

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de l'Enseignement Supérieur*

*Et de la recherche scientifique*

*UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA*

*Faculté de Technologie*

*Département de Génie Mécanique*

*MEMOIRE*

*Présenté pour l'obtention du diplôme de*

***MASTER***

*Filière : Génie Mécanique*

*Spécialité : génie des matériaux*

*Par :*

***TIGHZER NABIL***

*Encadre par*

***Mr: YOUNES R***

**Thème**

---

**Influences des différents paramètres sur l'électrodéposition de  
cuivre sur un substrat en acier**

---

Soutenu le .....2020 devant le jury composé de:

---

*Année Universitaire 2020-2021*

---

# *Remerciements*

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Nos vifs remerciements sont destinés à Mr YOUNES R, mon promoteur, pour son aide, ces critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire.

Nous ne pouvons pas oublier de présenter notre gratitude à nos parents pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour nous.

Nous remercions également les membres de jury qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Sans oublier l'équipe du hall de technologie de l'université de Bejaia.

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation trouvent ici l'expression de nos sincères gratitude.

---

# *Dédicaces*

---

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux personnes qui nous sont les plus chers :*

*À ma chère mère qui nous a quittés trop tôt, qu'elle repose en paix, comme expression de ma profonde reconnaissance, que j'aurais bien aimé qu'elle soit présente.*

*À mon père, tu étais toujours présent à mes côtés pour me soutenir, m'encourager d'accomplir ce que j'ai commencé.*

- *À mon beau-père.*
- *À mes chers frères,*
- *À mes chères SOEURS.*
- *À mes meilleurs amis et collègues de travail.*

*À tous les camarades de ma section*

***NABIL.***

# Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

### Chapitre I : Généralités sur le cuivre

I.1 INTRODUCTION.....	02
I.1.2 Historique du cuivre.....	02
I.1.1 Définition ... ..	02
I.2 Désignation du cuivre.....	04
I.2.1 Signification de la désignation.....	04
I.3 Principales caractéristiques du cuivre.....	05
I.4 Alliage à base de cuivre.....	06
I.4.1 Les laitons... ..	06
I.4.2 Les bronzes .....	06
I.4.3 Les cupronickels... ..	07
I.4.4 Les cupro-aluminiums (ou "bronzes d'aluminium").....	07
I.4.5 Les maillechorts... ..	07
I.5 Alliage de série... ..	07
I.5.1 Alliages frittés... ..	07
I.5.2 alliages de moulage (fonderie) ... ..	08
I.6 Les propriétés des alliages de cuivre... ..	10
I.6.1 Propriétés chimique du cuivre... ..	11
I.6.2 Les propriétés mécaniques du cuivre... ..	11
I.6.3 Les Propriétés électrochimiques ... ..	12

### Chapitre II: Généralités sur l'électrodéposition

II.1-INTRODUCTION .....	14
II.2-Histoire de l'électrodéposition .....	14
II.3.Procédé d'électrodéposition.....	15
II.3.1. Définition.....	15
II.3.2-PRINCIPESDEL'ELECTRODIPOSITION... ..	16
II.3.3-Mécanisme d'électrodéposition.....	18
II.3.3.1-Transfert de masse.....	18
II.3.3.2- Transfert de charge.....	19

II.4 PROPRIETE DE L'ELECTRODEPOSITION.....	20
II.4.1 Protection anticorrosion.....	20
II.5 Influencée différents paramètres sur l'électrolyse.....	20
II.5 .1 Influence du Ph. ....	20
II.5.1.1 La diminution du pH peut provoquer.....	20
II.5 .1.2 L'augmentation du pH peut conduire à.....	21
II.5 .2 Influence de la température.....	21
II.5 .4. Influence de la densité de courant.....	21
II.5 .5 Influence de l'agitation du bain.....	22

### Chapitre III : Résultats et discussion

III. Introduction.....	23
III.1 Matériaux utilisés.....	23
III.1.1 Substrat.....	23
III.1.2 Revêtements réalisés.....	23
III.2 Présentation des échantillons.....	23
III.2.1 Elaboration des échantillons.....	23
III.3 Préparation des surfaces à revêtir.....	24
III.3.1 Dégraissage.....	24
III.4. Paramètres de déposition.....	24
II.4.1. cellule utilisé.....	24
III.5. Préparation des échantillons pour l'observation métallographique.....	25
III.5.1 Microscope optique métallographique.....	25
III.6. Détermination de l'influence des paramètres sur le taux de recouvrement.....	25
III.6.1. l'influence du courant électrique et le potentiel sur le recouvrement.....	26
III.6.2. Effet du potentiel sur le rendement cathodique.....	27
III.6.3. Effet du temps d'électrolyse sur les dépôts en cuivre.....	28
III.7. Observation de l'état de surface du dépôt obtenue.....	29
III.8. conclusion général .....	32



# **Liste des tableaux et des figures.**

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

---

<b>N°</b>	<b>Titre de la figure</b>	<b>page</b>
Figure I.1	désignation des alliages de cuivre .....	4
Figure I.2	Pourcentage d'écrouissage.....	5
Figure I.3	diagramme tension-pH du Cuivre .....	13
Figure II.1	schéma de principe du dépôt par voie électrolytique.....	15
Figure II.2	courbe de polarisation .....	17
Figure II. 3	étapes élémentaires lors de la croissance électrochimique.....	19
Figure III .1	le substrat utilisé pour l'électrolyse.....	23
Figure III.2	cellule électrolytique .....	25
Figure III.3	microscope optique.....	25
Figure III.4	les courbes des variations de masse en fonction d'intensité de courant et le potentiel.....	26
Figure III.5	la variation de la masse en fonction du potentiel pour I=0,5 et I=1,5.....	27
Figure III.6	effet du temps d'électrolyse sur les dépôts en cuivre.....	28
Figure III.7	dépôt Cu observés par le microscope optique pour V=2,5V.....	30
Figure III.8	dépôt Cu observés par le microscope optique pour V=5V.....	30
Figure III.9	dépôt Cu observés par le microscope optique pour V=10V.....	31
<b>N°</b>	<b>Titre de tableau</b>	<b>page</b>
Tableau I.1	désignation des alliages avec la norme NF EN 515 .....	10
Tableau III.1	analyse du substrat par la fluorescence des rayons X .....	23
Tableau III.2	les Paramètres de déposition .....	24
Tableau III.3	les échantillons pour observation optique.....	29

# **Introduction générale**

## Introduction générale

---

Les traitements de surfaces recouvrent un ensemble d'opérations (mécaniques, chimiques, électrochimiques ou physiques) ayant pour but de modifier la fonction ou l'aspect des surfaces afin de leur conférer des propriétés spécifiques,

Il existe plusieurs types de traitement de surface parmi les on trouve le Electrodeposition est c'est une technique qui consiste à obtenir par voie électrolytique, sur une surface conductrice, un ou plusieurs revêtements métalliques, composés d'un ou plusieurs métaux, relève du galvano technique. Ces opérations ont pour but de conférer au métal certaines propriétés de surfaces telles que : la résistance à la corrosion, l'aspect, les propriétés optiques, la soudabilité, la conductibilité, la résistance de contact, la dureté, la ductilité, la résistance à l'usure, à l'abrasion et au frottement, la rugosité, la tenue au vide et les non toxicité [18].

Le dépôt électrolytique s'élabore lorsque la pièce, en contact avec un électrolyte approprié, est suffisamment polarisée négativement et dont l'anode polarisée positivement étant soluble ou insoluble. Par conséquent, le revêtement du cuivre par électrodeposition est particulièrement intéressant en particulier dans l'industrie, grand nombre d'applications liées à sa facilité d'obtention d'un dépôt sous forme de couches minces avec des épaisseurs très variables selon les paramètres de l'électrodeposition, en l'occurrence l'intensité du courant, le potentielle est la composition du bain, afin d'obtenir les meilleurs dépôts.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique sur les caractéristiques du cuivre des généralités sur le cuivre. Le deuxième chapitre est consacré à la description générale de l'électrodeposition les différents paramètres influençant l'électrolyse,

Le troisième chapitre est divisé en deux parties : dans la première, nous avons décrit, le dispositif expérimental. Les principales étapes de la préparation des surfaces à revêtir ainsi les différents paramètres de la cellule utilisés. La seconde est donc consacrée à l'interprétation et à la discussion de l'ensemble des résultats obtenus.

Finalement, on arrive à une conclusion générale qui rappelle les différents points décrits dans le mémoire et les principaux résultats obtenus.

# Chapitre I :

# **Chapitre II :**

# **Chapitre III :**

## **Matériaux et méthodes expérimentale**

### **Résultats et discussions**

## **I.INTRODUCTION**

Il suffit de regarder autour de nous pour observer que nous sommes entourés par le cuivre et ses alliages. Il est présent dans de nombreux domaines industriels. Ainsi, le bâtiment (plomberie, robinetterie, canalisations, chauffage, toitures, ascenseurs, systèmes d'incendie...) l'utilise massivement.

Les applications électriques (circuits imprimés, télécommunications, informatique, câbles, générateurs, moteurs, transformateurs...) font aussi appel à ses performances pour un peu plus de 50 % du tonnage.

On retrouve le cuivre dans les secteurs de l'industrie et de l'équipement (roulements à billes, pistons, bagues, outillages, machines industrielles, machines agricoles, pompes...), représentant 10 % du tonnage. Enfin, les transports représentent 8 % environ des applications (automobile, matériel ferroviaire, navires, avions). Il est également utilisé dans les pièces de monnaie, la bijouterie et les ustensiles culinaires.

### **I.1.Définition**

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29. Il est le plus vieux métal au monde, c'est le deuxième métal non-ferreux employé industriellement, derrière l'aluminium, pour ses propriétés remarquables. C'est déjà un excellent conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il est peu oxydable à froid. Il est utilisé sous forme de dépôt, dans l'application électrique, comme une couche protectrice à cause de sa bonne tenue à la corrosion atmosphérique. Le cuivre possède des degrés d'oxydation égaux à 1, 2 et 3. Le cuivre est l'un de ces rares métaux qui existent à l'état natif.

