

**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 : CONSTRUCTION MÉCANIQUE

PAR :

**MAZIT SAID**

**&**

**SADELI FAYSAL**

**Thème**

---

**Influence des paramètres de dépôt de cuivre par électrolyse**

---

Soutenu le 14 octobre 2020 devant le jury composé de:

Mr. M.A.BRADAI	Président
Mr. YOUNES R.	Rapporteur
Mr. DJ.AMARI	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

# Remerciements

# *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 R.YOUNES, notre 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 gratitudee.

Enfin, un merci particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.

# *Dédicace*

# Dédicace

*On dédie ce mémoire aux personnes qui nous sont les plus chers :*

*À mon père, la plus belle marque de reconnaissance et d'encouragement qu'on puisse leur offrir est notre réussite.*

*À nos très chère mère les être les plus nobles qui ont sacrifié les plus belles années de leur vie.*

- *À mon frère :nassim ,malek,nadir*
- *À ma sœur .*
- *À nos grands-parents.*
- *À tout les membres de nos familles.*
- *À nos meilleures amies.*
- *À tout les camarades de notre section.*

## Dédicace

*On dédie ce mémoire aux personnes qui nous sont les plus chers :*

*À mes parents, la plus belle marque de reconnaissance et d'encouragement qu'on puisse leur offrir est notre réussite.*

*À nos très chère mère les être les plus nobles qui ont sacrifié les plus belles années de leur vie.*

- *À nos frères.*
- *À nos grands-parents.*
- *À nos tantes.*
- *À tout les membres de nos familles.*
- *À nos meilleures amies.*
- *À tout les camarades de notre section.*

# Sommaire

# Sommaire

---

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

## **Chapitre I : Electrodeposition et préparation de surface**

I.1. Electrolyse et électrodeposition.....	02
I.1.1. Electrolyse.....	02
I.1.2. Electrodeposition (galvanoplastie).....	03
I.1.2.1. Electrodeposition par courant continu.....	03
I.1.2.2. Electrodeposition par courant pulsé.....	04
I.2. Influence de différents paramètres sur l'électrolyse .....	05
I.2.1. Influence du pH .....	05
I.2.2. Influence de la température .....	06
I.2.3. Influence de la concentration de la solution.....	07
I.2.4. Influence de la densité de courant.....	07
I.2.5. Influence de l'agitation du bain .....	08
I.2.6. Influence des additifs.....	09
I.3. Description des procédés de préparation de surfaces.....	10
I.3.1. Prétraitement mécanique.....	11
I.3.2. Dégraissage chimique .....	11
I.3.3. Dégraissage électrolytique.....	12
I.3.3.1. Dégraissage anodique .....	13
I.3.3.2. Dégraissage cathodique .....	13
I.3.3.3. Dégraissage électrolytique inverse -Périodique .....	14
I.3.3.4. Dégraissage électrolytique par courant pulsé .....	14
I.3.4. Décapage chimique (activation acide) .....	14

## **Chapitre II : Généralités sur le cuivre**

II.1. Généralités sur le cuivre.....	15
II.1.1. Introduction.....	15
II.1.2. L'histoire du cuivre à travers les âges .....	15
II.2 Désignation et caractéristiques du cuivre et de ses alliages.....	16
II.2.1 Principales caractéristiques du cuivre.....	17
a) Les cuivres purs.....	18
b) Les laitons.....	18
c) Les bronzes.....	19



# Sommaire

---

d) Les cupro-aluminiums (ou "bronzes d'aluminium").....	20
e) Cupronickel .....	20
f) Les maillechorts .....	20
II.3 Les propriétés du cuivre.....	20
II.3.1 Propriétés physique du cuivre.....	21
II.3.2 Propriétés chimique du cuivre.....	22
II.3.3 Les propriétés mécaniques du cuivre.....	23
II.3.4 Les Propriétés électrochimiques.....	23
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>	
III. Introduction.....	24
III.1 Matériaux utilisés.....	24
III.1.1 Substrat.....	24
III.1.2 Revêtements réalisés.....	24
III.2 Présentation des échantillons.....	24
III.2.1 Elaboration des échantillons.....	24
III.3 Préparation des surfaces à revêtir.....	24
III.3.1 Dégraissage.....	25
III.3.2 Grenaillage.....	25
III.3.1 Paramètres de projection.....	25
III.3.2 cellule utilisé.....	25
III.3.3 Préparation des échantillons pour l'observation métallographique.....	26
III.3.4 Microscope optique métallographique.....	26
III.4 Détermination de l'influence des paramètres sur le taux de recouvrement.....	27
III.4.1 l'influence du temps sur le taux de recouvrement.....	27
III.4.2 l'influence de la tension sur le taux de recouvrement.....	28
III.4.3 l'influence du courant sur le taux de recouvrement.....	29
III.5 Observation de l'état de surface du dépôt du cuivre au MO.....	30
Conclusion générale	
Références bibliographie	
Résumé	

# Liste des figures et tableaux

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

---

<b>N°</b>	<b>Titre de la figure</b>	<b>page</b>
Figure I.1	Schéma simplifié d'une cellule d'électrolyse	03
Figure I.2	Courant pulsé simple	04
Figure I.3	Courant pulsé avec inversion de la polarité	05
Figure I.4	Courant pulsé avec inversion, puis interruption du courant	05
Figure II.1	Désignation des alliages de cuivre	17
Figure II.2	Pourcentage d'écrouissage	18
Figure II.3	Résistance a la rupture en fonction du pourcentage de zinc	19
Figure II.4	Diagramme tension Ph-CU	23
Figure III.1	Cellule électrolytique utilisé	26
Figure III.2	Polisseuse METASERV 2000	26
Figure III.3	Microscope optique	27
Figure III.4	influence du temps sur la masse du dépôt en Cu	28
Figure III.5	influence de la tension du générateur sur le dépôt en Cu	28
Figure III.6	influence de la tension du générateur sur le dépôt en Cu	29
Figure III.7	facies de dépôt Cu observés par le microscope optique en Cu	30
<b>N°</b>	<b>Titre de tableau</b>	<b>page</b>
<b>Tableau II-1</b>	Analyse du substrat par la fluorescence des rayons X	24
<b>Tableau III.2</b>	Paramètres de projection utilisés	25

# Introduction générale

## Introduction générale

---

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. Ces procédés sont nombreux et font intervenir des domaines très variés de la physique et de la chimie : électrochimie, métallurgie, mécanique optique...etc. Il existe plusieurs types de traitement de surface parmi lesquelles on trouve le revêtement électrolytique. Cette dernière consiste à déposer un matériau différent ou de même nature sur un substrat par voie électrochimique comme le cuivrage, le nickelage et le chromage [1 – 3] en mode de courant continu ou en mode de courant pulsé [4].

Le revêtement par le cuivre est un procédé utilisé pour des fins décoratifs et/ou techniques. Le premier procédé a pour but d'améliorer l'aspect et d'augmenter la résistance à la corrosion et à l'usure. Le procédé utilisé pour des buts techniques consiste à étaler une couche épaisse de cuivre de quelques micromètres jusqu'à une dizaine de millimètres. Il est utilisé dans le revêtement des pièces en rotation ou en translation dont la résistance à l'usure et aux frottements sont des qualités prises en considération lors de l'élaboration de ce genre de pièces comme le cas des vérins des engins. Dans ce travail, on a opté à la substitution de cuivre développement d'un bain de cuivre [5 - 10]. en optimisant les paramètres d'électrolyse ( l'intensité du courant, la densité de courant, , etc.) et la composition du bain pour aboutir à des dépôts de qualités satisfaisantes.

Le mémoire de cette étude comporte trois chapitres. Le premier chapitre décrit les procédés d'électrolyse et d'électrodéposition d'une façon générale, les différents paramètres influençant l'électrolyse ainsi que la description des étapes de préparation de surface de la pièce pour qu'elle soit apte à recevoir la nouvelle couche de revêtement.

Le deuxième chapitre présente des généralités sur le cuivre et les différentes applications des dépôts de cuivre issus des bains de cuivre et enfin l'état de l'art des bains de cuivre.

Le matériel, le dispositif expérimental et les techniques d'analyse font l'objet du troisième chapitre.

Nous finirons par une conclusion générale.

# Chapitre I :

## Généralités sur l'électrodéposition

# Généralité sur l'électrodéposition

---

## **Introduction :**

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. 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 anglophone 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.

## **I.1.. Electrolyse et électrodéposition**

### **I.1.1. Electrolyse**

L'électrolyse est un processus d'échange au cours duquel l'énergie électrique est transformée en énergie chimique. Il permet d'obtenir des réactions chimiques grâce à une activation électrique. Cette activation est assurée par une source de courant continu pour procurer l'énergie nécessaire à la réaction. La matière à décomposer ou à transférer est dissoute dans un solvant approprié de sorte que ses ions constitutifs soient disponibles pour pouvoir circuler librement dans la solution et dans le sens des deux électrodes ; on appelle cette solution, électrolyte. La liaison entre l'électrolyte et le générateur du courant, est effectuée par l'intermédiaire de deux électrodes immergées dans l'électrolyte (Figure I.1).

