



Licence Sciences et Techniques (LST)

TECHNIQUES D'ANALYSE ET CONTROLE DE QUALITE (TACQ)

PROJET DE FIN D'ETUDES

TRAITEMENT DE SURFACE DU LAITON PAR VOIE ELECTROLYTIQUE

Présenté par :

◆ Mr. EL Otmani Anas

Encadré par :

◆ Pr. Ehadi LMCHARFI (FSTF)

◆ Mr. CHNOUNI Khammar (SADF)

Soutenu Le 08 Juin 2016 devant le jury composé de:

- Pr. Ehadi LMCHARFI (FSTF)

- Pr. Ahmed HARRACH (FSTF)

- Pr. Taoufiq SAFFAJ (FSTF)

Stage effectué à La SADF

Année Universitaire 2015 / 2016

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>

Sommaire

INDRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : Présentation de l'entreprise	
1. Historique.....	3
2. Produit et production	3
3. Clients	3
4. Structure de la SADF.....	3
CHAPITRE 2: Procédé de fabrication des Articles de décoration	
I. matière première.....	6
II. chaine de production:	
II -1. Modalisation.....	6
II -2. Découpage de matière première	7
II -3. Gravure.....	7
II -4. Repoussage.....	7
II- 5.Fondage.....	7
II-6. Limage.....	8
II-7. Décapage.....	8
II-8. Polissage.....	8
II-9. Ravivage.....	9
II-10. contrôle visuel des articles.....	9
II-11. traitement de surface.....	9
II-12. Emballage	10
CHAPITRE 3 : Traitement de surface par voie électrolytique	
I. Mécanisme d'électrolyse :	
Définition.....	12
Pourquoi La SADF préfère le dépôt électrolytique ?.....	12
II. types des bains d'électrolyse utilisée dans la société SADF:	
II-1- Dégraissage	13
Type de dégraissage.....	14
a) dégraissage chimique.....	14
b) dégraissage électrochimique.....	16

II-2-Rinçage.....	17
II-3-cuivrage.....	17
a) cuivrage alcalin.....	17
b) cuivrage acide.....	19
II-4-Nickelage.....	20
II-5- Pré-argent.....	22
II-6- Argenture.....	23
II-7 - Séchage.....	24
II-Traitement de Cyanure.....	24
CHAPITRE 4 : Application et influence des paramètres sur le dépôt.	
1) Principaux problématiques rencontré lors de l'électrolyse	27
2) Paramètres influençant le dépôt électrolytique.....	27
3) Rendement électrolytique.....	29
Conclusion.....	32

Liste de figure :

Figure 1 : organigramme de la société SADF.....	4
Figure 2 : Étapes de traitement électrolytique.....	9
Figure 3 : Schéma d'un bain électrolytique	12

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Mode opératoire du bain de dégraissage.....	4
Tableau 2 : Les principaux rôles des produits chimiques	18
Tableau 3 : Mode opératoire du bain de cuivrage alcalin	19
Tableau 4 : Mode opératoire du bain de cuivrage acide	23
Tableau 5 : Mode opératoire du bain de nickelage	21
Tableau 6 : Mode opératoire du bain de pré-argentage	22
Tableau 7 : Mode opératoire du bain d'argentage	23
Tableau 8 : Rendement cathodique sur une plaque du laiton.....	30

Remerciement

Au terme de ce travail de fin d'étude, il m'est particulièrement agréable d'adresser mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à mener à bien ce travail.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements à la direction de la société SADF pour le rôle qu'elle joue dans l'intégration des stagiaires.

Monsieur **CHNOUNI Khammar** mon encadrant de stage, pour son intérêt aux activités des stagiaires ainsi pour ses encouragements et ses conseils fructueux depuis ma première journée à la société.

Monsieur **TAHIRI JOUTI Abderrafie** le directeur de la société des artisans dinandiers de Fès, très particulièrement pour son accueil chaleureux, ainsi que tout le personnel de la société pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt dont ils m'ont fait part durant la période de stage.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à mon encadrant de le FST monsieur le professeur **Elhadi LAMCHARFI** d'avoir m'encadrer dans ce projet de fin d'étude, et me guider tout au long du déroulement de ce stage, je le remercie pour tous les efforts et les orientations qu'il a mis à ma disposition pour l'encadrement, la rédaction, la présentation, et la mise au point du présent travail.

Je remercie également les membres de jury **Pr. Elhadi LAMCHARFI** , **Pr. Ahmed HARRACH** , **Pr. Taoufiq SEFFAJ** d'avoir accepter de juger ce travail.

Introduction

Le traitement de surface représente une méthode relativement un bon marché permettant d'améliorer les propriétés des surfaces des pièces métallique : Protéger contre la corrosion, augmenter la dureté, corriger la fatigue de surface. Faire un revêtement esthétique.

Les procédés électrochimiques jouent un rôle important dans les applications de revêtements décoratifs et fonctionnels. Ces derniers inclure les métaux et alliages pour la protection contre la corrosion, les revêtements composites pour les applications tribologiques, le micro-électroformage ainsi que les revêtements anodiques du titane et de l'aluminium.

La société des artisans dinandiers de Fès (SADF) contient une unité de traitement de surface par voie électrolytique Installer depuis 32 ans sous un schéma et un matériel importer de l'Allemagne, le premier pays classer dans ce domaine.

Dans ce rapport mon étude va s'étendre sur la description de différentes tâches et missions réalisé au sein de l'entreprise. On va traiter le procédé principal utilisé par la SADF « Traitement de surface par voie électrolytique » en illustrant les étapes nécessaire pour fabriquer une pièce artisanale.

Le but de cette étude est de vérifier est ce que cette méthode est convenable en terme de masse déposé et rendement ou non ? Identifie les différents problèmes qui influencé sur le rendement de dépôt électrolytique ?

Chapitre 1 :

Présentation de la société SADF

I. Présentation de la SADF :

1. Historique :

La création de SADF remonte en 1982, en effet, un groupe de maître artisan avait mis en place une unité de production renfermant tout le processus de fabrication, cela leur Permettraient de préserver le produit artisanal, de le développer et de lui donner l'aspect qui Réunit à la fois la beauté, et la qualité sans oublier la prise en considération du coût pour qu'il soit abordable par la plupart des clients. Par ailleurs, depuis sa mise en place la SADF n'a pas cessé de déployer ses efforts pour imposer son empreinte sur les articles en métal luminaire, tables, tabourets, miroirs ou autre types.

2. Production et Produit :

La stratégie adaptée par la société SADF offre une large gamme de produits pour satisfaire Tous les goûts en évitant toute standardisation excessive. En effet, tout article produit par SADF est un chef d'œuvre unique dédié aux clients parce que tout client est considéré comme unique pour la société.

3. Clients du SADF :

L'activité de la société n'est pas limitée à l'échelle nationale mais elle représente le Maroc dans le MONDE ARABE.

- Clients nationaux : établissement étatique, palais royaux....
- Clients internationaux : émirat Arabie(Dubaï), Arabie saoudite....

