



Licence Sciences et Techniques (LST)

*TECHNIQUES D'ANALYSE CHIMIQUE ET CONTROLE
DE QUALITE*

TACCQ

PROJET DE FIN D'ETUDES

**CONTRÔLE DE QUALITE DES ARTICLES
ARTISANAUX**

Présenté par :

◆ ZAKARIA OULAD EL HMAIDI.

Encadré par :

◆ Mr .KHAMAR CHENOUNI (SADF)

◆ Pr .MOHAMMED KHALID SKALLI (FST)

Soutenu Le 17 Juin 2011 devant le jury composé de:

- Pr .MOHAMMED KHALID SKALLI

- Pr. KANDRI RODI YOUSSEF

- Pr. BOUAYAD ABDELOUAHED

Stage effectué à SADF de FES

Année Universitaire 2010 / 2011

Sommaire

INTRODUCTION	1
---------------------------	----------

I-PRESENTATION DE LA SOCIETE SADF	2
------------------------------------------------	----------

1-Historique	2
--------------------	---

2-Organigramme	3
----------------------	---

3- Matière première	4
---------------------------	---

CHAPITRE I: Procédé de fabrication d'un article

I- CHAINE DE PRODUCTION	5
--------------------------------------	----------

1- Modélisation	5
-----------------------	---

2-Découpage	5
-------------------	---

3- Gravure	5
------------------	---

4- Repoussage	5
---------------------	---

5- Fonderie	6
-------------------	---

6- Limage	6
-----------------	---

7- Soudure	6
------------------	---

8- Décapage	6
-------------------	---

9- Finition	7
-------------------	---

10-Traitement de surface	7
--------------------------------	---

11-Emballage	7
--------------------	---

CHAPITRE II : Traitement de surface

I- L'ELECTROLYSE	9
-------------------------------	----------

1- Définition	9
---------------------	---

2- Equipement du bain d'électrolyse	10
-------------------------------------------	----

3- Différents types d'électrolyse utilisés à la société SADF	11
--------------------------------------------------------------------	----

a.Dégraissage	11
---------------------	----

b.Bains de rinçage	12
--------------------------	----

c-Cuivrage	13
------------------	----

d-Nickelage	17
e-Pré-argentage	19
f-Argentage	14
g-Le séchage	16
CHAPITRE III : Contrôle des bains et de la qualité de dépôt	
I-CONTRÔLE DES BAINS ET DES DEPÔTS	17
1-Les analyses des bains	17
1-1-Echantillonnage	17
1-2-Méthodes physico-chimiques	17
2-Contrôle des bains	17
2-1 -L'aréomètre baumé.....	17
2-1-1-Définition de l'aréomètre baumé.....	24
2-1-2-Description.....	24
2-1-3-Principe et fonctionnement de l'aréomètre.....	24
3-Contrôle de pH	18
3-1 Mesure du pH	18
3-2-Réglage du pH	18
4-Purification des bains	19
4-1 Purifications chimiques du bain de nickel	19
4-2-Purification des bains d'argent	19
5-Contrôle de la qualité du dépôt	19
5-1 Les critères de la qualité	20
5-2-Défauts et action correctives	20
CONCLUSION	21
BIBLIOGRAPHIE.....	29

Remerciements

Avant toute chose, j'aimerais tout d'abord remercier toute personne ayant contribué au bon déroulement de mon stage à la société SADF.

Je tiens à présenter tous mon respect et mon gratitude à Mr. ABD ELRAFIE TAHIRI JOUTEI pour m'avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage, ainsi pour son suivi et encouragement tout au long de ce travail.

Mon gratitude s'adresse également à Mr. SKALLI MOHAMMED KHALID pour son encadrement et pour l'aide qu'il ma prodigué durant ce rapport, ainsi qu'a tous mes formateurs.

Je remercie également **Mr. KHAMAR CHNOUNI** responsable de mon stage à la société SADF, pour l'attention particulière qu'il m'a accordé durant ce stage.

Ma profonde et vive reconnaissance s'adresse aussi aux membres de jury: **Mr KANDRI RODI YOUSSEF**. Et **Mr. BOUAYAD ABDELOUAHED** D'avoir bien voulu accepter sans réserve de juger ce modeste travail.

INTRODUCTION

La Société Des Artisans Dinandiers De Fès (SADF) est une société qui utilise des procédés de traitement de surface très intéressants et variés lors de la planification et fabrication d'un article artisanal ou décoratif et essaye de trouver des solutions efficaces technologiques et économiques. Cette société occupe une place très importante dans ce domaine. Elle a acquis une renommé national et international grâce à sa qualité et sa diversité. C'est pour cela mon choix s'est porté sur cette société dans le but d'effectuer un stage de fin d'étude et de consolider et d'enrichir mes connaissances scientifiques avec le milieu industriel.

Tout d'abord je vais présenter la société dans laquelle j'ai effectué mon stage ainsi que les matières premières utilisées dans la société.

J'exposerais ensuite dans le premier chapitre la chaîne de production qui explique toutes les procédures pour fabriquer une pièce quelconque.

Dans le deuxième chapitre je traite les différentes étapes du procédé électrolytique, ainsi les quantités de masse déposées.

Enfin je terminerai par les différentes techniques pour contrôler les bains d'électrolyse et la qualité des dépôts, ainsi que les défauts d'un dépôt et quelques remèdes pour les corriger.

I-PRESENTATION DE LA SOCIETE SADF

1 -Historique :

La création de la **Société des Artisans Dinandiers de Fès** remonte à 1982. En effet, un groupe de Maîtres-artisans avait pensé mettre 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, goût et qualité ; sans oublier la prise en considération du côté coût pour qu'il soit abordable par la plupart des clients.

Depuis sa mise en place, la SADF n'a pas cessé de déployer ses efforts pour apposer son empreinte sur l'argenterie et sur d'autres articles en métal (luminaires, Tables, tabourets, miroirs, ou autres types..). La découverte de nouvelles compétences et l'apprentissage des techniques de la dinanderie aux générations futures restent parmi les objectifs fondamentaux de la SADF.

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 le développement de l'artisanat marocain en terme de qualité et d'image de marque.

Pour cela, la stratégie adoptée consiste à offrir une large gamme de produits pour satisfaire tous les goûts en évitant toute standardisation excessive. Tout article produit par **SADF** est un chef d'œuvre unique dédié à un client parce que tout client est considéré comme unique pour la société.