Une différence de potentiel électrique est appliquée entre les deux électrodes immergées dans la solution. Lors du passage d'un courant électrique continu, les électrodes attirent à elles les ions de charge opposée. La cathode est le siège d'une réduction et l'anode le siège d'une oxydation. On peut dire que l'anode est la borne positive et que la cathode est la borne négative. Notons que ces bornes sont inversées dans le cas d'une pile.

Pour contrôler les réactions dans une cellule d'électrolyse, il faut choisir le matériau de l'électrode ainsi que le type d'électrolyte pour promouvoir une réaction plutôt qu'une autre.

# Généralité sur l'électrodéposition

---

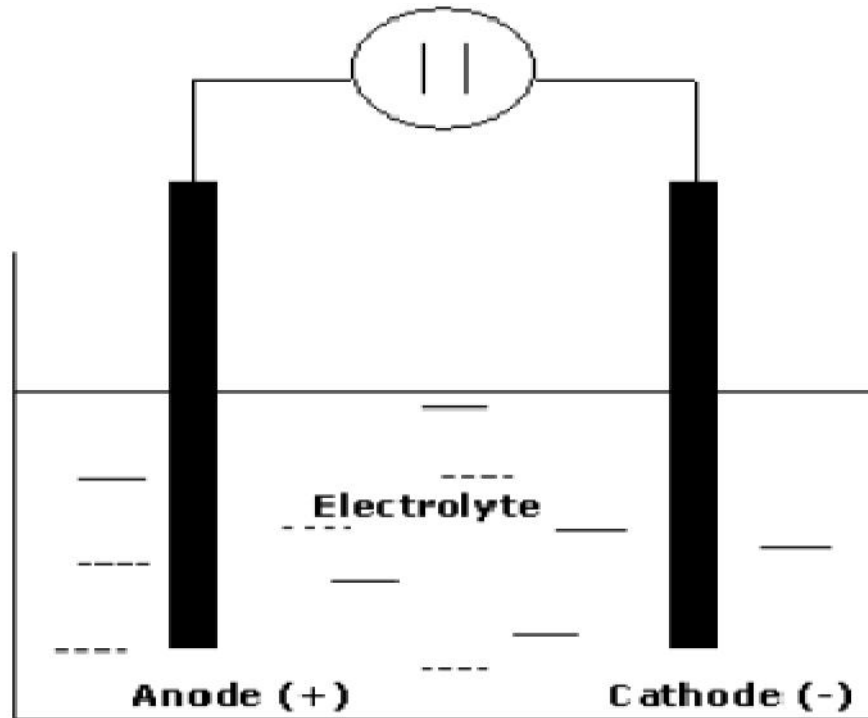


Figure I.1: Schéma simplifié d'une cellule d'électrolyse

## I.1.2. Electrodeposition (galvanoplastie)

### I.1.2.1. Electrodeposition par courant continu

L'électrodéposition ou la galvanoplastie est un procédé électrochimique permettant de recouvrir un substrat au moyen d'un courant électrique continu, d'une couche (dépôt) de métal ou d'alliage de cuivre, nickel, chrome...etc. Le métal à déposer étant contenu initialement sous forme d'un sel soluble dans un solvant en présence des additifs qui jouent un rôle important dans l'efficacité du procédé. Ce milieu est communément appelé bain électrolytique.

La surface de la pièce à recouvrir est dénommée substrat. Les substrats sont choisis en fonction de leurs caractéristiques physiques ; les dépôts effectués assurent des qualités électriques et physico-chimiques améliorées telles que:

- Meilleure protection contre l'oxydation et la corrosion.
- Amélioration de la conductivité du substrat.
- Avoir un aspect brillant.



# Généralité sur l'électrodéposition

---

L'électrodéposition (galvanoplastie) est basée sur le principe de l'électrolyse pour sa mise en oeuvre et à partir de laquelle on peut aboutir à des dépôts de métal pur ou allié suivant les conditions d'électrolyse et les constituants du bain électrolytique. L'électrodéposition ne peut avoir lieu que si la pièce à revêtir subira une préparation de la surface avant qu'elle ne reçoive la nouvelle couche de dépôt électrolytique.

## I.1.2.2. Electrodeposition par courant pulsé

L'électrodéposition en mode pulsé consiste à faire alterner rapidement un courant ou un potentiel entre deux valeurs différentes, ce qui engendre une série de pulses d'amplitudes et de durée variables. Le nombre de paramètres à contrôler devient plus important comparé aux techniques directes.

L'utilisation d'un régime électrique pulsé est souvent signalé qu'il est susceptible d'améliorer la qualité des dépôts métalliques (l'aspect, structure, répartition d'épaisseur, dureté, pureté, etc.), ainsi que la diminution de la teneur en hydrogène adsorbé à la surface de dépôt. Les qualités de dépôt métallique sont obtenues différemment suivant le régime pulsé utilisé dont les plus simples sont [4]:

- Le régime de courant pulsé simple (Figure I.2) : un courant cathodique  $I_c$  est imposé pendant le temps  $T_c$  et le circuit est ouvert pendant le temps  $T'$  ce qui constitue une pause à courant nul ;

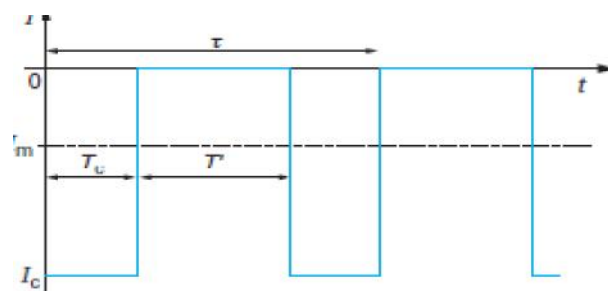


Figure I.2 : Courant pulsé simple

- Le régime de courant pulsé avec inversion périodique du courant (Figure I.3), défini par un courant cathodique  $I_c$  imposé pendant le temps  $T_c$  et un courant anodique  $I_a$ , de signe opposé, pendant le temps  $T_a$  ;

# Généralité sur l'électrodéposition

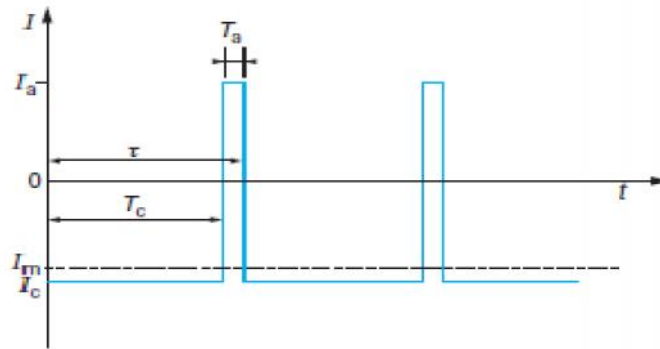


Figure I.3 : Courant pulsé avec inversion de la polarité

- Le régime de courant pulsé avec inversion, puis interruption du courant (Figure I.4).

Ces régimes se caractérisent, par cinq paramètres indépendants  $I_c$ ,  $T_c$ ,  $I_a$ ,  $T_a$ ,  $T'$ .

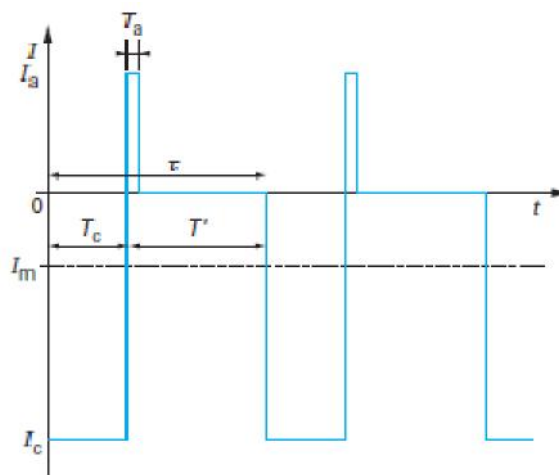


Figure I.4 : Courant pulsé avec inversion, puis interruption du courant.

## I.2. Influence de différents paramètres sur l'électrolyse :

### I.2.1. 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:

#### a- La diminution du pH peut provoquer :

- La fragilisation par l'hydrogène ; étant donné que les potentiels d'équilibres sont en générale négatifs et qui ne peuvent être déposés sur la surface de la cathode sans qu'il y ait un dégagement d'hydrogène ( $H_2$ ). Cette fragilisation est causée par l'interaction avec les dislocations du réseau, les atomes d'hydrogène entraînent une diminution importante de la

# Généralité sur l'électrodéposition

---

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.

## **b- 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.

## **I.2.2. 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 électroactifs 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.

