions particulières de particules qui sont tombées à travers tous les tamis supérieurs, mais qui ne sont pas tombées à travers le tamis inférieur **(figure 2-3).** Le nombre de tamis utilisés dépend de divers diamètres des particules mesurées.



Fig. 2-2 Analyseur de tamis et divers types de tamis. [13]

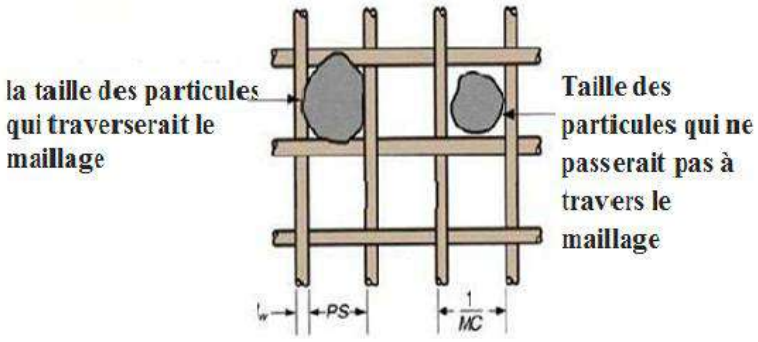


Fig. 2-3 Principe d'analyse de tamis. **[13]**

2-9 Distribution granulométrique:

Chaque matériau en poudre a des particules de tailles différentes; les tailles diminuent continuellement d'une taille maximale à une limite inférieure. D'un point de vue pratique, cette gamme de tailles est divisée en plusieurs classes, chacune couvrant des particules avec une différence de taille spécifique.

Ces proportions quantitatives peuvent être décrites soit comme une distribution cumulative, soit comme une distribution de fréquence. La distribution de fréquence est affichée sous la forme d'un histogramme **(figure 2-4).**

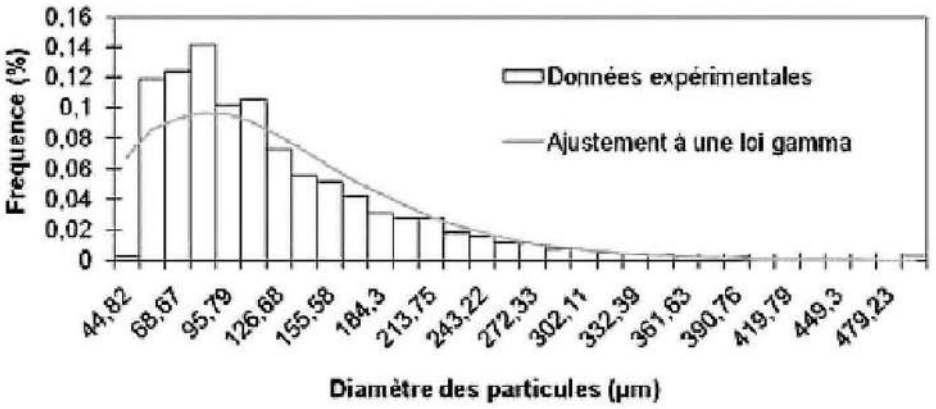


Fig. 2-4 Histogramme de distribution de la taille des particules. **[14]**

II-2 -3 Sédimentation :

Dans les procédures de sédimentation, très souvent la dispersion des particules est analyse en termes de sédimentation. Dans ces cas là on s'intéresse davantage à la stabilité de la suspension de particules; ces études sont en général effectuées sur des particules de faibles diamètres.

A la condition de particules sphériques et dans le cadre de la loi de Stokes, c'est-à-dire au Nombre de Reynolds Re < 0,25, la taille de particule Dst peut être déterminée à partir de la vitesse de chute:

$$\mathrm{Dst} = \frac{18}{g}\,\frac{\eta\, h}{\rho s - \rho l\ \ t}$$

Dst : est un diamètre d'une sphère équivalente

g : accélération gravitationnelle (m / s^2)

η : viscosité du liquide (ou de l'air) (m2 · s^{-1})

h: hauteur de sédimentation (m)

t : temps de sédimentation

ρs: Poids spécifique des particules (kg / m^3)

ρl: Poids spécifique du liquide (ou de l'air) (kg / m^3).

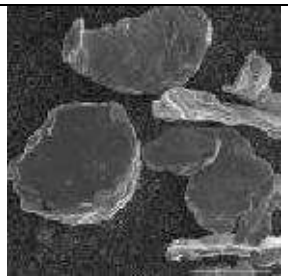
2-3 La forme des particules :