La **SADF** a changé de segment de clientèle ces dernières années en s'intéressant plus à l'art décoratif ce qui a donné naissance à une nouvelle clientèle composée essentiellement d'hôtels nouvellement ouverts ou rénovés, des Ryad , des villas de particuliers sans parler des établissements d'état.

Signalons que la **SADF** a acquis une très bonne image de marque et une notoriété assez large pour pouvoir augmenter sa part de marché dans ce segment. Pour cela, la **SADF** a vu qu'il est temps d'élargir sa gamme de produits en offrant des produits en bois marié au laiton, ce qui contribuera à doubler le chiffre d'affaire au niveau de ce segment. Ainsi, on pourra prendre en charge l'ensemble des articles de décoration.

A l'opposé de ce qui est connu dans l'ancienne médina de Fès, la société **SADF** a intégré un certain nombre d'artisans spécialisés dans différentes disciplines et dont l'habileté de leurs mains donne l'aspect original aux produits. En plus des dirigeants, la **SADF** contient environ de **166** employés. (**Voir l'organigramme**). Elle a donné une chance aux jeunes de la région à apprendre le métier de dinanderie grâce à des méthodes pratiques et l'apprentissage.

La société **SADF** a réussi grâce à sa clairvoyance de gagner la confiance des clients et d'imposer sa marque. En effet, elle occupe une place très importante parmi les meilleures sociétés dans son domaine susceptible de représenter et d'honorer le produit artisanal marocain. Elle a donc participé remarquablement à plusieurs

manifestations et foires. Elle a obtenu plusieurs titres d'honneur. Parmi ces titres obtenus, on cite celui de : Fès, Casablanca, Rabat, Marrakech, Agadir, Séfrou...

2-Organigramme :

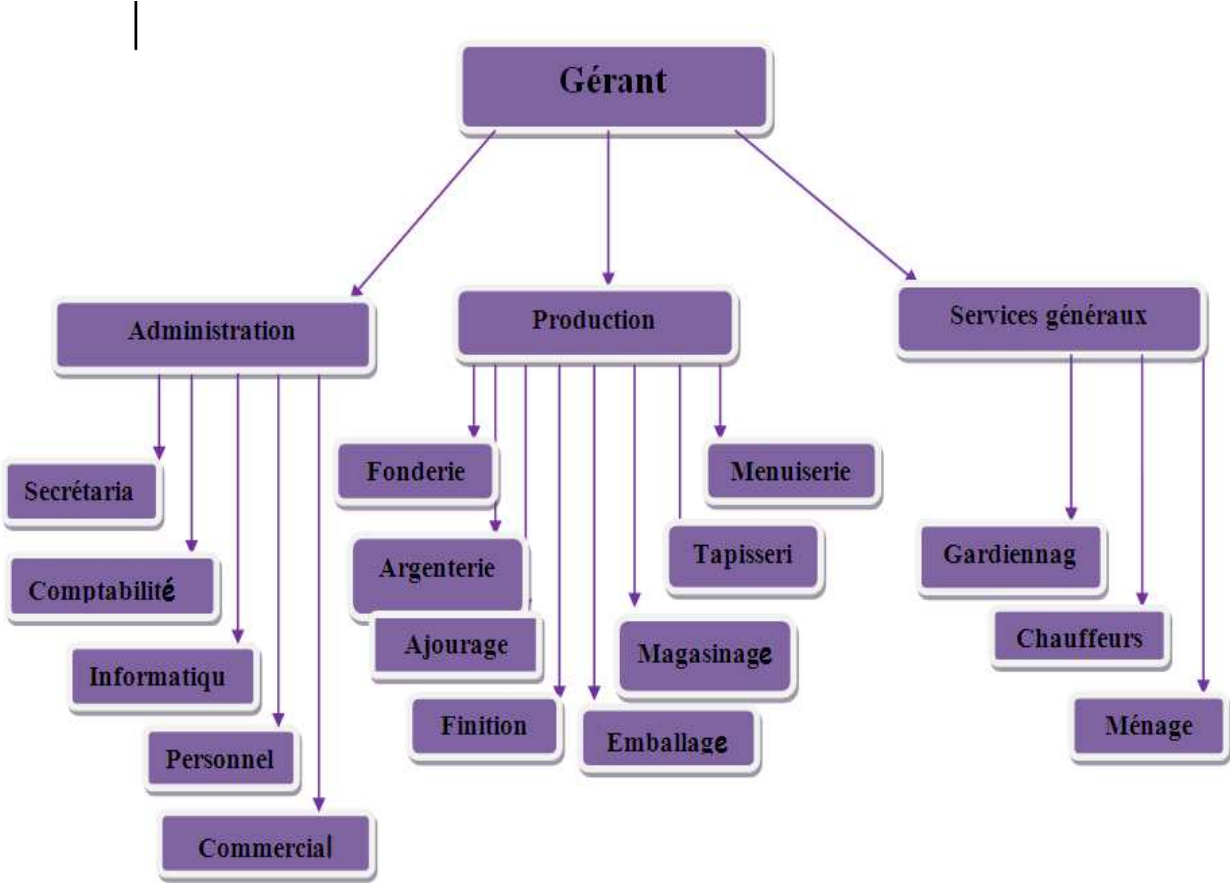


Figure 1 : Organigramme de la société

3- Matière première :

La société utilise comme matière première le métal « **Laiton** ». Le laiton est un alliage à base de cuivre et de zinc. Il contient de 60 à 70% en poids de cuivre et de 30 à 40% de zinc, et éventuellement d'autres éléments tels que : le plomb, l'aluminium, le nickel., qui sont ajoutés en faibles proportions, sont destinés à améliorer certaines propriétés.

Tableau 1 : Propriétés et caractéristiques du laiton

Le laiton	
Famille :	Alliage de métaux non-ferreux.
Aspect :	Couleur allant du rose au jaune.
Propriétés :	Très bonne résistance à la corrosion. Le laiton est un alliage relativement malléable qui peut être travaillé à chaud comme à froid. Sa résistance à la corrosion ainsi que sa ductilité lui donne un aspect de surface agréable.
Points faibles :	Fragile.
Oxydation :	Pas ou peu d'oxydation, couche protectrice.
Température de fusion :	900°C.
Déclinaisons :	Alliage de laiton avec du nickel pour augmenter la résistance à l'oxydation et à la corrosion. Alliage de laiton et d'aluminium pour augmenter la tenue du métal lors d'un travail à chaud.