### **I.2.Historique du cuivre**

Le cuivre est, avec l'or et l'étain, l'un des tout premiers métaux utilisés par nos ancêtres, depuis de 8000 ans av. J.-C. Il servait à fabriquer de petits objets tels que des épingles, des clous, des pendentifs, etc. Connu pour ses propriétés de malléabilité et de plasticité, l'Homme commence à le travailler, contribuant alors



à l'émergence et au développement de la métallurgie dans la région du Proche Orient durant le IV<sup>e</sup> siècle avant J.C [2].

Les mines de cuivre contenant naturellement diverses impuretés ou des mélanges de minerais ayant été effectués fortuitement, des alliages sont élaborés. Le bronze (alliage cuivre-étain) est le premier alliage élaboré par l'Homme aux alentours de 3900 avant J.C, marquant le début de la métallurgie. Il a tenu une place considérable dans notre civilisation et donne son nom à toute une période de l'Histoire : l'Âge de Bronze.

Pendant plusieurs millénaires, le cuivre et ses alliages ont continué à faire partie du quotidien de la civilisation que ce soit sous forme d'armes, d'accessoires de parure, d'objets de décoration, d'ustensiles culinaires, ou encore d'objets liturgiques.

Le cuivre connaît un regain d'intérêt grâce à la découverte de l'électricité au cours du XIX<sup>e</sup> siècle. Il trouve alors sa vocation moderne : celle de conducteur électrique. La conductivité électrique du cuivre a été prise comme référence par la Commission Electrotechnique Internationale en 1913 et la résistivité du cuivre, d'une valeur de  $1,724 \mu\text{ohm.cm}$  à l'état recuit, est l'étalon de cette mesure. La conductivité du cuivre est, par définition, égale à 100 % IACS (International Annealed Copper Standard) [3]. Seul l'argent a des performances légèrement supérieures : environ 106 % IACS [4]. Depuis la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, la consommation de cuivre a fortement augmenté et son utilisation s'étend à de nombreux domaines, en premier lieu l'industrie électrique et électronique, la construction, les télécommunications, le transport et l'énergie.

Ce large champ d'applications résulte des multiples propriétés chimiques et physiques du cuivre : propriétés de conductivités électrique et thermique, résistance à la corrosion, propriétés antimicrobiennes et d'antifouling (aptitude à détruire le pouvoir accrocheur d'organismes marins), bonne formabilité, facilité à s'allier à d'autres éléments, recyclabilité répétée; et de son aspect esthétique.

**I.3. Désignation du cuivre**

Le cuivre est un métal de couleur rouge orangé employé pur ou faiblement allié dans des alliages. En revanche, en mécanique, le cuivre pur n'est pas ou peu employé. Ce sont des alliages de cuivre qui sont utilisés, il est désigné comme ceci :

**Symbole de l'élément de base *CU* + élément d'addition 1**

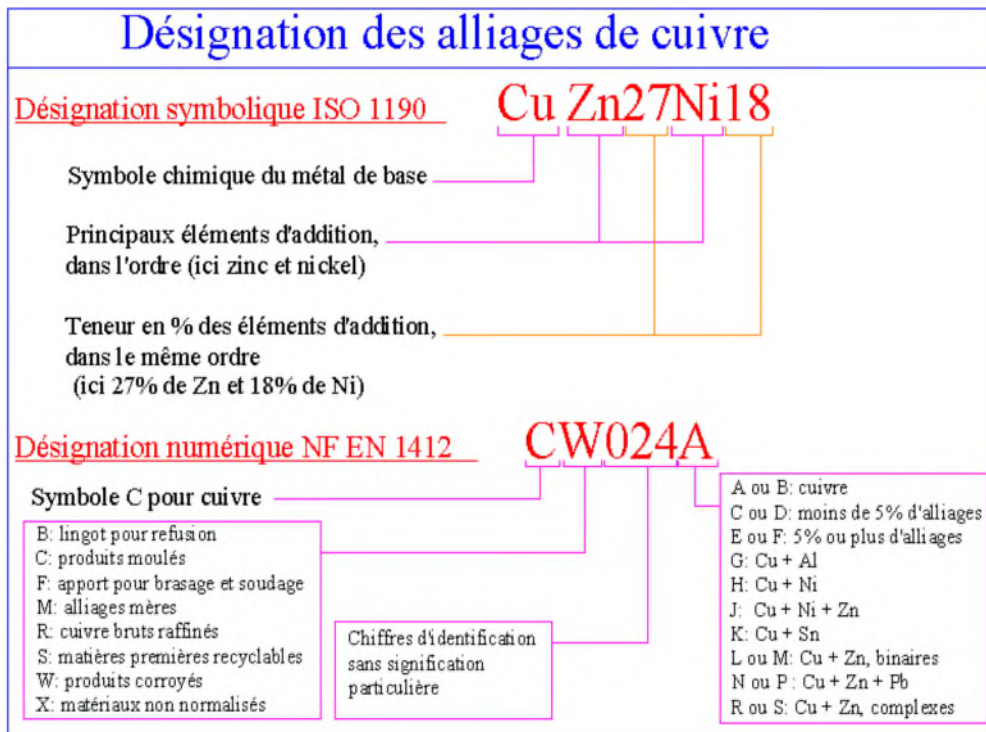
**+ % de l'élément d'addition 1 + élément d'addition 2 + % de l'élément d'addition 2 + ... [6]**

**I.4-Signification de la désignation**

Il existe aussi plusieurs systèmes de désignation numérique comme exemple la NF EN 1412 ou ISO

Symbole chimique du cuivre (Cu) suivi des symboles chimiques et teneurs des principaux éléments d'addition (par ordre décroissant). [6]

**Exemple :** CuZn27Ni18 (maillachort avec 27 % de zinc et 18 % de nickel) il existe aussi plusieurs systèmes de désignation numérique comme exemple la **NF EN1412** et **ISO 1190**



**Figure I.1 :** désignation des alliages de cuivre [7]

### I.5-Principales caractéristiques du cuivre :

Le cuivre est plus lourd que l'acier (densité 8,9), fond à 1083°C, a une grande résistance à la corrosion et une plasticité ou une ductilité élevée (très malléable : A% jusqu'à 50%).

Sa grande conductivité électrique le rend indispensable dans les industries électriques et électroniques et sa grande conductibilité thermique est un atout pour la transmission de la chaleur. Seul l'argent fait mieux pour ces deux propriétés.

Sa structure cristalline est cubique à faces centrées et il présente des propriétés fongicides.

Il possède une bonne aptitude au soudage et au brasage. [8-9]

Les cuivres et alliages ne peuvent pas être traités thermiquement (sauf ceux au béryllium).

Néanmoins, la résistance (Rr) peut être augmentée par écrouissage à froid et la ductilité restaurée par un revenu (Figure.2).

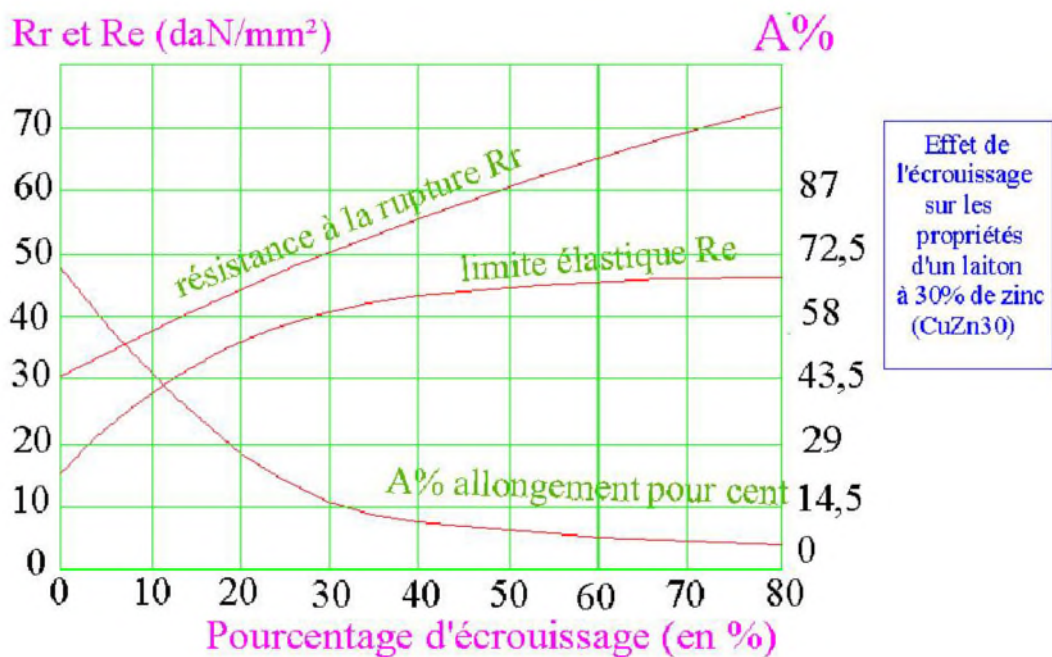


Figure (I.2) : Pourcentage d'écrouissages

**I.6. Alliage à base de cuivre**

Existe plus de 200 alliages de cuivre, les principales familles du cuivre sont:

**Laitons** (Cu + Zn),

**Bronzes** (Cu + Sn),

**Cupronickels** (Cu + Ni),

**Cupro-aluminiums** (Cu + Al),

**Mallechorts** (Cu + Ni + Zn).

**I.6.1-Les laitons**

C'est la famille la plus utilisée, l'addition de zinc, jusqu'à 42%, diminue le prix de base, augmente la résistance

à la rupture ( $R_r$ ) et l'allongement pour cent A%, ce qui favorise l'emboutissage (A% = 60% avec 31% de Zn) et diminue la température de fusion, ce qui facilite le moulage.

Une addition supplémentaire de plomb, de 2 à 3%, augmente considérablement l'usinabilité. Les laitons ainsi obtenus, dits laitons de décolletage, servent de référence pour évaluer l'usinabilité des autres matériaux.

**I.6.2-Les bronzes**

L'étain (Sn), addition de 4 à 22% (jusqu'à 25% pour les cloches), a un rôle comparable au zinc, mais avec une action plus forte ; il est également plus coûteux.

Une addition de phosphore ( $P < 1\%$ ) améliore les caractéristiques mécaniques, les propriétés antifriction, l'aptitude au moulage et a un rôle désoxydant. Les bronzes phosphoreux constituent le groupe le plus important.