## **I.2.3. Influence de la concentration de la solution :**

Les bains doivent contenir principalement un/ou deux sels précurseurs qui fournissent l'élément à déposer, en présence des additifs. Les bains avec des concentrations faibles en élément à électrodéposer entraînent une augmentation de la surtension, ce qui engendre la formation de dépôts sous forme de couche minces avec une structure fine, par contre les bains avec des concentrations élevées dépassant une limite déterminée, le dépôt devient pulvérulent et sa vitesse de déposition diminue. Donc, il est nécessaire d'effectuer des essais de dépôts avec différentes concentrations de l'élément à déposer, afin d'optimiser la quantité du sel précurseur dans le bain d'électrolyse.

# Généralité sur l'électrodéposition

---

## I.2.4. 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 caviteux 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.

La densité de courant est influencée par plusieurs facteurs:

- La température
- L'agitation
- La conductivité du milieu
- Le phénomène de transport et de diffusion
- La concentration des éléments à déposer
- La géométrie du système
- La cinétique de la réaction électrochimique
- Dégagement de l'hydrogène
- 

## I.2.5. 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 électroactives vers les électrodes et donc, d'éliminer le gradient de concentration et d'uniformiser la polarisation des électrodes dans le bain.

# Généralité sur l'électrodéposition

---

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.

## **I.2.6. Influence des additifs :**

Plusieurs types d'additifs sont utilisés dans la préparation des bains électrolytiques et qui ont pour objectif d'améliorer la qualité des dépôts, parmi lesquelles on a:

### **I.2.6. 1. Sels conducteurs (électrolytes supports) :**

Ce sont des composés ioniques fortement dissociés, qui ne participent pas aux réactions qui se déroulent à la surface des électrodes. Ils ont pour rôle d'élever la conductivité de la solution, donc augmenter la mobilité des ions présents dans le milieu qui influe sur le pouvoir de répartition et le pouvoir couvrant du dépôt. Les sels les plus utilisés comme électrolytes supports dans les bains électrolytiques sont les chlorures et les sulfates de sodium et de potassium. [11]

### **I.2.6. 2. Sels tampons :**

Ils permettent de maintenir le pH constant du bain et surtout dans le film cathodique. Sans ces composés la réduction des protons H<sup>+</sup> est très favorisée par l'augmentation de la densité de courant et de l'acidité du bain, ce qui se traduit par une élévation du pH dans le film cathodique et à la formation d'hydroxydes. L'acide borique est l'agent tampon le plus utilisé dans les bains électrolytiques.

### **I.2.6. 3. Les complexants**

Afin d'obtenir une structure fine et une meilleure qualité de dépôt; l'utilisation des ligands est indispensable pour rendre l'électroréduction de l'espèce à réduire possible au niveau de la cathode. Parmi les complexants les plus utilisés, on trouve: Les formiates, acétates, urée, diméthyl formamide (DMF), glycine, acide glycolique, acide malique, citrates, oxalates, cyanates, thiocyanates, etc.

# Généralité sur l'électrodéposition

---

## I.2.6. 4. Additifs organiques et minéraux

Tout l'art d'obtenir un bain approprié réside dans le fait d'ajouter en faible concentration des additifs qui sont très souvent de nature organique et qui ont des rôles déterminants. En général, ils interviennent en favorisant ou en bloquant la réduction des espèces électroactives et permettent de maîtriser la qualité du dépôt en fournissant des propriétés marquées:

- **La brillance**: les additifs agissent au niveau de la microrugosité du dépôt et empêchent l'apparition des piqûres. Le mécanisme et leur mode d'action ne sont pas encore très connus.
- **L'adhérence**: Grâce aux additifs, on tente d'empêcher la fragilisation du dépôt par l'accélération de dégagement des bulles d'hydrogène de la surface.

## I.2.6. 5. L'eau

L'eau est le solvant le plus utilisé et le plus dominant dans la composition des bains et dans la majorité des cas de galvanoplastie.

## I.3. Description des procédés de préparation de surfaces

Dans tout processus de galvanoplastie, avant de procéder au revêtement superficiel de la pièce, une série de traitement préalable de préparation de la surface est requise, en vue d'éliminer tous les restes de contaminant que cette dernière peut contenir.

Parmi ces contaminants, on peut trouver:

- Les huiles minérales (huiles de protection contre la rouille, fluides de coupes des liquides réfrigérants, graisses, etc.).
- Souillures organiques diverses (peintures et vernis, lubrifiants animaux et végétaux, empreintes digitales).
- Particules solides diverses (poussières, oxydes, tartres, taches de suie et de la rouille).

En général, ces restes existent dans la pièce provenant de traitement de formage mécanique.

De même, les pièces peuvent être soumises à un polissage mécanique en vue d'améliorer leur état superficiel, en éliminant aussi de cette façon la présence d'une éventuelle graisse. Cette préparation de surface est destinée à assurer une adhérence forte et uniforme du métal à déposer sur le substrat. Les techniques de préparation de la pièce sont très variées [12], en fonction du matériau de base et de la nature des contaminants qu'on doit éliminer.

# Généralité sur l'électrodéposition

---

Les techniques les plus fréquentes dans la préparation de surface sont:

- Prétraitement mécanique
- Décapage mécanique
- Dégraissage chimique
- Dégraissage aux ultrasons
- Dégraissage électrolytique
- Décapage chimique /activation acide

## **I.3.1. Prétraitement mécanique :**

Habituellement, le prétraitement se classe en deux groupes préliminaire et final:

### **a- Le prétraitement préliminaire :**

Consiste à éliminer mécaniquement les éléments bruts et résiduaux présents à la surface des pièces, tels que:

- Les restes de pâtes à polir ;
- Les poussières et les taches d'oxyde ;
- La graisse et les gouttes d'huile.

### **b- Le prétraitement final**

Dans cette phase, l'élimination par des moyens mécaniques ne se fait que sur le gros des restes d'huiles et de graisse, en conditionnant la pièce pour le processus de galvanoplastie proprement dit. Dans n'importe quel cycle de prétraitement dans lequel les pièces à traiter présentent autant de reste d'huiles que d'oxyde, c'est une bonne pratique d'éliminer mécaniquement ces polluants, avant d'introduire les pièces directement dans la ligne de traitement, ce qui facilite l'élimination d'une façon plus uniforme des huiles et des oxydes.

Ce traitement se résume comme suit:

#### ▪ **Le nettoyage mécanique :**

l'enlèvement des particules, des bavures, des tartres et des oxydes de la pièce, peut être effectué par l'abrasion ce qui confère au métal une surface plus lisse et plus brillante. [13-14]

#### ▪ **Le nettoyage ultrasonique :**

l'action de frottement est produit par de nombreuses petites cavités de vide formant en raison du passage des ondes soniques issue d'un générateur d'ultrasons ce qui crée un effet d'impact sur la surface de la pièce en collaborant au lavage mécanique de celle-ci; ces dernières passent à travers un fluide (solvant, détergent alcalin), dans lequel la pièce est submergée à la température ambiante.

# Généralité sur l'électrodéposition

---

Le nettoyage ultrasonique est fortement efficace pour enlever les particules solides, la saleté et les taches.

- **Le nettoyage par pulvérisation:**

le nettoyage s'effectue par des solutions aqueuses (alcalines ou acides doux) fournis à la surface de la pièce à nettoyer par des becs de pulvérisation à haute pression.

### I.3.2. Dégraissage chimique :

- **Dégraissage par solvant**

C'est une opération de nettoyage qui consiste à solubiliser les souillures de nature organique ou minérale (huiles, graisses et empreintes digitales etc.) dans un solvant qui peut être employé à l'état liquide à froid quand la pièce est immergée, ou à l'état gazeux par pulvérisation (dégraissage à vapeur de solvant) quand les souillures (peintures, vernis et graisses) sont dissoutes par les vapeurs dissolvantes. [15-16]

- **Dégraissage par émulsion**

Les solvants organiques dispersés dans une solution aqueuse, contenant des émulsifiants qui peuvent diminuer la tension superficielle du bain en provoquant la dissolution des souillures dans la solution (la surface de la substance tensioactive empêche la coalescence des composants dispersés). Le nettoyage des émulsions est suivi d'un nettoyage alcalin pour enlever les composants organiques (les émulsions) de la surface de la pièce avant son revêtement.

- **Dégraissage alcalin**

C'est un nettoyage des souillures organiques (huiles, empreintes digitales, cire etc.) et des particules solides par des solutions alcalines chaudes. Les méthodes appliquées sont, soit le dégraissage par émulsion ou le nettoyage par pulvérisation, suivie d'un rinçage à l'eau.

La température de travail avec les solutions alcalines est de 50 à 84 °C.

- **Rinçage**

Se fait avec de l'eau déminéralisée. Il consiste à éliminer les films moléculaires hydrophiles formés des huiles retenues dans les micelles des émulsifiants ainsi que l'élimination des produits restants du bain sur la pièce. L'eau de rinçage ne doit pas être trop chaude, la température ne doit pas dépassée 30 °C.