I- CHAINE DE PRODUCTION

1- Modélisation :

Les pièces de l'article sont élaborées par des modélistes spécialisés sous forme d'exemplaires. Chacun de ces derniers représente la forme, les dimensions, les couleurs et les types de matières premières à utiliser pour chaque pièce. Avant la fabrication de l'article, un échantillon représentatif passe par la chaîne de la fabrication et suivi par plusieurs maître artisans dont ils peuvent entraîner des modifications sur la forme si nécessaire jusqu'à ce qu'il prenne son aspect parfait et souhaité. Cet échantillon représente le modèle à suivre pour la chaîne de fabrication.

2- Découpage :

Les formulaires requis de différentes pièces de l'article sont tracés sur les plaques de laiton de différentes épaisseurs en tenant compte des dimensions mentionnées sur l'exemplaire. Ensuite ces plaques sont découpées soit manuellement, soit avec un ciseau électrique.

3- Gravure :

La gravure repose sur la compétence des maîtres artisans qui exécutent des motifs décoratifs dessinés sur les surfaces de plaque de laiton. Ces décoratifs présentent la beauté et l'originalité des produits artisanaux marocains. On trouve deux types des dessins :

- ❖ **Dessins traditionnels** : les motifs décoratifs sont achevés par les maîtres artisans en se reposant sur leurs innovations.
- ❖ **Dessins modernes** : ces dessins sont effectués par des machines avec un style moderne et un temps plus court.

4- Repoussage :

Le repoussage de métal est la transformation d'un disque plat en métal dans une **forme spécifique**

On distingue deux types de repoussage :

- ❖ **Repoussage manuel** : L'opération est réalisée à l'aide des moules pour que les pièces découpées prennent leurs formes souhaitées. Elle est facilitée par un chauffage à haute température et nécessite un effort humain important.
- ❖ **Repoussage automatique** : Cette technique nécessite des moules particuliers pour les articles plats. Elle est réalisée à l'aide d'une machine à presse.

5- Fonderie :

La fonderie est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un [métal](#) ou un [alliage](#) liquide dans un [moule](#) pour produire et reproduire un article désiré. La pièce obtenue (forme intérieure et

extérieure) est pratiquement achevée afin de limiter les travaux ultérieurs de finition. Cette fabrication se déroule suivant les trois étapes :

- ❖ **Fabrication des moules** : cette étape permet de créer d'autres éléments par les techniques de moulage. Elle se fait par un type particulier du sable selon les formes désirées.
- ❖ **Fondage** : on fond le reste des alliages du laiton provenant de différentes étapes de fabrication avec quelques grammes d'aluminium.
- ❖ **Moulage** : l'alliage fondu est coulé dans les moules déjà fabriqués. Après refroidissement, on aboutit à la formation des pièces souhaitées.

6- Limage :

Les pièces provenant de la fonderie contiennent des irrégularités qui nécessitent des corrections à l'aide d'une machine pour donner aux bords de la pièce la forme demandée.

7- Soudure :

Elle consiste à assembler les différentes pièces provenant du limage et de la fonderie. Cette fixation se réalise par des soudures en étain.

8- Décapage :

Le décapage est l'élimination mécanique ou chimique de toutes traces d'impuretés et les couches d'oxydes formées à la surface d'un objet. L'attaque de la surface de la pièce est obtenue par l'un de deux voies suivantes :

- ❖ **Décapage chimique** : la surface de la pièce est attaquée par des acides forts et concentrés. Les acides utilisés sont : l'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide nitrique (HNO₃).
- ❖ **Décapage électrochimique** : consiste à oxyder superficiellement la surface d'une pièce placée en anode et dans un électrolyte (H₂SO₄ ou H₃PO₄).

9- Finition :

Une série de contrôle est effectuée pour avoir une bonne qualité de la pièce et de préparer l'article à l'étape de traitement de surface.

▪ Premier contrôle :

-Dans ce contrôle, une première équipe détecte les parties mal soudées dans la pièce, les rayures et l'existence des trous pour qu'elles soient éliminées.

-Une deuxième équipe est chargée de corriger tous les défauts indiqués précédemment, par soudage et polissage.

▪ **Deuxième contrôle :**

Ce contrôle est fait par deux équipes (une pour les pièces plates et l'autre pour les pièces bombées), qui éliminent toutes les traces de soudure et les bordures mal définis.

▪ **Ravivage :**

C'est un polissage secondaire qui donne un éclat pour l'article et rend sa surface plus vive, par utilisation d'une patte rouge et des machines équipées de différents diamètres granulométrique de papier abrasif.

10-Traitement de surface :

Le procédé de traitement de surface est basé sur le principe de l'électrolyse, qui consiste à déposer une couche d'un métal sur un substrat métallique, et de lui conférer un aspect visuel agréable tout en augmentant leur résistance à la corrosion, à l'usure.

11-L'emballage :

La section d'emballage se compose de plusieurs équipes :

• **Equipe de fabrication des emballages :**

Cette équipe utilise comme matière première des feuilles de cartons de différentes épaisseurs, des bandes de plaques de polystyrène, de la colle et des agrafes. Elle est chargée de la fabrication de plusieurs sortes d'emballage en respectant la forme de l'article, sa valeur artistique et sa sensibilité.

• **Equipe de contrôle et du montage :**

Une 2^{ème} équipe contrôle la qualité de la pièce en détectant tous les défauts comme les rayures, mauvaise soudure, article troués ...etc.

Dans le cas de la présence de rayures par exemple, la pièce revient en polissage, afin de rendre sa surface lisse et brillante.

Après la pièce passe par la finition pour assurer sa qualité avant d'atteindre le retraitement de surface.

Les pièces ainsi contrôlées passent par une équipe de montage qui rassemble les différentes pièces, afin de donner à l'article sa forme finale prête pour l'emballage.

• **Equipe de l'emballage :**

Au cours du stockage et du transport, les pièces métalliques peuvent être exposées au phénomène d'oxydation, aux chocs aux poussières.... donc pour protéger les articles, on utilise des emballages spécifiques (papier blanc fin, sacs en plastique, cartons...).

