



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



Licence Sciences et Techniques (LST)

Génie Chimique

« GC »

PROJET DE FIN D'ETUDES

TRAITEMENT DE SURFACE ; REVETEMENT METALLIQUE PAR VOIE
ELECTROLITIQUE

Présenté par:

◆ MAZZINOU Oumayma



Encadré par:

◆ Mr Khammar CHNOUNI (Société)

◆ Pr AMEZIANE Chakib (FST)

Soutenu Le 08 Juin 2018 devant le jury composé de:

- Pr. AMEZIANE HASSANI Chakib

- Pr. OULMEKKI Abdellah

- Pr. HAZEM Jamal Eddine

Stage effectué à la Société Des Artisans Dinandiers de Fès (SADF)

Année Universitaire 2017 / 2018

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES

✉ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14

Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>

Dédicace

A mon père si Aziz Mazzinou

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
L'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu
Pour vous.*

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et
Nuit pour mon éducation et mon bien être.
Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as
consentis pour mon éducation et ma formation.*

A ma mère Lalla Malika

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le
Symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et
l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et
de prier pour moi.*

A mes frères

*Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de
réussite et de sérénité.*

*A ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager,
Et me conseiller.*

*A ceux qui n'ont jamais été avares ni de leur temps ni
De leurs connaissances pour satisfaire mes interrogations.
A tous mes enseignants avec mes profondes considérations.*

*A tous mes amies et amis en témoignage de l'amour
Et de l'affection qui nous lient.*

Remerciements

Ce travail résulte de la contribution de nombreuses personnes ; que ce soit d'un point professionnel en m'apportant des connaissances et savoir faire, ou personnel en faisant de moi ce que je suis aujourd'hui. C'est pourquoi je voudrais dire quelques mots à ces personnes.

Tout d'abord je tiens à féliciter la direction de la **Société Des Artisans Dinandiers De Fès (SADF)** pour le rôle qu'il joue dans l'intégration des stagiaires au sein de la société. Mes remerciement vont à Mr. **Abderafie Tahiri** , directeur de la société très particulièrement pour son accueil chaleureux, sa confiance et son aide précieuse apportée au cours de ce stage.

Je tiens à remercier Mr **Khammar CHNOUNI**, mon maitre et teneur de stage à qui j'ai toujours trouvé un accueil bienveillant auprès de lui. C'est lui qui ma guider tout au cours de se stage. Aussi il m'aide m'intégrer au sein de la société très rapidement.

J'aimerais témoigner toute ma reconnaissance à l'équipe pédagogique de la licence Science et Technique de **Génie Chimique de la F.S.T.F** pour avoir assuré la partie théorique de ma formation.

J'aimerais remercier particulièrement **Mr. AMEZIANE HASSANI Chakib** d'avoir accepté m'encadrer durant la période de stage et de m'avoir guidé, m'apporter des conseils, connaissances et expériences et sa rigueur scientifique m'a beaucoup aidé.

J'ai aussi le plaisir de remercier toutes **Les membres de jury, Pr. Oulmekki Abdellah et Pr. Hazem Jamal Eddine** d'avoir accepter d'évaluer mon travail.

Enfin, même je tiens à remercier mes parents pour leur support moral indéfectible , pour l'amour dont ils m'ont toujours entouré et pour l'éducation qu'ils m'ont offerte.

Mes amis et collègues qui n'ont pas cessé de m'encourager et me soutenir lors de mes études et la réalisation de ce travail.

Table des matières

Chapitre I : Présentation de la société	7
I.1- Historique :	7
I.2- Produit et production :	7
I.3- Clients :	7
I.4- Organigramme :	3
Chapitre II : Procédé de fabrication.....	9
II.1- Matière première:	9
II.2- Chaîne de production :	5
II.2.1- Modélisation :	5
II.2.2- Découpage :	10
II.2.3- Gravure :	6
II.2.4- Repoussage:	6
II.2.5- Fenderie :	12
II.2.6- Limage :	13
II.2.7- Soudure :	13
II.2.8- Décapage :	8
II.2.9- Polissage :	8
II.2.10- Ravivage :	8
II.2.11- Contrôle de qualité :	8
II.2.12- Traitement de surface :	8
II.2.13- Emballage :	9
Chapitre III : Galvanoplastie à la SADP	10
III.1- Electrolyse	10
III.1.1- Définition	10
III.1.2- Principe :	10
III.1.3- Equipement du bain d'électrolyse :	17
III.2- Traitement de surface:	18
III.2.1- Dégraissage :	18
III.2.2- Rinçage :	22
III.2.3- Cuivrage :	22

III.2.4- Nicklage :	19
III.2.4- Argenture :	227
III.2.5- Séchage :	29
Conclusion :	31
Chapitre IV : Les rendements de la galvanoplastie à la SADP	32
IV.1- Rendement électrolytique :	32
IV.2- Interprétation des résultats :	34
CONCLUSION.....	35

Liste des tableaux

Tableau 1 Composition et condition de travail de bain de dégraissage.....	21
Tableau 2 Composition et condition de travail de bain de cuivre alcalin.....	23
Tableau 3 La composition et les conditions de travail de bain de cuivre acide.....	24
Tableau 4 La composition et condition de travail de bain de Nickel	26
Tableau 5 Composition et condition de travail de bain de pré-argent.....	27
Tableau 6 Composition et condition de travail de bain d'argent	29
Tableau 7 Les résultats de calcul des rendements	34

Liste des figures

Figure 1 Matière première	10
Figure 2 Découpage électrique.....	11
Figure 3 Découpage manuel.....	11
Figure 4 Pièce au cours de déformation	12
Figure 5 Fendage des chutes	12
Figure 6 Les moules du sable.....	13
Figure 7 Emballage en plastique et en carton.....	15
Figure 8 Schéma de bain d'électrolyse	16
Figure 9 Mécanisme de saponification.....	19
Figure 10 Mécanisme de détergence	20
Figure 11 Bain de dégraissage.....	20
Figure 12 Bain de rinçage	22
Figure 13 Bain de cuivre alcalin.....	23
Figure 14 Bain de cuivre acide.....	24
Figure 15 Bain de Nickel.....	25
Figure 16 Bain de pré-argent.....	27
Figure 17 Bain d'argent	28
Figure 18 Séchage des pièces	30

Introduction

Les traitements de surface ont pour effet de modifier l'apparence d'une surface métallique en vue de concevoir des pièces de décoration ou tout simplement de la revêtir par une couche protectrice contre la corrosion.

En effet, La **Société Des Artisans Dinandiers De Fès (SADF)** est une société qui utilise des procédés de traitement de surface variés lors de la fabrication d'un article artisanal ou décoratif. Les dépôts sur la surface du laiton s'effectuent en utilisant des bains électrolytiques (cuivre, nickel et argent) contrôlés pour qu'ils répondent aux normes générales et pour que le dépôt sur la pièce soit de bonne qualité conférant à celle-ci une belle apparence.

Au cours de mon stage à la SADF la tâche qui m'a été confiée est d'estimer le rendement des procédés de dépôt du cuivre, nickel et argent sur des surfaces de laiton.

Le premier chapitre présente la société SADF, sa structure, ses clients et les différents produits conçus.

Dans le deuxième chapitre le procédé de fabrication à la SADF, la matière première utilisée ainsi que la chaîne de production sont présentés.