4. Structure du SADF :

La figure 1 représente l'organigramme de la société SADF 166 personnes représentent le personnel dont 16% sont des femmes et 84% des hommes.

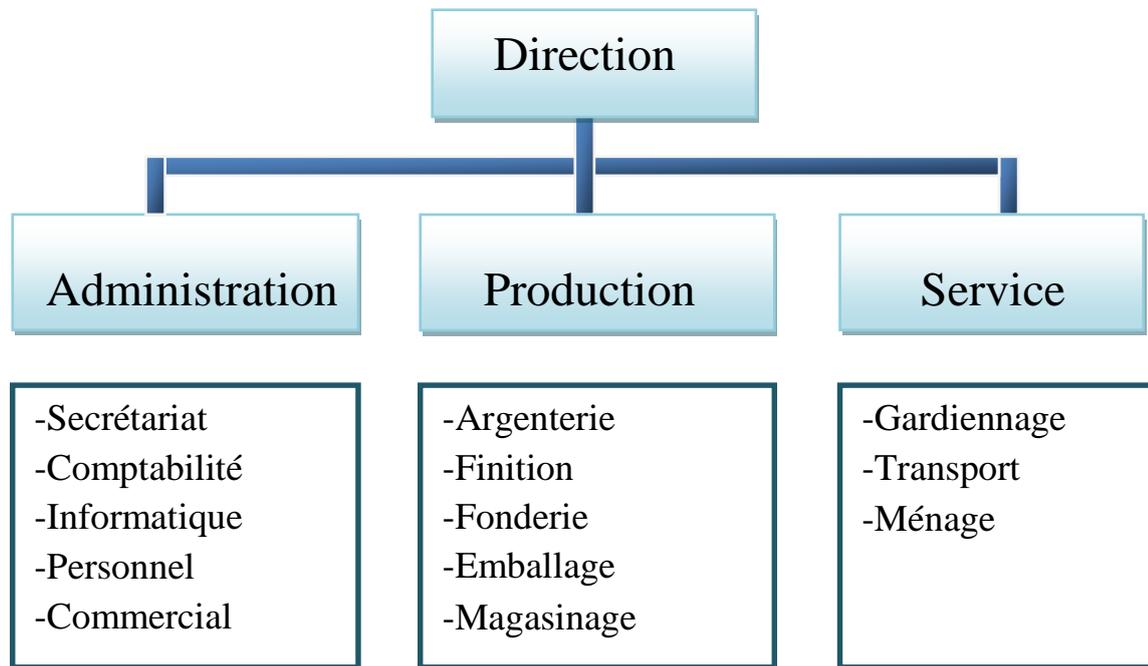


Figure 1 : Organigramme de la société SADF.

Chapitre 2 :

Procédé de fabrication des articles

II- CHAINE DE PRODUCTION :

A l'instar de toute industrie, le procédé de fabrication dépend de deux éléments à savoir :

- la matière première.
- la chaîne de production.

1- La matière première :



Image 1 : La matière première

Le laiton est un alliage de cuivre (de 60 à 70%) et du zinc (de 30 à 40%), il peut contenir d'autres éléments métalliques comme l'Aluminium, Plomb, et nickel qui sont ajoutés afin d'améliorer la qualité.

La SADF utilise le laiton comme matière première, pour les propriétés suivantes :

- Très bonne résistance à la corrosion et une ductilité qui permettent au métal de prendre plusieurs formes sans rupture.
- Un alliage relativement malléable, qui peut être travaillé à chaud aussi bien qu'à froid.

2-Chaine de production :

a. 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 maitres 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.

b. 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 par deux méthodes :

- **Découpage manuel,**
- **Découpage électrique (ciseau électrique).**

c. 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.

d. Repoussage :

Le repoussage est le procédé de mise en forme des pièces produites à partir d'un disque de tôle. Ceci a pour but de fabriquer les articles sous des formes géométriques voulues et désirées.

On distingue deux types du repoussage :

- Manuel.
- Automatique.

e. La fonderie :

Les chutes du laiton provenant de différentes étapes de fabrication sont conduites aux Fonderies, Cette fabrication se déroule en trois étapes :

Les chutes du laiton provenant de différentes étapes de fabrication sont conduites aux Fonderies, 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.



Image 2 : Les chutes de laiton



Image 3 : Four de fondage



Image 4 : Les moules d'un sable

f. 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.

g. Décapage:

Le décapage est l'élimination mécanique ou chimique de toutes traces d'impureté et les couches d'oxydes formées à la surface d'un objet. On distingue deux voies d'attaque de la surface de la pièce :

- ◆ **Décapage chimique** : la surface de la pièce est attaquée par des acides forts et concentrés, surtout pour les pièces gravées. Les acides utilisés sont : HNO_3 ,....
- ◆ **Décapage électrochimique** : consiste à oxyder superficiellement la surface d'une pièce placée en anode et dans un électrolyte (H_2SO_4 ou H_3PO_4).

h. Polissage :

Sert à rendre lisse et brillant les articles par des différents matériaux tournant à grande vitesse avec une pâte à polir.



Image 5 : Comparaison des articles polis et non polis

i. 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.

j. Contrôle visuelle :

Une série de contrôle des pièces articles fabriqués est effectuée avant de les remettre à l'atelier du traitement des surfaces.

k. Traitement de surface :

L'électrolyse est le procédé de traitement de surface utilisé par la SADF, son principe 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 l'usure. Les pièces fabriquées par la SADF passent dans plusieurs bains