I- L'ELECTROLYSE :

1- Définition :

L'électrolyse se réalise dans une cuve contenant un **ELECTROLYTE** dans lequel sont plongées deux électrodes reliées aux bornes d'un générateur de courant continu. L'électrode positive est aussi nommée **ANODE** car elle est le siège d'un phénomène d'oxydation. L'électrode négative est aussi nommée **CATHODE**, car elle est le siège d'un phénomène de réduction.

Le pôle négatif du générateur est toujours relié à la cathode de l'électrolyseur et son pôle positif à l'anode (**voir schéma d'électrolyse**).

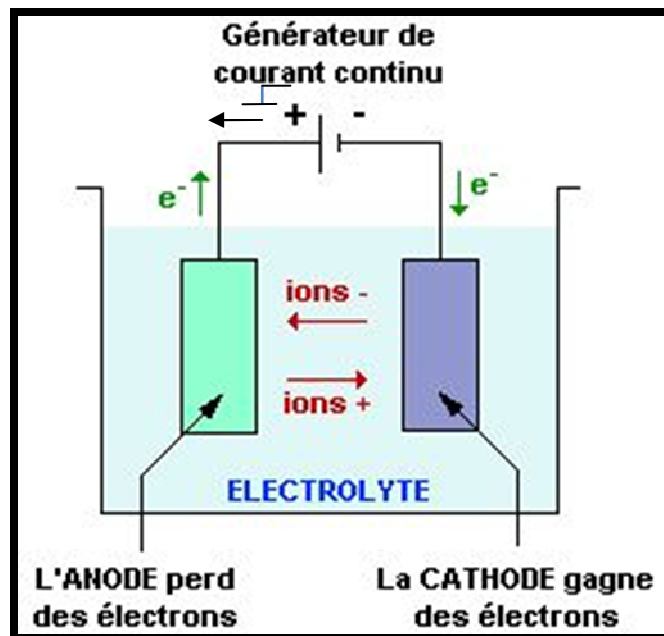


Figure 2 : Schéma du bain d'électrolyse

Cette technique a pour but de protéger la pièce contre les attaques corrosives, d'améliorer leur aspect extérieur, et de modifier leur caractéristique superficielle.

2- Equipement du bain d'électrolyse :

- **Cuve** : les cuves doivent être protégées contre les attaques de certains électrolytes par un revêtement intérieur de caoutchouc, d'ébonite ou de polychlorure de vinyle (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 doivent être équipées d'un système de chauffage assuré par des thermoplongeurs avec régulation thermostatique. Pour éviter l'échange d'énergie thermique avec le milieu extérieur, on utilise des boules en plastique flottantes sur la surface du bain.
- **Agitation** : elle est de type mécanique, elle permet d'assurer une meilleure dispersion de la couche à déposer sur la surface de l'article.
- **Filtration** : une filtration continue sur charbon actif est indispensable afin d'obtenir une couche de métal propre et lisse déposée sur l'article.

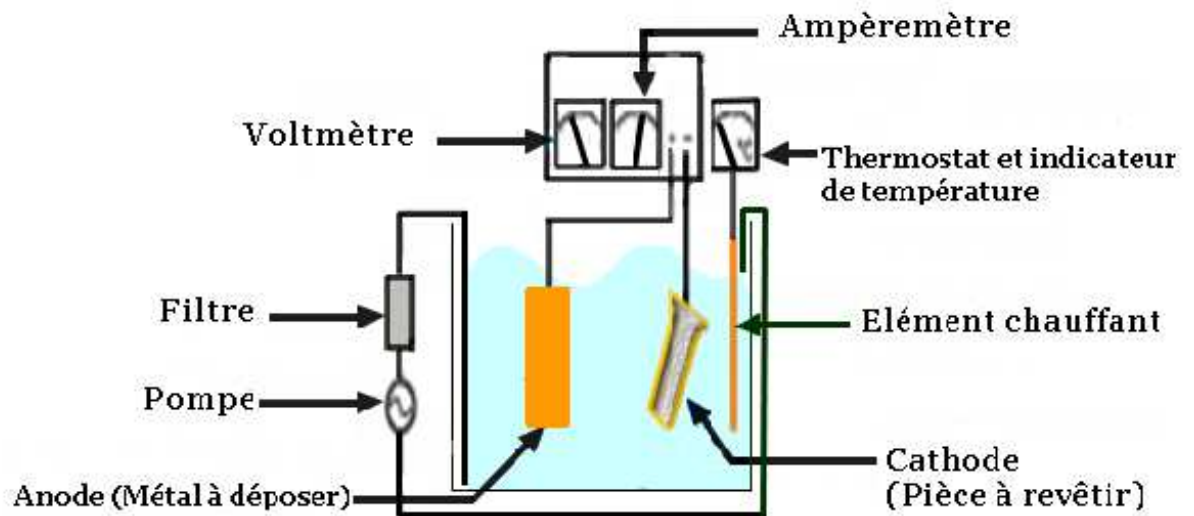


Figure 3 : Différents équipements d'un bain d'électrolyse

3- Différents types d'électrolyse utilisés à la société SADF :

a-Dégraissage :

Ce bain sert à éliminer les graisses et les huiles présentes à la surface des pièces. Toutes les pièces sans exception doivent être immergées dans ce bain. Le rôle de ce bain est primordial, c'est lui qui va conditionner la qualité du traitement final.

Il contient différents produits chimiques comme bases et détergents (cités en dessous). Sur la pièce se produit un dégagement gazeux en même temps que l'oxydation de sa surface. Ce phénomène permet de nettoyer l'aspect extérieur de l'article.

La société **SADF** utilise un bain de dégraissage qui contient :

- ✓ Dex.
- ✓ AB 40.
- ✓ Eau déminéralisée .

Généralement la pièce à traiter est reliée à la cathode, qui est le siège d'une réaction de réduction :





Il y a formation d'ions OH^- ainsi qu'un important dégagement d'hydrogène qui réduit les oxydes présents sur la pièce ; la forte alcalinité qui entoure la pièce exerce une puissante action saponifiante et émulsifiante.

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



➤ **Les conditions du travail :**

- ✓ Température normale.
- ✓ Le courant imposé est de $25\text{A}/\text{dm}^2$.