# Généralité sur l'électrodéposition

---

## I.3.3. Dégraissage électrolytique

Le nettoyage électrolytique est un processus par lequel un courant électrique direct, inverse ou pulsé passe à travers un électrolyte alcalin souvent très chaud dont la partie à nettoyer est relié comme anode ou cathode. Le dégraissage électrolytique fait réunir les effets du nettoyage en milieu alcalin et du nettoyage mécanique provoqué par les bulles de gaz, qui forment sur la surface de la pièce.

Ce procédé peut enlever toutes les graisses et les huiles saponifiables, les particules solides et les oxydes adhérents en surface du métal. La préparation (dégraissage) électrolytique est suivie d'un rinçage à l'eau puis un décapage de la surface du métal par un acide.

Les techniques électrolytiques employées sont:

### I.3.3.1. Dégraissage anodique :

Dans cette technique, la pièce est reliée au côté positif du redresseur. L'oxydation des ions hydroxydes, se déroule sur la surface de l'anode avec un dégagement d'oxygène : Les bulles d'oxygène libérées aident à éliminer toutes traces d'huiles qui se trouvent sur la surface du métal et évitent la re-déposition de particules métalliques sur la surface extérieure de la pièce.

### I.3.3.2. Dégraissage cathodique :

Lors du dégraissage cathodique, la pièce est reliée au côté négatif du redresseur. La réduction de l'eau qui se produit à la surface de la cathode donne lieu à un dégagement de bulles d'hydrogène.

Les graisses saponifiables sont attaquées et saponifiées sous l'action de la solution alcaline, et l'hydrogène résultant de l'électrolyse sur la cathode favorise la libération des graisses de la pièce. Avec ce système, les oxydes métalliques se dégagent aussi du fait de leur réduction à travers l'hydrogène.

Le dégraissage cathodique est plus efficace que le dégraissage anodique à cause de la libération intensive de l'hydrogène gazeux sur la surface de la pièce par rapport au dégagement de l'oxygène. Le dégraissage cathodique est employé pour les applications suivantes :

# Généralité sur l'électrodéposition

---

- Pour nettoyer les métaux tels que le chrome, l'étain, le laiton, le magnésium, et l'aluminium.
- Pour polir le nickel avant le chromage. L'action d'oxydation du dégraissage anodique produit un film passif sur le nickel.

Les inconvénients du dégraissage cathodique sont:

- Dépôt possible d'impuretés métalliques sur la pièce
- Fragilisation de la surface à cause du dégagement d'hydrogène sur la pièce.

### **I.3.3.3. Dégraissage électrolytique inverse –Périodique :**

Dans cette technique, la pièce est alternativement reliée à l'anode et à la cathode à intervalles commandés de temps. Cette technique fait réunir les avantages des deux procédés de dégraissage anodique et cathodique.

### **I.3.3.4. Dégraissage électrolytique par courant pulsé :**

Avec ce type de dégraissage, la pièce est alternativement placée à la cathode et à l'anode sous l'action d'une solution alcaline contenant des agents complexants. Quand ce type de dégraissage est en phase final, il est nécessaire que les pièces quittent ce procédé en phase anodique du cycle.

### **I.3.4. Décapage chimique (Activation acide) :**

Après le dégraissage électrolytique, il est nécessaire d'effectuer un décapage chimique sur la surface de la pièce à revêtir en utilisant un acide (activation acide).

L'activation acide est employée pour enlever les oxydes (rouille) ou la ternissure, les précipités divers, aussi bien que pour neutraliser n'importe quelle base alcaline demeurant sur les pièces pour mettre la surface du métal à nue, et créer des points de fixation pour le dépôt ultérieur.

En fonction du type d'oxyde à éliminer et de la nature de l'alliage ou du métal utilisé, on emploie un acide fort ou faible dans des bains à chaud ou à froid pour activer la partie de surface de métal avant son revêtement.

Des acides doux (citrique, phosphorique) sont employés pour l'activation de la surface d'aluminium, des moules de zinc et d'autres alliages sensibles.

# Généralité sur l'électrodéposition

---

La plupart des alliages d'acier sont nettoyés par des solutions d'acides sulfuriques ou chlorhydriques, bien que l'acide chlorhydrique puisse fragiliser certains types d'acier et est employé seulement dans des applications spécifiques.

Dans ce processus, la pièce dont elle fait l'objet d'électrodéposition, passe généralement du bain d'activation acide par une série de rinçages pour une préparation finale de la surface avant galvanoplastie.

# Chapitre II :

## Généralités sur le cuivre

---

# Généralités sur le Cuivre

---

## II.1. Généralités sur le cuivre

### II.1.1. Introduction

Dans le temps moderne, le cuivre a connu un essor extraordinaire avec le développement de l'électricité dès le début du 20<sup>ème</sup> siècle. De nos jours, les applications électriques du cuivre restent son débouché fondamental et représentent environ la moitié de la consommation.

Les propriétés du cuivre font qu'il convient très bien pour le transport de l'électricité. Non seulement le cuivre est malléable et ductile, mais il se caractérise par une bonne conductivité électrique et thermique [17]. Comme plusieurs autres métaux, le cuivre pur est obtenu par le procédé électrométallurgique par affinage électrolytique [18].

### II.1.2 L'histoire du cuivre à travers les âges

Le cuivre a joué un rôle des plus importants dans le développement des civilisations. Il a trouvé son origine dans plusieurs sites, et notamment à Chypre, qui lui a donné son nom : Aes Cyprium.

Les anciens représentèrent le cuivre par le symbole  $\text{Cu}$ , forme modifiée du hiéroglyphe égyptien signifiant "pour la vie", marquant ainsi la pérennité du cuivre.

Il est difficile de situer exactement le moment de l'apparition des premiers objets en cuivre et la division classique en âges de Pierre, du Bronze et du Fer n'est pas nettement délimitée. Il est vraisemblable que des outils et des armes de chasse en cuivre sont apparus dès l'époque néolithique, vers 5000 ans avant J.C., époque à laquelle ce métal existait dans la nature à l'état natif, c'est à dire pur de toute combinaison.

Des objets en cuivre ont été découverts en Irak, qui dataient du neuvième millénaire. On peut cependant dire d'une manière générale que les vieilles civilisations utilisaient le bronze, alliage de cuivre et d'étain, depuis 3500 ans avant J.C., le fer n'apparaissant que plus tard vers 1800 avant J.C. L'or et l'argent, qui étaient avec le cuivre les métaux les plus souvent trouvés à l'état natif, ont été très tôt utilisés, mais seulement comme ornement. L'une des 7 merveilles du monde, le Colosse de Rhodes, réalisé en 290 avant J.C., fut exécuté en martelant des feuilles de cuivre sur des moules de bois.

---

## Généralités sur le Cuivre

---

Les Grecs possédaient également des techniques de coulée du bronze hautement élaborées, dont le principe est encore utilisé aujourd'hui pour les coulées de précision.

L'invention de la poudre à canon devait conduire à l'emploi du bronze en grandes quantités pour l'artillerie. Les premiers instruments scientifiques : boussoles, balances et une grande partie des pièces métalliques employées à bord des navires étaient en cuivre ou en laiton, alliage de cuivre et de zinc.

Dans les temps modernes, le cuivre a connu un essor extraordinaire avec le développement de l'électricité dès le début du 20ème siècle.

De nos jours, les applications électriques du cuivre restent son débouché fondamental et représentent environ la moitié de la consommation.

Sa grande aptitude à la constitution d'alliages dont les laitons et les bronzes sont les plus répandus, et ses remarquables propriétés anti-corrosion lui confèrent des débouchés très importants dans l'industrie et le bâtiment. Ses domaines d'application couvrent l'éventail complet de l'activité économique, depuis les pièces et matériels les plus traditionnels jusqu'aux systèmes de haute technologie les plus évolués.

### **II.2 Désignation et caractéristiques du cuivre et de ses alliages :**

Le cuivre est un métal de couleur rouge orangé possédant une haute conductibilité thermique et électrique ainsi qu'une bonne tenue aux corrosions courantes. Ce sont ses propriétés qui en font un métal employé pur ou faiblement allié dans la construction électrique, le transport d'électricité et le bâtiment (Figure II.1 )

En revanche, en mécanique, le cuivre pur n'est pas ou peu employé. Ce sont des alliages de cuivre qui sont utilisés tels que par exemple:

Les **laitons**, alliages de **cuivre et de zinc**, qui se forment et s'usinent aisément. Ces alliages de couleur jaune sont parfois improprement appelés cuivre jaune.

