UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Département de chimie

Licence Es-Sciences et Techniques (LST)

**TECHNIQUES D'ANALYSE CHIMIQUE ET CONTROLE DE QUALITE (TACCQ)**

## PROJET DE FIN D'ETUDES

# Comparaison entre les différents dépôts de matériaux sur laiton

**Présenté par :**

- KMIRA Anass

**Encadré par :**

- Mr Khammar CHNOUNI (Société SADF)
- Pr Mohammed CHAOUQI

**Soutenu Le 11 Juin 2014 devant le jury composé de:**

- Pr. Mohammed CHAOUQI
- Pr. Jamal ASSOUIK
- Pr. Mohammed Khalid SKALLI
- Mr. Khammar CHNOUNI

**Stage effectué à la Société D'artisans Dinandiers de Fès (SADF)**

**Année Universitaire 2013 / 2014**

# REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier **Mr. Abderrafie TAHIRI JOUTI**, directeur de la société, très particulièrement pour son accueil chaleureux, sa confiance et son aide précieuse apportée au cours de ce stage.

A mon avis, les causes de mon succès pour la réalisation de ce travail doivent être recherchées dans les qualités de **Mr. Khammar CHNOUNI,** mon maître de stage : depuis ma première journée à la société, j'ai toujours trouvé un accueil bienveillant auprès de mon cher tuteur qui m'a confié ce travail et m'a intégré rapidement au sein de la société, et par la suite, il a apporté une contribution incalculable.

Je tiens à témoigner tous mes remerciements et ma reconnaissance à l'équipe pédagogique de la licence science et technique de Technique d'analyse et contrôle de qualité (TACQ) pour avoir assuré la partie théorique de ma formation, j'aimerais tout particulièrement adresser mes sincères remerciements au chef de filière de TACQ **Pr. Youssef KANDRI RODI** et **Pr. Mohammed CHAOUQI**, d'avoir me guider tout au long du déroulement de ce stage, ses conseils qu'il m'a apporté lors des différents suivis ajoutant leur connaissance, expérience et son rigueur scientifique m'a beaucoup aidé.

J'ai aussi le plaisir de remercier toutes les **personnes des autres services de la société SADF** avec qui j'ai eu l'occasion de travailler pendant la période de mon stage ; et je tiens à exprimer mes profonds et sincères remerciements au **Pr. Jamal ASSOUIK**, et **Pr. Mohammed Khalid SKALLI** pour avoir accepté de juger ce travail.

Et enfin, je remercie vivement **mes PARENTS** pour leur soutien indéfectible, pour l'amour dont ils m'ont toujours entouré et pour l'éducation qu'ils m'ont offerte, mes frères et sœurs pour leur soutien moral, mes amis qui n'ont pas cessé de m'encourager et m'aider lors de la réalisation ce travail et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou loin.

Merci à vous tous.

# Sommaire

**INTRODUCTION**..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

**PARTIE 1 :** ..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
   1.1. Aperçu par la Société Des Artisans Dinandiers De Fès (SADF) Erreur ! Signet non défini.
   1.2. Clients ..... Erreur ! Signet non défini.
   1.3. Structure ..... Erreur ! Signet non défini.
2. PROCEDE DE FABRICATION.....ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

2.1. Matière Première ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2. Chaine de Production ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.1. Conception du Prototype ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.2. Découpage (Figure 3) ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.3. Gravure ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.4. Repoussage ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.5. Fonderie ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.6. Limage ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.7. Soudure ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.8. Décapage ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.9. Polissage ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.10. Contrôle Qualité ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.11. Ravivage ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.12. Traitement de surface ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2.13. Emballage : ..... Erreur ! Signet non défini.

**PARTIE 2 : ..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

1. PROCESSUS D'ELECTROLYSE A LA SOCIETE « SADF » .... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
1.1. L'électrolyse ..... Erreur ! Signet non défini.
1.1.1. Définition ..... Erreur ! Signet non défini.
1.1.2. Principe ..... Erreur ! Signet non défini.
1.1.3. Equipement du bain d'électrolyse ..... Erreur ! Signet non défini.
1.1.4. Facteurs influencant l'électrolyse ..... Erreur ! Signet non défini.
1.2. Les Différents type d'électrolyse à la société SADF ..... Erreur ! Signet non défini.
1.2.1. Bain de Dégraissage ..... Erreur ! Signet non défini.
1.2.1.1. Différents types de dégraissage ..... Erreur ! Signet non défini.
1.2.1.2. Dégraissage chimique par voie aqueuse (Figure 14) ..... Erreur ! Signet non défini.
1.2.1.3. Constituants d'un bain de dégraissage ..... Erreur ! Signet non défini.
1.2.2. Bains de rinçage ..... Erreur ! Signet non défini.
3.2.3. Bains de cuivrage ..... Erreur ! Signet non défini.
3.2.3.1 Bain de cuivrage alcalin (Figure 16) ..... Erreur ! Signet non défini.
3.2.3.2. Bain de cuivre acide (Figure 17) ..... Erreur ! Signet non défini.
3.2.4. Bain de Nickelage (Figure 18) ..... Erreur ! Signet non défini.
3.2.5. Bain de pré-argentage (Figure 19) ..... Erreur ! Signet non défini.
3.2.6. Bain d'argentage (Figure 20) : ..... Erreur ! Signet non défini.
2. COMPARAISON DES DIFFERENTS DEPOTS DES MATERIAUX SUR LAITON .. ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
2.1. Expérience n° 1 ..... Erreur ! Signet non défini.
2.1.1. Comparaison ..... Erreur ! Signet non défini.
2.1.2. Tableau de comparaison ..... Erreur ! Signet non défini.
2.2. Expérience n° 2 ..... Erreur ! Signet non défini.
2.3. Expérience n° 3 ..... Erreur ! Signet non défini.

**CONCLUSION**..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

# INTRODUCTION

Les traitements des matériaux regroupent l'ensemble des techniques permettant l'amélioration des propriétés chimiques, physiques ou mécaniques des produits manufacturés.

Les traitements de surfaces recouvrent l'ensemble des opérations ayant pour but de modifier les caractéristiques superficielles des matériaux afin de leur conférer des propriétés spécifiques telles que la résistance à la corrosion, la dureté, la conductibilité, le glissement ou bien l'amélioration de leur aspect.

L'étude des traitements de surfaces de matériau utilisées dans la fabrication des articles ne peut aboutir sans la connaissance de plusieurs axes, c'est pourquoi ce travail est divisé en deux parties.

En premier lieu, je m'emploierai à présenter tous les aspects de la société « SADF », d'un point de vue générale et organisationnelle pour mieux cerner son fonctionnement et son procédé de fabrication.