Figure 4 : Bain de dégraissage

b-Bains de rinçage :

Les opérations de rinçage se situent entre chaque opération de bains actifs. Les pièces traitées au bain de dégraissage doivent être rincées dans trois bains successifs remplis d'eau afin d'assurer leur purification. L'intérêt du rinçage consiste à éviter d'amener les traces d'ions provenant du bain précédent et qui peuvent altérer le bain suivant. Ce qui donne au rinçage un rôle indispensable pour préserver la qualité des bains d'électrolyse intacts,



Figure 5: Les trois bains de rinçage

c-Cuivrage :

Le cuivrage est une opération de revêtement de la surface des pièces par du cuivre. Il existe deux procédés de bains de cuivrage. Leurs compositions, leur rendement cathodique, sont différents où l'un est acide et l'autre est alcalin.

❖ **Bain de cuivrage alcalin :**

La composition du bain de cuivrage alcalin ainsi que les conditions opératoires sont cités dans le tableau suivant :

Tableau 2 : La composition du bain alcalin et les conditions de travail

La composition du bain	Les conditions de travail
✓ Sel N°2 $\text{Cu}(\text{CN})_2$	✓ pH basique égale à 11.
✓ Sel N°11	✓ $T= 35^\circ \text{ à } 40^\circ \text{ C}$
✓ La soude caustique. (NaOH)	✓ Temps d'immersion est : $t= 2 \text{ min}$
✓ Cyanure de sodium (NaCN).	✓ $I= 5 \text{ à } 10 \text{ A/dm}^2$.
✓ Des additifs (brillantur, mouillant)	✓ Baumé est de 13°

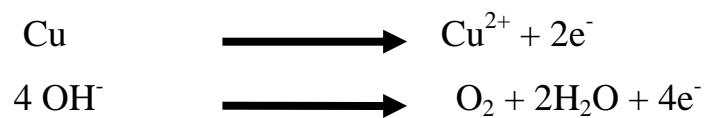
On procède à un cuivrage par immersion dans un bain contenant du cuivre en solution mélangé à d'autres produits chimiques et soumis à un courant électrique. la pièce à cuivrer est placée dans le bain et reliée à la cathode, l'anode sera en cuivre pur.



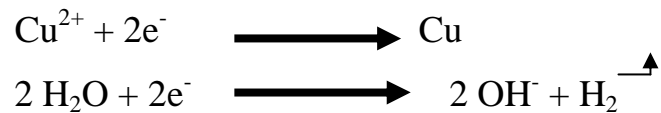
Figure 6: Bain de cuivre alcalin

➤ Les réactions qui se produisent dans le bain :

- A l'anode :



- A la cathode :



➤ Estimation de la masse de Cuivre déposée sur la pièce :

- La masse théorique de cuivre qui doit être déposée par dm^2 sur la pièce N°1 par l'application de la loi de Faraday est :

$$m_1(\text{théorique}) = \frac{I \cdot t \cdot M}{n \cdot F}$$

Avec :

- m = masse de matière déposée (g)
- t = temps en seconde (s)
- M = masse molaire du métal (g/mol)
- I = courant en ampère (A)
- n = nombre d'électrons échangés
- F = Constante de Faraday = 96500 C/mol

Application numérique :

$$m_1(\text{théorique}) = \frac{5 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 63,5}{2 \cdot 96500} = 0,196 \text{ g/dm}^2$$

- **Expérimentalement** la masse de dépôt est égale :

$$m_1 (\text{expérimentale}) = m_{1\text{final}} - m_1$$

Avec :

$m_1 = 121.62$ g : la masse de la pièce N°1 avant l'électrolyse alcalin.

$m_{1\text{ final}} = 121.71$ g : la masse de la pièce N°1 après la réalisation de dépôt.

Application numérique :

$$m_1 (\text{expérimentale}) = 121.71 - 121.62 = 0.09 \text{ g/dm}^2$$

- **Le rendement cathodique :**

$$r = \frac{m_1 (\text{expérimentale})}{m_1 (\text{théorique})} * 100 = \frac{0.09}{0.196} * 100 = 45\%$$

Le rendement de la réaction cathodique est de **45 %**, ceci est dû à la réduction de la réaction concurrente.

➤ **Bain de cuivre acide :**

La composition du bain et les conditions opératoires sont présentées comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 3 : La composition du bain de cuivre acide et les conditions de travail.

La composition du bain	Les Conditions de travail
✓ Sulfate de cuivre (CuSO ₄)	✓ I= 5A/dm ²
✓ Acide sulfurique (H ₂ SO ₄).	✓ t= 4 min
✓ Anode « plaque de cuivre contenant une portion de phosphore ».	✓ T= 40° à 45° C
✓ Additifs : brillanters, nivlant, cuprac acide brillant, copra base	✓ pH= 4.5
	✓ Baumé est de 24°

La réalisation de dépôt de cuivre en milieu acide est effectuée de la même manière que le bain du cuivre alcalin sauf qu'ici, l'anode est constituée d'une grosse plaque métallique de composition 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, d'utiliser une agitation mécanique cathodique, la filtration continue sur charbon actif est indispensable.

Le temps dont chaque pièce doit passer dans le bain du cuivrage dépend de la qualité souhaitée, il est compris généralement entre 2 et 5 min, mais dans quelque exception il peut aller jusqu' à 10 min pour les produits de haute qualités.

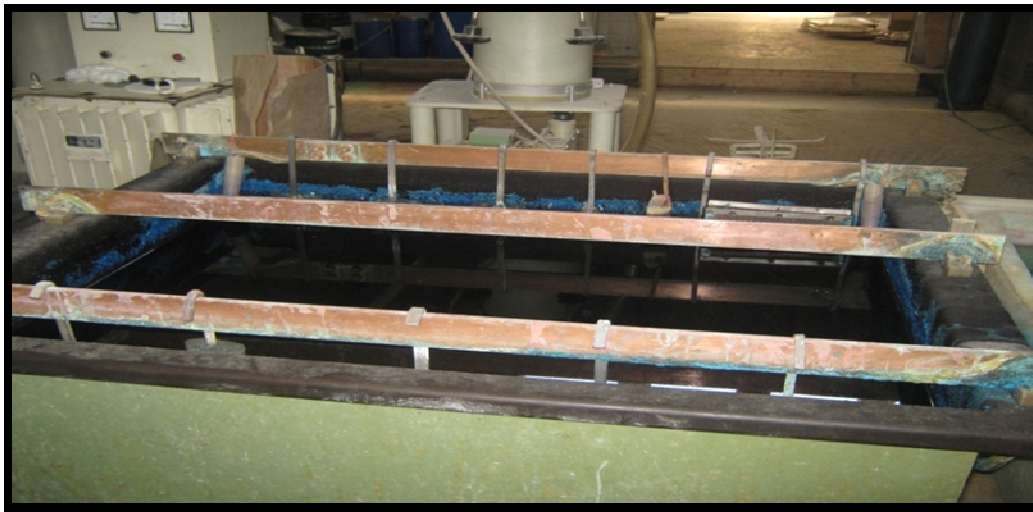
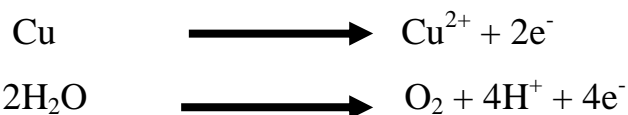