# Généralités sur le Cuivre

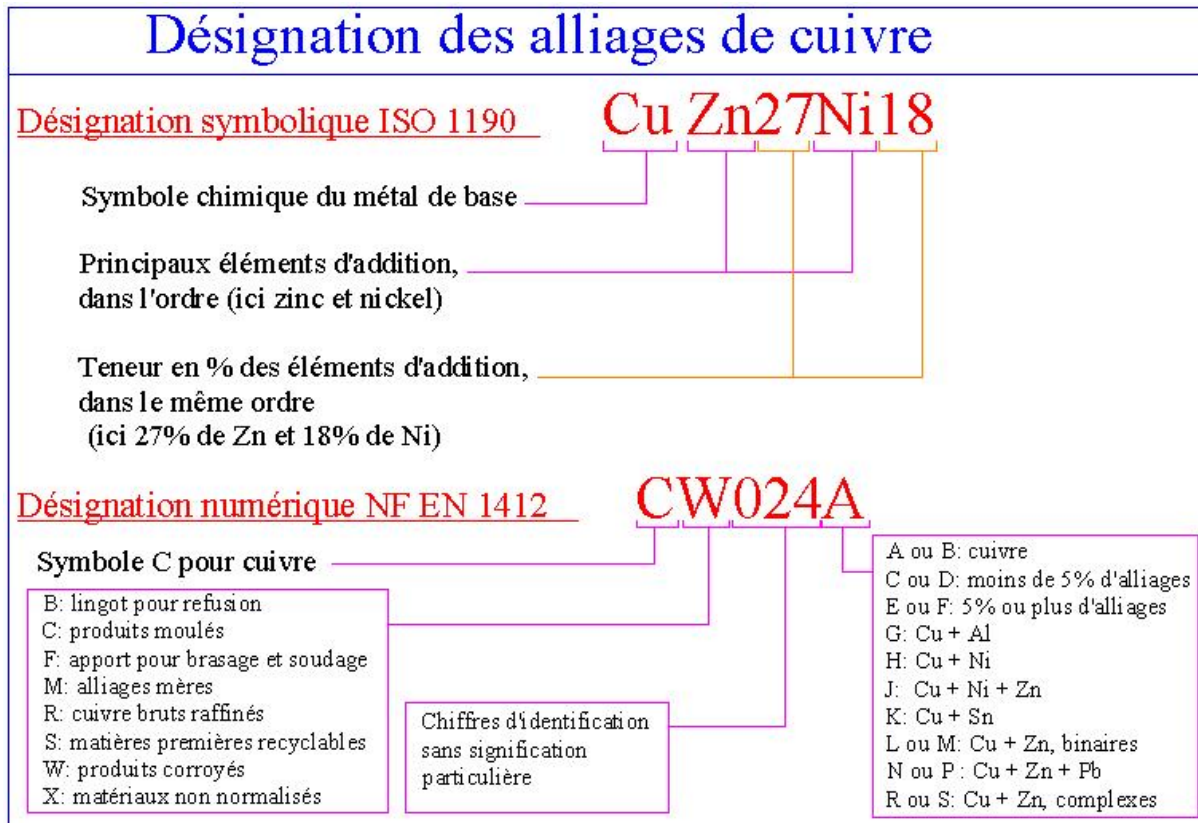


Figure II.1 : désignation des alliages de cuivre

## II.2.1 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. [19-22]

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 II.2 ).

## Généralités sur le Cuivre

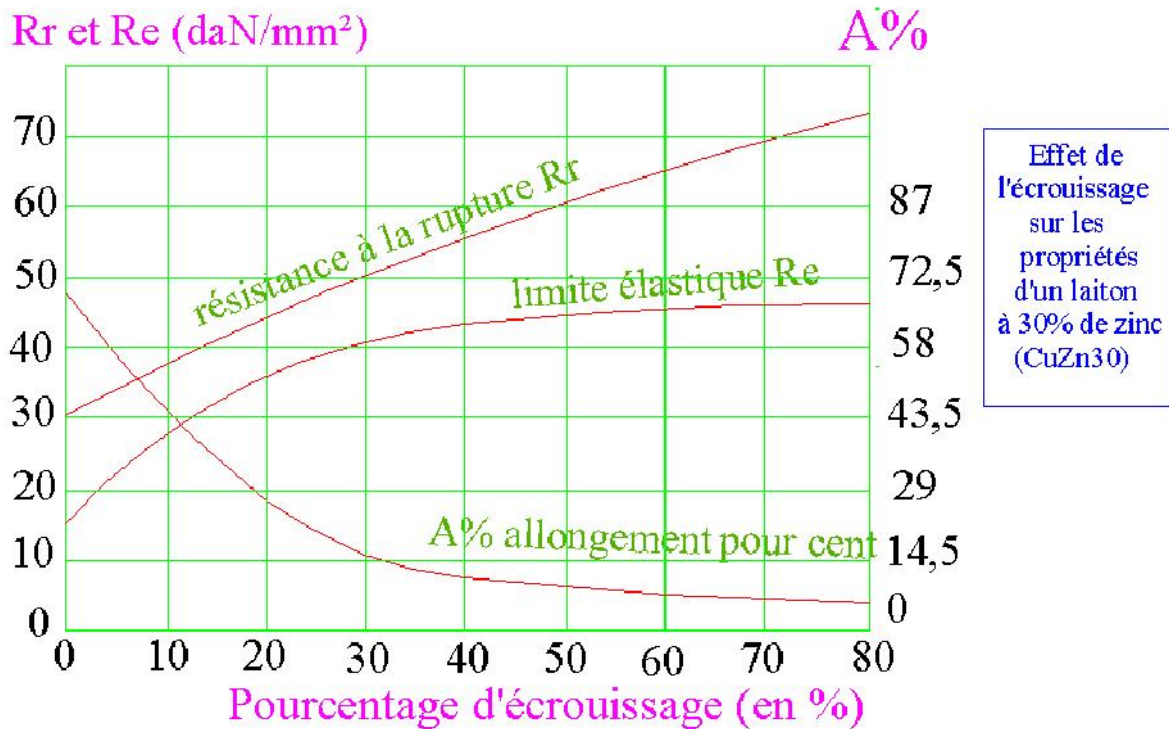


Figure II.2 : pourcentage d'écrouissage

### a) Les cuivres purs :

Le cuivre utilisé pur (usages électriques principalement mais aussi thermiques...) est soit un cuivre affiné (endurant, plus fragile, plus cassant), soit un cuivre désoxydé ou débarrassé de toute trace d'oxygène (moins fragile et très haute conductivité).

L'addition d'argent, d'arsenic, cadmium et zirconium améliore diverses propriétés (dureté...) sans modifier les propriétés de conductivité électrique de manière significative.

### b) 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 (Rr) 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. [23-25]

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 (figure II.3).