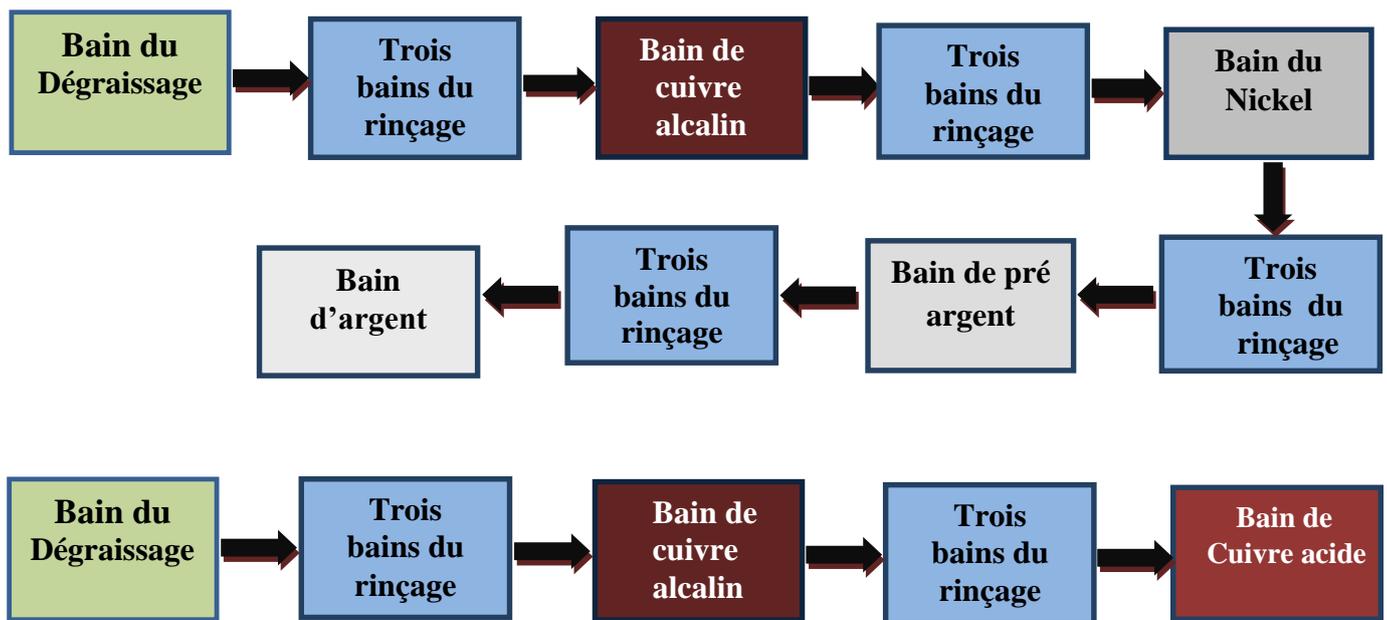


Figure2 : Étapes de traitement électrolytique

1. Emballage des articles finis :

L'emballage se fait en trois étapes :

- Équipe de fabrication des emballages chargée de la fabrication de différents types d'emballage en respectant la forme de l'article.
- Équipe du contrôle de la qualité des articles avant son emballage, dans le cas d'un défaut, la pièce est retournée au service de production
- Équipe d'emballage, chargée d'assurer un emballage adéquat pour chaque pièce. Pour protéger ces articles contre les chocs et poussières lors transportation, on utilise l'emballage Spécifique, exemple papier fin, sac en plastique cartons...



Image 6 : Emballage en carton



Image 7: Emballage en plastique

Conclusion :

Chaque opération a un rôle bien définie, et sûrement conditionnent la qualité de produit final surtout l'aspect des articles qui est une dimension très important pour la société de **SADF**.

CHAPITRE 3 :

Traitement de surface par voie électrolytique

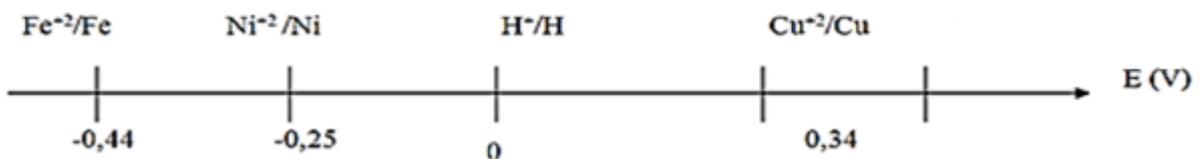
I. Mécanisme d'électrolyse

◆ 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.

◆ Pourquoi la SADF préfère le dépôt électrolytique ?

➤ Par voie chimique simple : Le dépôt se base sur la différence du potentiel standard des couples d'oxydo-réduction, Un couple redox E° (Ox/Red) donne oxyde ceux dont le potentiel est inférieur au sien, et réduit ceux dont le potentiel est supérieur au sien (réaction spontanée).



➤ Par voie électrolytique (utilisé dans la SADF) : Une électrolyse est une réaction chimique d'oxydo-réduction qui se produit dans le sens inverse, c'est une transformation forcée par un courant électrique imposé par un générateur.

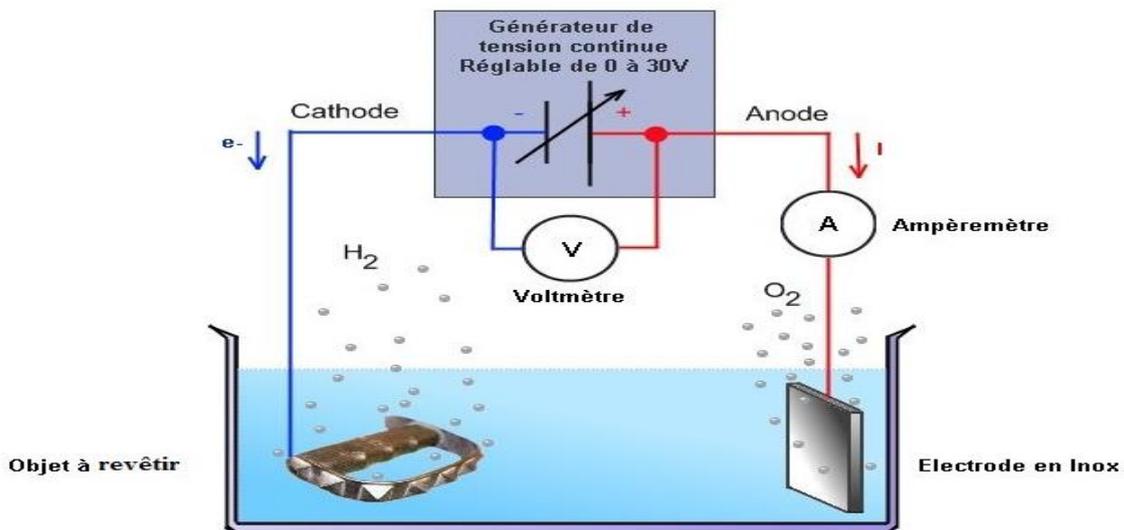


Figure 3: schéma d'un bain électrolytique

▪ Le courant électrique entre dans le système chimique par l'électrode reliée à la borne (+) du générateur. Donc le système chimique cède des électrons. Il s'y produit donc une oxydation, c'est donc une anode.

▪ Le courant électrique sort du système chimique par l'électrode reliée à la borne (-) du générateur. Donc le système chimique capte des électrons. Il s'y produit donc une réduction, c'est donc une cathode (siège de réduction).

⇒ L'anode peut être constituée du matériau à déposer mais en général, celui-ci est sous forme de sels dissouts dans le bain.