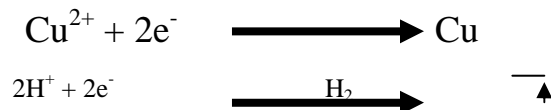
Figure 7 : Bain de cuivre acide

➤ Les réactions qui se produisent dans le bain :

- A l'anode :



- A la cathode :



➤ Estimation de la masse de Cuivre déposée sur la pièce :

- La masse théorique qui doit être déposée par dm^2 sur la pièce N°2 par l'application de la loi de Faraday est :

$$m_2(\text{théorique}) = \frac{i \cdot t \cdot M}{n \cdot F} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 60 \cdot 63.5}{2 \cdot 96500} = 0.39 \text{g/dm}^2$$

- Expérimentalement la masse de dépôt de cuivre est égale :

$$m_2(\text{expérimentale}) = m_2 \text{ final} - m_2$$

Avec :

$m_2 = 121.93$ g : la masse de la pièce N°2 avant le cuivrage acide

$m_{2\text{ final}} = 122.16$ g : la masse de la pièce N°2 après le cuivrage acide.

Application numérique :

$$m_2(\text{expérimentale}) = 122.16 - 121.93 = 0.23 \text{ g/dm}^2.$$

- le rendement cathodique :

$$r = \frac{m_1(\text{expérimentale})}{m_1(\text{théorique})} * 100 = \frac{0.23}{0.39} * 100 = 59 \%$$

Le rendement de la réaction cathodique est de **59 %**, parce qu'une partie de courant d'électrolyse sert à la réduction de la réaction concurrente.

Afin d'améliorer la qualité du produit par formation d'une couche de cuivre plus épais, la société préfère le bain du cuivrage acide vus son rendement cathodique supérieur.

d-Nickelage :

Pour réaliser en général un dépôt d'argent sur un acier, il faut d'abord cuivrer et nickeler la pièce auparavant, l'argent se dépose facilement sur le nickel, ce dernier donne une bonne adhérence sur le cuivre, Il offre une bonne résistance à la corrosion et présentent une bonne tenue à l'oxydation atmosphérique et à la vapeur d'eau.

La composition du bain et les conditions opératoires sont présentées comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 4 : La composition du bain de nickel et les conditions de travail.

La composition du bain	Les conditions de travail
✓ Sulfate de nickel (NiSO_4)	✓ $I = 20 \text{ A/dm}^2$
✓ Chlorure de nickel (NiCl_2).	✓ $T = 60^\circ \text{ C}$
✓ Acide borique (H_3BO_3):	✓ $\text{pH} = 3.8 \text{ à } 4.8$
✓ Additifs :	✓ $t = 10 \text{ à } 15 \text{ min}$
○ Fixateur	✓ Baumé est de $25 \text{ à } 30^\circ$.
○ Brillanteur	
○ Mouillant	
○ Nivelant	

○ Purifier

Le nickelage s'effectue en fixant toutes les pièces à traiter sur la barre cathodique au milieu (voir figure.8) l'anode est constitué d'une grosse plaque métallique en nickel pour récompenser les pertes des ions Ni^{2+} déposés, une filtration s'effectue en continue de l'électrolyte sur charbon actif.

Lorsque que le courant passe, les ions positifs du nickel migrent vers le pôle négatif et se déposent sous forme de couche de métal dont l'épaisseur dépend du temps d'immersion.



Figure 8 : Bain de Nickel.

➤ Les réactions qui se produisent dans le bain :

▪ A l'anode



▪ A la cathode



➤ Estimation de la masse de nickel déposée sur la pièce :

- La masse théorique de nickel qui doit être déposée par dm^2 sur la pièce N°2 par l'application de la loi de Faraday est :

$$m_3 \text{ (théorique)} = \frac{i \cdot t \cdot M}{n \cdot F} = \frac{20 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 58,7}{2 \cdot 96500} = 3.65 \text{ g/dm}^2$$

- **expérimentalement** la masse de dépôt de nickel est égale :

$$m_3 \text{ (expérimentale)} = m_3 \text{ final} - m_2 \text{ final}$$

Avec :

$m_{2\text{final}} = 122.16 \text{ g}$: la masse de la pièce N°2 après l'électrolyse acide.

$m_{3\text{final}} = 124.71$: la masse de la pièce N°2 après le nickelage.

Application numérique :

$$m_3 \text{ (expérimentale)} = 124.71 - 122.16 = 2.55 \text{ g/dm}^2$$

- **le rendement cathodique**

$$r = \frac{m_3 \text{ (expérimentale)}}{m_3 \text{ (théorique)}} * 100 = \frac{2.55}{3.65} * 100 = 70 \%$$

Le rendement de la réaction cathodique est de **70 %**, ceci est dû à une partie de courant d'électrolyse sert à la réduction de la réaction concurrente.

e-Pré-argentage :

C'est une étape qui dure entre 10 à 15 secondes. Elle permet de déposer une très faible couche de l'argent, pour éviter toute transmission des impuretés au bain d'argent.