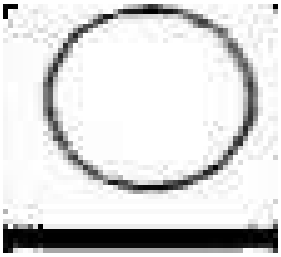
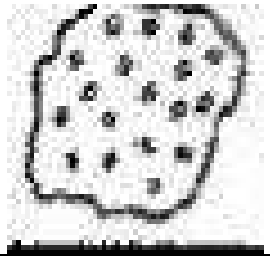
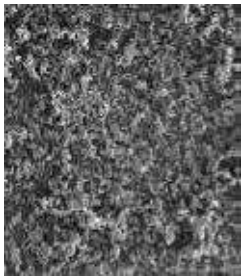
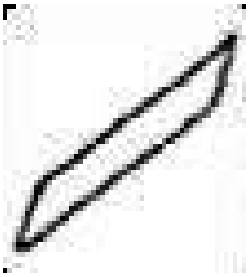
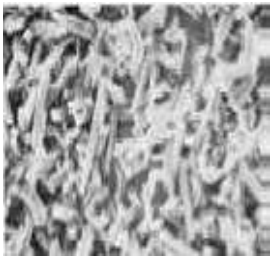
Une forme des particules dépend de la nature de matériaux de la poudre et du procédé de sa fabrication.

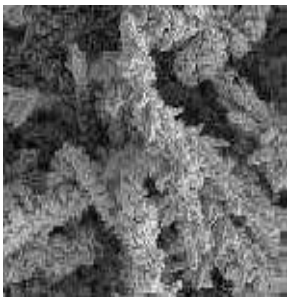
Différentes formes de particule de poudre selon les caractéristiques géométriques extérieures sont présentées dans le **tableau 2.1**

Les particules ne diffèrent pas seulement par la forme mais souvent aussi par la qualité de la surface. Certaines particules peuvent avoir une surface presque lisse, par exemple. Particules préparées par atomisation, condensation ou décomposition du carbonyle. D'autres poudres peuvent avoir des surfaces quelque peu rugueuses. [2]

Tableau 2.1 : Différentes formes de grains de poudre selon les caractéristiques géométriques Extérieures **[13]**

La forme	**Forme géométrie**	***Image microscopie***	***La méthode utilisée***
Floconneux			Procédé mécanique
Arrondi			atomisation, décomposition chimique

Sphérique			atomisation, carbonyle (Fe), précipitation d'un liquide)
Particules avec pores internes (poreux, spongieux)			réduction des oxydes
Aciculaire			Procédé mécanique
Angulaire			désintégration mécanique, carbonyle (Ni)

Forme irrégulière			atomisation, décomposition chimique)
Tige irrégulière			décomposition chimique, fragmentation mécanique
Dendritique			électrolyse

2-4 Surface spécifique :

La surface spécifique de la poudre (aire de la surface des particules par unité de masse de poudre) est une propriété très importante. Elle est le plus souvent mesurée par la méthode d'adsorption de gaz sur la surface de la poudre. La méthode dite BET est la plus utilisée. [11]

2-5 Densité :

Cette propriété nous donne une information sur la porosité interne de la poudre, à ne pas confondre avec celle du compact. Plusieurs méthodes sont utilisées et définies pour déterminer la densité de poudres:

- **Densité absolue:** La masse volumique d'un matériau solide exprimée en grammes par centimètre cube.
- **Masse volumique:** poudre dans un récipient ou une corbeille exprimée en unité de masse par volume.
- **Densité apparente:** Le poids d'une unité de volume de poudre, généralement exprimé en grammes par centimètre cube, déterminé par une méthode spécifique.
- **Densité du tapotement:** Densité d'une poudre lorsque le réceptacle de volume est tapé ou vibré dans des conditions spécifiques lors du chargement. [11]

2-6 Fluidité (coulabilité) :

Le débit correspond au temps requis par un poids ou un volume de poudre pour s'écouler dans un entonnoir qui est montré sur la figure 2.5. , appelé débitmètre de Hall (ISO 4490, ASTM B212). La poudre à écoulement libre formera un «angle de repos» constant à utiliser pour mesurer la fluidité (ISO 4324: Agents de surface, agents pulvérulents et granulés; mesure de l'angle de repos**). [11]**

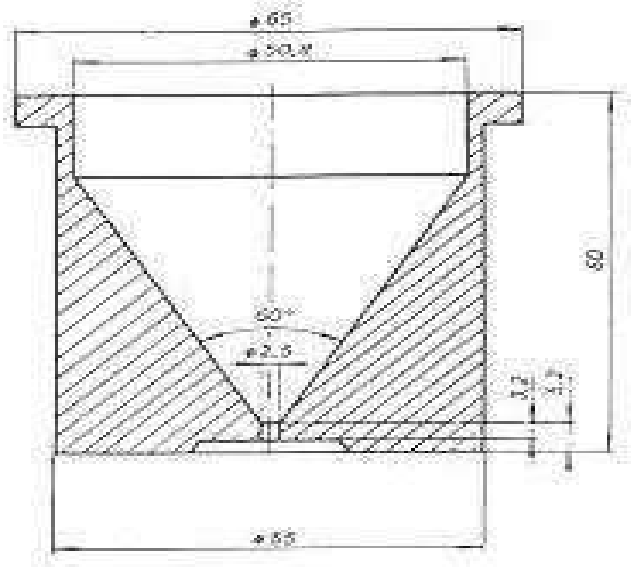


Figure 2-5 Entonnoir pour mesurer l'écoulement de la poudre. **[2]**

2-7 Compressibilité :

C'est l'aptitude de la poudre à diminuer de volume sous l'effet de la pression. Elle a fait l'objet d'un très grand nombre de travaux, c'est ainsi que plusieurs équations ont été proposées reliant la pression à une mesure de consolidation telle que la densité, la porosité ou le volume.