Normalement, on crée une différence de potentiel entre les deux électrodes :

$$[U = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}}]$$

Le potentiel imposé dépend de la concentration de [Ox] et [Red] car le potentiel d'équilibre dépend de leurs concentrations selon la **loi de NERNST** :

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[ox]^a}{[Red]^b}$$

I. Types des bains d'électrolyse utilisée dans la SADP :

I-1- Bain de dégraissage :

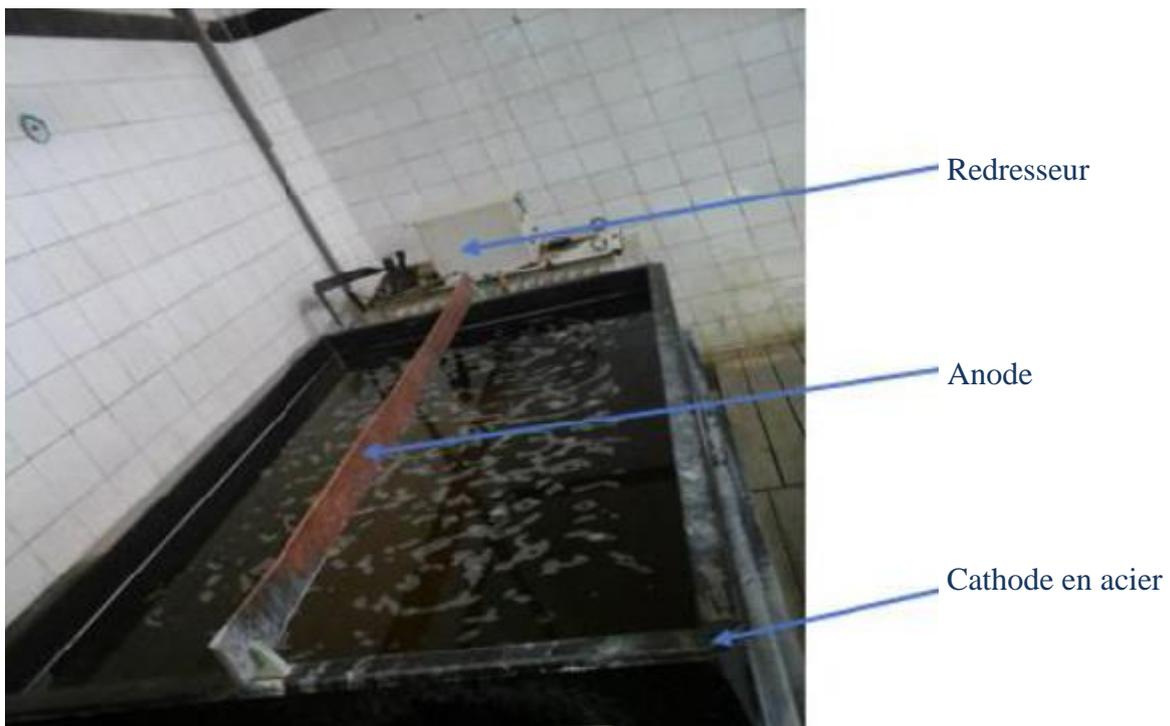


Image 8 : Bain de dégraissage

Tableau 1 : Mode opératoire du bain de dégraissage :

Compositions de bain	Conditions opératoire
<ul style="list-style-type: none"> • Cyanure de sodium. • La soude caustique. • Carbonate de sodium. • Phosphate trisodique + des tensioactifs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Température ambiante. • Le courant de 10 A/dm² ou plus. • Temps d'immersion : 5 min ou plus

Ce bain sert à éliminer les souillures organiques: les graisses, les huiles présentes sur la surface des pièces.

Le rôle de ces bains est primordial car il conditionne la qualité de traitement final.

◆ Types de dégraissage:

Définition:

Le dégraissage est un traitement chimique ou électrolytique qui a pour rôle de rendre la surface physiquement propre afin d'assurer le bon déroulement des opérations ultérieures, et garantir la qualité de produit final.

a) Dégraissage chimique :

On utilise des produits chimiques pour nettoyer l'aspect extérieur de la pièce dont on note la présence des solutions alcalines, neutres, émulsionnable..., ce dégraissage met en jeu les réactions de saponification et les phénomènes tensioactifs.

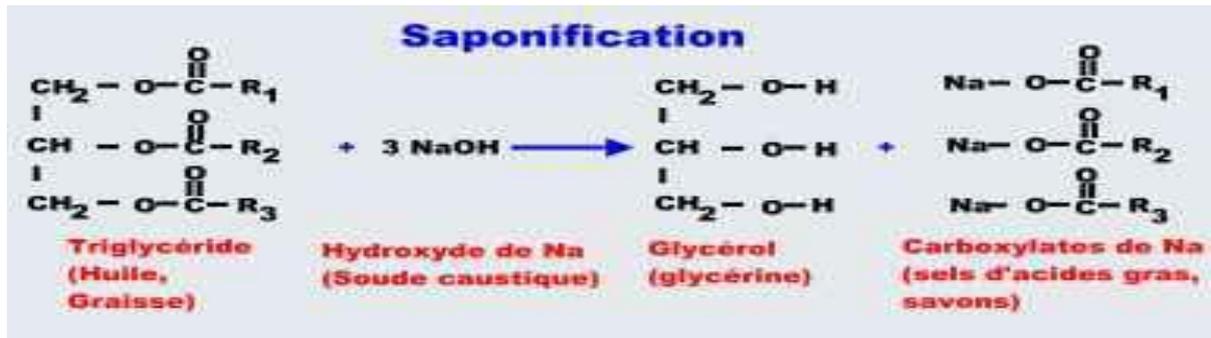
. **La SADF** utilise principalement des détergents alcalins. Le détergent alcalin le plus fréquemment utilisé possède les propriétés suivantes:

- ◆ Il doit constituer une réserve d'alcalinité suffisante, plus ou moins Importante selon la nature de la souillure à éliminer, le pH doit être maintenu constante malgré la saponification des graisses.
- ◆ Il doit être soluble et possède une tension superficiel faible, un bon pouvoir détergent, émulsionnant, et dispersant.

❖ les principaux phénomènes s'effectuent lors de dégraissage :

➤ La réaction de saponification :

Bilan Équation de saponification :



Le but de saponification : décomposition de la pellicule graisseuse et sa transformation en savon.

- Produits : glycérine et un sel alcalin d'acide gras (savon) qui est soluble dans l'eau.
- Vieillessement du bain propice à un meilleur dégraissage → plus de fabrication de savon

➤ Mécanisme de détergence :

Dans cette étape les tensions actives ont pour objectif de migrer vers l'interface contaminant. Ils permettent une grande mouillabilité des surfaces métalliques par l'eau et favorisent par conséquent le décollement des contaminants organiques. La tension actif est composée d'une extrémité hydrophobe se fixe facilement sur les graisses et hydrophile reste en contact avec l'eau de solution.