Le tableau ci-dessous montre la composition du bain de pré-argentage et les conditions opératoires :

Tableau 5: La composition du bain de pré-argentage et les conditions opératoires :

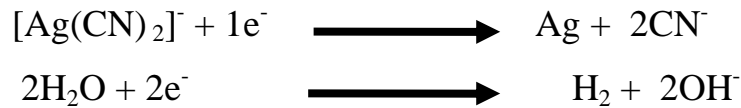
La composition du bain		Les conditions de travail	
✓	Cyanure de potassium (KCN).	✓	Courant fort égale à 200A/dm ²
✓	Cyanure d'argent (AgCN).	✓	t= 10 à 15 s
✓	Anode d'Inox.	✓	Filtration par charbon actif
✓	Eau déminéralisée	✓	Baumé est de 14 °

➤ Les réactions qui se produisent dans le bain :

- **A l'anode :**



- **A la cathode :**



f-Argentage:

Les dépôts électrolytiques d'argent sont blancs, tendres, de très bonne soudabilité et de conductibilité thermique et électrique excellentes. Ils permettent d'assurer simultanément une bonne protection contre la corrosion.

Les produits utilisés et les conditions de travail sont cités dans le tableau suivant :

Tableau 6 : la composition du bain d'argentage et les conditions de travail.

La composition du bain d'argent	Les conditions de travail
✓ Cyanure de potassium.	✓ $I = 10\text{A}/\text{dm}^2$
✓ Cyanure d'argent.	✓ $t = 10 \text{ à } 15 \text{ min}$
✓ Anode d'argent.	✓ $T=60^\circ\text{C}$
✓ L'eau déminéralisée.	✓ Baumé 25°
✓ Les additifs : <ul style="list-style-type: none"> ○ SILVIRLUM brillanteur. ○ SILVIRLUM base. 	

L'argentage s'effectue de la manière suivante :

Les articles sont immergés dans un bain électrolytique de sels d'argent à faible intensité de courant électrique.

L'Anode : Plusieurs plaques d'argent pur sont accrochées sur la barre anodique.

La Cathode : les pièces à argenter sont fixées sur la barre cathodique (**figure.9**). Sous l'effet du courant électrique, les ions d'argent se déposent sur les pièces à traiter (cathode). L'électrolyse de ce bain s'effectue en même temps qu'avec une agitation mécanique et une filtration en continue par la présence du charbon actif dans un filtre



Figure 9 : Bain d'argent.

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

- A l'anode :



- A la cathode :



➤ Estimation de la masse de nickel déposée sur la pièce :

- La masse théorique qui doit être déposée par dm^2 sur la pièce N°2 par l'application de la loi de Faraday est :

$$m_4 \text{ (théorique)} = \frac{I \cdot t \cdot M}{n \cdot F} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 108}{2 \cdot 96500} = 3.35 \text{ g/dm}^2$$

- expérimentalement la masse de dépôt de l'argent est égale :

$$m_4 \text{ (expérimentale)} = m_{4 \text{ final}} - m_{3 \text{ final}}$$

$m_{3 \text{ final}} = 124.71 \text{ g}$ la masse de la pièce N°2 après le nickelage.

$m_{4 \text{ final}} = 127.12 \text{ g}$ la masse de la pièce N°2 après l'argentage.

Application numérique :

$$m_3 \text{ (expérimentale)} = 127.12 - 124.71 = 2.41 \text{ g/dm}^2$$

- le rendement cathodique

$$r = \frac{m_4 (\text{expérimentale})}{m_4 (\text{théorique})} * 100 = \frac{2.41}{3.35} = 72 \%$$

Le rendement de la réaction cathodique est de **72 %**, ceci est dû à une partie de courant d'électrolyse sert à la réduction de la réaction concurrente

g-Le séchage:

Les pièces traitées auparavant dans les bains d'électrolyse sont rincées puis séchées dans un four à une température adaptée de 100°C à 120°C.

I -CONTRÔLE DES BAINS ET DES DEPÔTS :

1-Les analyses des bains :

Les analyses des bains sont réalisées par une autre société qui s'appelle **GALVANO TECHNIQUE** qui fait des analyses physico-chimiques.

1-1-Echantillonnage :

Le but de ce procédé est de prendre un échantillon, représentatif pour le quel on peut déterminer la teneur des produits désirés.

Les résultats d'une analyse ne peuvent être interprétés et exploités que si l'échantillon représente vraiment la matière à analyser, dans notre cas l'échantillon est prélevé directement car la solution est homogène.

Après, l'échantillon est transporté vers le laboratoire d'analyse dans un flacon (en verre, en plastique ou en polyéthylène), qui porte une étiquette avec les informations suivantes :

- Le nom de l'entreprise.
- Le nom de la solution.
- La date des prises d'effet.
- Le nom et la signature du ou des responsables.

1-2-Méthodes physico-chimiques :

Le laboratoire **GALVANO TECHNIQUE** réalise des analyses basées principalement sur des méthodes volumétriques et spectroscopiques (ultra-violet UV, absorption atomique)

2-Contrôle des bains :

D'après plusieurs utilisation, la densité de la solution du bain devient inférieur à la norme souhaitée, pour cela il faut entretenir chaque bain.cet entretien est basé sur les résultats d'analyses et sur la valeur de la densité enregistrée par un aréomètre baumé.

Les additions de sels seront effectuées périodiquement en dissolvant les produits dans une petite quantité d'électrolyse chauffée dans une cuve de mélange.

2-1 -L'aréomètre baumé

2-1-1-Définition de l'aréomètre baumé

L'**aréomètre** est un appareil permettant de mesurer la **densité** d'une solution, et la **concentration** d'une solution.

2-1-2-Description :

L'aréomètre est constitué d'une carène cylindrique creuse en verre surmontée d'une tige cylindrique creuse en verre soudée sur la carène.

Un lest est inclus dans la partie inférieure de la carène, destiné à stabiliser l'appareil lorsqu'il est plongé dans le liquide à mesurer, ainsi qu'à ajuster sa masse. La tige abrite une échelle graduée fixée à l'intérieur

2-1-3- Principe et fonctionnement de l'aréomètre :

Le fonctionnement de l'instrument est basé sur le **principe d'Archimède**. « **Tout corps plongé dans un liquide reçoit une poussée égale au poids du volume de liquide déplacé** ».

La carène est entièrement immergée dans le liquide, ainsi qu'une partie de la tige de mesure. Le centre de poussée est le centre de masse de la partie immergée, et la poussée est dirigée vers le haut. Le poids de l'appareil, dirigé vers le bas, est appliqué au centre de masse de l'appareil, et se trouve donc au-dessous du centre de poussée, ce qui permet la stabilité de l'équilibre du corps flottant.

À l'équilibre, la poussée est égale en valeur absolue au poids.