En second lieu, après avoir compris le fonctionnement de la société et son procédé de fabrication, j'exposerai, dans la partie théorique tout ce qui concerne les processus d'électrolyse à la société « SADF » ; et de la comparaison entre les différents dépôts de matériau sur laiton.

# PARTIE 1 :

1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.
2. PROCEDE DE FABRICATION.

# 1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

## 1.1. Aperçu sur la Société Des Artisans Dinandiers De Fès (SADF)

La création de La Société Des Artisans Dinandiers De Fès (SADF) remonte à **1982.** En effet, un groupe de Maitres-artisans avait mis en place une unité de production renfermant tout le processus de fabrication. Cela leur permettrait de préserver le produit artisanal, de le développer et de lui donner l'aspect qui réuni à la fois beauté, gout et qualité, sans oublier la prise en considération du coté cout pour qu'il soit abordable par la plupart des clients. Par ailleurs, Depuis sa mise en place, **SADF** n'a pas cessé de déployer ses efforts pour apposer son empreinte sur les articles en métal (Luminaires, Tables, Tabourets, miroirs, ou autres types.....).

Aujourd'hui, la **SADF** continue dans la voie qu'elle s'est tracée à savoir la voie de la recherche et de l'innovation continue avec comme mission de développement de l'artisanat marocain en terme de qualité et d'image de marque.

## 1.2. Clients

Les clients de la Société Des Artisans Dinandiers De Fès (SADF) sont aussi bien des marocaines que des étrangers.

- Clients Nationaux : Etablissement étatique, Hôtels, Palais royaux, Garde royale, Associations .....
- Clients Internationaux : Emirats arabes unies ( Foires de Dubaï et d'Abu Dhabi ), Arabie Saoudite ( Foire de Riad ), Tunisie ( Foire de Sfax, de Nabeul, Tunis, Sousa ), Bahreïn, Oman, France ( Foire de Bressuire ), Allemagne ( Foire de Hanover ), Italie ( Foire Internationale de Milan ), Japon, Inde .....

## 1.3. Structure

L'organigramme de la Société Des Artisans Dinandiers De Fès (SADF) est représenté par la figure suivante :

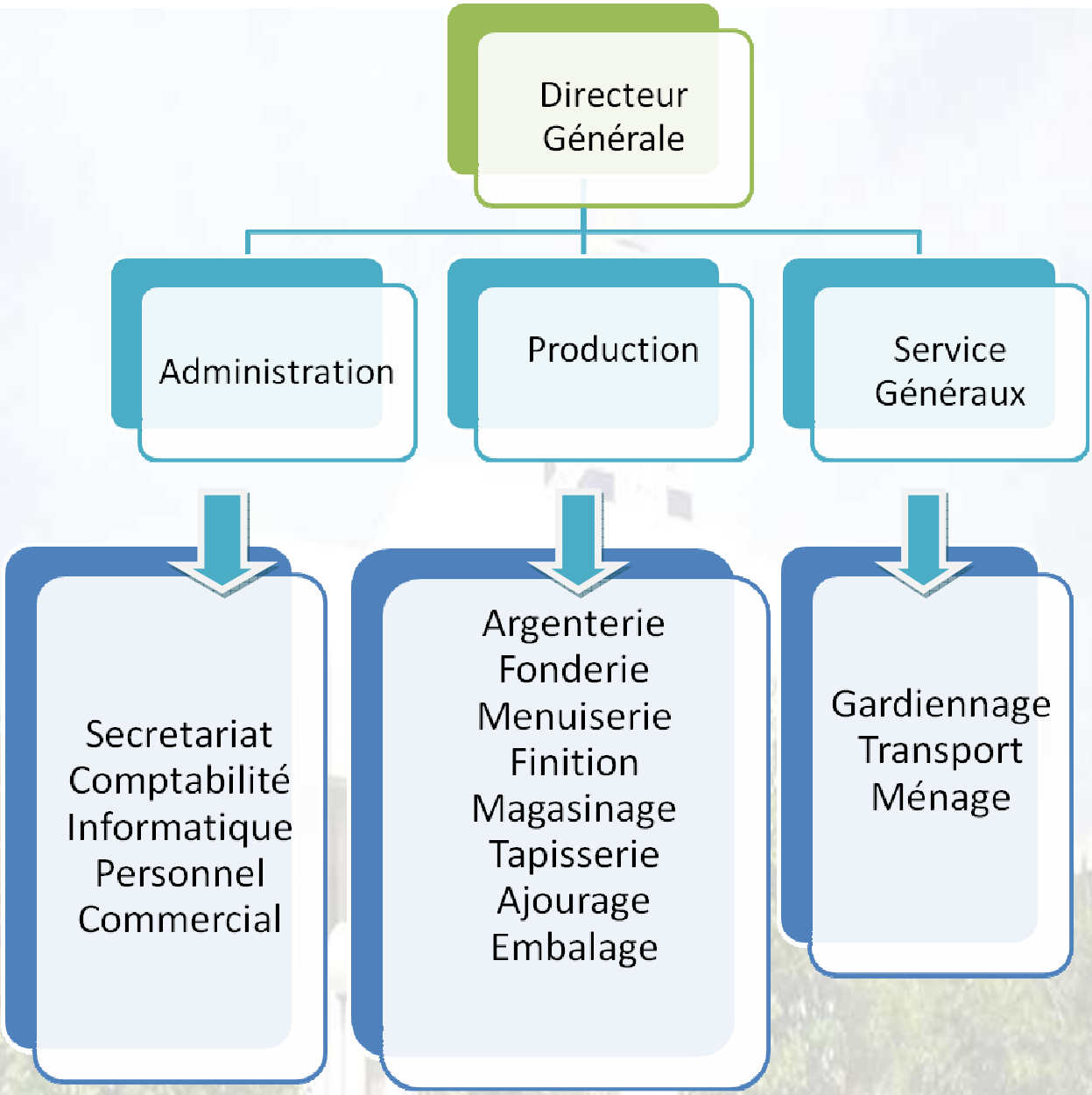
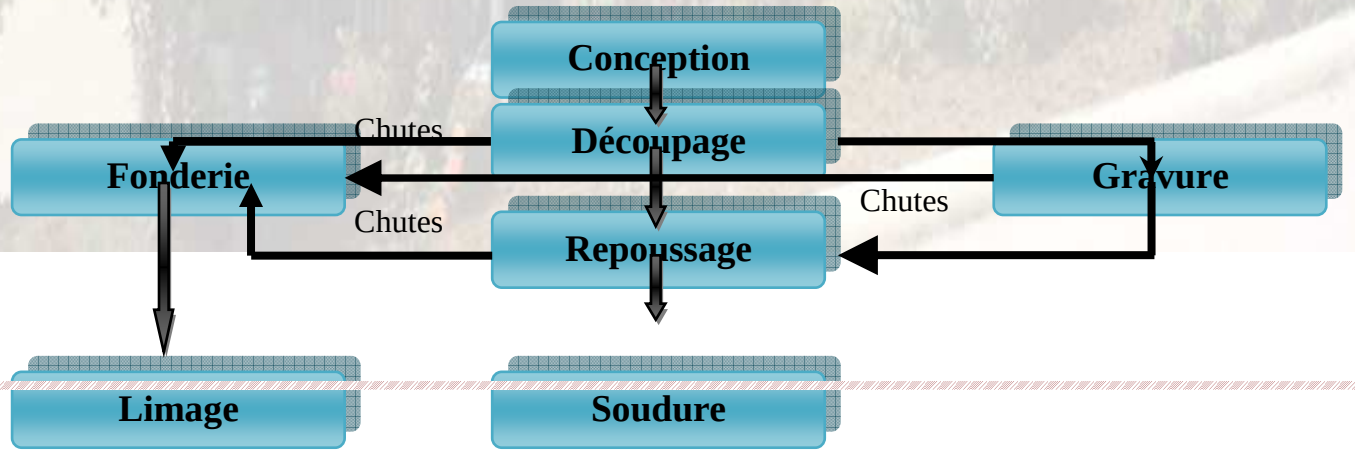