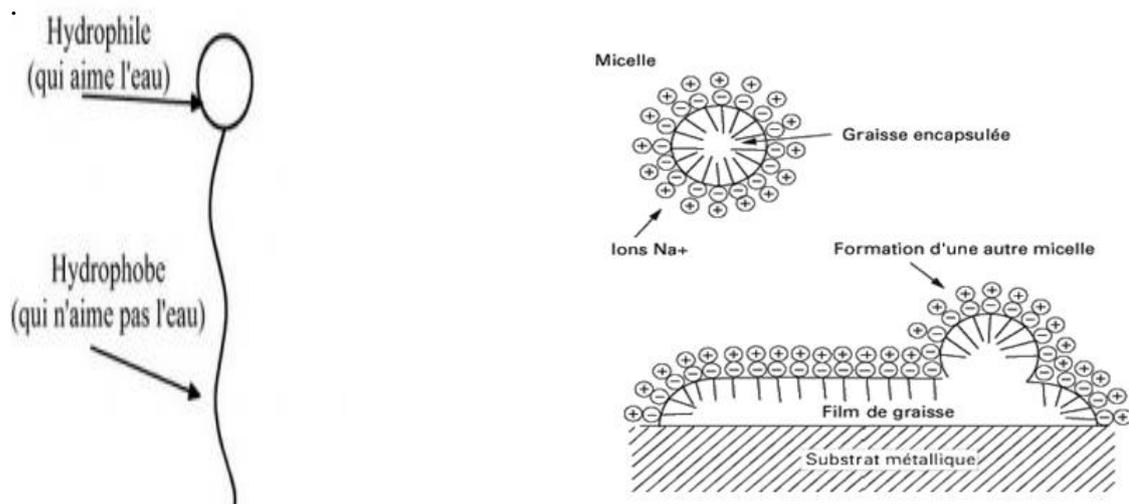


Image 9 : Composition des tensioactifs et Mécanisme de tolérance

Tableau 2 : Les principaux rôles des produits chimiques :

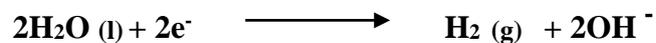
Produit	Rôle
Soude caustiques (NaOH)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ matière première de l'alcalinité. ✓ pouvoir saponifiable, agent émulsifiant.
Carbonate de Sodium (Na ₂ CO ₃)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Facilite le Rinçage. ✓ Agent tensioactif
Phosphate tri sodique Na ₃ PO ₄	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agent Emulsifiant. ✓ Complexations ou élimination des Seles alcalino-terreux.

b) Dégraissage électrochimique :

Le principe de dégraissage électrochimique est le même que le dégraissage chimique. On utilise les mêmes produits mais on impose une densité de courant constante par un générateur de courant continu à la solution par des électrodes.

Dans le SADF tout le bain est utilisé comme anode d'acier inoxydable et les pièces à traiter comme cathode. **La densité de courant** favorise l'élimination des graisses et des huiles présentes sur la surface des pièces.

Généralement la pièce à dégraisser est relié à **la cathode** siège de réduction.



La formation des ions hydroxydes ainsi qu'un important dégagement de gaz hydrogène qui réduit l'oxyde présent sur la pièce. La forte alcalinité qui entoure la pièce exerce une puissante action saponifiable et émulsifiante.

À l'**anode** se produit une réaction d'oxydation :



II -2- Rinçage:

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

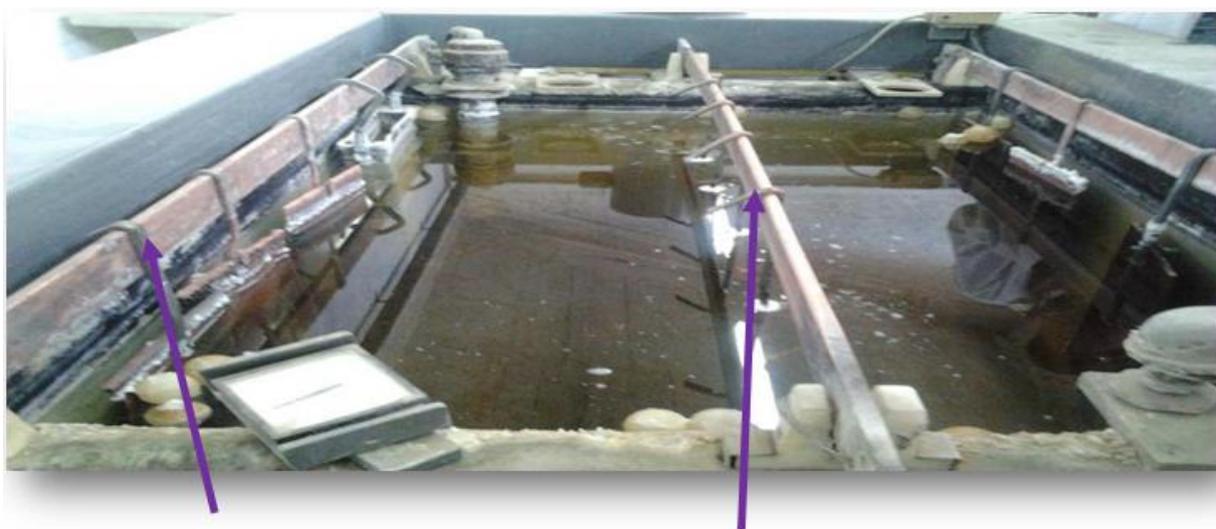


Image 10 : Bain de rinçages

⇒ **But** : diluer la pellicule de solution restante sur la surface du matériau, et éviter la pollution de bain suivant avec la solution du bain précédent.

II .3. Cuivrage :

a) Cuivrage en solution alcalin :



Plaque de cuivre

Pièce traité reliée à la cathode

Image 11 : Bain de cuivrage alcalin

Tableau 3 : Mode opératoire du bain de cuivrage alcalin :

Compositions de bain	Conditions opératoire
<ul style="list-style-type: none"> • Cyanure de Sodium Na CN • Cyanure de cuivre Cu CN • Sel : n°=11 (sel conducteurs) • Additifs : <ul style="list-style-type: none"> Ultinal brillant Ultinal base • Volume=900 L 	<ul style="list-style-type: none"> • T°=35°C à 40°C • Temps =10 min • Tension de courant : 0,5 à 3 A/dm² • Baumé = 14°B • PH=11. .

NB : 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.

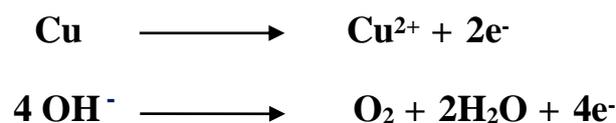
Dans les bains de cuivrage alcalins cyanurés, le cuivre se trouve sous forme monovalente Cu⁺ (CuCN), alors que dans les électrolytes acides (le bain suivant) le cuivre est à l'état divalent Cu²⁺.

Le cyanure libre a plusieurs rôles dans ce bain, il facilite la décomposition de sel de cuivre, et facilite la dissolution des anodes. Mais il faut limiter la quantité excédentaire de cyanure libre, pour ne pas influencer négativement sur le rendement cathodique.

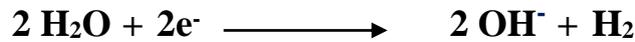
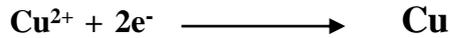
⇒ La Température augmente la conductivité et alors la vitesse de déposition pour pouvoir diminuer le temps de séjours des pièces dans les bains.

❖ Les réactions qui se produisent dans le bain :

- A l'anode : les réactions d'oxydation possibles sont :



- A la cathode : les réactions de réduction possibles sont :



b) Cuivrage acide :

Les bains de cuivrage acides et les bains acides en générale sont caractérisés par une vitesse de dépôt incomparablement plus élevés.