Le troisième chapitre présente le principe de la galvanoplastie (l'électrolyse), les équipements des bains électrolytiques ainsi que les différentes étapes de traitement de la surface métallique par électrolyse.

Le dernier chapitre présente les différents paramètres influençant le dépôt électrolytique et le calcul des rendements de dépôt afin de vérifier la fiabilité de ce processus.

Chapitre I

Présentation de la Société

I.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 la beauté, le goût et la qualité ; sans oublier la prise en considération du côté coût pour qu'il soit abordable par la plupart des clients.

Elle traite en moyenne plus de 400 pièces par jour de différentes formes et tailles (théières, plateaux, etc.) soit l'équivalent d'une surface développée de 45 m²/jour de matière première (feuilles, barres et tubes de laiton).

I.2- Produit et production :

La SADF est l'une des plus importantes sociétés de Fès spécialisée dans la fabrication des articles artisanaux en utilisant comme matière première soit du bois, laiton ou assemblé de plusieurs matières dans le but de satisfaire les besoins des clients.

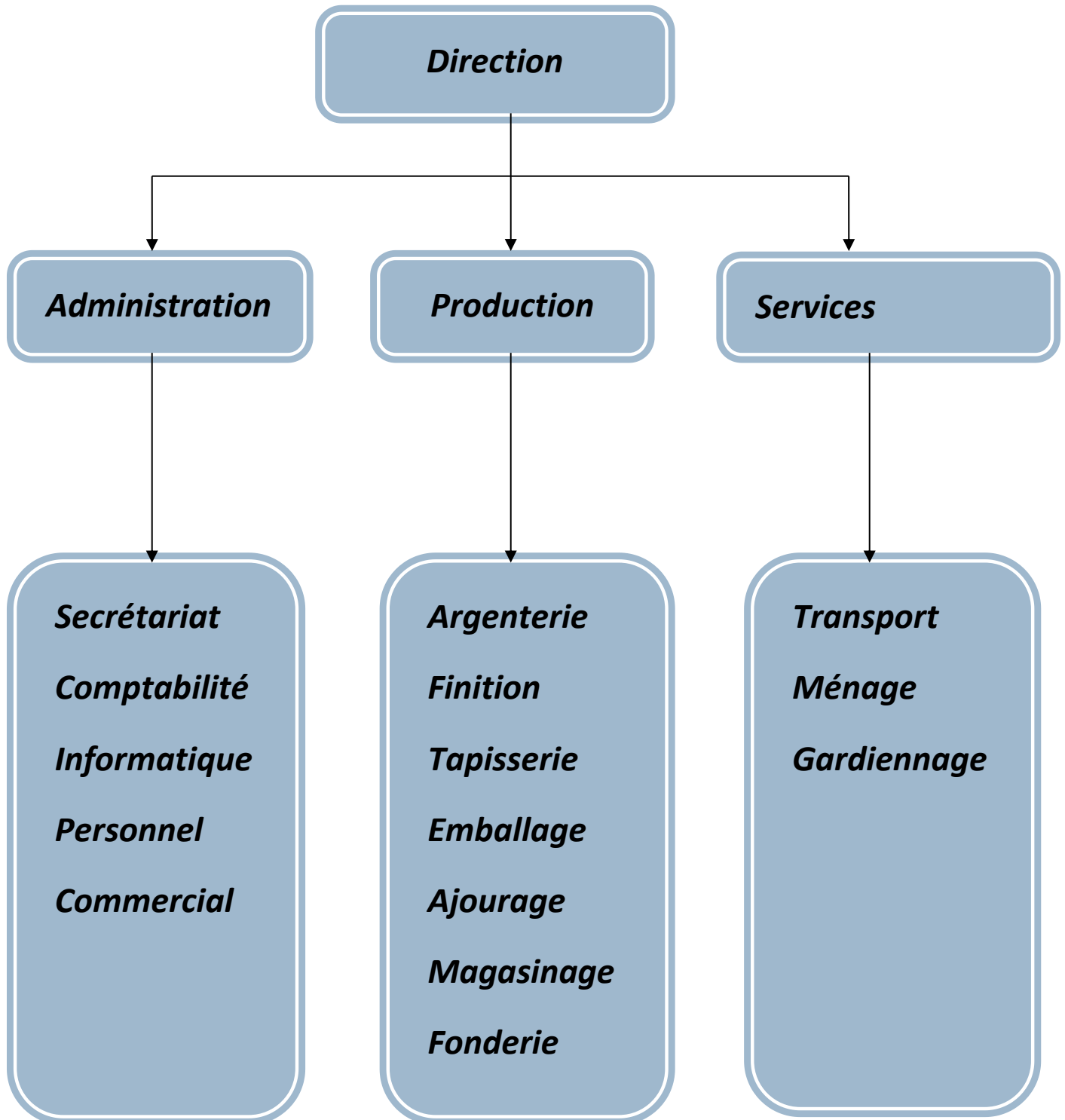
I.3- Clients :

- **Au niveau national** : Hôtels, palais royaux, associations ...
- **Au niveau international** : Emirat Arabes Unies (foires de Dubaï et d'Abu Dhabi), Arabie Saoudite (foires de Riad), Qatar...

I.4- Organigramme :

La SADP a un effectif de personnel de **166** personnes avec **16%** de femmes et **84%** d'hommes.

L'organigramme de la société est représenté selon la figure suivante :



Organigramme de la société SADP

Chapitre II

Procédé de fabrication

II.1- Matière première:

La **SADF** utilise le Laiton comme leur matière Première. Laiton en effet c'est un alliage de **cuivre 60-70%** et le **Zinc 40-30%**. Aussi il peut contenir d'autre éléments métallique comme l'**AL**, **Pb**, et **Ni** qui sont ajoutés afin d'améliorer la qualité. **Laiton** dans le langage courant c'est de bronze.

On choisi le laiton grâce aux propriétés suivantes :

- Très bonne résistance a la corrosion
- Un alliage relativement malléable, peut être travaillé à chaud aussi bien qu'à froid
- Résistance à la corrosion donne une bonne surface à travailler.



Figure 1 Matière première

II.2- Chaîne de production :

II.2.1- Modélisation :

Au sein de la **SADF** ; des modélistes spécialisés élaborent un prototype qui sera examiné par des maîtres artisans qui peuvent introduire des modifications concernant la forme si nécessaire.

Le dessin de ce prototype se fait sur des feuilles qui seront collées sur des plaques en laiton concernées.

II.2.2- Découpage :

Après la modélisation ; Les différents prototypes sont tracés sur les plaques du laiton en tenant compte les dimensions mentionnées sur l'exemplaire, ensuite ces plaques sont **découpées** soit **manuellement** soit **électriquement**.



Figure 2 Découpage électrique



Figure 3 Découpage manuel

II.2.3- Gravure :

La **gravure** se fait à la main ou à la machine, Dans la SADF la méthode utilisée est la gravure à la main ou « taille directe », qu'elle est une technique traditionnelle.

Elle permet à l'artisan d'exécuter directement son œuvre à la dimension et dans la matière définitive, sans l'aide de la machine.

II.2.4- Repoussage:

Le **repoussage** est une technique de travail des métaux par déformation à partir d'un disque de tôle. Le but de cette technique est d'avoir les articles sous des formes géométriques voulues et spécifiques.