**Figure 1 :** **Organigramme** de la Société **SADF**

## 2. PROCEDE DE FABRICATION

La chaine de production utilisée à **SADF** fait appel à une dizaine de procédés, comme le montre la **Figure 2** ci-dessous :



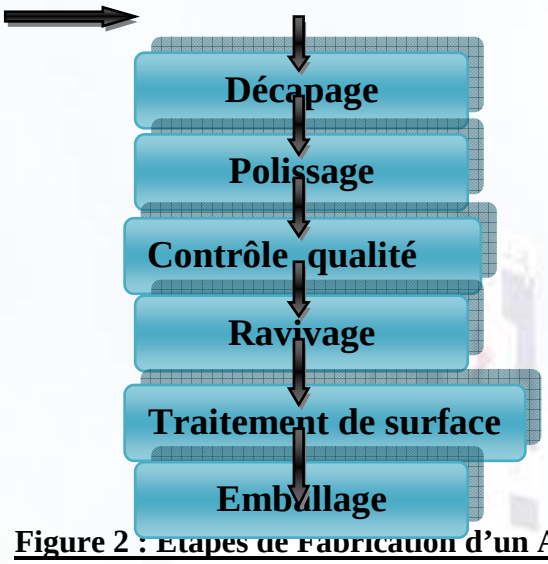



**Figure 2 : Etapes de Fabrication d'un Article**

### 2.1. Matière Première

**SADF** utilise comme matière première le laiton. En effet, il contient du cuivre (60 à 70%) et du Zinc (30 à 40%), et éventuellement d'autres éléments tels que : le plomb, l'aluminium, Nickel ...., qui sont ajoutés en faibles proportions afin d'améliorer certaines propriétés.

Il s'agit d'un alliage communément appelé « Bronze » ayant une température de fusion de 900 °C.

Par ailleurs, le laiton est utilisé pour ses propriétés remarquables à savoir :

- ✓ Très bonne résistance à la corrosion,
- ✓ Le laiton est un alliage relativement malléable peut être travaillé à chaud comme à froid,
- ✓ Sa résistance à la corrosion ainsi que sa ductilité lui donne un aspect de surface agréable.

### 2.2. Chaine de Production :

#### 2.2.1. Conception du Prototype

La Conception des articles est élaborée par des modélistes spécialisés. Avant la validation du prototype, le modèle est transmis au service de production où il sera examiné par plusieurs maîtres artisans, ces derniers peuvent exiger des modifications, si nécessaires, afin que le modèle prenne l'aspect souhaité. Ces échantillons représentent le modèle à suivre au sein de la chaine de la fabrication.

#### 2.2.2. Découpage (Figure 3)

Les différentes pièces de l'article sont tracées sur les plaques de laiton, en tenant compte des caractéristiques du prototype. Ensuite ces plaques sont découpées soit manuellement, soit avec un ciseau électrique.

**Figure 3 : Découpage électrique**

### 2.2.3. Gravure

La Gravure s'effectue avec un appareil appelé le « Brin » (Figure 4), il s'agit d'une tige d'acier trempé affûtée et fixée dans un manche qui découpe nettement le métal et l'enlève sous forme de copeaux.

Il est important de remarquer que ce processus repose sur l'habilité des maîtres artisans qui exécutent des motifs décoratifs ; On trouve trois types de dessins :

- ✓ Dessins Traditionnels,
- ✓ Dessins Modernes,
- ✓ Dessin voulu par les clients.

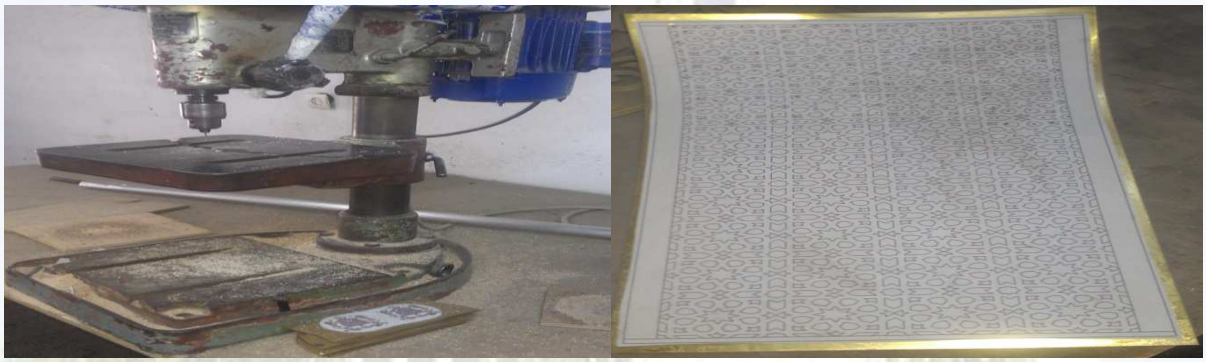


**Figure 4 : L'appareil de Gravure « Brin »**

### 2.2.4. Repoussage

Le repoussage est un procédé de mise en forme des pièces produites à partir d'un disque de tôle, ceci à pour but de construire les articles désirées avec les différents formes géométriques désirées.