2-8 Analyse chimique :

La composition chimique sert à avoir des informations sur la qualité de la poudre produite par déférent procédés et la comparer à la matière première. Toutes les méthodes disponibles sont essentiellement utilisées:

Par voie humide : Spectroscopie d'absorption atomique (SAA)

Spectroscopie d'émission optique (OES)

Analyse fluorescente aux rayons X (XRF)

Spectroscopie de masse des ions secondaires (SIMS)

Spectroscopie électronique Auger (AES)

Spectroscopie électronique à analyse chimique (ESLA, XPS, ESCA. **[11]**

Analyse par rayons X à dispersion d'énergie (EDX) le plus utilisé. Voir la **figure II-6**

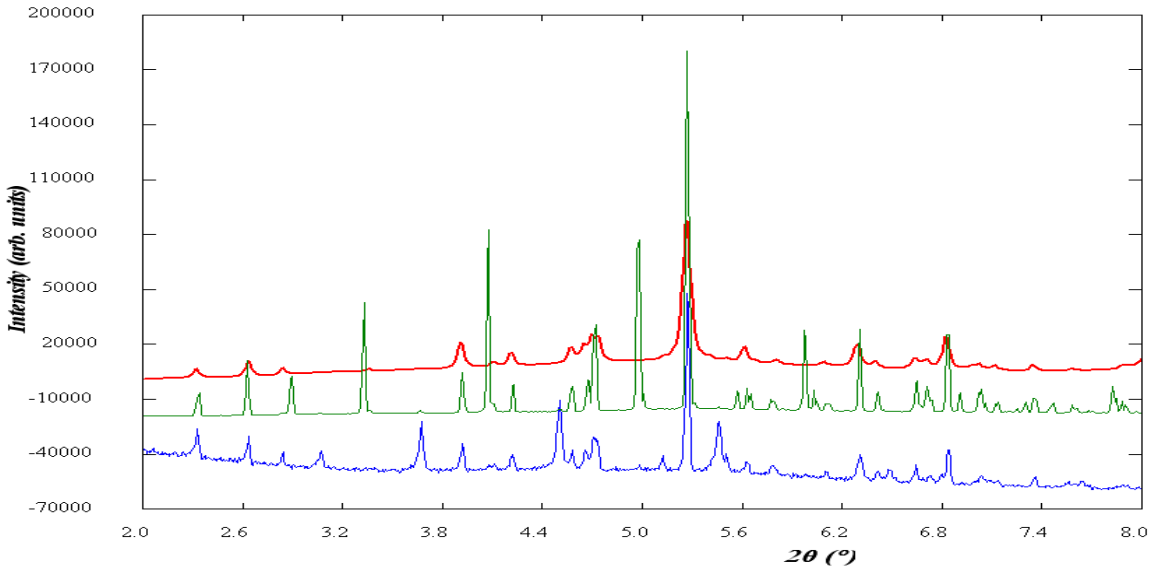


Figure II-6 : La cristallographie aux rayons X

2-10 Conductivité thermique :

Effective de la poudre De nombreuses méthodes numériques et expérimentales ont été développées pour déterminer la conductivité thermique des milieux granulaires. Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps, sous un gradient de température. Elle s'exprime en Watts par mètre par Kelvin : W.M-1.K-1 (puissance / longueur. température)

2-11 Conductivité électrique

Elle est l'inverse de la résistivité électrique. Elle correspond à la conductance d'une portion de matériau de 1m de longueur et de 1 m2 de section.
La conductance est une représentation de cette capacité à laisser passer le courant. Elle est donc l'inverse de la résistance.
Elle s'exprime en Siemens : G = 1/R

2-12 Le point de fusion :

Le point de fusion ou la température de fusion d'un corps représente la température à une pression donnée, à laquelle un élément pur ou un composé chimique fond c'est-à-dire passe de l'état solide à l'état liquide. Le point de congélation (ou point de solidification selon les matériaux) est la température de la transition inverse. Elle est habituellement mesuré sous pression atmosphérique normale (1 atmosphère) et il y a coexistence entre états solide et liquide entre ces deux points. Pour une substance pure, les points de fusion et de congélation sont théoriquement égaux et constants à pression fixe.