Figure 4 Pièce au cours de déformation

II.2.5- Fenderie :

La **fenderie** est un procédé de formage des métaux à partir des chutes du laiton provenant de différentes étapes de fabrication, Cette fabrication se déroule en trois étapes :

- Fabrication d'une moule appropriée à partir d'un sable particulier.
- Fendage des chutes laiton avec quelque gramme d'aluminium.
- Moulage qui consiste à couler l'alliage fondu dans les moules pour fabriquer des pièces de formes souhaitées après refroidissement.



Figure 5 Fendage des chutes



Figure 6 Les moules du sable

II.2.6- Limage :

Le limage est destiné à donner une forme précise à une pièce provenant de la fonderie qui contient souvent des **irrégularités** qui nécessitent des corrections soit manuellement ou mécaniquement.

II.2.7- Soudure :

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

II.2.8- Décapage :

Le décapage est l'une des opérations de **traitements de surface**, or la fonction principale de cette opération concerne l'élimination d'une couche d'oxydes superficiels, et de l'élimination de revêtements anciens, qu'ils soient **organiques** (décapage des peintures) ou **métalliques** (dé métallisation). Ce procédé peut être réalisé par **des acides concentrés** (acide nitrique ou acide sulfurique).

II.2.9- Polissage :

Le polissage ou poli est l'action de polir, de rendre les articles **lisses** et éventuellement brillants, ce procédé est effectué par des brosses montées sur des machines tournantes à grande

vitesse.

II.2.10- Ravivage :

C'est un **polissage secondaire** qui donne un éclat à l'article et rend sa surface plus vive par l'utilisation d'une pâte rouge et des machines équipées de papier abrasif.

II.2.11- Contrôle de qualité :

Une série de contrôle est effectuée afin d'avoir une qualité désirée des articles avant de les remettre à l'étalier de traitement des surfaces.

II.2.12- Traitement de surface :

La **SADF** utilise l'électrolyse comme procédé de traitement de surface, son rôle est :

- Déposer une couche d'un métal sur un article artisanal.
- Améliorer la tenue et la présentation des matériaux.
- Combattre et prévenir la corrosion et l'usure des matériaux.

Les pièces fabriquées subissent un traitement par plusieurs bains :

- Bain de dégraissage.
- Bain de cuivrage alcalin.
- Bain de cuivrage acide.
- Bain de nickelage.
- Bain de pré argentage.
- Bain d'argentage.

II.2.13- Emballage :

Avant d'emballer les articles il faut s'assurer que ces derniers soient dépourvus des défauts ; cette étape est réalisée par une équipe spécialisée, après on **utilise un emballage spécifique** (papier blanc fin, sac en plastique, cartons...) pour protéger ces articles contre les

chocs et poussières lors du transport.



Figure 7 Emballage en plastique et en carton

Chapitre III

Galvanoplastie à la SADP

III.1- Electrolyse

III.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.

III.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**.

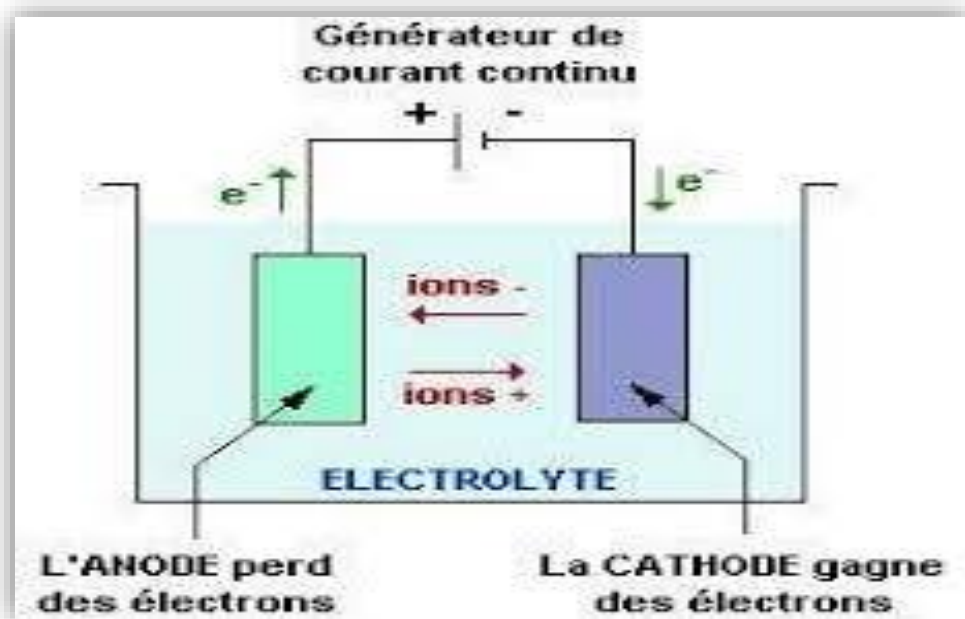
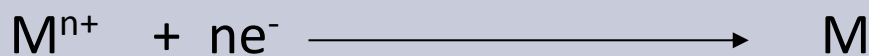


Figure 8 Schéma de bain d'électrolyse

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



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



Le **pole positive** du générateur est toujours relie à l'**anode** et celle **négative** à la **cathode**.

III.1.3- Equipement du bain d'électrolyse :

- **Cuves** : les baigns doivent être revêtus intérieurement de caoutchouc, de PVC...
- **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 milieux extérieur, on utilise les boules en plastique flottantes sur les surfaces du bain.
- **Générateur** : est la source d'énergie électrique en courant continu, cette énergie sera transformé en énergie chimique. Dans la SADP, on utilise le générateur potentiostat qui permet d'imposer un courant constant.
- **Les électrodes** : Le choix des électrodes est réparti selon les baigns dont aussi l'objectif de l'électrolyse doit prendre en compte.
- **Système d'Agitation** : l'agitation permet d'assurer une meilleure dispersion de la couche à déposer sur la surface de l'article.
- **Système de Filtration** : la filtration se fait grâce à une pompe qui contient le charbon actif pour éliminer les traces des impuretés que ce soit les poussières ou des micro-organismes. Cette filtration donne une couche de métal propre et lisse déposée sur l'article.

III.1.4- Paramètres influençant le dépôt électrolytique :

La qualité et la structure de couches déposées est en fonction de nombreux paramètre :

- ✓ **La différence de potentiel** : La tension qui fait la différence lorsque la réaction est non spontanée de point de vue chimique.
- ✓ **La densité de courant** : De point de vue industriel, l'objectif est de déposer le maximum en minimum de temps, alors que le courant est le seul paramètre sur lequel on agit pour déposer une masse importante.

- ✓ **Température** : La Température facilite la réaction et la mobilité des ions ce qui traduit l'augmentation de courant possible durant la réaction. Une température très élevée est susceptible pour détruire les additifs sensibles.
- ✓ **L'agitation** : La concentration de l'électrolyte au niveau de la cathode diminue. Il est nécessaire de maintenir une certaine agitation pour uniformiser les concentrations afin d'obtenir un dépôt continu et régulier. L'agitation est un facteur important qui diminue la polarisation des électrodes.
- ✓ **Concentration de l'électrolyte** : Si la concentration augmente, le nombre des ions devient plus grand, la vitesse de leur décharge croît et cela favorise le dépôt des grains fins.