L'addition de plomb (Pb) améliore l'usinabilité et l'addition de zinc, diminue le prix de revient (bronzes chrysocales).

**I.6.3-Les cupronickels**

De couleur "blanche" à partir de 20% de nickel, ils sont très malléables. L'addition de nickel améliore les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion et la résistivité électrique.

**I.6.4-Les cupro-aluminiums (ou "bronzes d'aluminium")**

Ils sont surtout utilisés en fonderie. L'addition d'aluminium, entre 10 et 11%, donne des alliages ayant de bonnes caractéristiques mécaniques et une bonne résistance à la corrosion (applications en génie maritime).

Ils sont souvent utilisés avec une addition de fer.

**I.6.5-Les maillechorts**

Moins coûteux que les cupronickels, on peut les considérer comme des laitons avec addition de nickel. Ils sont plus résistants que les laitons à la fois à la corrosion et mécaniquement. Les principales nuances sont obtenues avec 18% de nickel. Ils peuvent être chromés, nickelés et argentés.

**Utilisations** : articles ménagers, pièces d'orfèvrerie et de décoration, argenterie, appareillages électriques (relais, contacts...), etc. [26]

**I.7-Alliage de série****I.7.1-Alliages frittés**

Les alliages de corroyage sont regroupés en huit séries caractérisées par le premier chiffre de leur appellation.

La série 2000 ou 2xxx, regroupe tous les alliages aluminium cuivre. La présence du cuivre donne de bonnes caractéristiques mécaniques à l'alliage, il améliore son usinabilité et sa résistance au fluage, mais diminue sa résistance à la corrosion et sa soudabilité.

La série 3xxx regroupe les alliages aluminium-manganèse. Le manganèse donne à l'alliage une bonne résistance à la corrosion et une meilleure aptitude à l'emboutissage.

Les alliages de la série 5xxx contiennent du magnésium qui améliore également la résistance à la corrosion, la soudabilité, l'usinabilité et l'aptitude à l'anodisation de l'alliage.

Les alliages de la série 6xxx aluminium-magnésium-silicium sont prédisposés au filage et plus utilisés dans les profilés pour bâtiment.

La série 7xxx est plutôt utilisée dans le domaine de l'aéronautique compte tenu des bonnes caractéristiques mécaniques que le zinc donne à l'aluminium. Cet alliage requiert cependant une protection contre la corrosion.

Finalement, l'étain est aussi quelques fois combiné avec l'aluminium pour créer des alliages ayant une forte résistance au frottement. L'ajout de nickel à l'aluminium par exemple, augmente la résistance au fluage et le chrome sert dans certains cas comme complément au manganèse afin de réduire le risque d'apparition de criques [11].

### **I.7.2- Désignation des alliages de moulage (fonderie)**

Les alliages de moulage sont également regroupés en huit séries caractérisées par le premier chiffre de leur appellation.

La série 2xx.x contient du cuivre qui donne une bonne résistance mécanique et thermique à l'alliage. Il faut cependant utiliser un revêtement anticorrosion sur ce type d'alliage.

La série 3xx.x regroupe les alliages de moulage les plus utilisés. Ils sont constitués d'aluminium, de silicium et de cuivre. Le silicium améliore la coulabilité du liquide, réduit le risque de formation de criques et minimise la porosité par retrait.

Les alliages de la série 4xx.x contiennent aussi du silicium et quelques fois du cuivre, du fer ou du nickel.

La série 5xx.x contient du magnésium, tandis que la série 7xx.x contient du zinc, du magnésium et du chrome.

Les alliages de la série 8xx.x contiennent plutôt de l'étain et du cuivre qui leur confèrent une bonne résistance mécanique et une bonne coulabilité [11].

Il est important de mentionner que la tolérance aux impuretés des alliages de moulage est beaucoup plus grande que celle des alliages de corroyage.

Le recyclage est le terme généralement utilisé pour les alliages de la série 3xxx et 5xxx, tandis que l'affinage est plutôt employé pour les alliages de fonderie. Dans l'ensemble du présent texte, le terme recyclage est employé dans les deux cas à des fins de simplification. Le terme « boucle fermée » est utilisé lorsqu'un alliage donné est recyclé en ce même alliage, tandis que le terme « boucle ouverte » correspond à l'utilisation d'alliages d'aluminium combinés à d'autres matières premières pour produire des alliages ayant des teneurs différentes en éléments d'alliage.

Le tableau I-1 regroupe la nomenclature utilisée pour le référencement des séries d'alliages d'aluminium, elles sont définies avec l'élément majoritaire. Pour les alliages corroyés, le deuxième chiffre permet de suivre l'évolution d'une nuance (par exemple l'alliage d'aluminium (AA) 2219 est la seconde évolution de la nuance 2019). En outre, la particularité de la série 1XXX est que les deux derniers chiffres donnent la teneur en aluminium de l'alliage : 1050 : 99,50% d'aluminium.

Depuis la découverte d'Alfred Wilm en 1906 [12], certaines séries d'alliages d'aluminium, appelées alliages à durcissement structural, sont connues pour pouvoir être durcies par traitement thermique. C'est le cas des séries 2000, 6000 et 7000.

Des procédés comme le laminage permettant l'obtention de tôles de différentes épaisseurs induisent également des contraintes. Ce sont les différents traitements thermomécaniques qui suivent la mise en forme qui permettent de réduire ces contraintes.

Il est possible de distinguer différentes étapes de transformations qui sont décrites par des lettres suivies de numéros comme le montrent les tableaux I.5, I.6 et I.7 en accord avec la norme NF EN 515

TABLEAU I.1. Désignation des alliages avec la norme NF EN 515 [13]

Série d'alliage corroyé	Eléments d'alliage principaux	Série d'alliage de fondriez	Eléments d'alliage principaux
1XXX	Aucun (99% d'aluminium minimum)	1XXX	99% d'aluminium minimum
2XXX	Cuivre	2XXX	cuivre
3XXX	manganèse	3XXX	Silicium+cuivre et ou magnésium
4XXX	silicium	4XXX	silicium
5XXX	magnésium	5XXX	Magnésium
6XXX	Magnésium et silicium	6XXX	zinc
7XXX	Zinc	7XXX	Autres éléments
8XXX	Aucun élément	8XXX	Autres éléments

### I.8-Les propriétés des alliages de cuivre :

Le cuivre a des propriétés remarquables extrêmement nombreuses. Celles-ci ne sont pas forcément exigées par l'utilisateur systématiquement en même temps. La grande majorité des applications du cuivre se réfère à l'une des 2 propriétés dominantes : sa conductibilité électrique et thermique d'une part et sa résistance à la corrosion d'autre part.



À ces deux propriétés de base, il faut souvent ajouter des propriétés de résistance mécanique, d'aptitude à la mise en œuvre ou à l'usinage, que le cuivre ne possède pas ou insuffisamment. On fait alors appel aux alliages de cuivre. Partant des deux propriétés dominantes qui demeurent souvent les préoccupations principales, le prescripteur doit chercher ensuite dans le large éventail des additions possibles celle qui lui permettra, avec des caractéristiques mécaniques renforcées et/ou une bonne aptitude à l'usinage, d'obtenir le meilleur compromis entre toutes les autres exigences.

### **I.8.2-Propriétés chimique du cuivre**

Le cuivre et ses alliages ne sont pas attaqués par l'eau ni par un grand nombre de produits chimiques.

Cette propriété est mise à profit pour fabriquer des canalisations en cuivre ou des récipients set conteneurs pour de nombreuses industries. La robinetterie est en laiton ou en bronze. Les toitures en cuivre défient le temps. Lorsque le cuivre évolue en milieu marin, on l'allie généralement à de l'aluminium ou du nickel pour lui donner une bonne résistance à l'eau de mer. Les pompes et canalisations d'eau de mer, dont les débits atteignent parfois plusieurs m<sup>3</sup> par seconde, utilisées sur la plateforme pétrolière off-shore, à bord des navires, dans les centrales électriques du bord de mer, sont exclusivement en alliages de cupro-aluminium ou en cupro-nickel.

### **I.8.3-Les propriétés mécaniques du cuivre :**

#### **Usinabilité et traitements de surface :**

Le cuivre n'a pas en lui-même une grande aptitude à être usiné.

En revanche, certains de ses alliages et tout particulièrement le laiton ont d'excellentes capacités d'usinabilité et notamment aux grandes vitesses. Le cuivre et ses alliages se prêtent très bien à la plupart des traitements de surface.

#### **Malléabilité et plasticité :**

Le cuivre est un métal extrêmement ductile. Non allié, il n'y a pratiquement pas de limite à son travail à froid. Le cuivre et les alliages cuivreux se laminent facilement en tôles, se martèlent en feuilles très minces et s'étirent en fils extrêmement fins. Ils se prêtent particulièrement bien à la déformation à chaud.

**Soudabilité :**

Le cuivre et ses alliages se soudent bien, qu'il s'agisse de soudage autogène, de soudure électrique, de brasage ou de soudage à l'étain [14]

**La durabilité**

Le cuivre est un métal qui peut être recyclé à l'infini sans que ses performances en soient altérées. En effet, le cuivre est recyclable à 100 %, le pourcentage de récupération du cuivre à partir des produits en fin de vie est estimé à 70 % du total potentiellement disponible.

Ainsi, il est possible d'affirmer que le cuivre recyclé possède les mêmes propriétés physiques et chimiques que le cuivre primaire. Selon le Bureau of International

Recycling, le recyclage du cuivre permet d'économiser 85 % de l'énergie nécessaire à la production de métal primaire. C'est donc une ressource renouvelable qui présente plusieurs avantages, tant sur le plan économique que sur le plan énergétique. Toutes ces caractéristiques lui ont valu la place de l'un des métaux les plus prisés et les plus cotés en bourse de nos jours. [15]

**I.8.4-Les Propriétés électrochimiques :**

Le cuivre est un métal peu oxydable, présente deux degrés d'oxydations possibles :

Cu (+I) et Cu (+II). Le potentiel standard du couple Cu/Cu<sup>2+</sup> est +0,337V/E.N.H et celui de Cu/Cu<sup>+</sup> est +0,52V/E.N.H.