On distingue deux types de repoussage :

- ✓ Repoussage Manuel (Figure 5) : Réalisée à l'aide de moules pour que chaque pièce découpée prenne la forme désirée.

- ✓ Repoussage Automatique : Réalisée à l'aide d'une machine à presse.

**Figure 5 : Repoussage Manuelle**

### 2.2.5. Fonderie

Les chutes du laiton prévenant des différentes étapes précédemment sont conduites à la fonderie pour reproduire un article désiré.

Cette fabrication se déroule en trois étapes à savoir :

- ✓ Fabrication d'une moule approprie et c'est à partir d'un sable particulier (Figure 6).
- ✓ Fendage des chutes du laiton avec quelque gramme d'aluminium.
- ✓ Moulage qui consiste à couler l'alliage fondu dans les moules ayant forme pour fabriquer les pièces de formes souhaitées après refroidissement.

**Figure 6 : Fabrication D'un moule de sable**

### 2.2.6. Limage

Le limage est l'usinage d'une pièce à l'aide d'une lime qui a pour but de rendre la pièce bien fini. Il peut être exécuté par un ajusteur, un serrurier, et ce manuellement où à l'aide d'une machine.

### 2.2.7. Soudure

Elle consiste à assembler les différentes pièces d'un article. Cette fixation est réalisée par des soudures en étain.

**Figure 8 : Pièces après soudure**

### 2.2.8. Décapage

Le décapage est l'élimination, mécanique ou chimique, de toutes les traces d'impuretés ainsi que les couches d'oxydes, formées à la surface des objets ; L'attaque de la surface de la pièce est obtenue par l'un des deux voies suivantes :

- ✓ **Décapage chimique** (Figure 9) : La surface de la pièce est attaquée par des acides forts concentrés, surtout pour les pièces gravées ; Les acides utilisés sont : L'acide chlorhydrique (HCL) et l'acide nitrique ($HNO_2$).
- ✓ **Décapage électrochimique** : Pour oxyder la surface d'un article, placé en anode dans un électrolyte ($H_2SO_4$ ou $H_3PO_4$).

**Figure 9 : pièces mélanger avec les coupeaux du bois**

### 2.2.9. Polissage

Le polissage est une composante du parachèvement (ou finition) des pièces en tout matériau (métalliques, plastiques, bois...) visant à obtenir un bel aspect, un fini ou un état de surface de haute qualité. Cette qualité de surface est caractérisée par la rugosité, la brillance, l'éclat... (Figure 10).

**Figure 10 : Polissage mécanique d'un article**

### 2.2.10. Contrôle Qualité

Une série de contrôle sont effectuées pour vérifier la qualité des articles avant de les remettre à l'atelier de traitement de surface.

Dans un premier temps, une équipe est chargée de déceler les défauts dans chaque article ; Ensuite une seconde équipe est chargée de corriger tous les défauts décelés précédemment.

### 2.2.11. Ravivage

C'est un polissage secondaire qui donne un éclat à l'article et rend sa surface plus vive, en utilisant une patte rouge et des machines équipées de papier abrasif.

### 2.2.12. Traitement de surface

Le procédé de traitement de surface, est basé sur le principe de l'électrolyse, il consiste à déposer une couche d'un métal sur un article artisanal, et de lui conférer un aspect visuel agréable tout en augmentant sa résistance à la corrosion et à l'usure (Figure 11).

**Figure 11 : Bains de traitement de surface**

L'atelier de traitement de surface de la société SADF utilise les bains suivants :

- ✓ Bain de dégraissage ;
- ✓ Bain de cuivrage alcalin ;
- ✓ Bain de nickelage ;

- ✓ Bain de cuivrage acide ;
- ✓ Bain de pré argentage ;
- ✓ Bain d'argentage ;
- ✓ Bain d'orage ;
- ✓ Et des bains de rinçages.

### 2.2.13. Emballage :

La section d'emballage se compose de trois équipes :

- ➢ Une équipe de fabrication des emballages chargée de la fabrication de plusieurs sortes d'emballage en respectant la forme de l'article, sa valeur artistique et sa sensibilité.
- ➢ Une équipe de contrôle de qualité des articles avant leur emballage. Dans le cas de la présence d'un défaut, la pièce est retournée au service de production.
- ➢ Une équipe d'emballage, chargée d'assurer un emballage adéquat pour chaque pièce métallique afin d'éviter les phénomènes d'oxydation, aux chocs, aux poussières, .... Donc pour protéger ces articles il fait appel des emballages spécifiques (papier blanc fin, sacs en plastique, cartons,...

**Figure 12 : Emballages des Articles**

# PARTIE 2 :

# 1. PROCESSUS D'ELECTROLYSE A LA SOCIETE « SADF ».

# 2. COMPARAISON DES DIFFERENTS DEPOTS DE MATERIAU SUR LAITON

## 1. PROCESSUS D'ELECTROLYSE A LA SOCIETE « SADF"

Le traitement de la surface par l'électrolyse est une étape essentielle pour les articles fabriqués par les dinandiers. Elle est destinée à leur donner une couleur spécifique et une protection particulière, en plus de nettoyage des impuretés.

L'électrolyse consiste à plaquer la surface d'un métal par un dépôt électrolytique pour avoir la propriété du métal déposé et pour la protéger contre la corrosion. On appelle cette méthode « la galvanisation » ou « la galvanoplastie ».

Dans une section du traitement de la surface, plusieurs bains d'électrolyse sont utilisés : Bain de dégraissage ; Bain de cuivrage alcalin ; Bain de cuivrage acide ; Bain de nickelage ; Bain de pré-argentage ; Bain d'argentage. Entre chaque bain, des bains de rinçage sont installés.

Les pièces à traiter subissent une succession de trempage dans ces bains. Le respect de la méthode de manipulation dans chaque étape et de l'enchainement de processus du traitement de la surface est essentiel pour avoir une pièce de bonne qualité.

## 1.1. L'électrolyse

### 1.1.1. Définition

L'électrolyse est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. C'est le processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique.

### 1.1.2. Principe

L'électrolyse se réalise dans une cuve contenant un électrolyte dans lequel sont plongées deux électrodes reliées aux bornes d'un générateur de courant continu. L'électrode positive (Anode) aussi siège de phénomène d'oxydation ; Et l'électrode négative (cathode) siège de réduction.

L'anode est composée de métal qu'on utilise pour électrolyser les pièces. A ce stade, il s'oxyde selon la réaction suivante :

$$M \longrightarrow M^{n+} + ne^{-}$$

Á la cathode, on attache les pièces à revêtir par électrolyse, les ions de métal en solution se réduisent sur les pièces toute en se transformant en une petite couche sur les pièces selon l'équation suivant :

$$M^{n+} + ne^{-} \longrightarrow M$$

Pole positive du générateur est toujours relie à l'anode et celle négative à la cathode. (Figure 13).