III.2- Traitement de surface:

III.2.1- Dégraissage :

Le rôle de cette opération est primordial, c'est elle qui va conditionner la qualité du traitement final. L'opération de dégraissage est essentielle pour rendre la surface physiquement propre des poussières et des graisses, elle s'effectue dans un bain électrolytique.

Il existe deux types de dégraissage

○ Dégraissage chimique :

Ce type de dégraissage utilise des produits chimiques pour nettoyer l'aspect extérieur de la pièce.

Il met en jeu la présence d'**une base alcaline** : dont La forte Alcalinité (OH) exerce un effet saponifiant, ainsi la présence des **tensio-actifs** organiques complexes qui sont des molécules amphiphiles, c'est-à-dire qu'elles présentent deux parties de polarité différente, l'une **lipophile** (qui retient les matières grasses) et apolaire, l'autre hydrophile (miscible dans l'eau) et polaire.

On distingue deux phénomènes :

Saponification

La saponification est une réaction **exothermique**, se produit en présence d'une base forte chaude et donne alors naissance à la glycérine et à un sel alcalin d'acide gras (savon), produit soluble dans l'eau.

But : décomposition de la pellicule graisseuse et sa transformation en savon.

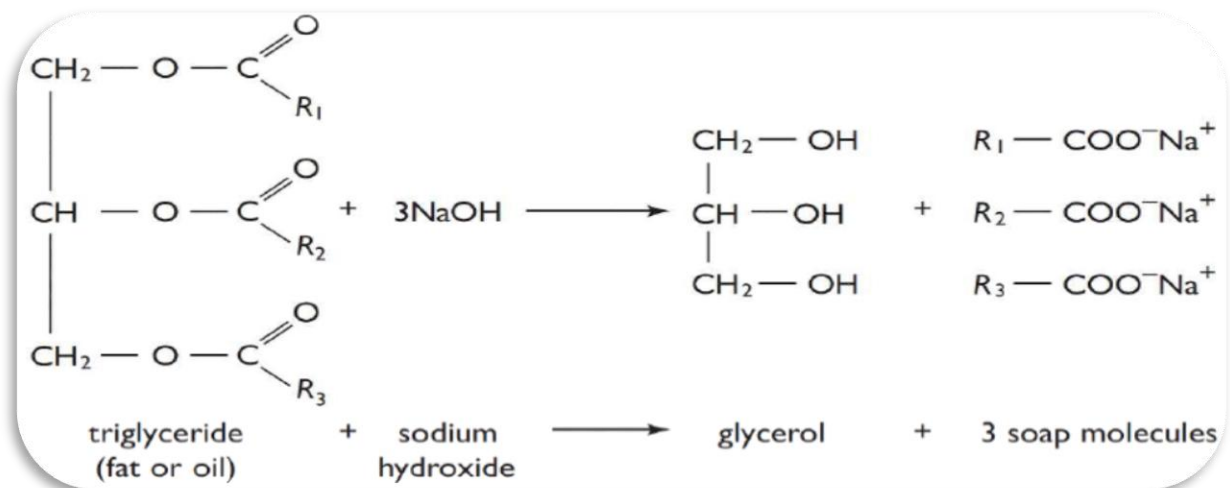


Figure 9 Mécanisme de saponification

Détergence :

La molécule de détergent est amphiphile, c'est-à-dire dotée d'une tête hydrophile attirant l'eau, et d'une longue chaîne hydrocarbonée apolaire lipophile attirant les lipides.

L'extrémité hydrophile miscible à l'eau tandis que l'extrémité lipophile de la molécule est miscible au solvant. Les molécules de détergent peuvent donc s'insérer à l'interface eau-lipide et détacher les graisses d'une surface.

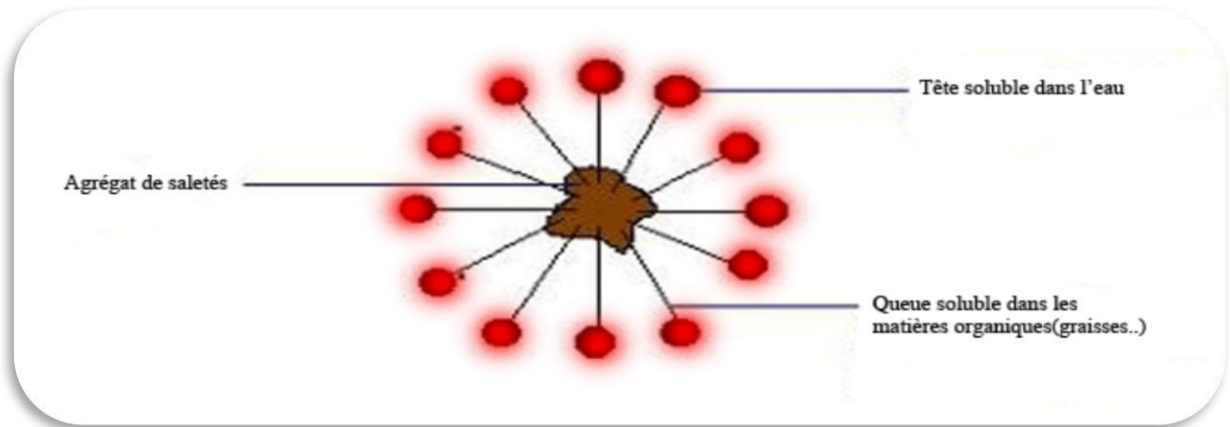


Figure 10 Mécanisme de détergence

○ **Dégraissage électrochimique :**

Le principe de dégraissage électrochimique est le même que le dégraissage chimique ; on opère par les mêmes produits sauf que dans ce cas on ajoute un redresseur qui va donner un courant électrique continu à la solution à travers des électrodes.

A la SADP tout le bain de dégraissage est utilisé comme anode d'acier inoxydable et les pièces à traiter comme cathode.