La couleur du cuivre fonce à l'air par oxydation et noircit par sulfuration, mais sa noblesse relative laisse l'eau pure et l'air sec sans action sur lui. Les solutions exemptes d'oxydants n'attaquent pas le cuivre, par contre les solutions acides ou alcalines enfermant des oxydants le corrodent et peuvent constituer des solutions de décapage. En milieu neutre ou faiblement alcalin et oxydant, le cuivre se passive par formation superficielle d'oxydes (voir le diagramme tension- pH, (Figure II.4).

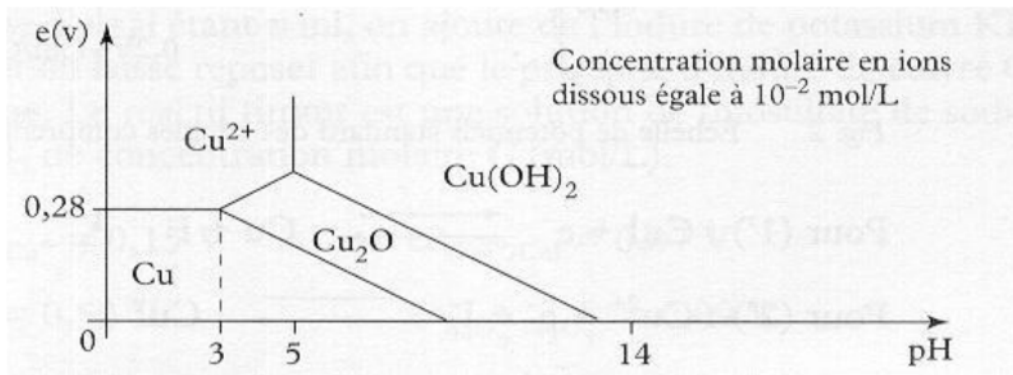


Figure I.3: Diagramme tension-pH du Cuivre [16].

En présence de sels ammoniacaux ou de cyanures formant avec les ions  $\text{Cu}^+$  des complexes très stables, on observe une très forte corrosion du cuivre même en absence d'oxydants. En effet, dans ces milieux, le cuivre devient beaucoup moins noble, son domaine de passivation est excessivement réduit et son potentiel d'équilibre est très abaissé ( $-1,1\text{V} / \text{E.N.H.}$ ). [17].

## II.1-INTRODUCTION

Electrodéposition est une technique qui consiste à obtenir par voie électrolytique, sur une surface conductrice, un ou plusieurs revêtements métalliques, composés d'un ou plusieurs métaux, relève du galvano technique. Ces opérations ont pour but de conférer au métal certaines propriétés de surfaces telles que : la résistance à la corrosion, l'aspect (mat, semi-brillant, brillant, satiné...), les propriétés optiques, la soudabilité, la conductibilité, la résistance de contact, la dureté, la ductilité, la résistance à l'usure, à l'abrasion et au frottement, la rugosité, la tenue au vide et les non toxicité,

Le dépôt électrolytique s'élabore lorsque la pièce, en contact avec un électrolyte approprié, est suffisamment polarisée négativement et dont l'anode polarisée positivement étant soluble ou insoluble.

Pour protéger un métal envers l'oxydation ou la corrosion, il existe plusieurs méthodes [18].

## II.2 -Histoire de l'électrodéposition

Il est possible que les Égyptiens aient utilisé un procédé proche il y a 3000 ans avant J.C ans pour orner de cuivre les objets d'art car cela expliquerait l'existence de statues de cuivre d'une très grande finesse. De l'or aurait pu être déposé en poudre ou à la feuille sur des statues en bois et une immersion dans une solution de cuivre simultanément à un contact avec du zinc aurait pu permettre le dépôt. De cette manière il n'y a pas besoin de connaître l'électricité elle-même... Le support peut être brûlé ensuite. Les Romains l'auraient également utilisé d'après des écrits de Pline l'ancien.

Au 16<sup>e</sup> siècle, le moine Théodule, bénédictin de l'abbaye d'Helmershausen, décrit la dorure au mercure.

En 1805, le chimiste italien Brugnatelli dépose de l'or sur des objets plongés dans une solution de chlorure d'or, à l'aide de la pile inventée par son compatriote Volta. Mais le procédé sera réellement reconnu et publié en 1837 par le physicien russe Boris Jacobi à Saint-Petersbourg et par Thomas Spencer en Angleterre, puis industrialisé par la maison Charles Christofle

Christofle à Paris et Alexander Parkes, employé des établissements Elkington à Birmingham. Le terme *galvanoplastie* est alors adopté d'après la présentation du procédé par Jacobi à l'académie de Saint-Petersbourg.

La fin du 19<sup>e</sup> siècle voit se développer la galvanoplastie des bronzes d'ornement et des métaux précieux, essentiellement pour la reproduction de pièces (procédé également appelé *électroformage*). L'apparition des premières dynamos (machine de Gramme) permet une nette amélioration du procédé [19].

### II.3. Procédé d'électrodéposition

#### II.3.1. Définition

L'électrodéposition est une méthode électrochimique de formation de films aussi bien métalliques que sous forme d'oxydes. C'est un processus très utilisé dans l'industrie pour beaucoup de types d'applications [20]. Les termes "déposition" et "électrodéposition" sont des termes anglophones. Il serait plus correct d'utiliser "dépôt" ou "électro dépôt" pour parler de l'objet déposé, mais aussi de l'action de déposer. Ces termes étant malgré tout peu usités dans ce dernier sens, même dans la littérature scientifique francophone, nous avons choisi d'utiliser malgré tout les termes anglophones le schéma du dépôt électrolytique ces présenter dans la Figure (II-1) [21].

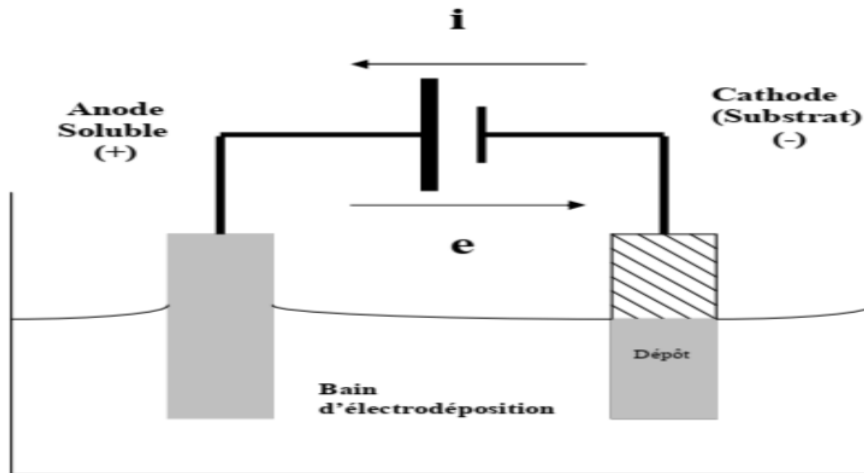


Figure (II-1) Schéma de principe du dépôt par voie électrolytique [22]

### II.3.2-PRINCIPE DE L'ELECTRODIPOSITION

Le but de l'électrodéposition est d'appliquer une couche superficielle sur un métal pour conférer à cette surface les différentes propriétés désirées. L'électrodéposition est une réaction d'oxydoréduction qui est déclenchée par une source de courant. Le bain d'électrolyse contient le sel métallique approprié, le substrat (électrode de travail) sur lequel doit s'effectuer le dépôt et l'électrolyte dans lequel il baigne les ions métalliques.

$Mn+$  de charge positive. La polarisation des électrodes va provoquer une migration de ces ions vers la cathode où l'ion métallique est neutralisé par les électrons fournis par la cathode et se dépose sur celle-ci sous forme de métal  $M$  suivant la réaction :



La réduction de l'ion  $M n+$  et l'oxydation de l'atome métallique  $M$  se produisent simultanément. L'équation susmentionnée est associée un potentiel d'équilibre qui suit la loi

$$E_{eq} = E_o + (RT/nf). \ln(a_{ox}/ a_{red}) \quad (I - 2)$$

$E_o$  : le potentiel standard du couple ox/red (V),

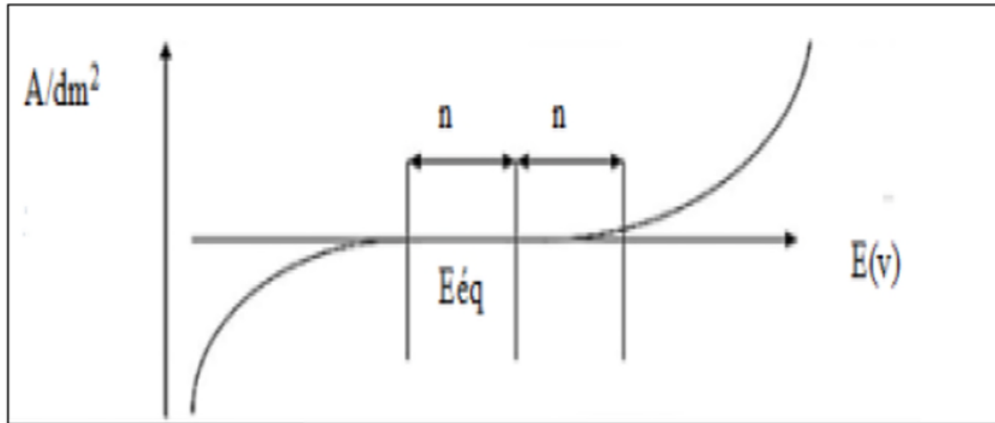
$R$  : la constante des gaz parfaits ( $8.314 J.K^{-1}.mol^{-1}$ ),

$T$  : la température à laquelle s'effectue la réaction (K),

$N$  : le nombre d'électrons mis en jeu,

$F$ : la constante de Faraday ( $96485,338 C / mole d'électrons$ ),

$a$  : l'activité du réactif ou du produit ( $a = \gamma * concentration [mol. L^{-1}]$ , où  $\gamma$  n'est que très rarement égal à un. On confond cependant très souvent activité et concentration). Lorsque l'on soumet l'électrode métallique à un potentiel  $EI$  différent du potentiel  $E_{eq}$ , on favorise la réaction soit dans le sens 1 de la réduction, soit dans le sens 2 de l'oxydation. En particulier, lorsque le potentiel appliqué est inférieur à  $E_{eq}$ , IL y a réduction de l'ion métallique en solution et dépôt du métal sur l'électrode.