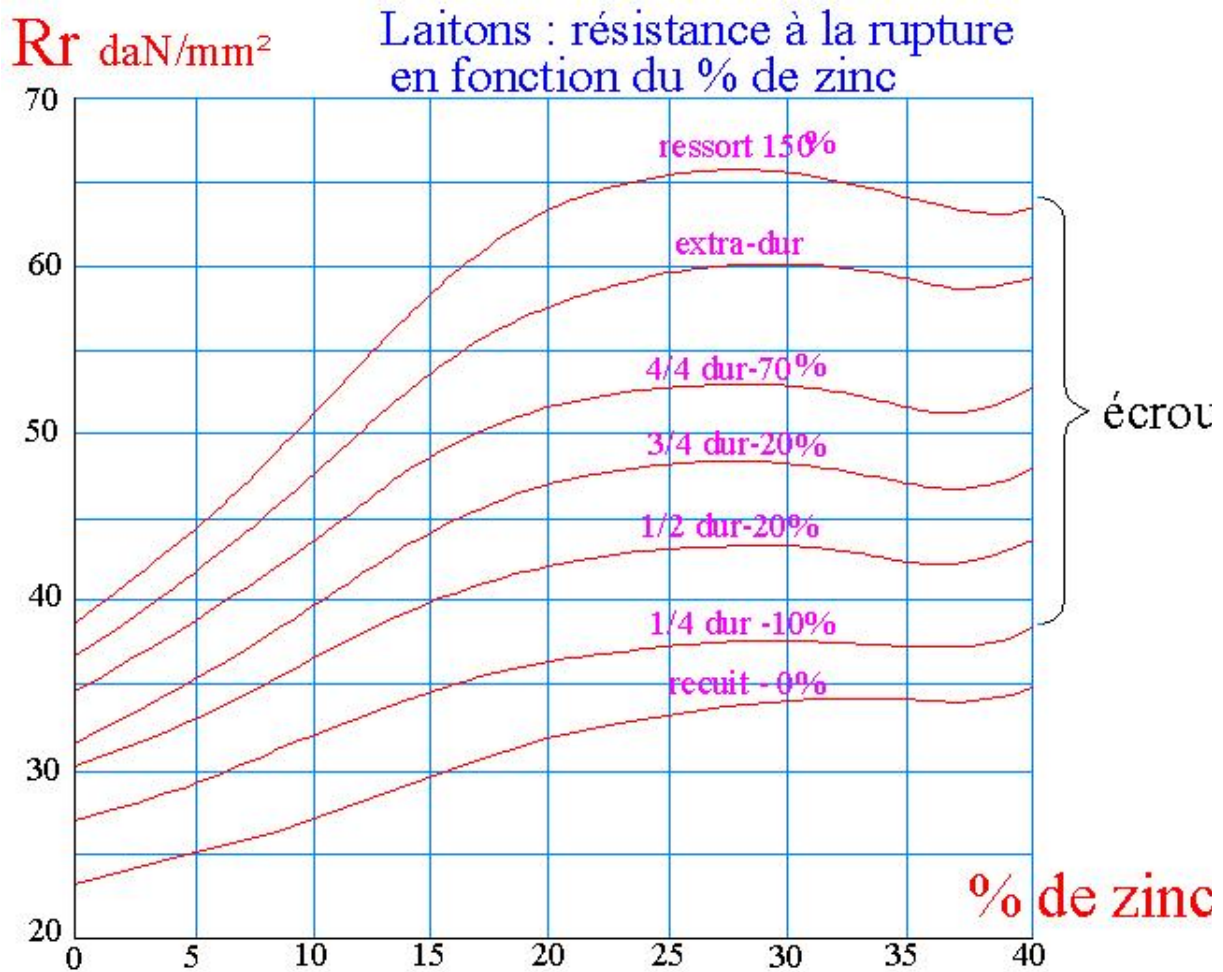


Figure II.3 : résistance a la rupture en fonction du pourcentage de zinc

### c) 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 . [26]

chrysocales).

**Propriétés** : résistance à la corrosion, bonnes qualités frottantes et aptitude au moulage. Les bronzes se travaillent moins bien que les laitons (usinage, emboutissage...) mais donnent des moulages plus sains.

### **d) Les cuproaluminiums (ou "bronzes d'aluminium") :**

Ils sont surtout utilisés en fonderie. L'addition d'aluminium, entre 10 et 11%, donne des alliages ayant de génie maritime). Ils sont souvent utilisés avec une addition de fer.

### **e) 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.

**Utilisations** : pièces de monnaie ( 25% Ni), tubes de condenseurs et d'échangeurs (avec 30% Ni), résistances électriques (constantes : 45% Ni)...

### **f) 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.

## **II.3 Les propriétés du 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.

### II.3.1 Propriétés physique du cuivre :

La caractéristique essentielle du cuivre est sa qualité de bon conducteur de l'électricité.

La conductibilité électrique du cuivre a été prise comme référence par la commission électrotechnique Internationale en 1913 et la résistivité du cuivre, d'une valeur de 1,724 microhm. cm à l'état recuit, est l'étalon de cette mesure. La conductibilité du cuivre est, par définition, égale à 100 % IACS (International Annealed Copper Standard). Seul l'argent a des performances légèrement Meilleures sur ce point (environ 106 IACS). . [27]

La solidité du fil cuivre et la fiabilité des contacts qu'il permet d'obtenir sont les raisons essentielles de l'emploi généralisé du cuivre dans toute l'industrie de la construction électrique, dans la distribution de l'énergie électrique, dans la fabrication du matériel électrique et des composants électroniques. A titre d'exemple, 95 % des fils conducteurs d'un Airbus sont en cuivre. Si une très haute fiabilité de contact est nécessaire, comme dans un satellite, on envisage alors une dorure, une argenture ou un étamage : le cuivre s'adapte très bien à ces revêtements de surface.

### II.3.2 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 et 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 les plate-formes pétrolières 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. .

### II.3.3 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.

### II.3.4 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).

## Généralités sur le Cuivre

---

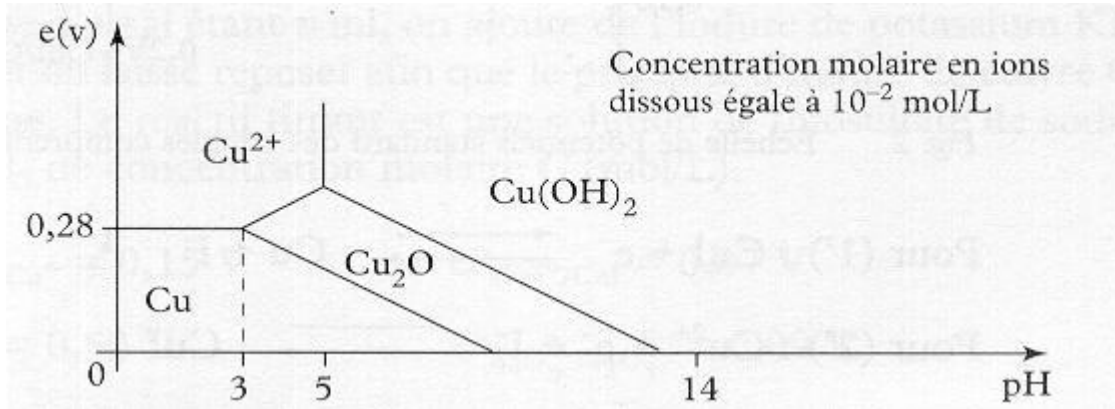


Figure II.4: *Diagramme tension-pH du Cuivre*[28].

En présence de sels ammoniacaux ou de cyanures formant avec les ions  $Cu^+$  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 et excessivement réduit et son potentiel d'équilibre est très abaissé ( $-1,1V / E.N.H$ ) . [29].

# **Chapitre III :**

# **Résultats et discussion**

# Résultats et discussions

---

## 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, dans notre étude, est un acier de nuance E335 non allié d'usage courant en mécanique générale. Non traité, il offre une bonne résistance mécanique. La teneur en pourcentage massique des éléments constituant le substrat est représenté dans le tableau II.1.

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

<b>E335</b>	<b>C</b>	<b>Mo</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>P</b>	<b>Si</b>	<b>V</b>
	0.1	0.007	0.119	0.231	0.050	Bal	0.044	0.01	0.010

#### III.1.2 Revêtements réalisés

Dans notre cas, les matériaux 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 pour la projection thermique, ont été usinés sur une fraiseuse au niveau du hall de technologie ou on à effectuer :

- Découpage, dans le but de réaliser la forme de l'échantillon ;
- Un fraisage, de surface avec une fraiseuse conventionnelle ;

#### III.3 Préparation des surfaces à revêtir

Après avoir élaboré les échantillons, on a effectué les différentes opérations de préparation de surface comme suit :

##### 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.

## Résultats et discussions

---

### III.3.2 Grenailage

Le but du grenailage est d'une part d'éliminer les oxydes présents en surface de la pièce et d'autre part d'augmenter la rugosité de surface afin d'obtenir une meilleure adhérence de l'émail.

### II.3.1 Paramètres de projection

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. Dans notre étude, nous avons effectué les dépôts selon des paramètres différents qui sont portés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Paramètres de projection utilisés

Paramètres de projection	
Courant du générateur	0 à 1,2 A
Tension du générateur	0 à 12 V
La vitesse d'avance de fil électrique	0.06 m/s
Solution	H <sub>2</sub> O+ Cu <sub>2</sub> So <sub>4</sub>
Distance	100 mm

### II.3.2 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



## Résultats et discussions

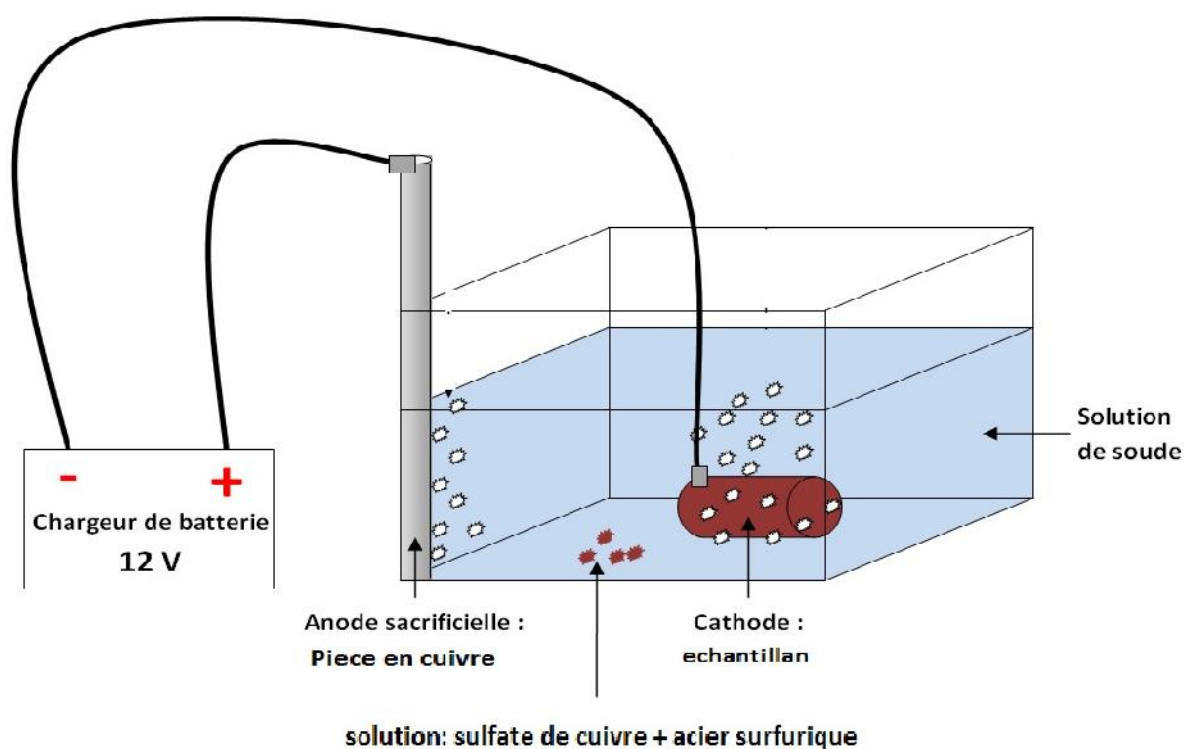


Figure III.1: Cellule électrolytique utilisé.