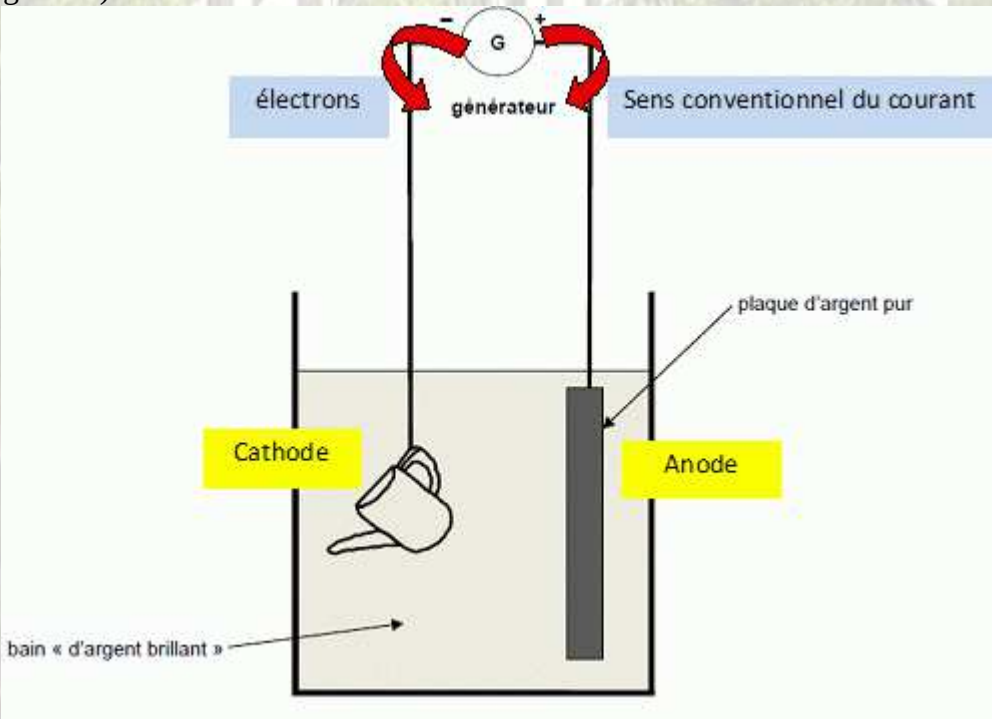



**Figure 13 : Exemple d'un bain d'électrolyse (Argent)**

Cette technique à pour but de protéger la pièce contre les attaques corrosives, améliorer son aspect extérieur et modifier ses caractéristiques superficielles.

### 1.1.3. Equipement du bain d'électrolyse

- ✓ **Cuve :** sont protégées contre les attaques de certains électrolytes par un revêtement intérieur de Caoutchouc, d'ébonite ou polyvinyle de chlorure (pvc).
- ✓ **Générateur :** constitue la source d'énergie qui sera transformée en énergie chimique. Dans la société SADF, on utilise le générateur potentiostat qui permet d'imposer un courant constant.
- ✓ **Chauffage :** les cuves sont équipées d'un système de chauffage assuré par les thermoplongeurs avec une régulation thermostatique. Pour réduire l'échange d'énergie avec le milieu extérieur, on utilise les boules en plastique flottantes sur les surfaces du bain.
- ✓ **Agitation :** au cas où on aura besoin, on la fait soit mécaniquement ou à air.
- ✓ **Filtration :** une filtration continue sur le charbon actif est indispensable afin d'obtenir une couche de métal propre et lisse déposée sur l'article.

### 1.1.4. Facteurs influençant l'électrolyse

Les facteurs favorisant le phénomène de l'électrolyse sont :

- ➢ **Surface de la pièce :** plus la surface d'échange est grande plus l'intensité du courant est élevée.
- ➢ **La Vitesse de dépôt :** Elle est proportionnelle avec la densité du courant traversant la pièce à plaquer.
- ➢ **La Température et le temps d'immersion :** Ils améliorent le rendement de dépôt du métal.

## 1.2. Les Différents type d'électrolyse à la société SADF

### 1.2.1. Bain de Dégraissage

Le dégraissage à pour rôle de rendre la surface physiquement propre afin d'assurer le bon déroulement des opérations ultérieures et par la même occasion, de garantir la qualité du produit fini.

En effet la qualité de traitement de surface, dépend des caractéristiques physico-chimiques de la surface sur laquelle il sera édifié ; Il s'agit d'une opération-clef dans le procède de fabrication.

En outre, un matériau métallique non traités, généralement oxydé et couvert d'huiles ou de graisses. Il faut donc procéder à un nettoyage préalable, au sens large du terme, afin de passer d'une interface souillée et généralement hydrophobe, à une interface physiquement et chimiquement propre, apte à recevoir convenablement le traitement de surface.

#### 1.2.1.1. Différents types de dégraissage

*** Le dégraissage solvant :** Faisant appel au pouvoir dissolvant de liquides organiques divers : solvants chlorés, hydrocarbures, dérivés oxygénés,...

* **Le dégraissage en phase aqueuse ou semi-aqueuse : (**SADF utilise se procéder) Mettant en œuvre des solutions alcalines, neutres, émulsionnables,..... Le dégraissage chimique met en jeu le mécanisme de la saponification et les phénomènes tensioactifs, associés éventuellement à une polarisation de la pièce à traiter pour parfaire le traitement (dégraissage électrolytique).

* **Le dégraissage par voie mécanique :** Qui utilise du dioxyde de carbone congelé ou la projection de billes de glace. Plutôt que de parler de dégraissage, on devrait parler de décapage car il s'agit d'une abrasion de la surface.

#### 1.2.1.2. Dégraissage chimique par voie aqueuse (Figure 14)

**Figure 14 : Bain de dégraissage**

Plus encore que dans le cas du dégraissage solvant, le choix de la solution dégraissante dépendra de la nature des polluants organiques à éliminer et de celle de l'interface ; C'est en effet le dégraissant qui imposera les mécanismes de réactions.

L'huile et l'eau n'étant pas miscibles, le dégraissage chimique n'agira pas par dissolution mais par réactions physiques ou chimiques.

Schématiquement, son mode d'action résulte de deux phénomènes distincts complémentaires :

- ✓ **La saponification :** Qui consiste à « Décomposer » l'huile sous l'action chimique d'une base.
- ✓ **La détergence :** Qui consiste à décoller les souillures grasses et à les « encapsuler » à l'aide de tensioactifs.