Bain de dégraissage

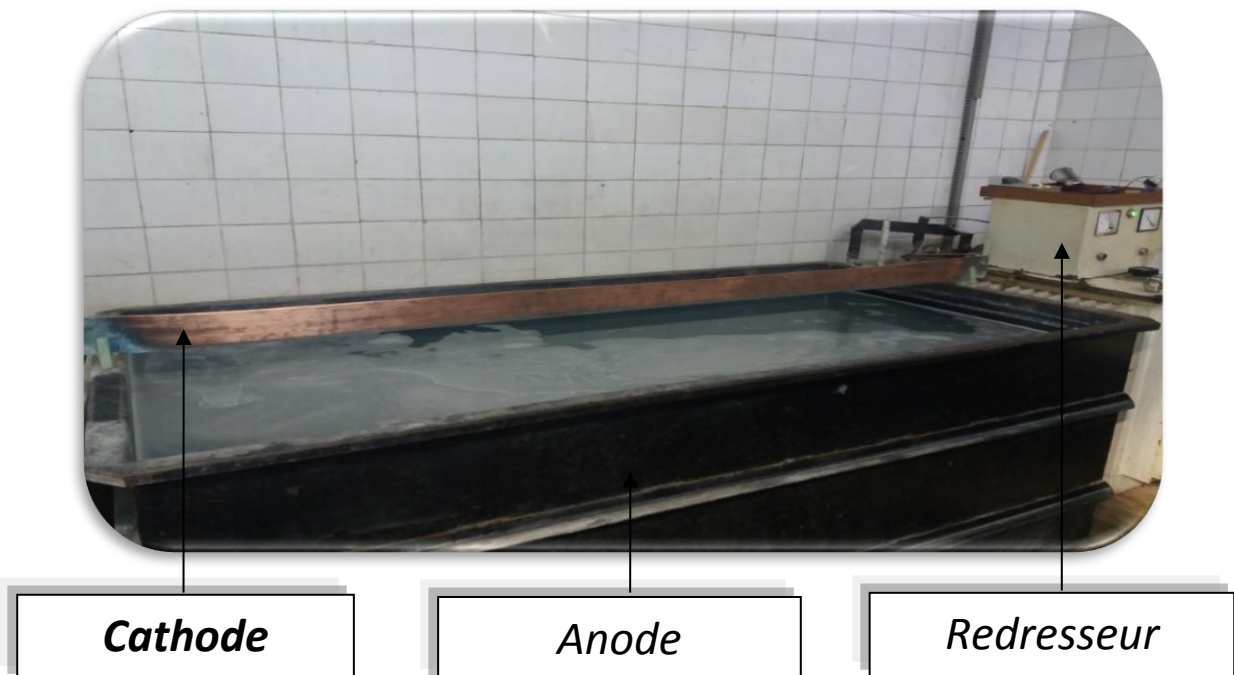


Figure 11 Bain de dégraissage

Composition ainsi que les conditions sont cités dans le tableau 1 :

Composition	Condition de travail
• La soude caustique NaOH • Cyanure de sodium NaCN • Phosphate tri sodique Na₃PO₄ • Carbonate de sodium Na₂CO₃ • Eau déminéralisé	• pH=12 • 5 à 10 minutes • Température ambiante • Le courant de 10 A ou plus • Baumé de 16 degré

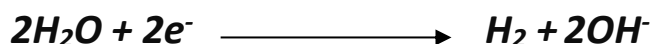
Tableau 1 Composition et condition de travail de bain de dégraissage

Chaque composé a un rôle spécifique, On distingue :

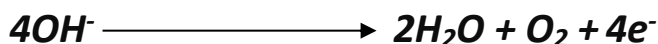
- ✓ **La soude caustique NaOH** : C'est la matière première la plus utilisée pour apporter de l'alcalinité ou causticité. elle apporte une réserve d'alcalinité permettant la neutralisation des acides gras et leur saponification.
- ✓ **Carbonate de sodium Na₂CO₃** : Il est utilisé comme détergent d'une part pour son alcalinité et d'autre part facilite la filtration.
- ✓ **Phosphate tri-sodique Na₃PO₄** : il possède un excellent pouvoir dispersant et il améliore le rinçage des détergents en général ainsi qu'il est un très bon agent tampon.

Les réactions qui se produisent dans la solution sont :

➤ **A la cathode**



➤ **A l'anode**



Remarques

- ✓ **Aréomètre Baumé** : Instrument permettant de mesurer la concentration d'un liquide ou la densité d'une solution, dont l'unité de mesure est le degré de Baumé.
- ✓ **Il existe deux type** de dégraissage : dégraissage cathodique, on pose la pièce sur la cathode, et dégraissage anodique si la pièce et poser sur l'anode.
- ✓ **Le dégraissage anodique** est le plus efficace mais en utilise le dégraissage cathodique car le laiton est sensible à l'anode, il peut subir une corrosion.

III.2.2- Rinçage :

Les opérations de rinçages se situent entre chaque opération de bain actif. Les pièces traitées aux bains de dégraissage sont rincées trois fois successifs afin d'assurer leur purification.

But : consiste à éviter d'amener les traces d'ions provenant du bain précédent qui peuvent altérer les contenus de bain suivant.

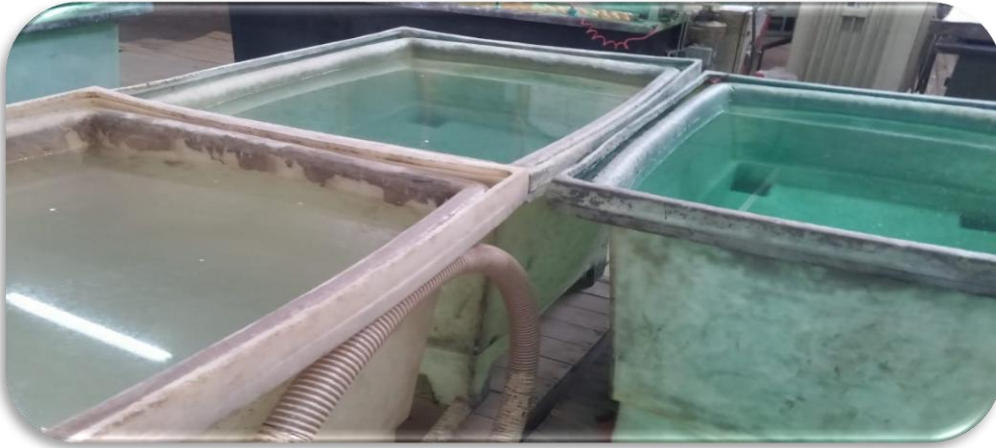


Figure 12 Bain de rinçage

III.2.3- 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 et leur rendement cathodique sont différents où l'un est acide et l'autre est alcalin.

- ❖ Cuivrage en solution acide.
- ❖ Cuivrage en solution alcaline.

○ Cuivrage en solution alcaline :

La composition du bain et les conditions du travail sont représentés dans le tableau 2 :

La composition

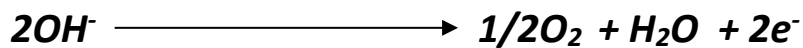
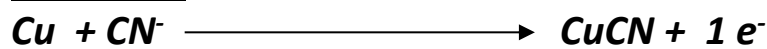
Condition du travail

- Cyanure de cuivre CuCN	-Température : 35 à 40°C
- Cyanure de sodium NaCN	-Temps de travail : 2 à 5min
- Soude caustique NaOH	-pH : 11
-Aditifs: brillanteur, base et mouilleur	-degré baumé : 21°
-Anode en cuivre	-densité de courant : 0,5 à 3A/dm ²

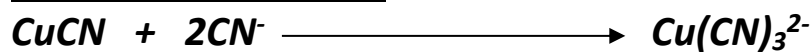
Tableau 2 Composition et conditions de travail de bain de cuivre alcalin

Les réactions qui se produisent sont :

➤ A l'anode :



➤ Réaction intermédiaire :



➤ A la cathode :