**Figure (I.2) Courbe de polarisation [23]**

La différence de potentiel entre le potentiel de l'électrode et le potentiel d'équilibre est appelée la surtension. Elle s'exprime de la manière suivante :

$$\eta = E - E_{eq} \quad (I - 3)$$

Où  $E$  : le potentiel appliqué (V),

$i$ : le courant d'électrolyse, considéré négatif par convention dans le cas d'une réduction (A).

Expérimentalement, nous mesurons une surtension d'électrode ( $\eta_{exp}$ ) qui diffère de  $\eta$  par terme  $IR_s$  qui représente le terme de chute ohmique (La résistance de solution est propre à l'électrolyte et aux positions relatives des électrodes (travail- référence) selon l'équation :

$$\eta_{exp} = \eta + IR_s \quad (I - 4)$$

Lorsqu'on dépose un élément d'une masse molaire  $M$  par électrolyse à partir de ses ions ou à partir des espèces dans lesquelles cet élément est au nombre d'oxydation  $n$ , la valeur de la masse  $m$  déposée pendant le temps  $t$  peut être calculée avec l'expression de Faraday :

$$m = M \cdot I \cdot (t / nf) \quad (I - 5)$$

Où :

I est l'intensité du courant de l'électrolyse utilisée pour déposer le métal ; F est le faraday.

La vitesse de déposition peut être déduite de l'expression précédente ; ainsi si on appelle  $\varepsilon$  l'épaisseur de métal déposée pendant un temps t, la vitesse aura la forme :

$$V = \varepsilon / t \quad (\text{I-6})$$

La masse m peut être en fonction de la masse volumique  $\rho$  du métal et de la surface S du dépôt

$$m = \rho \cdot s \cdot \varepsilon \quad (\text{I-7})$$

Ou bien

$$m = M \cdot I \cdot \frac{t}{n \cdot f} = M \cdot i \cdot \left( \frac{t}{n \cdot f} \right) \quad (\text{I-8})$$

De (I.6) et (I.8), on déduit

$$v = \frac{\varepsilon}{t} = \frac{M \cdot i}{n \cdot f \cdot \rho} \quad (\text{I-9})$$

Où : i est la densité du courant [24]

### II.3.3 Mécanisme d'électrodéposition

Dès lors que l'on modifie l'équilibre établi par la relation (I.1) dans le sens 1, soit en polarisant l'électrode soit en appliquant un courant d'électrolyse, les ions métalliques sont réduits et le métal se dépose sur la cathode. Ce processus, appelé électro cristallisation, se déroule en trois étapes : transfert de masse, transfert de charge et cristallisation.

#### II.3.3.1 Transfert de masse

Lors de la formation du dépôt métallique, les ions présents dans la solution se déplacent : c'est le transfert de masse. La mobilité ionique responsable du passage du courant est constituée elle-même de plusieurs phénomènes qui coexistent [24]:



*a)-La migration* : les ions se déplacent sous l'effet du champ électrique engendré par le gradient de potentiel existant entre les électrodes.

*b)-La diffusion* : les ions se déplacent également en raison du gradient de concentration entre l'interface électrode-électrolyte et le sein de la solution. Ce gradient résulte de la consommation de l'espèce ionique métallique, dite espèce électro active, à la cathode.

*c)-La convection* : elle provient du mouvement hydrodynamique du fluide engendré par une agitation mécanique, thermique...

### II.3.3.2 Transfert de charge

Les théories actuelles sur la formation des dépôts confirment le processus dit de neutralisation. En effet, il a été remarqué que le centre de l'ion positif se trouve lors de cette réaction situé à plusieurs angströms du réseau cristallin. Au cours du transfert de charge, il ne se formerait pas d'atomes proprement dits.

En fait, on schématise le mécanisme de transfert de charge à l'interface électrode-solution comme suit :



M ne représente peut-être pas un atome, on le désigne sous le nom d'adion, par abréviation d'ion adsorbé [24].

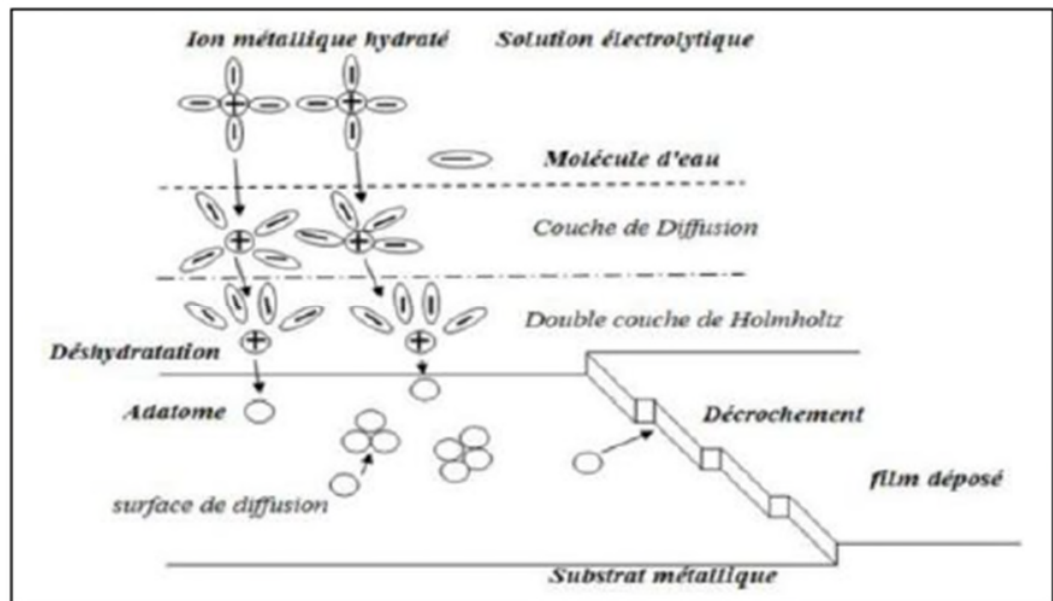


Figure (II 3) : Étapes élémentaires lors de la croissance électrochimique [25]

## II.4 PROPRIETE DE L'ELECTRODEPOSITION

### II.4.1 Protection anticorrosion

La corrosion électrochimique se produit lorsqu'il existe une hétérogénéité, soit dans le métal ou l'alliage d'une part, soit dans la solution ou le réactif d'une autre part. L'existence de cette hétérogénéité provoque la formation d'une pile, un courant électrique circule entre anode et cathode, et les zones qui constituent les anodes sont attaquées [26]. Pour lutter contre ces effets on agit sur l'un ou l'autre des deux partenaires.

En ce qui concerne la solution, il est, la plupart du temps, impossible de modifier sa nature.

Seule l'addition de faibles quantités d'un corps appelé inhibiteur de corrosion pourra être faite. Ce dernier permet de retenir la vitesse de l'attaque de la solution. Il est en général plus facile d'agir sur le métal, par exemple en utilisant un métal noble ou un alliage inerte chimiquement ou passif dans le milieu considéré.

## II.5 Influencée différents paramètres sur l'électrolyse

### II.5.1 Influence du pH

La stabilité du pH dans le bain électrolytique joue un rôle très important, alors que sa diminution ou son augmentation se répercute sur la qualité du dépôt:

- ✓ La densité de courant.
- ✓ La température.
- ✓ L'agitation de l'électrolyte.
- ✓ La composition du bain.
- ✓ La conductibilité de l'électrolyte.
- ✓ Les agents d'addition.

#### II.5.1.1 La diminution du pH peut provoquer:

- La fragilisation par l'hydrogène : étant donné que les potentiels d'équilibres sont en général négatifs et ne peuvent être déposés sur la surface de la cathode sans qu'il y ait un dégagement d'hydrogène (H<sub>2</sub>). Cette fragilisation est causée par l'interaction avec les dislocations du réseau, les atomes d'hydrogène entraînent une diminution importante de

la capacité de déformation (ductilité) du métal. IL est extrêmement important de respecter les conditions d'électrolyse prescrites dans le but de contrer les effets non visibles, mais néfastes de la fragilisation par l'hydrogène (rupture soudaine des matériaux).

- ✓ Une diminution du rendement de courant
- ✓ Diminution de l'épaisseur de dépôt.

#### **II.5.1.2 L'augmentation du pH peut conduire à :**

- La déposition des sels hydroxydes sur la cathode
- Un dépôt mat.

Pour éviter ces inconvénients ; l'ajout d'un sel tampon (exemple : l'acide borique) aux bains électrolytiques est indispensable pour maintenir un pH constant et d'avoir une meilleure qualité de dépôt [28].

#### **II.5.2 Influence de la température**

L'influence de la température sur l'électrolyse et le dépôt en général peut être visualisée par son augmentation qui conduit aux effets suivants :

- ✓ Une augmentation du flux de matière (mobilité des ions électro actifs se présentant à la cathode), qui est dû à la diminution de la viscosité du milieu.
- ✓ Une augmentation de la vitesse de formation de dépôt,
- ✓ Une augmentation excessive de la température peut former des microcristaux sur le

Dépôt en obtenant des structures plus grossières à la surface du substrat.

L'intérêt principal d'une élévation de la température est l'augmentation de la vitesse de dépôt [28-29]

#### **II.5.3. Influence de la densité de courant**

La densité de courant est en fonction du volume de la pièce à revêtir, elle présente une influence très marquée sur la qualité du dépôt de sorte que:

- ✓ Un accroissement de la densité de courant favorise le phénomène de germination au dépend du phénomène de croissance ce qui conduit à une structure plus fine de l'élément à déposer.

Au-delà d'une limite de densité de courant, les dépôts deviennent spongieux ou capiteux et même il peut y avoir des dépôts brûlés.

- ✓ Une densité de courant trop faible favorise la formation d'un dépôt mat à cause de la présence des gros cristaux. [28]

**II.5.4. Influence de l'agitation du bain**

L'agitation du bain à pour but :

- ✓ De provoquer le départ des bulles de gaz qui se forment sur le dépôt et qui sont la source de piqûre.
- ✓ D'augmenter l'intensité limite anodique ou cathodique, afin de faciliter la diffusion des espèces électro actives vers les électrodes et donc, d'éliminer le gradient de concentration et d'uniformiser la polarisation des électrodes dans le bain.