Chapitre III:

Matériels et procédés

3. Matériels et procédés :3 .1 Machine pour la production des poudres métalliques :

Afin de produire des poudres élémentaires en aluminium et en zinc, la machine utilisé et SULZER METCO (Valu Arc LCAE Arc Control Unit) voir la figure 3.1. Pour le procédé de pulvérisation de fil d'arc électrique, nous utilisons deux fils métalliques, généralement de même composition, comme matière première pour la production de la poudre. Les deux fils sont chargés électriquement avec une polarité opposée et sont acheminés dans le pistolet à arc à des vitesses adaptées et contrôlées. Lorsque nous réunissons les fils au point de contact, les charges opposées des fils créent suffisamment de chaleur pour faire fondre en permanence les extrémités des fils. Nous utilisons de l'air comprimé pour atomiser le matériau maintenant fondu et l'accélérer sur la surface de la pièce. []



Figure 3 .1 : la machine d'un arc électrique entre deux filles

Cette machine à l'origine est d'applique des revêtements à partir des fils. Mais dans notre étude elle est utilisée comme une machine de production de poudre figure **3.2**



Figure 3.2 Particules fondues d'aluminium

3.2 Balance électronique :

Pour peser les poudre d'aluminium et le zinc on a utilisé une balance électronique de type OHAUS Cette balance offre une précision 10^{-4}. Voir la **figure 3 .3**



Figure 3 .3 : la balance OHAUS

3.2. Tamiseuse:

Dans le but d'avoir des informations sur la distribution granulométrique des poudres produites. La machine utilisée est une tamiseuse de marque RETSCH, est utilisée pour séparer les déférentes granulométries des poudre. La machine est constituée de tamis qui sont superposés par ordre décroissant de la taille (150µm jusqu'à une taille inférieure à 20µm). L'opération est de mettre la poudre dans le tamis 150µm, des mailles du plus haut au plus bas de la colonne. Les tamis sont séparés par des joints en caoutchouc assurant l'étanchéité.

L'opération de tamisage consiste à verser la poudre dans le tamis situé en haut de la colonne dont la pile de tamis est serrée par des boulons. Une fois que tout est mis en place, l'opération de tamisage est lancée en sélectionnant le mode de vibration, son amplitude et son temps de tamisage. Figure 3.4.



Figure 3.4 : schéma représenté un tamiseur

3.3. Microscope optique :

Le but d'avoir des informations sur la forme et la taille des particules de poudre. Le microscope métallographique de type ZEISS permet l'observation des échantillons, avec un grandissement qui varie de 100 à 1000. Ce microscope s'accompagne d'une caméra SONY. L'avantage de la microscopie optique, outre sa grande facilité d'utilisation, est de permettre l'observation de grandes surfaces et de collecter ainsi une information globale sur l'aspect de la surface observée.



Figure 3.5 : Microscope optique

L'analyse se fait par l'utilisation d'un logiciel Image J. et même il est utilisé pour la caractérisation les revêtements réalisés.

3.4. Pistolet flamme-poudre ROTOTEC 80 :

Le pistolet flamme-poudre utilisé pour notre étude est un ROTOTEC 80 D4ORIGINE CASTOLIN (figure 3.6), conçue pour une utilisation robotisée ou manuelle.



Figure 3.6 : torche de projection thermique

Donnée techniques :

- Taux de dépôt : 3-6 kg/h
- Débit d'oxygène : 800 l/h.
- Pression d'oxygène : 4,0 bar
- Pression d'acétylène : 0.7 bar

Le pistolet flamme-poudre ROTOTEC 80 est utilise pour l'application des revêtements à partir des poudre produite par le machine cité en avant.

Le pistolet à flamme, fonctionne par l'oxygène acétylène dont les pressions,

La poudre est tombée par gravité, est véhiculée l'oxygène vers la flamme en elle est fusionnée et projetée sur le substrat.

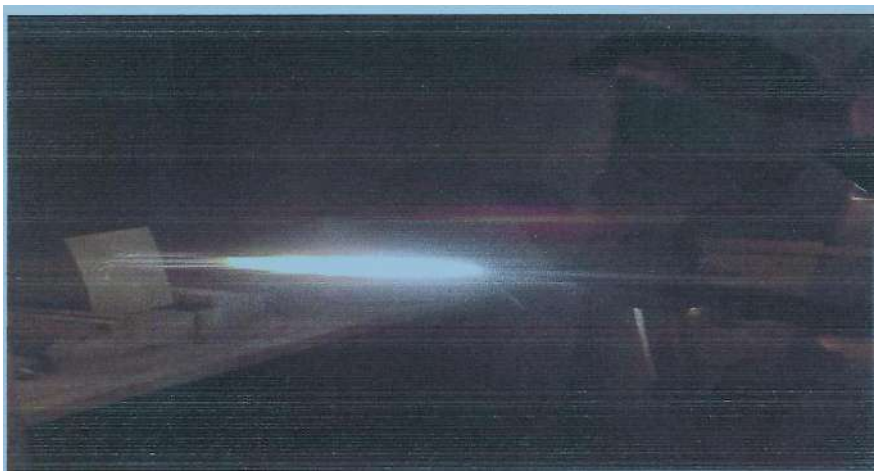


Figure 3.7 : application de revêtement.

On a applique trois dépôts :

- 100% Al
- 100% Zn
- 50% Al ; 50% Zn

Projeter sur des substrats en acier de forme carrée (1 cm* 1 cm).