Tableau 4 : Mode opératoire du bain de cuivrage acide :

Composition du bain	Conditions opératoires
<ul style="list-style-type: none"> • Sulfate de cuivre CuSO_4 • Acide sulfurique H_2SO_4 • Volume=600L • Additifs : <ul style="list-style-type: none"> ✓ CUBRAC brillant. ✓ CUBRAC nivelant. ✓ CUBRAC base. 	<ul style="list-style-type: none"> • Température : Ambiante. • Densité de courant $2\text{A}/\text{dm}^2$ • Temps de traitement : 15 à 20 min. • PH $\leq 4,5$ • Degré baumé ; 19 à 25 • Densité de courant : $2\text{A}/\text{dm}^2$.

Le dépôt de cuivre dans ce milieu est effectué de la même manière que celle du milieu basique. Ici l'anode est constituée de grosse plaque de cuivre à une portion de phosphore (jusqu'à 7%) qui favorise la formation des grains très fins et de ce fait influence favorablement la brillance final, ces solutions sont désormais le choix habituel pour le cuivrage acide, grâce à leur excellent pouvoir nivellent.

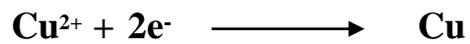
L'acide sulfurique est indispensable pour la qualité du dépôt, il accroît la conductivité de l'électrolyte par libération des protons H^+ et réduit par conséquent la polarisabilité des électrodes.

❖ Les réactions qui se produisent dans le bain :

- A l'anode : les réactions d'oxydation possibles sont :



- A la cathode : les réactions de réduction possibles sont :



Les teneurs en agents d'addition sont habituellement contrôlées empiriquement, par l'aspect de dépôt de cuivre effectué en cellule.

Ces agents d'addition ont pour fonction d'affiner le grain, d'accroître le nivellement, la dureté, la brillance du dépôt de cuivre et limite la densité de courant.

II .4. Nickelage:

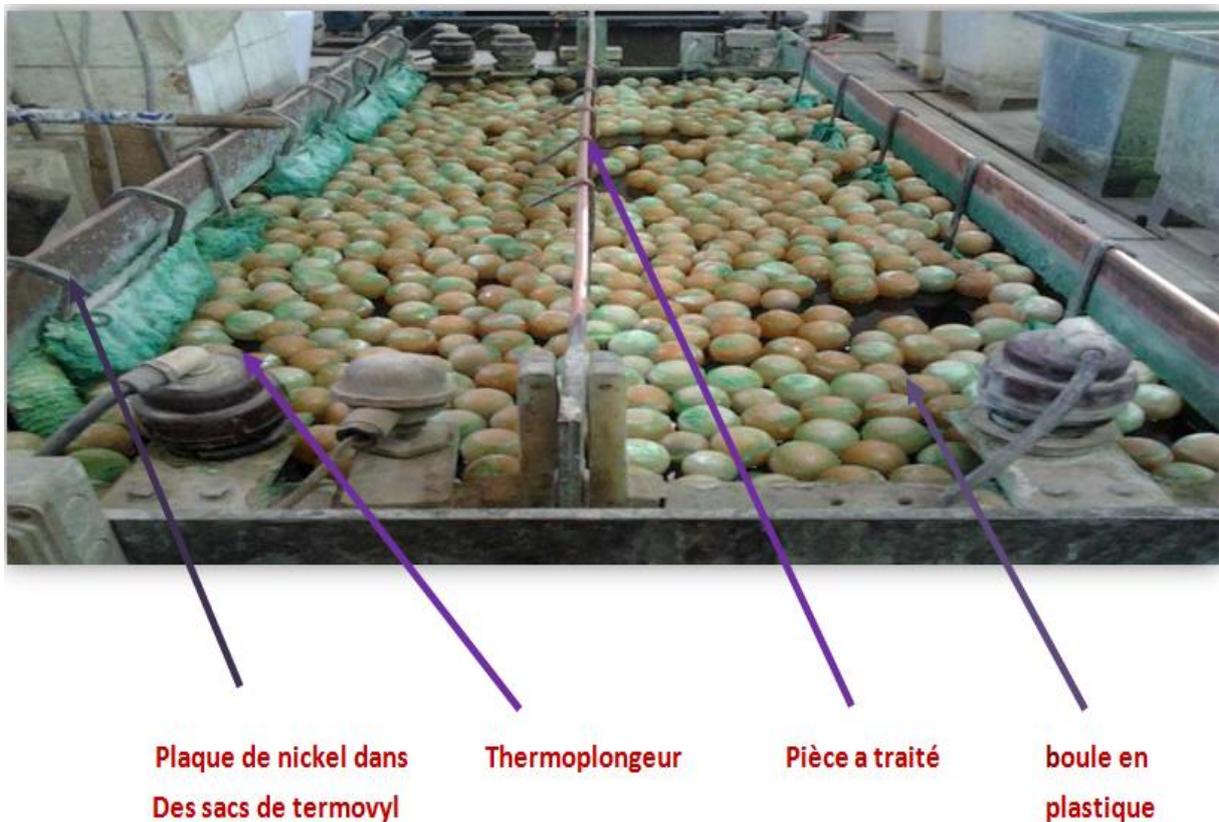


Image 12 : Bain de nickelage

Tableau 5 : Mode opératoire du bain de nickelage :

Composition du bain	Conditions opératoires
Sulfate de nickel NiSO ₂ Chlorure de nickel NiCl ₂ Acide borique H ₃ BO ₄ Additifs : brillanteur. Mouillant. Nivelant. Purificateur. Fixateur. Anodes du nickel ensachées en sacs.	Température : 60°C à 70°C Temps de traitement : 10 à 15 min PH : 3,8 à 5. Degré baumé : 25 à 30. Densité de courant : 3 à 5 A/dm ² . Filtration par charbon actif. Agitation mécanique.

Le Nickel offre une bonne résistance à la corrosion et présente une bonne tenue à l'oxydation atmosphérique et à la vapeur d'eau.

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

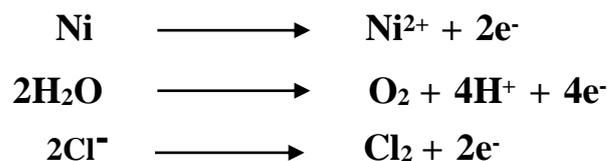
L'acide borique joue un rôle de tampon du pH, et contribue à l'amélioration de la ductilité en diminuant la surtension de dépôts, sa teneur ne devrait pas descendre en dessous de 40g/l dans ce bain.

➤ **Explication de processus de nickelage :**

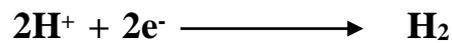
Lorsque le courant passe, les ions positifs du nickel migrent vers le pôle négatif et se déposent sous une forme de couche de métal dont **l'épaisseur** dépend particulièrement **du temps d'immersion**.