L'agitation peut être assurée par:

-Voie mécanique

- Par insufflation d'air comprimé (N<sub>2</sub>, Ar...) exempt d'huile.

- Par utilisation des électrodes tournantes.

- Par circulation du bain grâce à des jets d'électrolyte.

L'agitation présente un inconvénient majeur dans le cas de présence des boues au fond du bain. Lors de l'agitation, ces boues vont être fixées à la surface des dépôts, et par conséquent leurs aspects deviennent mats. [28]

### III. Introduction

Dans cette partie on présente dans un premier temps les dispositifs expérimentaux de l'électrolyse utilisés pour l'élaboration de nos dépôts. Dans un deuxième temps, on présente les différents résultats obtenus

#### III.1 Matériaux utilisés

##### III.1.1 Substrat

Le substrat utilisé, est acier de nuance A60 (E335) relatif à un acier à base carbone non allié d'usage courant. C'est un acier ordinaire hypoeutectoïde qui présente une bonne ductilité

Le substrat est rectangle de longueur 30mm et de LARGER 25mm et d'épaisseur de 1mm

Tableau III-1 : Analyse du substrat par la fluorescence des rayons X

	<b>Fe</b>	<b>C</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>P</b>	<b>Si</b>
<b>E335</b>	<b>Bal</b>	<b>0.1</b>	<b>0.119</b>	<b>&lt;0.03</b>	<b>&lt;0.050</b>	<b>0.044</b>

##### III.1.2 Revêtements réalisés

Dans notre cas, le matériau de départ choisis pour réaliser les revêtements par électrodéposition c'est du cuivre pur. Cet alliage présente une haute résistance à la corrosion.

#### III.2 Présentation des échantillons

##### III.2.1 Elaboration des échantillons

Les échantillons utilisés, ont été découpé niveau du hall de technologie avec les dimensions suivant

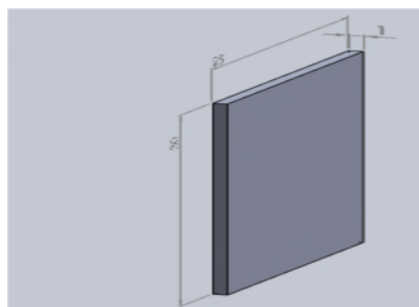


Figure (III .1) : le substrat utilisé pour l'électrolyse

### III.3 Préparation des surfaces à revêtir

Avant de commencer le dépôt, la surface métallique à recouvrir doit être bien traitée et pour atteindre ce but nous sommes passés par l'étape suivante :

#### III.3.1 Dégraissage

Le dégraissage est l'élimination des huiles et diverses particules ou poussières déposés volontairement ou non à la surface de l'acier pendant les opérations de stockage et mise en forme.

### III.4. Paramètres de déposition

Les dépôts ont été obtenus selon les paramètres de la cellule électrolytique. Certains paramètres comme le courant la solution, ont une influence majeure sur la qualité des revêtements. Les différents paramètres sont portés dans le tableau suivant :

**Tableau (III.2): les Paramètres de déposition**

paramètres	valeurs
<b>Intensité du courant Electric</b>	0,1 à 1,5 A
<b>Le potentiel</b>	2,5 à 15 V
<b>La solution du bain</b>	H <sub>2</sub> O + Cu <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>La distance des électrodes</b>	200 mm
<b>température</b>	25 à 30 ° C.

#### II.4.1. cellule utilisé

Les dépôts métalliques ont été réalisés au moyen d'une cellule électrolytique utilisant un générateur spécifique comme source d'énergie (Figure III.1). Lorsque le générateur électrique du dispositif est mis sous tension, un flux se transmet entre l'anode et la cathode, un transfert d'ion s'en suit, celui-ci est favorisé par la Solution H<sub>2</sub>O+ Cu<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> présente dans le bain

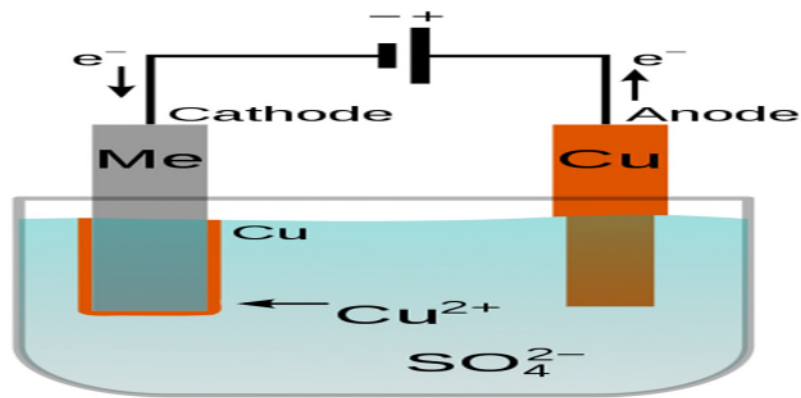


Figure (III.2) Cellule électrolytique

### III.5. Préparation des échantillons pour l'observation métallographique

#### III.5.1 Microscope optique métallographique

L'observation microscopique des métaux et alliages consiste à définir leur structure avec précision. C'est à dire de déterminer qualitativement la nature, la forme et la répartition de leurs constituants.

De plus on peut parfois mesurer au moins approximativement les dimensions, le nombre et la proportion des particules, grains ou inclusions, sous la forme desquels se présentent les constituants (figure III.2).



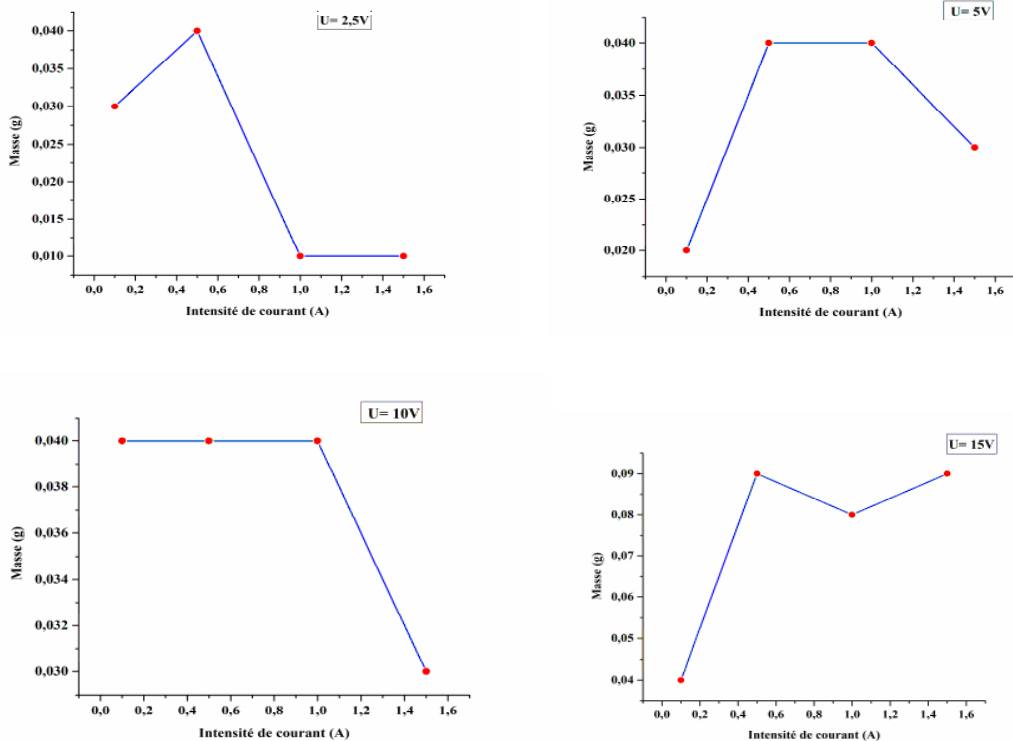
Figure (III.3) : Microscope optique

### III.6. Détermination de l'influence des paramètres sur le taux de recouvrement

Afin d'optimiser les paramètres les plus importants qui influents sur le procédé d'électrodéposition du cuivre sur l'acier, nous avons étudié l'effet de quelques paramètres tels que : la densité de courant imposée et le potentiel, la durée d'électrolyse sur la qualité dépôt de cuivre

#### III.6.1. l'influence du courant électrique et le potentiel sur le recouvrement

Nous avons effectué nos tests dans les conditions citées en tableaux III.2, premièrement on varie l'intensité de courant et on a fixé le potentiel sur des valeurs prédéterminé par le générateurs, durant 30 minutes les résultats obtenus sont présentés dans les figures suivantes (III.3)



**La figure (III.4):** illustre les courbes des variations de masse en fonction d'intensité de courant et le potentiel.



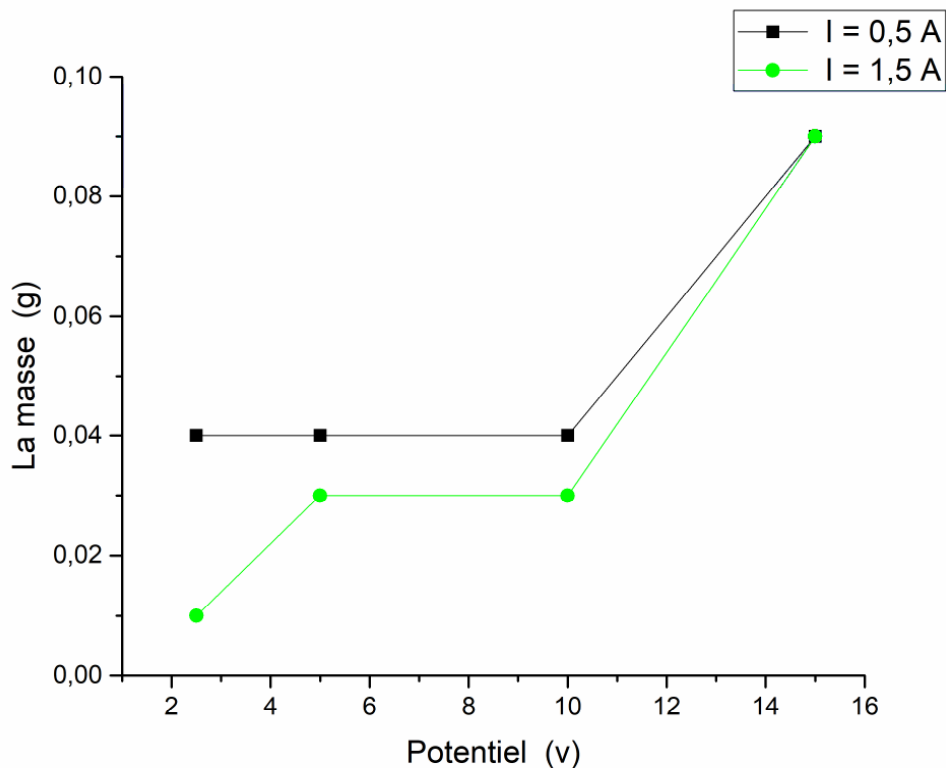
### ✓ DISCUSION DES RESULTAT

L'effet de la densité du courant sur la variation de la masse est donné par la figure (III.3).