3.5 Polisseuse grossier :

Le polissage permet d'éliminer les irrégularités de surface et d'obtenir une surface plane, sans rayures, on distingue le pré polissage avec des papiers abrasifs de granulométrie croissante : 400, 800,1200 placé sur les plateaux de la polisseuse METOSINEX. Comme le montre la figure 3.8



Figure 3.8 : La polisseuse grossière

3.6 Polissage de finition :

Le polissage de finition permet de donner à nos échantillons un effet miroir, la polisseuse de finition utilisée dans notre laboratoire. La figure III.9



Figure 3.9 : La polisseuse de finition

3.7.Essai de perte de masse :

Les essais de corrosion sont appliqués sur les revêtements. L'essai consiste à l'immersion des échantillons dans une solution corrosive. Dans notre cas d'acide HCL avec une concentration 37%, est utilisé comme milieu corrosif. L'essai consiste à émerger un échantillon revêtu avec les dépôts projeté par projection thermique d'une seule face est l'outre face ainsi que les coté latéraux sont revêtus par un polymère. Les échantillons doivent être pesés avant et après immersion. La masse perdue (m_f) est la différence entre la masse avant (m_0) et après immersion durant un certain temps.

Chapitre IV:

Résultat et discussion

4.1 Production de la poudre :

Les poudres métalliques ont une grande importance dans divers domaines de fabrication, surtout dans le domaine des traitements de surface. L'existence de plusieurs méthodes de production de poudres motionnées dans le chapitre1

Dans cette expérience, Nous produisons de poudre de zinc et de poudre d'aluminium.

Nous appuyons sur le processus de projection thermique à l'arc électrique entre deux fils, de même composition, soit en zinc, soit en aluminium, voir la figure ci-dessous. La figure montre la fragmentation des fils en petite gouttelettes pour avoir une poudre après refroidissement à l'air.



Figure 4.1 : schéma représente préparation des poudres métallique par projection thermique

La figure ci après montre la poudre d'aluminium et la poudre de Zinc produite par arc fil.



Figure 4.2 : les poudres produites

4.2 Les résultats de tamisage :

La détermination de la taille des particules des poudres de (Al ; Zn), chaque poudre il y a une masse initiale m_0 (m_{0Al} =11.6081g ; m_{0Zn}=15.6082g) et une masse finale m_f ($m_{f\,Al}$ =11.6071g ; $m_{f\,Zn}$ = 15.5908g)

Après la distribution granulaire de la poudre d'aluminium et du zinc les résultats sur présentés sous forme des tableaux et des l'histogramme.

Tableaux IV.2 : résultat de tamisage de poudre (Al ; Zn) :

	m Al (g)	mZn (g)
>150 µm	4.1717	1.7821
>125 µm	1.2509	1.1876
>106 µm	1.4184	1.7231
>90 µm	1.2860	1.9465
>75 µm	1.4331	2.9869
>63 µm	0.9603	2.1073
>53 µm	0.7724	1.7373
>38 µm	0.1970	1.2264
>32 µm	0.1001	0.2672
>20 µm	0.0510	0.4130
<20 µm	0	0.2192

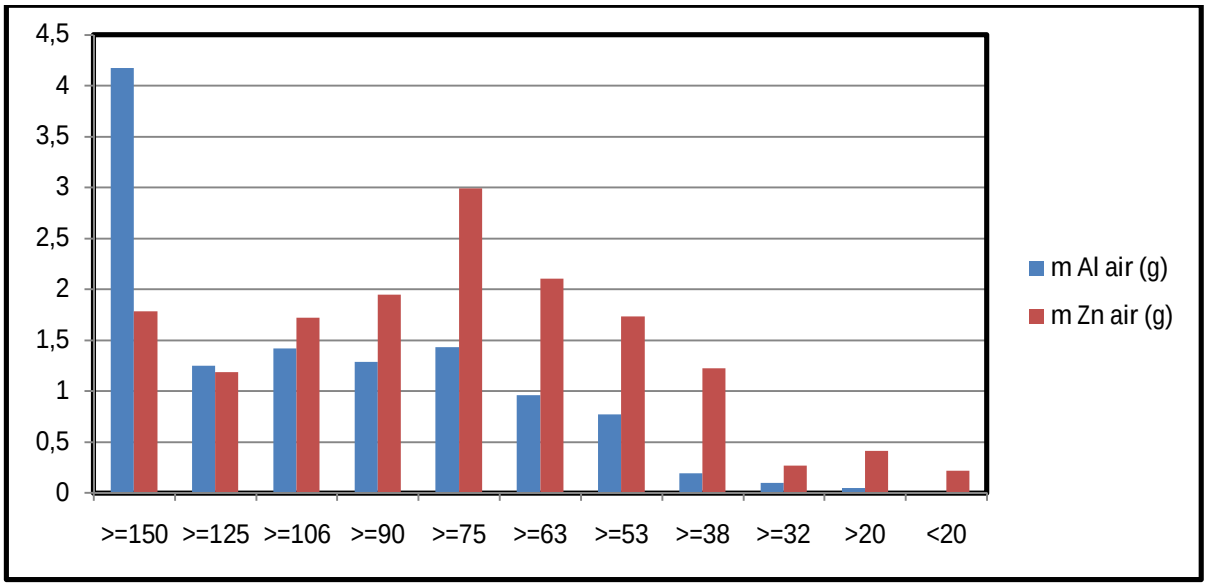


Figure 4.3 : Histogramme de tamisage de poudre (Al ; Zn).