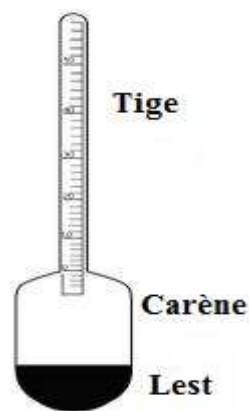


Figure 10: Schéma représentant un aréomètre baumé

3-Contrôle de pH

Le pH est l'un des paramètres le plus important. Sa valeur est maintenue par un contrôle régulier. par exemple, pour le bain de nickel on utilise un papier pH spécifique :

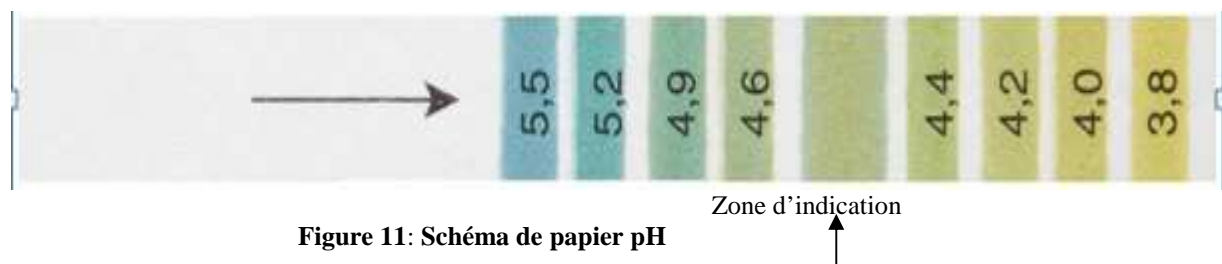


Figure 11: Schéma de papier pH

3-1 Mesure du pH :

Pour mesurer le pH, on plonge le papier pH dans le bain de nickel, puis on compare la couleur de la zone d'indication avec la couleur de comparaison, et on lit la valeur du pH correspondant.

3-2-Réglage du pH :

Le pH sera réglé et maintenu à la valeur optimum par contrôle journalier.

-on diminue le pH par addition d'acide sulfurique dilué à 10%.

-on augmente le pH si nécessaire, par circulation sur un filtre colmaté avec une bouillie de carbonate de nickel.

4-Purification des bains :

4-1- Purifications chimiques du bain de nickel :

Grâce à l'utilisation de l'EPURATEUR IONEX en présence de charbon actif, on peut réaliser l'épuration sélective des impuretés organiques.

Parmi les inconvénients de l'épuration sélective électrolytique :

-arrêt de production.

-Perte inévitable de nickel .

4-2-Purification des bains d'argent :

4-2-1-Influence des impuretés :

✓ Les impuretés minérales :

▪ Cuivre :

La teneur en cuivre doit être inférieure à 5mg/l. Au dessus le dépôt s'assombrit, puis pour des teneurs supérieures devient blanchâtre..

▪ Nickel :

Le nickel est certainement l'impureté la mieux supportée .Au dessus de 200 mg/l le dépôt s'assombrit et tend vers le jaune

✓ les impuretés organiques :

Les impuretés organiques diminuent le rendement et provoquent le noircissement des métaux. Elles sont éliminées par traitement au charbon actif.

les dépôts deviennent sombres et tachés, ce qui cause un manque d'adhérence.

4-2-2-Traitement des impuretés :

-pour les **impuretés organiques** ils sont éliminés par filtration sur charbon actif.

-pour les **impuretés minérales** ils sont éliminés par l'addition de l'EDTA qui permet de complexer les cations.

L'EDTA complexe les cations selon la réaction générale :



5-Contrôle de la qualité du dépôt :

Vu l'importance capitale que joue le traitement de surface pour compléter la valeur artistique de l'article et pour avoir une meilleure qualité du dépôt, chaque pièce passe par un contrôle de la qualité qui sert à déterminer tous les défauts .

5-1 les critères de la qualité :

5-1-1- L'aspect :

L'aspect du dépôt, qu'il soit mat ou brillant, doit être uniforme et lisse, exempt de porosité, zones non revêtues ou brûlées.

5-1-2-L'adhérence :

L'adhérence est une qualité essentielle, en effet si elle est mauvaise, la protection devient aléatoire.

Les manifestations d'une mauvaise adhérence se traduisent principalement par des décollements immédiatement après ou en fonction de temps.

5-1-3-L'épaisseur :

L'épaisseur du dépôt présente une importance fondamentale, d'une part il permet une meilleure résistance à la corrosion et d'autre part améliore la qualité du dépôt.

5-2-Défauts et action correctives

Le tableau ci dessous résume certains défauts et des remèdes pour les corriger :

Tableau.7: Défauts et action correctives

Défauts	Causes	Remèdes
Manque d'adhérence	a-dégraissage insuffisant b-densité de courant trop élevé	a-contrôler le bain de dégraissage. b-rectifier la densité de courant.
Dépôt sombre	a-densité du courant trop élevé. b-manque de cyanure libre. c-pollution minérale. d-pollution organique.	a-rectifier la densité de courant. b-effectuer le dosage du cyanure. c-traitement au charbon actif- voir (4-2-2 traitement des impuretés). -remplacer le bain.
Dépôt faible, mauvais rendement	a-impuretés métalliques jouant le rôle d'inhibiteur. b-excès de cyanure libre.	

CONCLUSION

Lors de ce stage j'ai pu mettre en pratique mes connaissances théoriques acquises durant ma formation, de plus, je me suis confronté aux difficultés réelles du monde du travail.

Après mon intégration au sein de l'équipe, j'ai eu l'occasion de réaliser plusieurs tâches qui ont constitué une mission de stage globale.

J'ai pris conscience de l'importance du savoir-être et des relations humaines seules capables de faire avancer les choses.

Enfin j'avais compris qu'un bon dépôt obtenu par électrolyse dépend de plusieurs facteurs comme : concentration, pH de l'électrolyte, température, densité de courant et l'ajout des brillantures.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

- « La pulvérisation cathodique industrielle ». Christian Manasterski

Ce livre offre une approche technique sur les différents types de dépôts, sur le matériel nécessaire, son rôle, son fonctionnement, et sa maintenance.

Ressources Internet

- <http://sadf-maroc.com/>.
- <file:///E:/Areometre.htm>.
- <http://fr.wikipedia.org/>
- http://www.cuivre.org/contenu/docs/doc/pdf/metallurgie/03_laitons.pdf