❖ **Les réactions qui se produisent dans le bain :**

- **A l'anode : les réactions d'oxydation possibles sont :**



- A la cathode : les réactions de réduction possibles sont :



II. 5.pré-Argentage :



Image 13 : Bain de pré-argentage

Tableau 6 : Mode opératoire du bain de pré-argentage :

Composition de bain	Condition opératoires
<ul style="list-style-type: none"> • Cyanure d'argent. • Cyanure de potassium. • Anode d'acier inox. • Eau déminéralisée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Température: Ambiante. • Temps de traitement: 10 à 15 s. • pH =11. • Degré baumé : 14° à 17°. • Densité de courant: 4 à 5 A/dm²

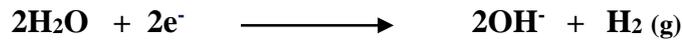
On utilise un bain pré-argent à faible teneur en argent et forte teneur en cyanure libre pour former une couche très mince à la surface des articles.

Les réactions s'effectuent dans le bain de pré-argentage :

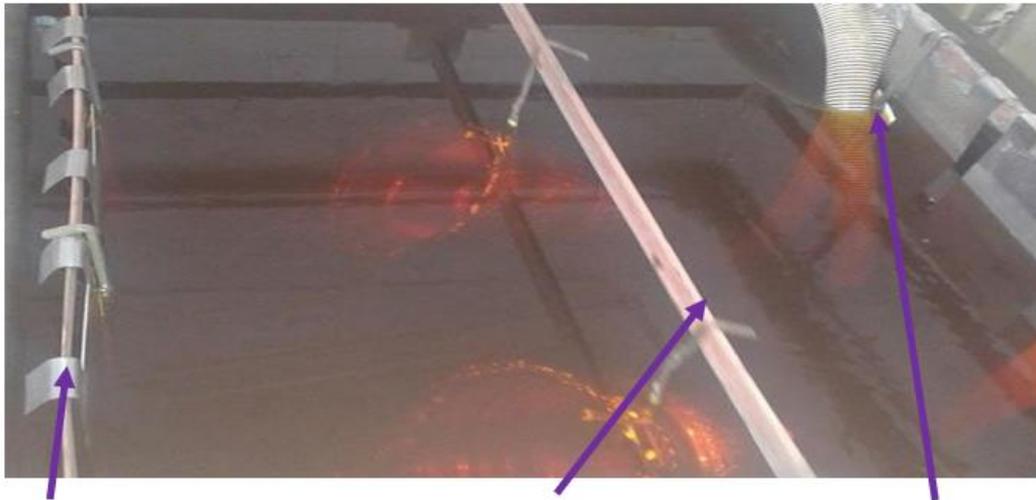
À l'anode :



À la cathode :



II .6. Argenture :



Plaque d'inox

Plaque relié à la cathode

Plaque en argent relié à l'anode

Image 14 : Bain d'argentage

Tableau 7 : Mode opératoire du bain d'argentage :

Composition de bain	Condition opératoire
Cyanure d'argent Ag CN Cyanure de potassium KCN Anodes d'argent + anodes d'acier inox Additifs : SELVRIUM brillanteur. SELVRIUM base SELVRIUM d'argent. Eau déminéralisée	Température : ambiante. Temps de traitement : 5 à 10 min. pH =12. Degré baumé : 26 à 35. Densité de courant : 1.5 à 5 A/dm2. filtration Charbon actif

Le revêtement d'argenture a plus d'importance dans la société à cause de son coût cher et aussi par ce qu'elle est la couche superficielle pour la plupart des articles, et pour éviter toute contamination dans le bain d'argenture où elle utilise des anodes d'argent purs et de concentration élevée de sel d'argent.

L'argent est déposé essentiellement sous forme d'argent pur, le bain utilisé est très

alcalins à base de cyanure double d'argent et de potassium AgCN.

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

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

Remarque

- ❖ Les anions SO_4^{2-} , Cl^- , CN^- , OH^- et les cations Na^+ et H^+ sont ajoutés dans les bains pour conduire le courant électrique dans les bains alcalins ou acides à raison de leurs conductivités équivalentes limites qui sont très élevées.
- ❖ L'utilisation d'un densimètre dans les bains permet de mesurer la densité et la concentration de solution, aussi bien l'utilisation de papier Ph pour déterminer le ph de solution.

II .7. Séchage :

En générale, les pièces après l'argentage sont rincés trois fois successif et sécher dans un four à une température de 130 °C.



Image 15 : Séchage des pièces

❖ Traitement de Cyanure :

La SADF utilise le cyanure pour Le traitement de surface car il est le plus adapté en termes de compromis coût, et rendement.

Type de bain utilisant des cyanures :

- Dégraissage électrolytique

- Argentage
- Cuivrage alcalin

Le cyanure il est très dangereux pour l'homme et l'environnement, il doit être manipulé avec précaution par des personnes averties et expérimentées, ceci due au risque de formation de l'acide cyanhydrique (HCN) à partir de sel de cyanure, c'est un gaz très toxique selon la réaction suivante :



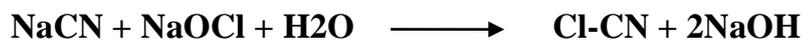
→ C'est une réaction rapide et irréversible liée au pH.

Pour cela SADF empêcher la formation de HCN tout en contrôlant les facteurs suivants :

- Augmenter le pH dans les bains.
- Température ambiante.
- Éliminer l'excès de cyanure dans les bains.

Quand le bain de dégraissage est exterminé on le vide dans un grand bassin, qui contient de l'eau de javel et l'hydroxyde de sodium, qui sert à transformer le sel de cyanure en cyanate qui est moins toxique, cette transformation se réalise en deux étapes :

- Formation de chlorure de cyanogène selon :



- Formation de cyanate :



Cette réaction doit s'effectuer en milieu très basique (pH=12) pour que le chlorure de cyanogène soit immédiatement détruit.

- On peut aussi détruire le cyanate OCN^- , peu toxique, en acidifiant le milieu par l'acide chlorhydrique selon la réaction :



Après le traitement de cyanure dans le bassin on le rejette dans des canalisations qui débouchent à Oued Sebou.

Chapitre 4

Partie Pratique : Application et influence des paramètres sur le dépôt

1) principaux problématiques rencontré lors de l'électrolyse :

◆ **Le décharge des ions H⁺ et alors le dégagement de H₂ (dans les bains acides) :**



On a le potentiel à l'équilibre $E = -0,06 \text{ pH}$, si on prend le cas de Nickel où le **pH=4,8**

$$E = -0,06 \times 4,8 = -0,29$$

Tout potentiel d'équilibre est inférieur à cette valeur ne peut pas électrodeposer sans dégagement de l'hydrogène, on peut assurer leur dégagement dans le bain de Nickel car le pH est entre (3,8 et 5) dont notre mission est de minimiser ce dégagement.

Les inconvénients de dégagement de l'hydrogène :

- ✓ La fragilisation de métal.
- ✓ La perte de rendement (une partie de courant sert à dégager l'hydrogène et non à réduire le métal).