Pour la poudre d'aluminium : la masse (4.1717 g) dans le tamis (150µm) est maximale dont la masse (,0.0510g) est minimum dans le tamis (20 µm) donc les deux sont proches dans l'intervalle (125 µm, 53 µm).

La poudre du zinc elle augmente progressivement de tamis 125 jusqu'à la valeur maximale dans le tamis 75µm (2.9896g), cependant, elle descendue de tamis 32 jusqu'à la valeur minimum **(**0.2672g).

4.3 Résultat de la métallographie :

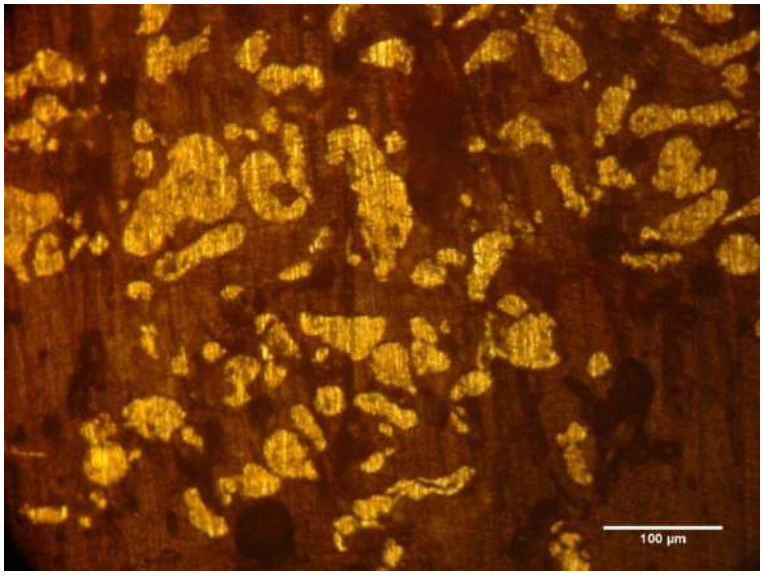


Figure 4.4 : Micrographie des particules de poudre d'aluminium

En Remarque que la taille des poudres d'aluminium ainsi que le zinc ne dépasse pas les 200 µm est une taille inférieure à 20µm mais pour quantité négligeable. Et la forme pour la majorité des particules est irrégulière. L'existence des particules ce forme, de tige irrégulière, arrondie, angulaire est de petite particule sphérique en petite quantité.

4.4 Application de la poudre produite sous forme d'un revêtement :

Les poudres métalliques sont utilisées dans plusieurs domaines parmi ces domaines l'application pour réaliser des revêtements. Ces revêtement sont produis par plusieurs procédés.

Avant de projeter les poudres sur les substrats, il faut une préparation de la surface des échantillons dans le but d'enlèvement des traces de rouille, de graisse ainsi à augmenter la rugosité de surface qui est nécessaire pour un bon accrochage. Il faut ensuite préchauffer le substrat afin d'assurer un bon mouillage des particules fondues, puis projeter les poudres (Al, Zn et un mélange Al-Zn : 3g Al et 3g Zn) sur un substrat en acier. Pendant la projection, il faux garder une distance de 15 cm entre la torche et le substrat et un angle de 90°. Le résultat qui on à obtenue dans la figure 4.5 et figure 4.6