### III.3.3 Préparation des échantillons pour l'observation métallographique

L'observation microscopique nécessite un polissage fin de la surface de la coupe du dépôt à observer. Après avoir effectué toutes les opérations citées précédemment, nous avons poli à l'aide d'une polisseuse qui vise à rendre les surfaces uniformes au moyen d'une série de papier abrasif à granulométrie de grades progressifs (180, 320, 400, 600, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, grains/cm<sup>2</sup>) sous lubrification de l'eau, afin d'avoir un bon état de surface sans stries et sans écrouissage. (Figure III.2).



Figure III.2 : Polisseuse METASERV 2000

### III.3.4 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.3).



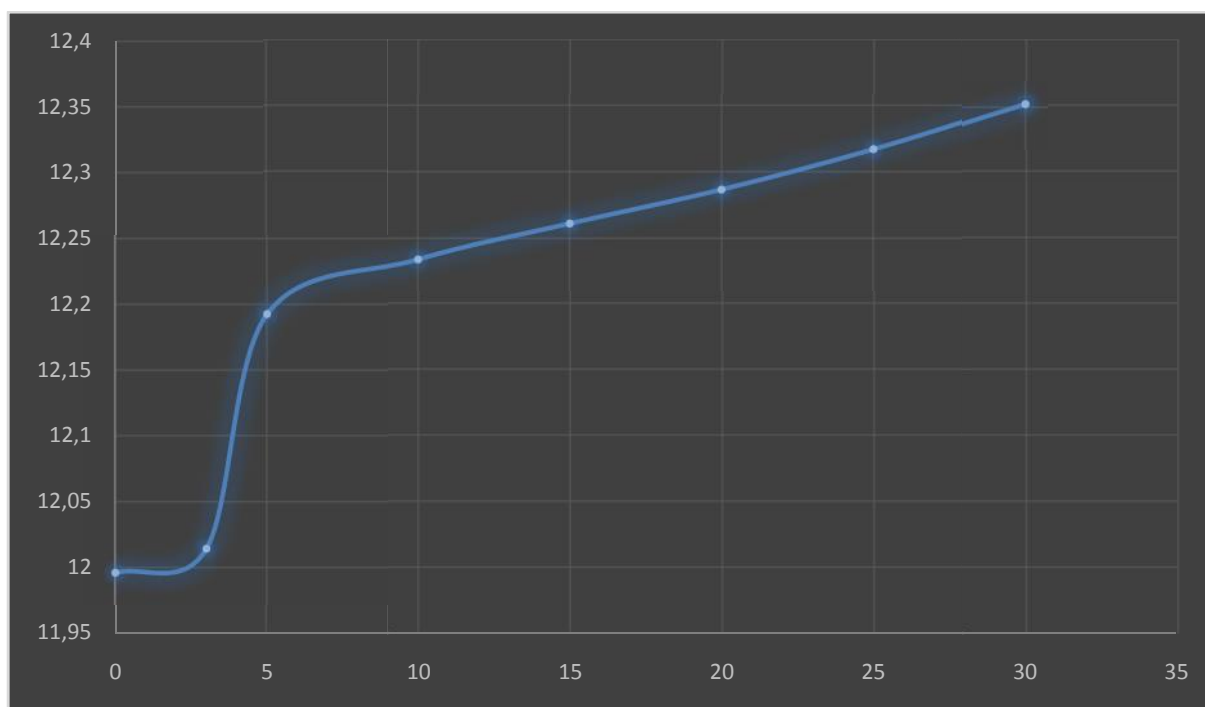
Figure III.3 : Microscope optique

### III.4 Détermination de l'influence des paramètres sur le taux de recouvrement

#### III.4.1 l'influence du temps sur le taux de recouvrement

La figure (III.4) illustre les courbes de masse obtenues en fonction du temps.

## Résultats et discussions

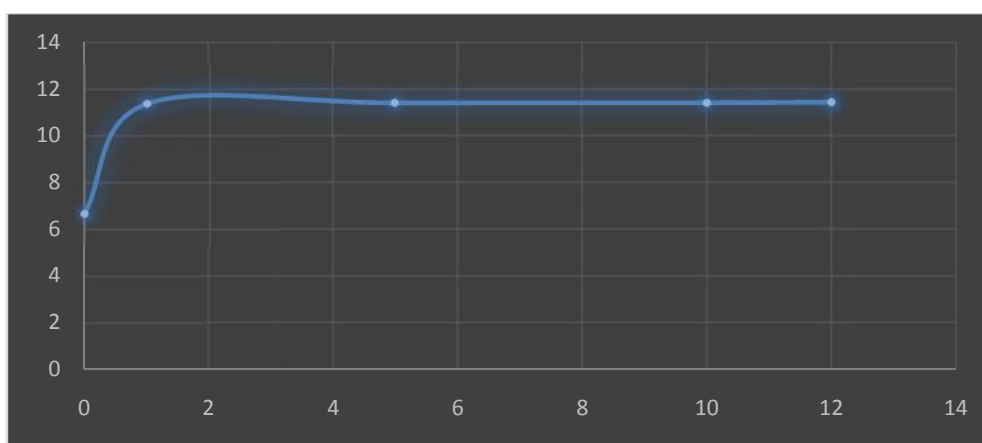


**Figure III.4 :** influence du temps sur la masse du dépôt en Cu

La Figure III.4 montre clairement que l'épaisseur de la couche de cuivre augmente avec le temps jusqu'à 30 minutes d'électrolyse confirmant le temps optimal pour l'obtention d'une couche de chrome avec un maximum d'épaisseur.

### III.4.2 l'influence de la tension sur le taux de recouvrement

La figure (III.5) illustre les courbes de masse obtenues en fonction de la tension du générateur.



**Figure III.5:** influence de la tension du générateur sur le dépôt en Cu

Les mesures ci-dessus montrent que les dépôts de cuivre obtenus est élevée a celle des substrats en cuivre ordinaire. Ceci indique que les dépôts électrolytiques sont plus compacts, ce qui leurs confère une dureté sensiblement élevée.

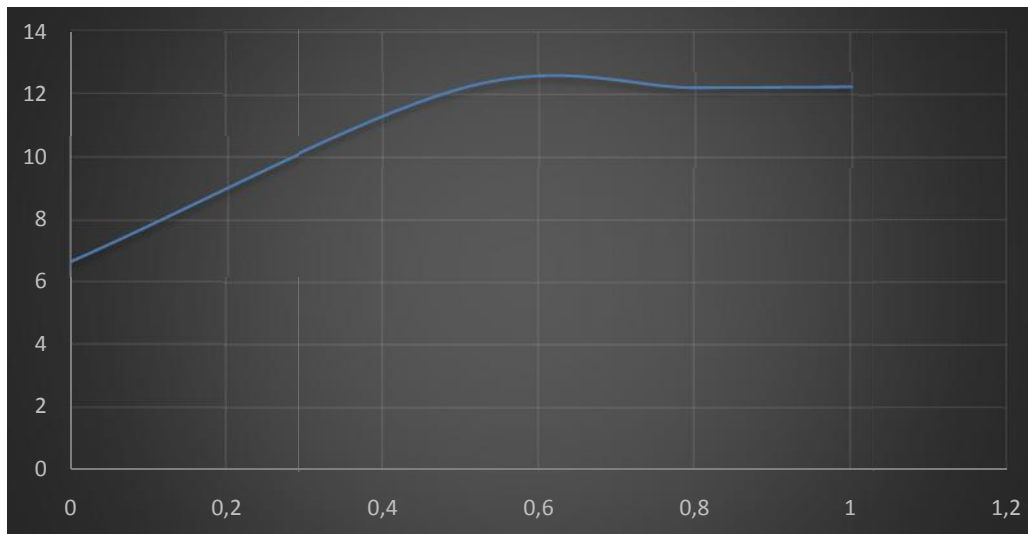
---

## Résultats et discussions

---

### III.4.3 l'influence du courant sur le taux de recouvrement

La figure (III.6) illustre les courbes de masse obtenues en fonction de la tension du générateur.