◆ **polarisation ou surtension des électrodes:**

Au cours de l'électrolyse, la concentration au niveau des électrodes a changé à cause des phénomènes de **diffusion** (gradient de concentration entre le cœur de l'électrolyte et l'entour des électrodes) et **migration** (déplacement des ions sous l'effet de courant électrique), alors cette différence de concentration provoque la modification de potentiel résultante entre les électrodes en appliquant la loi de Nernst, on appelle ça **la polarisation ou Surtension des électrodes**.

Ceci présente un problème lors de l'électrolyte car il est impossible de monter plus haut en potentiel par ce que l'électrode est saturé en produit ce qui influence défavorablement sur l'aspect de dépôt et assure la consommation excessive des sels métallique et les plaques des anodes.

On ne peut pas éliminer ce phénomène mais on arrive à la diminuer par la présence d'un système d'agitation, d'ions de conductivité important, et des agents mouillant qui diminue la tension superficielle du bain.

2) Paramètres influençant le dépôt électrolytique :

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

➤ **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 (c'est pourquoi il faut maximiser le courant).

Si le courant est très élevé : le dépôt est spongieux et la surface était brûler, car la vitesse très élevée de déposition empêche les ions de circuler dans tous le bain pour déposer uniformément sur la surface de la pièce.

➤ **Température :**

La Température facilite la réaction et la mobilité des ions ce qui traduit l'augmentation de courant possible durant la réaction.

⇒ Température très élevés susceptible pour détruire les additifs sensibles.

➤ **L'agitation :**

La concentration de l'électrolyte au niveau de la cathode (catholyte) diminue. Il est nécessaire de maintenir une certaine agitation pour uniformiser les concentrations afin d'obtenir un dépôt continu et régulier. En outre, cela facilite la diffusion des ions et s'oppose à l'épuisement de la couche de diffusion.

⇒ C'est un facteur important qui diminue la polarisation des électrodes.

L'agitation se fait par 2 méthodes :

- L'agitation mécanique.
- L'agitation par des bulles d'air.

➤ **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, Néanmoins, lorsque la concentration dépasse une limite déterminée, les germes ne peuvent grossir et le dépôt devient spongieux et caviteux.

Il existe d'autres paramètres qui influencent ou améliore la qualité de dépôt :

- ✓ La surface des anodes et la distance entre l'anode et la cathode.
- ✓ La filtration continue par charbon actif.
- ✓ L'ajout des additifs (nivelant, épurateur, conducteur, mouillant) : selon les résultats qu'on pourrait obtenir.

3) Rendement électrolytique :

Le calcul de rendement permet de déterminer l'efficacité d'une synthèse chimique, 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 divers origines: réaction parasites,

présence des impuretés...

Pour pouvoir calculer le rendement, on a traité une plaque de laiton de 0.5 dm² de surface chaque bain de traitement.

La masse expérimentale : $m(\text{exp}) = m(\text{après dépôt}) - m(\text{avant dépôt})$

La masse du revêtement mise en solution par électrolyse est donnée par la loi de Faraday :

$$m(\text{th}) = (I * t * M) / (n * F)$$

I : intensité de courant en (A).

t : temps d'immersion en seconde.

m_{th} : masse théorique en (g).

n : nombre d'électrons mis en jeu.

F : constante Faraday 96500 c/mol.

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

Le rendement :

$$R = m(\text{exp}) / m(\text{th}) \times 100$$

❖ APPLICATION :

Le tableau suivant résume les masses des plaques expérimentales dans les différents bains et les masses théoriques et le Rendement des dépôts électrolytiques.

Traitement	Conditions Opérateur	M _{exp} en (g)	M _{th} en (g)	Rendement
Plaque(A) Cuivrage Alcalin	<ul style="list-style-type: none"> • t_{dé}=5min • t_{c.alc}=10min • T°= 40 °C • I=3A/dm² 	0,269	1,185	22,70%
Plaque(B) Cuivrage Acide	<ul style="list-style-type: none"> • t_{dé}=5min • t_{c.ac}=20min • T°=Ambiante • I=2A/dm² 	0,419	0,79	53,04%
Plaque(C) Nickelage	<ul style="list-style-type: none"> • t_{dé}=5min • t_{nick}=15min • T°=70°C • I=5A/dm² 	0,886	1,368	64,77%
Plaque(D) Argenture	<ul style="list-style-type: none"> • t_{dé}=5min • t_{Ag}=10 min • T°=Ambiante • I=1.5/dm² 	0,394	1,006	39,17%

Tableau 8 : Rendement cathodique sur une plaque du laiton de 0,5 dm².

Interprétation des résultats :

Les quatre plaques du laiton de 0,5 dm² de surface et 1mm d'épaisseur ont été immergées dans différents bains pour suivre le rendement et la qualité du dépôt des métaux.

On obtient des dépôts avec des rendements insuffisant, ceci due au :

- Pertes des ions métalliques au niveau des crochés qui lies les articles à la cathode.
- L'effet que la concentration de la solution qui diminue pendant l'électrolyse
- L'utilisation d'agitation est rare dans la société de SADF
- La température et le pH varient au cours du processus du dépôt.
- Les redresseurs utilisés ne sont pas contemporain, ils affichent les intensités de courant et les différences de potentiel entre leurs bornes avec des graduations à grande échelle. de l'ordre de 10 à 20 A.

➤ **Pour trouver des résultats satisfaisants il faut :**

- Nettoyer les bains électrolytiques par filtrations en continu au charbon actif.
- Déminéraliser l'eau utilisée et le désinfecter par l'eau de javel.
- La concentration du cyanure (dans les bains alcalins) libre doit être bien respectée.
- Prendre en considération des produits purs de brillanceurs, fixateurs et Conducteurs.

La qualité du revêtement est très satisfaisante de point de vue brillance, couleur, et résistance à la corrosion en milieu humide.

➤ **Pour améliorer la qualité et le rendement il faut :**

- Immerger suffisamment les articles dans le bain de dégraissage.
- Que les solutions soient propres et parfaitement agitées à une température Maintenu constante.
- Faire des mesures précises de la masse et du volume des produits.
- Contrôler les bains au fur et à mesure de l'utilisation par des techniques Récentes.
- Faire des entretiens des bains en respectant les normes exigées.
- Les redresseurs soient automatiques et équipés par des afficheurs électroniques.
- Le nettoyage et la filtration doit être en continue le long de la galvanoplastie.

Conclusion

Au cours de ce travail, nous avons montré l'intérêt de traitement et revêtement de surface par voie électrolytique et leur importance dans l'amélioration des propriétés des produits métalliques. Mais Il faut signaler qu'il n'y a pas un laboratoire du contrôle des éléments chimiques des solutions dans la société. Même les redresseurs utilisés ne sont pas contemporain et fiable ils affichent l'intensité de courant et la différence de potentiel entre leurs bornes avec des graduations à une grande échelle de I 'ordre de 10 à 20 A, les baignoires ne sont pas entretenues de manière systématique.

Dans cette étude, il s'est avéré qu'un bon dépôt électrolytique dépend de plusieurs facteurs comme la concentration, la propreté du métal, le pH de l'électrolyte, la température, la densité de courant, de la solution des baignoires et l'ajout des sels et des brillanters.