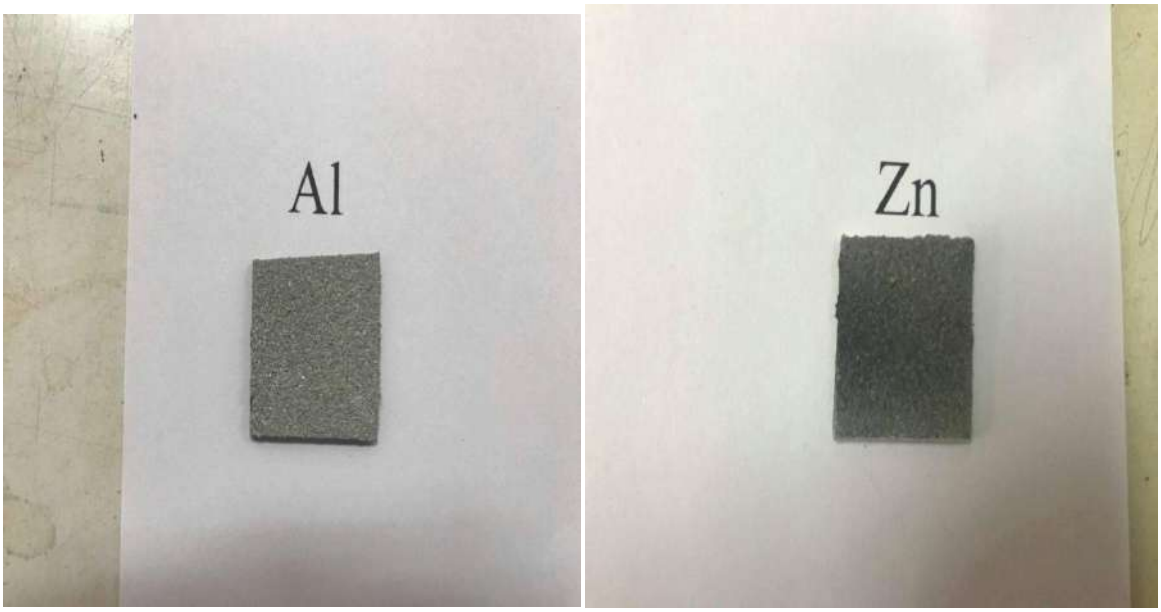


Figure 4.5: l'application de la poudre produite (Al ; Zn) comme un revêtement.



Figure 4.6 : les échantillons revêtus de mélange (Al+Zn).

4.5 Etude métallographie :

Après la préparation métallographie des échantillons, la microstructure de revêtement est étudié au microscope optique est montrée à la figure

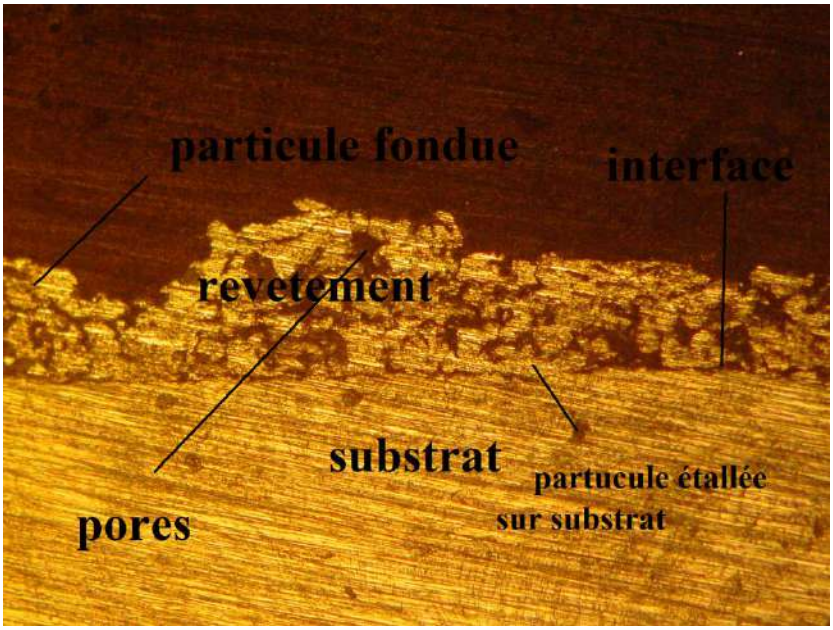


Figure 4.7 : microstructure d'un revêtement d'aluminium

D'après la micrographie, on peut constater que le revêtement déposé par la torche à flamme CASTOLIN. La figure 4.7 montre un dépôt d'aluminium (Al) dépose sur un substrat en acier, le revêtement est constitué d'empilement de particules (l'une sur le substrat). On remarque ce

revêtement n'est pas dense, par y'à des défauts comme les pores, des particules fondue. Elle peut exister en raison de l'utilisation d'un chalumeau oxy-acytéléne.

4.6 Les résultats de perte de masse :

Nous avons préparé 2 bécher de solution acide pure (HCl) et après avoir placé les échantillons à l'intérieur pour stimuler la libération de bulles. Ceci est la preuve du dégagement d'hydrogène. Après la préparation de deux béchers, on chaque bécher contient un échantillon (Al, Zn). Pour le revêtement d'Al, ce dernier est disparu au bout de 3 minutes.

Dans le cas Al-Zn, c'étant an bout d'une minute. On constate que le revêtement d'Al, est plus résistant qu'au revêtement de Al-Zn dans ce milieu corrosif (Hcl). Voir la figure 4.8 et la figure 4.9



Figure 4.8 : l'échantillon montré après une minute l'essai de corrosion.