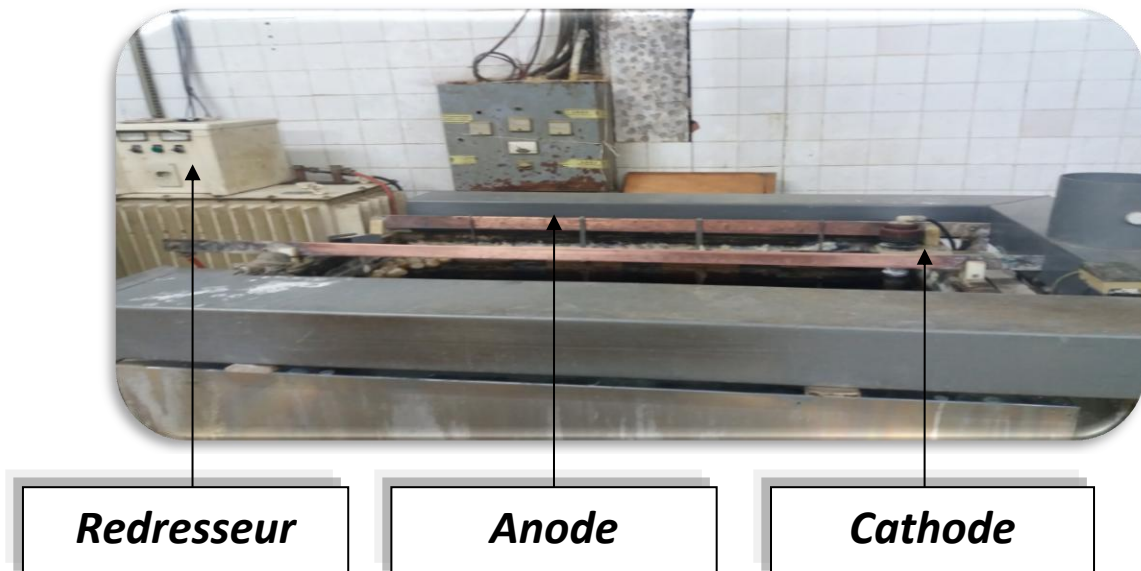
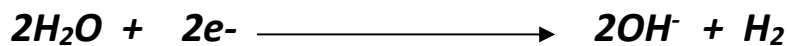
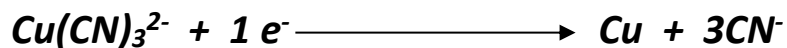


Figure 13 Bain de cuivre alcalin

○ **Cuivrage en solution acide :**

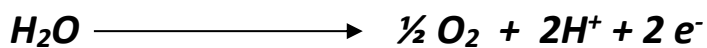
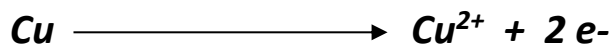
La composition du bain et les conditions du travail sont représentés dans le tableau 3 :

La composition	Condition du travail
-Sulfate de cuivre CuSO_4	-Température: Ambiante.
-Acide sulfurique H_2SO_4	-Densité de courant $2\text{A}/\text{dm}^2$
-Additifs :	-Temps de traitement : 15 à 20 min.
• CUBRAC brillant.	-pH $\leq 4,5$
• CUBRAC nivelant.	-Degré baumé : 19 à 25
• CUBRAC base.	-Anode en cuivre + 3% de phosphore

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

Les réactions qui se produisent sont :

➤ **A l'anode :**



➤ **A la cathode :**

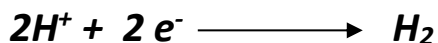
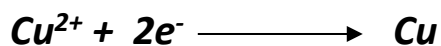


Figure 14 Bain de cuivre acide

Remarque :

On observe un précipité **bleu** au bord des plaques provient de précipitation de l'hydroxyde de cuivre $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

III.2 .4- Nickelage :

Le nickel se **caractérise** par Sa haute résistance à la corrosion et une bonne adhérence sur le cuivre et aussi la possibilité de déposer des couches épaisses. 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.

Les anodes de Nickel sont **ensachées dans un sac**, ce dernier à pour rôle de protéger le bain des impuretés libérés lors la dissolution des plaques anodiques.

Ce bain contient aussi **des bulles** empêchant la libération de la mauvaise odeur du à la présence du **gaz Cl_2** et aussi empêche la **diminution de température**.

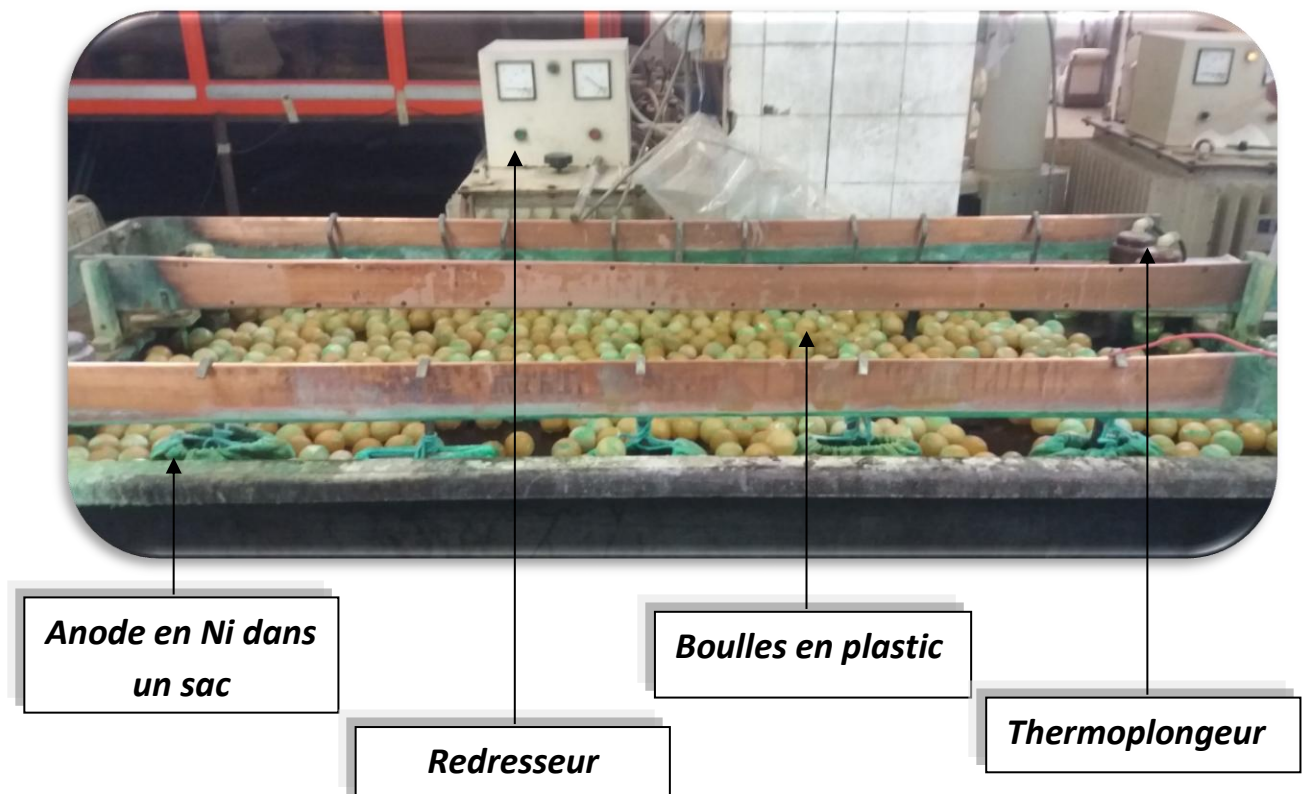


Figure 15 Bain de Nickel

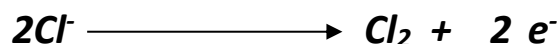
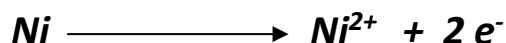
La composition du bain et les conditions du travail sont représentés dans le tableau 4 :

La composition	Condition du travail
-Sulfate de nickel NiSO_4 300 g/l.	-Température : 60°C à 70°C
-Chlorure de nickel NiCl_2 80 g/l.	-Temps de traitement : 10 à 15 min
-Acide borique H_3BO_3 48 g/l.	-pH : 3,8 à 5
-Additifs :	-Densité de courant : 3 à 5 A/dm ² .
Fixateur.	-Filtration par charbon actif.
Brillante.	-Agitation mécanique.
Mouillan.	
Nivelant.	