Nous avons constaté qu'une augmentation de l'intensité de courant peut amener A une augmentation dans le taux de chargement de masse des dépôts, cela est dû peut-être à l'intensité de courant, qui favorisent la formation d'un dépôt plus charge

#### III.6.2. Effet du potentiel sur le processus de déposition

Dans le but de cerner l'influence du potentiel sur le processus de déposition, nous avons choisie deux valeurs de l'intensité de courant est on a fait varie le potentiel Les résultats de comparaison obtenus sont présentés dans la figure (III.4) suivantes.



**Figure (III.5):** la variation de la masse en fonction du potentiel pour I=0,5 et I=1,5

### ✓ Discussions des résultats

Le taux de chargement du cuivre est relativement différent d'un potentiel à un autre,

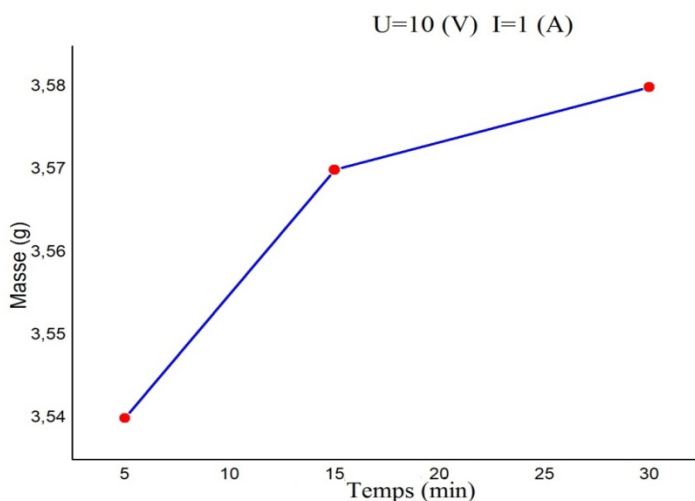
À des valeurs faibles du potentiel il a une légère différence du chargement mais l'augmentation du potentiel provoque une augmentation considérable du taux de chargement et ça pour les deux valeurs d'intensité du courant

D'après ce graphique on constate que le chargement augmente avec l'augmentation du potentiel

Car à un potentiel élevé le déplacement des ions dans le bain augmente d'une manière considérable

### III.6.3. Effet du temps d'électrolyse sur les dépôts en cuivre

Dans le but de cerner l'influence du temps sur le processus de déposition, on fait seulement varier le temps d'électrolyse de 0 à 30 minutes, on fixe la densité de courant à 1 A et le potentiel à 10V. Les résultats obtenus sont présentés dans La figure(III.5)



**La figure (III.6) Effet du temps d'électrolyse sur les dépôts en cuivre,**

#### ✓ Discussions des résultats

Au cours des premières 5 minutes, nous avons remarqué que la masse déposée est relativement faible mais et le chargement de la masse augmente au fur et à mesure avec l'augmentation du temps, donc le temps optimal de l'électrodéposition et

l'obtention des couches avec un maximum d'épaisseurs se réalise a un temps de 30 minutes

### III.7. Observation de l'état de surface du dépôt obtenue

Afin de déterminer l'effet de l'intensité du courant et potentiel sur le recouvrement des dépôts du cuivre sur l'acier, nous avons effectué des observations grasse à un microscope optique pour trois échantillons qui son représenté dans le tableau ci dessus :

**Tableau III.3** les échantillons pour observation optique

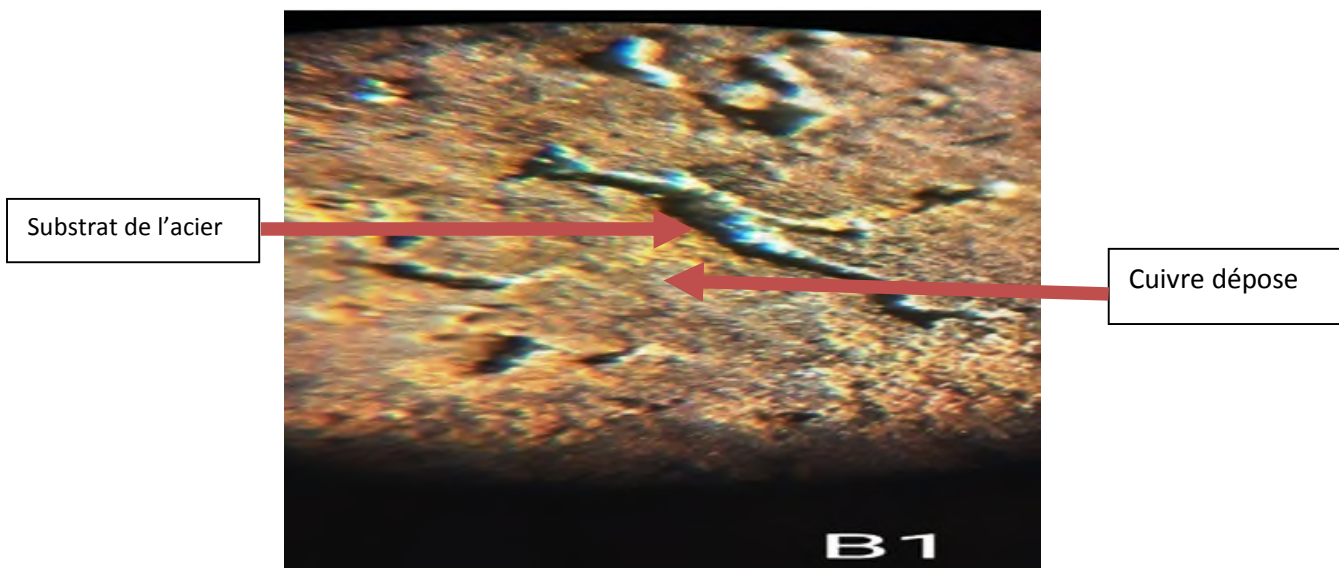
<b>Échantillons</b>	<b>potentiel</b>
<b>Échantillons (A)</b>	<b>V=2,5 V</b>
<b>Échantillons (B)</b>	<b>V=5V</b>
<b>Échantillons (C)</b>	<b>V=10V</b>

Les micrographies obtenues sont représentées par les figures (III.6), (III.7), (III.8). Ils montrent le chargement de nos échantillons obtenu en utilisant les valeurs citées dans le tableau



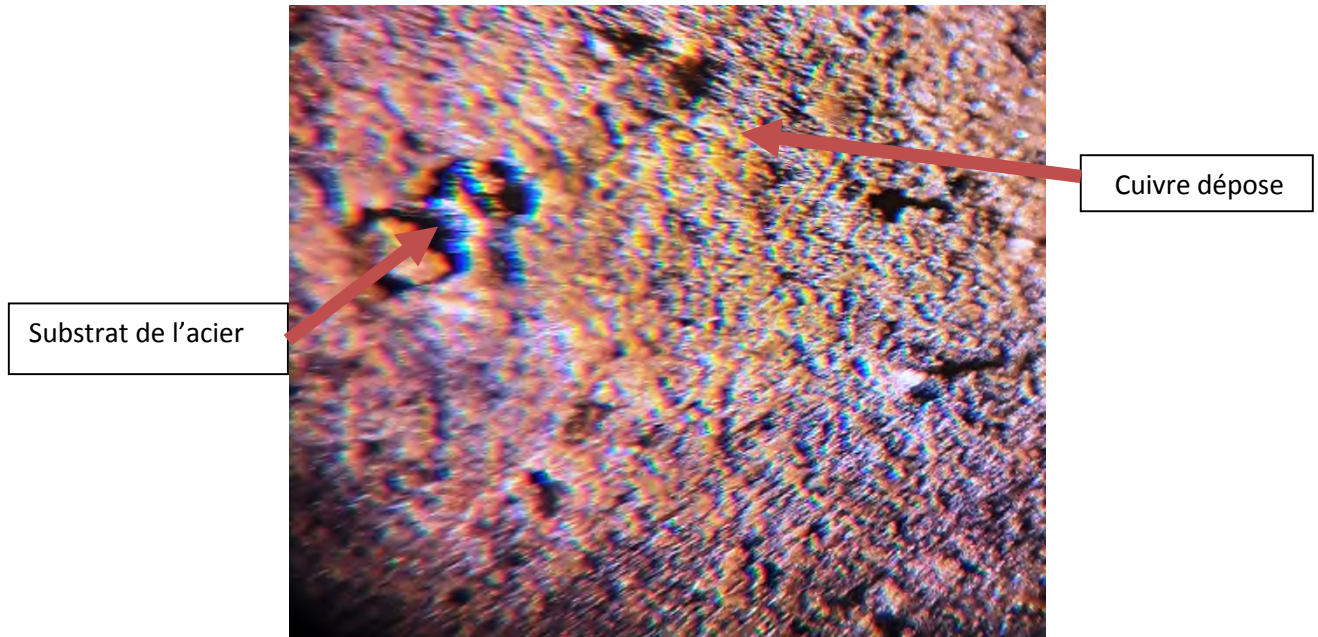
**La figure (III.7):** dépôt Cu observés par le microscope optique pour  $V=2,5V$ .