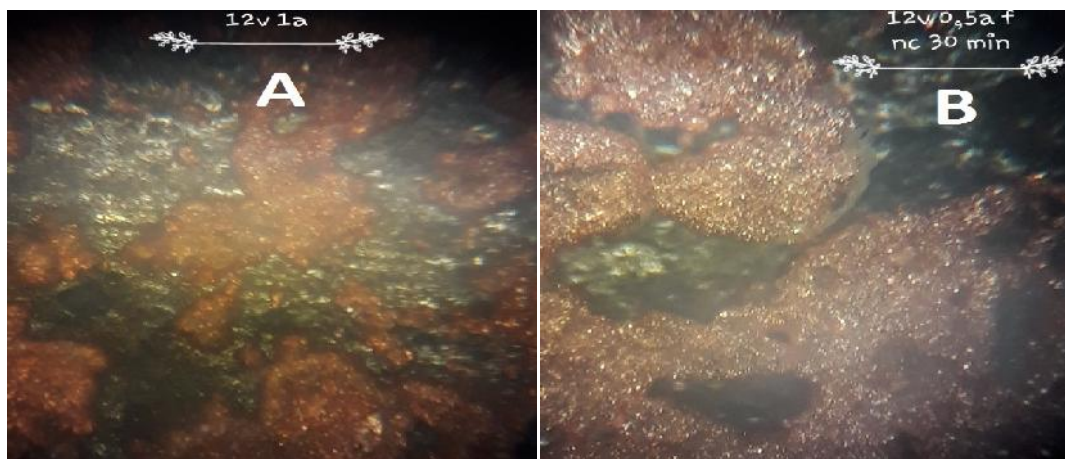


**Figure III.6:** influence de courant sur le dépôt en Cu

La Figure III.6 montre que l'épaisseur de la couche de cuivre obtenue augmente avec l'augmentation de l'intensité de courant, ensuite l'influence de la densité de courant diminue au delà de 0,6 A

### III.5 Observation de l'état de surface du dépôt du cuivre au MO

Les facies de dépôt observés par le microscope optique sont illustrés dans la figure (III.7).



**Figure III.7:** facies de dépôt Cu observés par le microscope optique en Cu.

## Résultats et discussions

---

Les dépôts élaborés à partir des bains de cuivre, ont été analysés par microscopie optique pour discerner l'état de surface des pièces avant et après qu'elles soient revêtues d'une couche de cuivre. Les photos de différents dépôts sont présentées sur la Figure III.7. On remarque dans la figure que le taux de recouvrement a changé.

# Conclusion générale

## CONCLUSION GENERALE

---

Le but de l'électrodéposition est d'appliquer une couche superficielle sur un métal pour conférer à cette surface les propriétés désirées : de dureté, de résistance contre l'érosion ou la corrosion, de brillance etc... En outre, l'adhérence de cette couche au substrat doit être Parfaite.

Le principe de l'électrodéposition est basé sur une électrolyse, il s'agit de réactions redox qui ne sont pas entretenues, mais qui sont déclenchées par une source de courant externe. La cathode et le bain d'électrolyse constituent la plupart du temps, l'élément critique de la cellule, il contient le sel métallique approprié. Tout l'art d'obtenir un bain approprié réside dans le fait d'ajouter des additifs qui sont très souvent de nature organique, et qui ne sont présents qu'en faibles concentrations.

# Références bibliographiques



## Références bibliographiques

---

- [1]. Y. Badé, Cuivrage, M 1 605, traité Matériaux métalliques Janv. 1982.
- [2]. Y. Badé, Nickelage M1610, traité Matériaux métalliques Oct. 1983.
- [3]. P. Benaben, Chromage M1615, traité Matériaux métalliques.
- [4]. B. Nguyen, Electrodeposition par courant pulsé, M1627. Traité Matériaux métalliques. Année
- [5]. Z. Zeng, Y. Sun et J. Zhang, The electrochemical reduction mechanism of trivalent cuivre in the presence of formic acid, *Electrochemistry Communications* 11 (2009) 331–334
- [6]. B. Li, A. Lin et F. Gan, Preparation and characterization of Cr–P coatings by electrodeposition from trivalent cuivre electrolytes using malonic acid as complex. *Surface & Coatings Technology* 201 (2006) 2578–2586
- [7]. Y.B. Song et D.-T. Chin Current efficiency and polarization behavior of trivalent electrodeposition process. *Electrochimica Acta* 48 (2002) 349-356
- [8]. Z. Zeng, A. Liang et J. Zhang. A Review of Recent Patents on Trivalent Chromium Plating. *Recent Patents on Materials Science* 2009, 2, 50-57
- [9]. Z. Zeng, L. Wang, A. Liang et J. Zhang, Tribological and electrochemical behavior of thick Cr–C alloy coatings electrodeposited in trivalent bath as an alternative to conventional Cr coatings. *Electrochimica Acta* 52 (2006) 1366–1373
- [10]. C.A. Huang, Y.W. Liu, C. Yu et C.C. Yang, Role of carbon in the chromium deposit electroplated from a trivalent chromium-based bath. *Surface & Coatings Technology* (2011). Article in press.
- [11]. S. Ghaziof, M.A. Golozar et K. Raeissi, Characterization of as-deposited and annealed Cr–C alloy coatings produced from a trivalent chromium bath. *Journal of Alloys and Compounds* 496
- [12] Xue-Song Liang, Jia-Hu Ouyang, Yu-Feng Li, and Ya-Ming Wang, *Appl. Surf. Sci.*, **255**, 4316 (2009).
- [13] A. Abdel Aal, H.A. Gobran, and F. Muecklich, *J. Alloys Comp.* **473**, 250 (2009).
- [14] L. Benea, F. Wenger, P. Ponthiaux, and J.P. Celis, *Wear*, **266**, 398 (2009).
- [15] S. Spanou, E.A. Pavlatou, and N. Spyrellis, *Electrochim. Acta*, **54**, 254 (2009).
- [16] F. Loglio, M. Innocenti, A. Jarek, S. Caporali, I. Pasquini, and M.L. Foresti, *J. Electroanal. Chem.* **638**, 15 (2010).
- [17]. N.Glinka. *Chimie générale T2. Traduit du russe, édition Mir* (1979).

## Références bibliographiques

---

- [18] Antropov. Electrochimie théorique, édition Min(1979).
- [19] R. Balachandran, H.K. Yow, B.H. Ong, R. Manickam, V. Saaminathan, and K.B. Tan, J. Alloys Comp. **481**, 336 (2009).
- [20] M. Shafiei, and A. T. Alpas, Appl. Surf. Sci. **256**, 710 (2009).
- [21] A. Ispas, H. Matsushima, A. Bund, and B. Bozzini, J. Electroanal. Chem. **626**, 174 (2009).
- [22] 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).
- [23] D. Thiemig, C. Kubeil, C. P. Gräf, and A. Bund, Thin Solid Films, **517**, 1636 (2009).
- [24] L. Xu, W. L. Zhou, C. Frommen, R. H. Baughman, A. A. Zakhidov, L. Malkinski, and J. Q. Wang, and J. B. Wiley, Chem. Comm. **12**, 997 (2000).
- [25] S. E. Lyshevski, *Mems and Nems*, (CRC Press, Florida, 2002).
- [26] M. Gaune-Escard, *Molten Salts: From Fundamentals to Applications*, (Kluwer, London, 2002).
- [27] D. Landolt, J. Electrochemical Soc. **149**, S9 (2002).
- [28] Yves Bade. (Cuivrage électrolytique), tech de l'ing, M 1605, edn (1979).
- [29] A.Dessart-J.Jodogne-J.Paul. Chimie minérale, notions de chimie nucléaire. T2. édition (1979).

# 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 d'intensité 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 : 1.2 A.

Et tension du générateur : 12V

Le temps maximal d'électrolyse : 30 minute.

**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: 1.2 A.

And generator voltage: 12V

The maximum electrolysis time: 30 minutes.

**Keywords:** copper, electroplating, Intensity, Current

## المخلص

م بتعديل خصائص سطح مادة ما لحمايتها من التآكل وجعلها مناسبة للاستخدام في مجال أو بيئة معينة من خلال تزويد سطحها بخصائص جديدة يمكن أن تمنحها القوة ، وكذلك استخدام مادة أرخص ، وتحسين توطين خصائص سطحها. صنعت القروش من حمامات النحاس المنحل بالكهرباء. دراسة تأثير معاملات التيار والشدة على سمك الرواسب. النتائج التي تم الحصول عليها هي أن رواسب النحاس التي تم تطويرها في ظل ظروف مختلفة أدناه تنتشر بشكل موحد على السطح بأكمله.

شدة التيار: 1.2 .

والجهد الكهربائي للمولد: 12

أقصى وقت للتحليل الكهربائي: 30 دقيقة.

الكلمات المفتاحية: النحاس ، الطلاء الكهربائي ، الكثافة ، التيار .