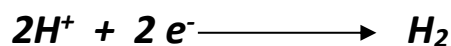
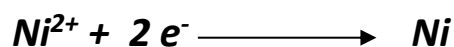
Tableau 4 La composition et condition de travail de bain de Nickel

Les réactions qui se produisent sont :

➤ A l'anode :



➤ A la cathode:



Remarque :

- ✓ Le chlorure de nickel fournit des ions de chlorure qui assurent une bonne dissolution des anodes et augmente la conductivité de la solution.
- ✓ L'acide borique joue un rôle de tampon du PH.
- ✓ précipitation d'hydroxyde de nickel $\text{Ni}(\text{OH})_2$.

III.2.5- Argenture

○ Pré-argent :

C'est une étape qui dure entre 5 à 10 secondes. Elle a pour but de déposer sous l'effet d'un **courant fort** une **mince** couche d'argent pour éviter toute transmission des impuretés au bain suivant et aussi une préparation de la surface d'article au bain d'argent pour obtenir un bon dépôt.

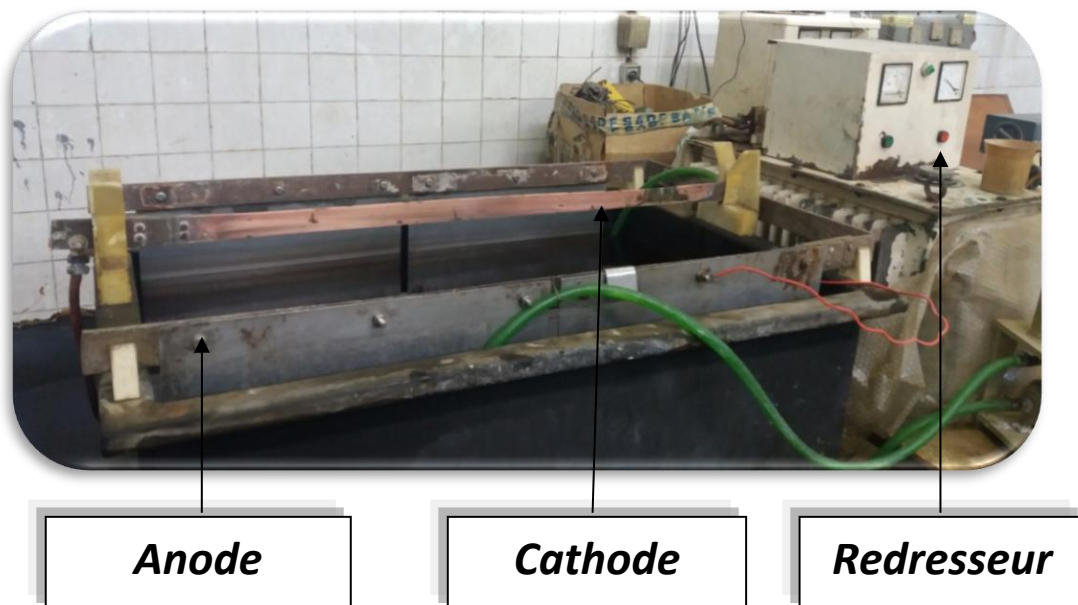


Figure 16 Bain de pré-argent

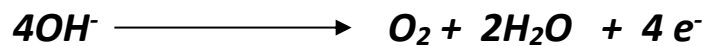
La composition du bain et les conditions du travail sont représentés dans le tableau 5 :

La composition	Condition du travail
Cyanure de potassium 150 g/l.	Courant très
Cyanure d'argent 14 g/l.	fort. $t=5$ à 10s
Anode inox.	filtration par charbon actif.
	degré Baumé 14

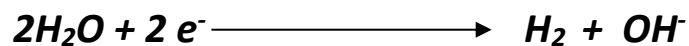
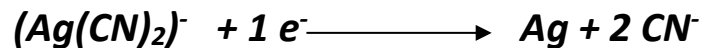
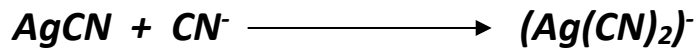
Tableau 5 Composition et condition de travail de bain de pré-argent

Les réactions qui se produisent sont :

➤ A l'anode :



➤ A la cathode :



○ Argent :

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

Dans **les majorités** de cas, on utilise des anodes solubles en argent et les bains contiennent alors du cyanure libre qui favorise la dissolution des anodes et améliore la qualité des dépôts en affinant les grains.



Figure 17 Bain d'argent

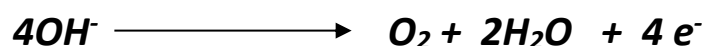
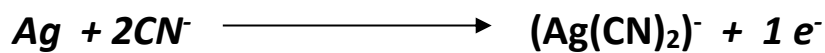
La composition du bain et les conditions du travail sont représentés dans le tableau 6 :

La composition	Condition du travail
-Cyanure d'argent (30 à 40g/l)	-Température : ambiante
-Cyanure de potassium (150 à 170g/l)	-Temps de traitement : 5 à 10min
-Anode d'argent + Anode d'acier inox	-pH : 12
-Additifs : Brillanteur, Nivelant, Base	-degré baumé : 26 à 32°
-Eau déminéralisée	-densité de courant : 1,5 à 5A/dm ²
	-filtration par charbon actif
	-agitation mécanique

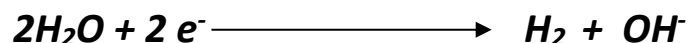
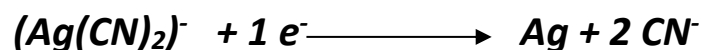
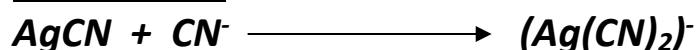
Tableau 6 Composition et condition de travail de bain d'argent

Les réactions qui se produisent sont :

➤ A l'anode :



➤ A la cathode :



Remarque :

Les sels de potassium apportent une meilleure conductivité électrique et permettent donc d'utiliser des densités de courant plus élevées sans bruler le dépôt.

III.2.6- Séchage :

En générale, les pièces traitées sont rincées puis séchées dans un four à des températures allant jusqu'à 130°C.



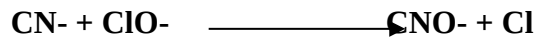
Figure 18 Séchage des pièces

Remarque

Comment se fait le traitement de cyanure ?