- ✓ Pour un potentiel de 2,5volte, on remarque une mince couche de cuivre et déposé aux faciès du substrat.



**La figure (III.8):** dépôt Cu observés par le microscope optique pour  $V=5V$ .

- ✓ Pour un potentiel de 5volte, on remarque une légère augmentation de la masse de cuivre déposé aux faciès et plus forte que la précédente



**La figure (III.9):** dépôt Cu observés par le microscope optique pour  $V=10V$ .

- ✓ Pour un potentiel de 10volt, on remarque le cuivre déposé aux faciès du substrat et plus fort et plus dense para port aux deux précédentes

#### ✓ **Discussion Des Résultats**

Les observations ont montré que en faible potentiel il a une faible quantité de masse déposé mais l'épaisseur du dépôt augmente, quand la valeur du potentiel passe de 2,5 à 5 et à 10 volt. Cela est dû essentiellement à l'augmentation du potentiel qui a provoqué une augmentation de la masse déposé. En revanche, le potentiel, est un facteur essentiel dans le rendement de l'électrodéposition,

# Conclusion générale

## Conclusion générale

---

Le développement rapide Des traitements de surface et l'amélioration des performances des matériaux, a porté un intérêt particulier pour l'utilisation adéquate des bains électrolytique du cuivre.

Dans ce travail, nous avons exploré le procédé d'électrodéposition du cuivre sur l'acier dans le but de conférer au métal certaines propriétés.

L'effet des conditions opératoires, telles que le courant électrique, le potentiel, et le temps de l'électrodéposition ont faits l'objet d'une étude détaillée. Les principaux résultats obtenue sont :

- Les résultats obtenus ont montré que l'élévation de la de l'intensité du courant et potentiel jusqu'à une valeur optimale augmente le rendement cathodique.

-D'après les résultats de la comparaison de la variation de la masse en fonction du potentiel pour  $I=0,5$  et  $I=1,5$ , le potentiel de déposition (P) est le paramètre le plus important qui influence l'épaisseur du dépôt

-Nous avons constaté que pour un temps de maintien de 30 minutes va faire une modification très nette sur la structure du dépôt ainsi que sur le rendement cathodique

-Observation de l'état du dépôt du cuivre au microscope est un témoignage Que le potentiel, est un facteur dominons dans le rendement de l'électrodéposition,

### **Perspective d'avenir**

- ✓ Les essais de micro dureté sur les différents revêtements
- ✓ Elaboration des couches minces à base de du cuivre avec d'autres métaux.
- ✓ Etude électrochimique des couches minces dans différents milieux (milieu acide, basique et neutre).
- ✓ Modélisation et simulation du procédé de l'électrodéposition.

## Résumé

---

### Résumé

Les traitements de surface sont des procédés qui modifient les propriétés superficielles d'un matériau afin de le protéger contre la corrosion et pour le rendre apte à être sollicité dans un domaine ou un milieu donné en procurant à sa surface des nouvelles propriétés pouvant leur conférer une résistance, ainsi que l'utilisation d'un matériau moins cher, en améliorant localement ses propriétés de surface.

Des dépôts de cuivre ont été élaborés à partir des bains de cuivre électrolytes, L'influence des paramètres de courant et le potentiel sur l'épaisseur des dépôts ont été étudiées.

Les résultats obtenus montrent que les dépôts de cuivre élaborés dans différentes conditions citées ci-dessous sont uniformément étalés sur toute la surface.

L'intensité de courant : 0,1 à 1.2 A.

Et tension du générateur : 2,5 à 12V

Le temps maximal d'électrolyse : 30 minutes.

**Mots clés :** cuivre, électrodéposition, Intensité, Courant.

### Abstract

Surface treatments are processes which modify the surface properties of a material in order to protect it against corrosion and to make it suitable for being used in a given field or environment by providing its surface with new properties that can give them a strength, as well as the use of a cheaper material, improving the localization of its surface properties.

Coppers have been made from electrolyte copper baths. The influence of **current** and intensity parameters on the thickness of deposits has been studied. The results obtained that the copper deposits developed under different conditions below are uniformly spread over the entire surface

Current intensity: 0, 1 à 1.2 A.

And generator voltage: 2, 5 à 12V

The maximum electrolysis time: 30 minutes.

**Keywords:** Copper, electroplating, Intensity, Current



## Référence

---

- [1]. Autissier, E. (2014). Elaboration de matériaux à gradient de propriétés fonctionnelles pour les composants face au plasma des machines de fusion thermonucléaires (Doctoral dissertation, Dijon).
- [2]. Dahl, O. (1927). Über die struktur und die vergütbarkeit der Cu-reichen Cu-Mg-und Cu-Mg-Sn-legierungen. *Wiss. Veröffentl. Siemens-Konzern*, 6, 222-234.
- [3]. Allain, S., & Bouaziz, O. (2008). Microstructure based modeling for the mechanical behavior of ferrite-pearlite steels suitable to capture isotropic and kinematic hardening. *Materials Science and Engineering: A*, 496(1-2), 329-336.
- [4]. Bouaziz, O., Kandel, M., & Lecomte, C. (2001). Physical modelling of microstructure and mechanical properties of dual-phase steel. *Le Journal de Physique IV*, 11(PR4), Pr4-223.
- [5]. TLILI, Adnene. COURS SCIENCES DES MATERIAUX.
- [6]. GUESSOUMA, L. (2018). Etude du comportement de l'inconel 738 sans et avec traitement mécanique (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila).
- [7]. Guillet, L. (1905). Étude théorique et industrielle des alliages de cuivre et d'aluminium. *Revue de Métallurgie*, 2(1), 567-588.
- [8]. R. Balachandran, H.K. Yow, B.H. Ong, R. Manickam, V. Saaminathan, and K.B. Tan, *J. Alloys Comp.* 481, 336 (2009)
- [9]. J.D. Lee, H.S. Kim, S.Y. Jeong, K.H. Kim, J.J. Lee, and J.E. Kim, *Current Appl. Phys.* 10, 249 (2010).
- [10]. Gaune-Escard, M. (Ed.). (2002). *molten salts: from fundamentals to applications* (Vol. 52). Springer Science & Business Media
- [11]. HERBULOT, F. (2001). Récupération et recyclage de l'aluminium. *Stratégie. Techniques de l'ingénieur. Matériaux métalliques*, 3(M2345), M2345-1.
- [12]. Duparc, O. H. (2004). Alfred Wilm et les débuts du Duralumin. *REVUE DE METALLURGIE CAHIERS D INFORMATION TECHNIQUES*, 353-360.
- [13]. Vennekens, Verstraeten, and Broeckx 2003; ALMET 2012a) Traitements thermiques thermomécaniques
- [14]. Landolt, D. (2002). Electrodeposition science and technology in the last quarter of the twentieth century. *Journal of the Electrochemical Society*, 149(3), S9.
- [15]. Philibert, J., Vignes, A., Brechet, Y., & Combrade, P. (2013). *Métallurgie: du minerai au matériau* (p. 1). Dunod.
- [16]. Yves Bade. *Cuivrage électrolytique*, tech de l'ing, M 1605
- [17]. A. Dessart-J. Jodogne-J. Paul. *Chimie minérale, notions de chimie nucléaire*. T2. Edition (1979).
- [18]. HARZALLAH, W. (2006). Préparation et Caractérisation de Dépôts Composites Electro déposés en Présence d'Inhibiteurs Organiques (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [19]. Trécourt-Codine, F. (2011). Galvanoplastie et fac-similé de monnaies autour de 1900. *Revue Numismatique*, 6(167), 517-537.
- [20]. Mallet, J. (2004). Electrodeposition et propriétés magnétiques de nanofils d'alliage CoxPt1-x (Doctoral dissertation, Université de Reims).
- [21]. ZAKIA, F. (2013). Electrodeposition des métaux (Fe, Ni, Mo, Co...) sur silicium et silicium poreux (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen).
- [22]. Hasan, G. G. Q. Préparation et Caractérisation des dépôts Composites Ni-Co-SiC Electro déposés. (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [23]. Djouhri, M. S., & Chiba, E. H. Effets des Paramètres d'Electrodeposition sur les Revêtements Composites Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Doctoral dissertation).

## Référence

---

- [24]. Derbal, S. (2018). Electrodeposition et caractérisation de couches minces métalliques ternaires CuZnSn (Doctoral dissertation).
- [25]. ZAROOUR, M. Elaboration et caractérisation des dépôts composites Cu/WC électrodéposés (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [26]. G. Di Bari, ASM Handbook, 5(1994)3.
- [27]. J. Edwards et M.J. Levett, Trans. Inst. Met. Finish. 41 (4)(1964)147.
  
- [28]. Derabla, T. (2012). Etude de l'effet de différents paramètres Physico-chimiques d'électrolyse en vue de la préparation de revêtements électrolytiques de chrome à partir des bains de chrome trivalent (Doctoral dissertation, univ-guelma).
- [29]. MARMI, H. (2017). Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [30]. AMER Mekkaoui, "Élaboration et Caractérisation des Revêtements de Nickel Dépôts par Voie Electrochimiq", université –M.Khider –Biskra, 2012-2013

Dans le but de cerner l'influence du potentiel sur le processus de déposition, nous avons calculé la masse des substrats après chaque essai les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau (III):** Les variations de masse en fonction d'intensité de courant et le potentiel dans le procédé de l'électrodéposition.

SUBSTRAT	potentiel(V)	Courant(I)	masse ( $M_0$ )	Masse( $M_1$ )	( $M_1-M_0$ )
1	2,5	0,1	3,73	3,79	0,03
2	2,5	0,5	3,94	3,98	0,04
3	2,5	1	3,93	3,94	0,01
4	2,5	1,5	4,65	4,66	0,01
5	5	0,1	3,13	3,15	0,02
6	5	0,5	3,98	4,02	0,04
7	5	1	3,84	3,88	0,04
8	5	1,5	3,21	3,24	0,03
9	10	0,1	4,59	4,63	0,04
10	10	0,5	4,81	4,85	0,04
11	10	1	4,21	4,25	0,04
12	10	1,5	4,61	4,64	0,03
13	15	0,1	4,73	4,77	0,04
14	15	0,5	5,95	6,04	0,09
15	15	1	5,04	5,12	0,08
16	15	1,5	6,01	6,10	0,09