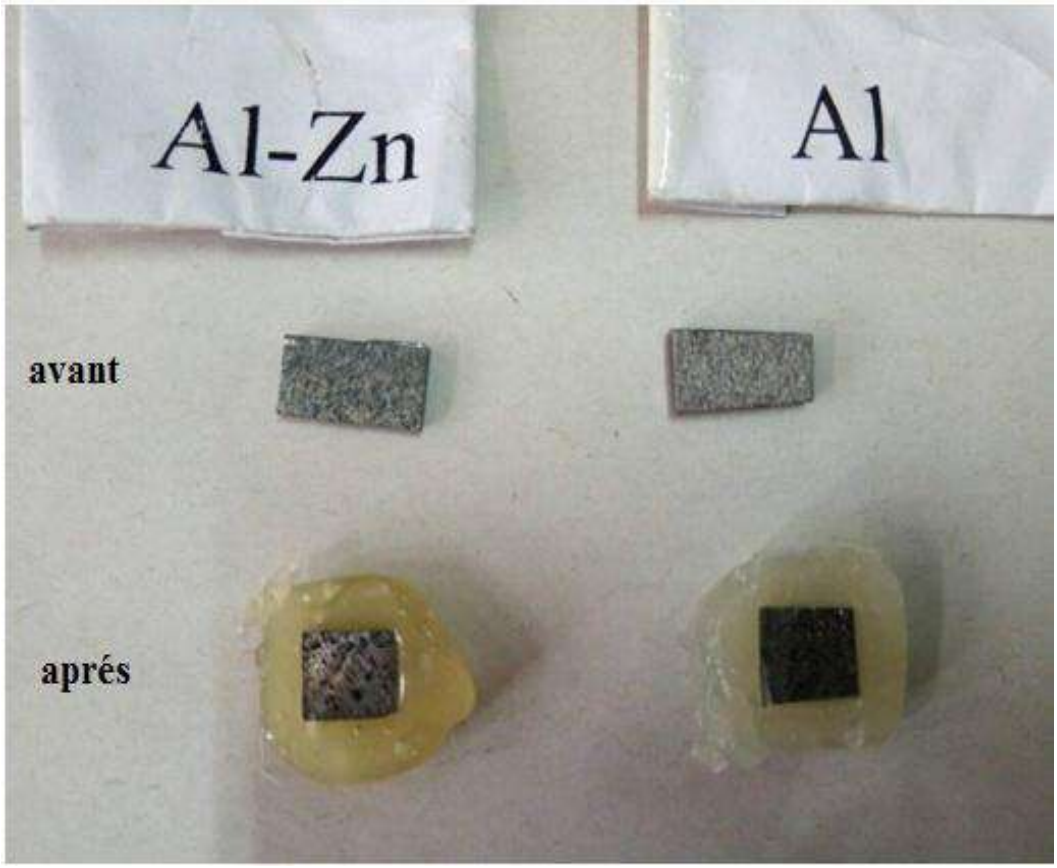


Figure 4.9 : l'échantillon montré après trois minutes l'essai de corrosion.

Conclusion :

D'après notre étude, on est arrivé au résultat espéré. Ou le procédé de projection à arc fil, qui est destiné à l'application des revêtements, peut être utilisé pour préparer des poudres métalliques à partir des fils. Ou lieu de projeter sur des substrats ou des supports, la pulvérisation est effectuée à l'air. Dans notre étude la matière première est sous forme de fils, ou le matériau est du zinc et de l'aluminium. Après la pulvérisation par arc fil, dans l'air et un récipient est utilisé pour la collecte des particules solidifiées de poudre. Dans un but d'appliquer cette poudre produite comme un revêtement (Al, Zn et un mélange d'Al +Zn), un pistolet à flamme oxyacétylénique est utilisée. Les revêtements ainsi projetés sont testé pour des essais de corrosion (perte de masse) ou on a révélé que l'aluminium résiste mieux que le zinc ainsi que le mélange aluminium-zinc.

Les références :

[1] https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich2_1.htm

[2] Luis Rafael Olmos Navarrete « Etude du frittage de poudres par microtomographie in situ et modélisation discrète » thèse pour obtenir le grade de docteur de l'institut polytechnique de grenoble 24 février 2009

[3] https://www.researchgate.net/figure/1-Principe-du-broyage-mecanique-formation-dagregats-par-chocs-mecaniques_fig45_279833168

[4] Thèse Université De Saad Dahleb De Blida « détermination des paramètres Nano structuraux a base de Fe_x CO_y Ni_z et Alliages par des méthodes de contrôles non Destructif (CND).»

[5] http://archiv.fritsch.de/ (consulté le 03.12.2007).

[6] Kahina Kheloui « Elaboration De L'intermétallique FeAl Utilisé Comme Renfort Particulaire Dans Les Matériaux Composites » thèse Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou 2010 /2011

[7] Julien Guyon« Evolution des microstructures et mécanismes de densification d'un alliage TiAl lors du frittage par Spark Plasma Sintering » Thèse Pour L'obtention Du Titre De Docteur De L'université De Lorraine 2009

[8] Zebboudji Ammar Djouder Fatah ; Tidjet Mehanni « Influence Des Paramètres De Broyage Sur Les Caractéristiques Minéralogiques Et Texturales De Minerai De Phosphate Noir De La Mine De Djebel Onk (Tébessa) » Thèse Université Abderrahmane Mira – Bejaia

[9] https://www.sugino.com/site/water-atomization-equipment-f/

[10] Series editors JENKINS and J.V WOOD Introduction to power metallurgy

[11] K. E. Schneider, V. Belashchenko, M. Dratwinski, S. Siegmann, A. Zagorski Thermal spraying for power generation component 1993

[12] Edited by J.R Davis Handbook of thermal spray technology 2009

[13] http://en.wikipedia.org/wiki/Sieve_analysis.

[14]https://www.google.com/search?q=distribution+granulom%C3