L'utilisation du cyanure qui est un composé très toxique dans les bains nécessite un traitement de cette solution après l'utilisation. Pour détruire les cyanures, il faut tout d'abord éviter de travailler en milieu acide. En présence d'acides, une solution de cyanure produit de l'acide cyanhydrique HCN qui est volatil, et qui donc s'évapore facilement. Le gaz HCN est l'un des pires produits toxiques.

Pour éviter tout risque d'acidification, on commence par ajouter **NaOH**, ensuite on ajoute de l'hypochlorite de sodium **NaClO**. Cette substance forme des ions hypochlorite **ClO⁻** qui oxyde les ions cyanures selon l'équation :



Il se forme des ions cyanates **CNO⁻** qui ne sont **pas toxiques**.

La **SADF** utilise l'eau de Javel qui est un mélange de solutions de **NaOH** et **NaClO** pour détruire le cyanure.

Conclusion :

En générale, la composition de tous les bains (sauf le dégraissage) contient :

- ✓ **Un sel générateur de métal** des sels simples (le bain acide) et les sels complexes à base de cyanure (les bains alcalins)
- ✓ **Des composés libres des anions** facilitent la corrosion des anodes pour compenser les pertes d'ions.
- ✓ **Des additifs** pour améliorer l'aspect de dépôt.

Chapitre IV

Les rendements de la galvanoplastie à la SADF

Ce travail a été réalisé dans le but de vérifier la fiabilité de processus d'électrolyse utilisé par la SADF pour déposer les métaux (cuivre, argent et nickel) sur de surface de laiton. Dans ce chapitre on va calculer la masse déposée sur chaque plaque du laiton ainsi que le rendement du dépôt pour chaque bain de traitement.

IV.1- Rendement électrolytique :

Le calcul des rendements permet de déterminer l'efficacité du processus d'électrolyse, l'intérêt du chimiste sera de déterminer les conditions opératoires pour s'approcher le plus près possible de **100%**. Les pertes de rendement peuvent avoir diverses origines: réaction parasites, présence des impuretés.... Pour pouvoir calculer le rendement, on a traité une plaque de laiton de **0.5 dm²** de surface dans chaque bain de traitement.

La masse expérimentale

$$m_{ex} = m_{\text{apres depot}} - m_{\text{avant depot}}$$

La masse théorique du revêtement effectué par électrolyse est donnée par la loi de Faraday :

$$Q = \frac{n \times F \times m_{th}}{M} \quad \text{Alors} \quad m_{th} = \frac{Q \times M}{n \times F}$$

Sachant que : $Q = I \times t$

Donc :

$$m_{th} = \frac{I \times t \times M}{n \times F}$$

Avec :

I : intensité de courant en (A).

t : temps d'immersion en seconde.

M_{th} : mass théorique en (g).

n : nombre d'électrons mis en jeu.

F : constante de Faraday 96500 c/mol.

M : masse molaire du métal en solution g/mol.

Le rendement : Le rapport du masse expérimentale sur la masse théorique et s'exprime en % selon la relation ci-dessous :

$$R = \frac{m_{ex}}{m_{th}} \times 100$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 7 :

Type de traitement	Conditions opératoire	Masse de plaque avant dépôt	Masse de plaque après le dépôt	$m_{ex}(g)$	$m_{th}(g)$	Rendement (%)
Cuivre alcalin	$I=3,5A$ $t=20min$ $T=35^{\circ}C$ $PH=12$	8,03	8,143	0,113	0,69	15%
Cuivre acide	$I=3A$ $t=20min$ $T=Ambiante$ $PH=4,5$	7,93	8,506	0,576	1,18	48%
Nickelage acide	$I=1A$ $t=20min$ $T=60^{\circ}C$ $PH=4$	7,99	8,253	0,263	0,365	72%
Argenture alcaline	$I=3A$ $t=20min$ $T=Ambiante$ $PH=11$	8,26	9,091	0,831	4,02	20%

Tableau 7 Les résultats de calcul des rendements

Le tableau présente les résultats du processus d'électrolyse de 4 plaques de laiton dans 4 bains différents (cuivre acide, cuivre alcalin, nickel acide et argent alcalin).

Pour chaque bain on présente les conditions opératoires, la masse de la plaque de laiton avant et après le dépôt électrolytique, la masse expérimentale déposée déterminée par pesée, la masse théorique déterminée par la loi de Faraday et le rendement.

IV.2- Interprétation des résultats :

D'après le tableau on remarque que les rendements des bains acides sont les plus élevés (48% pour le cuivre et 72% pour le nickel), comparativement aux rendements des bains alcalins (15% pour le cuivre et 20% pour l'argent). Ce résultat peut être expliqué par le fait que les bains de cuivrage acide et de nickelage ont un **PH acide** (entre 3,5 et 4,5) due à la présence respective de H_2SO_4 et de H_3BO_3 . Ces acides augmentent la dissolution des anodes ce qui va accroître la conductivité du bain ainsi que la concentration en métal de la solution électrolytique, ce qui influence favorablement le rendement et en conséquence la qualité du

dépôt.

Conclusion

L'électrolyse ou bien la galvanoplastie représente une méthode très utilisée dans le milieu industriel, il permet d'améliorer les propriétés des surfaces des pièces conductrices. On peut les protéger contre la corrosion, augmenter leur dureté ou bien leur donner un aspect esthétique.

Selon les besoins des clients, **la Société des Artisans Dinandiers de Fès** effectue des traitements de la surface des articles en métal, pour obtenir une surface d'aspect, de couleur et de propriété bien déterminés. Les dépôts sur laiton par électrolyse (galvanoplastie) sont effectués au sein de SADP en utilisant des bains électrolytiques selon une chaîne bien déterminée et par plusieurs types de métaux.

Au cours de mon stage de fin d'études à la SADP la tâche qui m'a été confiée est la détermination des rendements des dépôts des 4 bains électrolytique (Cuivre acide, cuivre alcalin, nickel acide et argent alcalin). Les résultats trouvés ont montré que les rendements dans les bains acides sont nettement supérieurs (72% pour le nickel acide et 48% pour le cuivre acide) à ceux des bains alcalins (15% pour le cuivre alcalin et 20% pour l'argent).

Cette augmentation des rendements a été expliquée par le fait que dans les bains acides nous avons une dissolution plus élevée de l'anode, donc une augmentation de la conductivité des bains et de la concentration en métal de la solution. Ce qui va avoir comme conséquence l'obtention d'un bon dépôt sur les plaques.

Références bibliographiques

Robert Lévêque, traitement et revêtements de surface des métaux, 2013.

Prof. M-G. Olivier, Electrochimie et application Edition 2009.

J. Bernard, A.Michel, J. Philibert, J.Talbot, Métallurgie générale, 2ème Edition, Masson, Paris, 1991.

S. Glastone, Electrochimie des Solutions, Félix Alcan, Paris, 1963.

L. Lacourcelle, Revêtements métalliques par voie électrolytique « Introduction », technique de l'ingénieur 4-1989, pp M 1591.

D. Landot, Corrosion et Chimie de Surface des Métaux, Presses polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne, 1993.

P. Piessen, Chromatation, techniques de l'ingénieur 4-1989, pp M1555.

Y. Badé, Revêtements Métalliques par Voie Electrolytique Nickelage, M 1610, Technique de l'ingénieur, 2000.

C. Boust et D. le Roy, Dégraissage des métaux, Fiche pratique de sécurité ED48, 2014.