**Un tensio-actif** ou agent de surface ou surfactant est un composé qui modifie la tension superficielle entre deux surfaces ; sont rôle est la diminution de la tension superficielle au but d'éliminer les graisses d'une façon facile.

#### 1.2.1.3. Constituants d'un bain de dégraissage

SADF utilise un bain de dégraissage de capacité de **1800 litre**.

| Composition du Bain | |
|---|---|
| ✓ Dex (tensio-actif) 66,67 g/l<br>✓ AB 40 (Savon) 0,55 g/l<br>✓ Cyanure de sodium 10 kg<br>✓ Soude caustique (NaOH) 1,11 g/l<br>✓ Carbonate de sodium<br>✓ Eau déminéralisée | ✓ ambiante<br>✓ traitement : 5 à 10<br>✓<br>✓ l'aéromètre baumé<br>✓ courant : 25 A/dm$^2$ |

**Tableau 1 : Composition du bain de dégraissage et les conditions opératoires**

Les articles à traiter sont reliés à la cathode dans laquelle ils subissent une réaction de réduction selon la réaction suivant :

$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow \uparrow H_2 + 2OH^-$$

La forte alcalinité ($HO^{-)}$ exerce un effet saponifiant et émulsifiant, ainsi l'hydrogène dégagé réduit les oxydes présents à la surface des articles.

A l'anode se produit une réaction d'oxydation :

$$4OH^- \longrightarrow 2H_2O + O_2 + 4e^-$$

### 1.2.2. Bain de rinçage

Une ligne de traitement de surface est une succession d'opérations de traitement, séparés par des rinçages. Les rinçages ont une double vocation :

- ✓ Rendre la surface des articles propre est prête à être traiter au bain d'électrolyse suivant.
- ✓ Diluer le film de liquide polluant qui entoure la surface des articles après leur traitement dans un bain d'électrolyse, et aussi pour éviter d'amener les traces d'ions

provenant du bain précédent qui peuvent altérer les contenus du bain suivant.

Plusieurs structures de rinçage sont exploitées en pratique :

- **Le rinçage statique,** qui est souvent un pré rinçage (rinçage mort) qui sert à retenir une partie de la pollution du bain de traitement.
- **Le rinçage simple,** Le plus courant nécessite un débit d'eau élevé pour assurer un rapport de dilution satisfaisant.
- **Le rinçage multiple en série (cascade),** (SADF utilise se procéder **Figure 15**), qui est la configuration la plus fréquemment rencontrée dans les installations de traitements de surface.
- **Le rinçage par aspersion,** qui permet d'améliorer la qualité du rivage grâce à l'effet hydromécanique et peut être réalisé en combinaison avec un rinçage trempé.

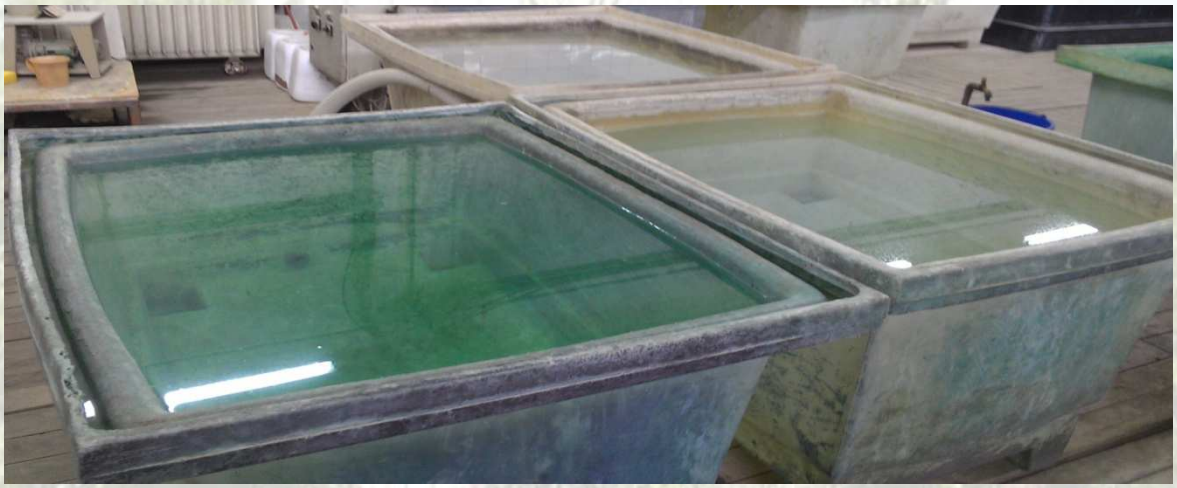


**Figure 15 : Bains de rinçage utilisés à SADF**

### 1.2.3. Bains de cuivrage

L'atelier de traitement de surface de la Société SADF est équipé de deux types de bains de cuivrage le premier c'est un bain de cuivrage alcalin (basique), et le deuxième est un bain de cuivrage acide.

#### 1.2.3.1 Bain de cuivrage alcalin (Figure 16)

Le bain de cuivrage alcalin à une capacité de **900** litres. Il est constitué en PVC, résistant aux solutions alcalines.

| Composition du bain | |
|---|---|

| | |
|---|---|
| ✓ Cyanure de cuivre (CuCN) 40 à80 g/l<br>✓ Cyanure de sodium (NaCN) 60 à70 g/l<br>✓ Soude caustique (NaOH) 5 g/l<br>✓ Anodes de cuivre<br>✓ Sel n°11 (sel conducteur)<br>✓ Additifs : Brillanteur ultinal<br>Ultinal base<br>Ultinal nivelant | ✓ à 40 (°C)<br>✓ traitement : 2 à 5 (en<br>✓<br>✓ l'aéromètre baumé :<br>✓ courant : 1 à 2 (A/dm |

**Tableau 2 : Composition du bain de cuivrage alcalin et les conditions opératoires**

Au cours de l'électrolyse le dépôt des ions $Cu^{2+}$ est assuré par le sel CuCN. Le sel numéro 11 joue le rôle de conducteur à cause des ions cyanure qui assurent la conductivité des ions cuivreux jusqu'à la pièce réceptrice du dépôt.

**Figure 16 : Bain de cuivre alcalin**

Les pièces à cuivré sont reliées à la cathode est l'anode et en cuivre pur.

❖ Les réactions qui se produisent dans le bain :

- **A l'anode :**

$$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$
$$4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

- **A la cathode :**

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$$
$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow 2OH^- + H_2\uparrow$$

### 1.2.3.2. Bain de cuivre acide (Figure 17)

Le bain de cuivrage acide à une capacité de **700** litres.

| Composition du bain | |
|---|---|
| ✓ Sulfate de cuivre ($CuSO_4$) 214 g/l<br>✓ Acid sulfurique ($H_2SO_4$) 53 g/l<br>✓ Anode de phosphore 1,79 g/phosphore<br>✓ Additifs : Cuprac brillant<br>Cuprac base<br>Cuprac nivelant | ✓ Ambiante<br>✓ traitement : 15 à 20 mi<br>✓ l'aéromètre baun é : 18<br>✓ courant 0,1 à 0,3 (A/dr |

**Tableau 3 : Composition du bain de cuivrage acide et les conditions opératoires**

**Figure 17 : Bain de cuivre acide**

Le cuivrage acide est effectué de la même manière que le cuivrage alcalin sauf qu'ici, l'anode est constituée d'une grosse plaque métallique, composée d'une grande quantité de cuivre et d'une portion de phosphore. Ce dernier joue un rôle de catalyseur dans la réaction électrolytique.

Il est conseillé dans tous les cas, d'ensacher les anodes et d'utiliser une agitation mécanique cathodique ; Par ailleurs il faut utiliser une filtration continue sur charbon actif.

Ce procédé de cuivrage présente la particularité d'avoir la présence des additifs qui donnent une coloration foncée et plus brillante au cuivre ; Notons aussi que la pièce ne quitte pas directement le bain de dégraissage, mais passe par le bain de cuivre alcalin en vue de maximiser le dépôt.

Le temps de l'immersion de la pièce est un peu plus long et il est du au faible courant électrique appliqué.

❖ Les réactions qui se produisent dans le bain :

- **A l'anode :**

$$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$

$$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

- **A la cathode :**

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$$

$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2 \uparrow$$

### 1.2.4. Bain de Nickelage (Figure 18)

Ce procédé permet d'obtenir des dépôts électrolytiques de Nickel blancs et durs, ils offrent une bonne résistance à la corrosion et présentent une bonne tenue à l'oxydation atmosphérique et à la vapeur d'eau.

Le bain de Nickelage à une capacité de **1800** litres.

| Composition du bain | |
|---|---|
| ✓ Sulfate de nickel ($NiSO_4$) 300 g/l<br>✓ Chlorure de nickel ($NiCl_2$) 60 à70 g/l<br>✓ Acide borique ($H_3BO_3$) 45 g/l<br>✓ Anodes de nickel<br>✓ Additifs : Fixateur<br>Brillanteur<br>Mouillant<br>Nivelant<br>Purificateur | ✓ à 70 (°C)<br>✓ traitement : 10 à 15 m<br>✓<br>✓ l'aéromètre baumé :<br>✓ courant : 3 à 5 (A/dm |

**Tableau 4 : Composition du bain de Nickelage et les conditions opératoires**

**Figure 18 : Bain de Nickelage**

Durant le nickelage, on accroche toutes les pièces à la barre cathodique et on place à l'anode plusieurs barres du métal de nickel ; Lorsque le courant passe, les ions positifs du nickel migrent vers le pole négatif (Articles) et se déposent sous forme de couche de métal dont l'épaisseur dépend du temps d'immersion.

Le nickel est présent sous forme d'ions et sa teneur détermine les densités de courant maximales admissibles, sa concentration se maintient par dissociation anodique et par addition de sels de nickel.

La source principale d'ions nickel est le sulfate de nickel, le chlorure de nickel fournit des ions chlore qui assurent une bonne dissolution des anodes et augmente la conductivité de l'électrolyte.

L'acide borique joue un rôle de « tampon » du pH ; il limite le dégagement d'hydrogène à la cathode et contribue à l'amélioration de la brillance et de la ductilité des dépôts ; sa teneur ne devrait pas descendre en dessous de 30 g/l.

Par ailleurs, l'agitation mécanique favorise le nivellement ; En outre la filtration sur charbon actif est indispensable.

❖ Les réactions qui de produisent dans le bain :

- **A l'anode :**

$$Ni \longrightarrow Ni^{2+} + 2e^-$$
$$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$
$$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$$

- **A la cathode :**

$$Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni$$
$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2\uparrow$$

### 1.2.5. Bain de pré-argentage (Figure 19)

Cette étape permet d'éviter toute trace d'impuretés et prépare l'article au bain d'argent. Elle ne dure que quelques instants (10 – 20 s)

| Composition du bain | |
|---|---|

| | |
|---|---|
| ✓ Cyanure de potassium (KCN) 150 g/l<br>✓ Cyanure d'argent (AgCN) 14 g/l<br>✓ Anode d'inox<br>✓ Eau déminéralisée | ✓ Ambiante<br>✓ traitement : 15 s<br>✓<br>✓ l'aéromètre baumé : 1<br>✓ courant : très forte |

**Tableau 4 : Composition du bain de pré-argentage et les conditions opératoires**

Le bain de pré-argentage à une capacité de **900** litres.

**Figure 19 : Bain de pré-argentage**

❖ Les réactions qui se produisent dans le bain :

- **A l'anode :**

$$4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

- **A la cathode :**

$$[Ag(CN)_2] + 1e^- \longrightarrow Ag + 2CN^-$$

$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow \uparrow H_2 + 2OH^-$$

**1.2.6. Bain d'argentage (Figure 20) :**

Les dépôts électrolytiques d'argent sont blancs, tendres, de très bonne soudabilité et de conductibilité thermique et électrique excellentes. Ils permettent d'assurer une bonne protection contre la corrosion en raison de son potentiel très électropositif par rapport à la plupart des métaux.

| Composition du bain | |
|---|---|

| | |
|---|---|
| ✓ Cyanure de potassium (KCN) 150 g/l<br>✓ Cyanure d'argent (AgCN) 36 g/l<br>✓ Anode d'argent<br>✓ Eau déminéralisé<br>✓ Additifs : Selvrium brillanteur<br>Selvrium base | ✓ Ambiante<br>✓ traitement : 5 min<br>✓<br>✓ l'aéromètre baumé<br>✓ courant : 0,1 à 1 (A |

**Tableau 5 : Composition du bain d'argentage et les conditions opératoires**

**Figure 20 : Bain d'argentage et les plaques d'argent**

❖ Les réactions qui se produisent dans le bain d'argent :

- **A l'anode :**

$$4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

$$Ag \longrightarrow Ag^+ + 1e^-$$

- **A la cathode :**

$$[Ag(CN)_2] + 1e^- \longrightarrow Ag + 2CN^-$$

$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2\uparrow + 2OH^-$$

## 2. Comparaison des différents dépôts de matériau sur laiton

Dans ce chapitre on va effectuer des comparaisons de dépôt sur des plaques en laiton, avec des différents étapes de traitement des surfaces ; et aussi avec des changements au niveau des critères qu'il faut l'utilisé normalement pour avoir les meilleures qualités sur l'article.

Au premier lieu on a commencé par le bain dégraissage pour le but d'éliminer les impuretés se trouvant dans la pièce et cette étape est valable pour les trois expériences qu'on va faire, suivant les conditions opératoires ci-dessous :

- Temps de traitement : 5 min
- Densité de courant : 30 (A/ 0,6 $dm^2$)
- Température : ambiante
- Tension : 5 V

### 2.1. Expérience n° 1

#### 2.1.1. Comparaison

- pour calculer le rendement de chaque étape il faut suivi la même méthode de calcule montrer dans l'exemple suivant pour le laiton cuivré en milieu alcalin.

**La masse théorique**

La masse théorique du dépôt de cuivre sur la plaque est calculé par l'application de la formule de **Faraday :**

$$M_{th} = \frac{I \times t \times M(Cu)}{N \times F}$$

Avec :

- ✓ **I :** L'intensité de courant ;
- ✓ **t :** Temps d'immersion ;
- ✓ $M_{Cu}$ **:** Masse molaire de cuivre ;
- ✓ **N :** Nombre d'électrons ;
- ✓ **F :** Constante de Faraday.

La réaction :

$$Cu^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Cu$$

Applications numérique :

$$M_{th} = \frac{3 \times 10 \times 60 \times 63,55}{2 \times 96500} = 0,59 \text{ g}$$

**La masse expérimentale**

$$M_{ex} = M' - M = 8,85 - 8,5 = 0,35 \text{ g}$$

Avec:

- ✓ **M'** = 8,85 g : masse de la plaque après l'électrolyse ;
- ✓ **M** = 8,5 g : masse de la plaque avant l'électrolyse.

**Le Rendement**

$$R = \frac{M(ex)}{M(th)} \times 100 = \frac{0,35}{0,59} \times 100 = 59,32\ \%$$

**La cinquième pièce**

Dans cette étape on va faire une comparaison mais cette fois on va passer dans l'ordre suivant et sur la même pièce comme suit :

- ✓ Bain dd dégraissage
- ✓ Bain de cuivre alcalin
- ✓ Bain de cuivre acide
- ✓ Bain de nickelage
- ✓ Bain de pré-argent
- ✓ Bain d'argentage

Avec les mêmes conditions opératoires.

**i.** **Tableau de comparaison**

| | **Cuivre en milieu alcalin** | **Cuivre en milieu acide** | **Nickelage** | **argent** | **Pièce n° 5** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Température (°C)** | 30 $^{o}$c | Ambiante | 60 $^{o}$c | Ambiante | - |
| **Courant (A/0,6 dm$^2$)** | 3 | 3 | 2,4 | 1 | - |
| **Temps (min)** | 10 | 10 | 10 | 10 | - |
| **Masse expérimental (g)** | 0,35 | 0,5 | 0,3 | 0,46 | 1,32 |
| **Mase théorique (g)** | 0,59 | 0,59 | 0,44 | 0,6 | 2,22 |
| **Rendement (%)** | 59,32 | 84,74 | 68,18 | 76,66 | 59,4 |

On peut dire que cette résultats normalement est illogique parce que normalement puis ce qu'on a immergé la cinquième pièce dans tout les bains l'un après l'autre il faut avoir bon dépôts ce qui donne bon rendement normalement.

**b.** **Expérience n° 2**

**Comparaison entre deux dépôts**

Dans cette expérience on va faire une comparaison entre deux plaques :

- Laiton cuivré en milieu alcalin puis en nickelage ;
- Laiton cuivré en milieu acide puis en nickelage.

| | **Cuivre en milieu alcalin** | **nickelage** | | **Cuivre en milieu acide** | **nickelage** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Température (°C)** | 30 °c | 59 | | Ambiante | 59 |
| **Courant (A/0,6 dm$^2$)** | 3 | 6 | | 3 | 6 |
| **Temps (min)** | 5 | 10 | | 5 | 10 |
| **Mase théorique (g)** | 0,3 | 1 | | 0,3 | 1 |
| **Masse expérimental (g)** | 0,3 | | | 1 | |
| **Rendement (%)** | 23 | | | 76,9 | |

Dans cette expérience on a obtenu le rendement élevé de dépôts de nickel sur le cuivre acide par rapport au dépôt de nickel sur le cuivre alcalin ce qui nous explique que plus qu'on a le milieu acide on obtiendra des dépôts élèves

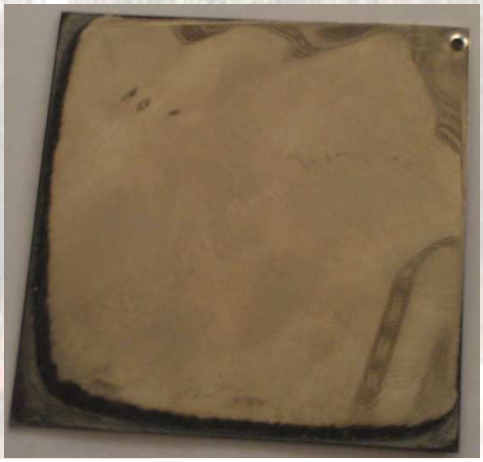
**c.** **Expérience n° 3**

**Comparaison avec variation de courant**

Dans cette expérience on va faire une variation du courant exercée sur une pièce de laiton passé au bain de nickelage après dégraissage :

- **Pièce nickelé en basse tension :**

- **Pièce nickelé en haute tension :**



D’après cette expérience on a fait une variation au niveau de courant, lorsqu’on a une haute tension la pièce se rendra brulé à cause de la haute tension exercée sur une pièce de petit diamètre.

# CONCLUSION

Au terme de ce projet, après une période fructueuse au sein de « SADF », j’ai pu effectuer des différents tests de comparaison de dépôt sur laiton ce qui montrent clairement que la phase de l’électrolyse est une étape intéressante dans la finalité et la qualité des articles de dinandiers, les rendements de dépôts  réalisés au cours de ce travail de l’électrolyse sont relativement faibles.

L’amélioration reste une nécessité dans le procéder de la fabrication, elle pourra se faire par des entretiens permanents du bain d’électrolyse. Et ce en ajustant certains paramètres tels que : le pH de la solution, la concentration de l’électrolyse, la température la densité du courant et le temps d’immersion.

Il est vrai que la société va tirer profit de cette étude, mais ce profit mutuel puisque cette période m’a permis de compléter mes connaissances pratiques et théoriques sur les procédés d’électrolyse, d’acquérir de l’expérience et d’avoir une vision plus nette sur le monde du travail.