



UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Département de chimie



Licence sciences et techniques (LST)

Génie chimique

CG

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Traitement de surface: revêtement métallique par
voie électrolytique**

Présenté par:

Mr. El aiche Youssef

Encadré par:

Mr. chnoui khammar (SADF)

Pr. Ouazzani chahdi Fouad

Soutenu le 11/ 06/2014 devant le jury composé de:

Pr. Ouazzani chahdi Fouad

Pr. Kandri Rodi Youssef

Pr. El Asri

Mr. Chnoui khammar (SADF)

Stage effectué à société des artisans dinandiers de Fès

Année universitaire 2013/2014

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUE DE FES

B. p. 2202- route d'Imouzzer – FSE

Ligne directe: 212 05 35 61 16 86 – standard : 212 05 35 60 82 14

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

Sommaire

Remerciement

Introduction

I. Présentation de l'entreprise:

1. Histoire.....2
2. produit.....3
3. Organigramme.....3

II. procède de fabrication

1. matière première.....4
2. chaine de production:
 - 1) découpage.....5
 - 2) gravure5
 - 3) repoussage.....5
 - 4) fendage6
 - 5) limage.....6
 - 6) soudure.....6
 - 7) décapage.....7
 - 8) polissage.....7
 - 9) ravivage.....8
 - 10) contrôle de qualité.....8
 - 11) traitement de surface.....9
 - 12) emballage.....9

III. sujet d'étude: traitement de surface par revêtement métallique par voie électrolytique

1. mécanisme d'électrolyse.....10
2. équipement du bain électrolytique.....11
3. types d'électrolyse utilisée dans la société SADF:
 - 1) bain de dégraissage.....12
 - ✚ dégraissage chimique.....13

+ dégraissage électrochimique.....	16
2) bain de racinage.....	17
3) bain de cuivrage alcalin.....	18
4) bain de cuivrage acide.....	19
5) bain de nickelage.....	21
6) bain de pré argent.....	24
7) bain d'argenture.....	25

IV. application de traitement de surface sur les plaques de laiton

1. rendement électrolytique.....	28
2. dépôt de cuivre alcalin.....	29
3. dépôt de cuivre acide.....	29
4. dépôt de nickelage.....	30
5. dépôt d'argenture.....	30

Liste des tableaux

Tableau1: propriétés détergents de la soude.....15

Tableau 2: propriété détergentes de carbonate de sodium.....15

Tableau3 : principales caractéristiques physiques et mécaniques du cuivre....20

Tableau 4: principales caractéristiques physiques et mécaniques du nickel....23

Tableau5 : principales caractéristiques physique et mécaniques de l'argent....26

Tableau6: composition type des bains d'argentage décoratifs.....26

tableau 7 : vitesse de déposition de l'argent.....27

Liste de figure

<u>Figure 1</u> : organigramme de la société SADF.....	3
.....10 <u>Figure 2</u> : Schéma simplifié d'une cellule électrolytique	
<u>Figure 3</u> : Schéma simplifié de bain de dégraissage.....	12
<u>Figure 4</u> : Schéma simplifié de bain de cuivrage.....	17
<u>Figure 5</u> : Schéma simplifié de bain de nickelage.....	21

Remerciements

Ce travail résulte de la contribution de plusieurs personnes, que ce soit d'un point professionnel m'apportant des connaissances et savoir faire, ou personnel en faisant de moi ce que je suis aujourd'hui.

Tout d'abord je tien à féliciter la direction de la société des artisans dinandiers de Fès pour le rôle qu'il joue dans l'intégration des stagiaires ou siens de la .société

Mes remerciements 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 stage.

Je tien a remercier **Mr khammar chnouni** mon maitre et tuteur de stage à qui depuis ma première journée à la société j'ai toujours trouvé un accueil bienveillant auprès de lui.

C'est lui qui ma confié ce travail et m'a guidé tout au cours de ce stage .aussi, il m'aide m'intégrer rapidement au sien de la société.

J'aimerais témoigner remercier particulièrement **Mr Ouazzani chahdi Fouad** d'avoir accepté de m'encadrer durant la période de ce stage et mon guider tout au long du déroulement de ce stage .Ses conseilles qu'il m'a apporté lors des différent suivis ajoutant son talent de l'encadrant, connaissances et expérience et son rigueur scientifique m'a beaucoup aidé.

J'aimerais témoigner toute ma connaissance à l'équipe pédagogique de la faculté des sciences et techniques de FST.

Je remercié également les membres de jury **Mr. EL ASRI et Mr. KANDRI RODI Youssef** d'avoir accepté de juger ce travail.

INTRODUCTION

Les traitements et revêtements de surface constituent depuis le 19^{ème} siècle un des moyens essentiels pour améliorer les propriétés fonctionnelles des métaux : résistance à la corrosion, à l'oxydation, à la fatigue sous toutes ses formes (fatigue mécanique, fatigue thermomécanique, fatigue de surface), au frottement et à l'usure, sans oublier l'aspect, la biocompatibilité ou l'adhésion d'un autre matériau.

Ce rapport présentera l'environnement de ce stage , ses objectifs scientifique et technique méthodes opérationnels et économique sans oublier bien sûr la contribution apporter à la société afin de rendre les procès de traitement de surface plus efficace ainsi que les exigences nationales en matière de contrôle de qualité des produit artisanaux.

Les propriétés de traitement de surface des métaux sont généralement modifiées pour :
L'aspect décoratif et/ou le pouvoir de réflexion. L'amélioration de la dureté. La prévention de la corrosion.

Actuellement, les principaux domaines d'application sont: l'automobile, les transports, les emballages, le bâtiment et la construction la joaillerie et la décoration.

Les procédés électrochimiques jouer un rôle importance 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 Installer depuis 32 ans sous un schéma et un matériel importer de l'Allemagne, le premier pays classer dans ce domaine.

Chapitre 1: présentation

1) Entreprise et son contexte:

Le SADF est spécialisé dans la fabrication des produits artisanaux et le traitement de leur surface. Elle essaye de trouver des solutions efficaces technologiques et économiques. Cette société occupe une place très importante dans ce domaine. Elle a acquis une renommée nationale et internationale grâce à sa qualité et diversité.

1.1) Historique

La création de SADF remonte en 1982, en effet, un groupe de maîtres artisans avait mis en place une unité de production renfermant tout le processus de fabrication. Cela leur permettrait de préserver le produit artisanal, de le développer et de lui donner l'aspect qui réunit à la fois la beauté, le goût 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 SADF n'a pas cessé de déployer ses efforts pour opposer son empreinte sur les articles en métal lumineux, tables, tabourets, miroirs ou autres types.

SADF a réussi de gagner la confiance des clients et d'imposer sa marque. En effet, elle occupe une place très importante parmi les meilleures sociétés susceptibles de représenter et d'honorer le produit artisanal marocain. Elle a donc participé remarquablement à plusieurs manifestations et foires. Ces participations ont été couronnées par plusieurs titres d'honneur à Fès, Casablanca, Rabat, Marrakech, Agadir...

Les clients de la société SADF sont aussi bien des Marocains que des étrangers.

Clients nationaux: établissement étatique, palais royal.

Clients internationaux: émirat Arabie (Dubai) Arabie saoudite.

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

1.2) Produit

La stratégie adoptée par la société SADF consiste à offrir 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 d'idée aux clients parce que tout client est considéré comme unique pour la société.

1.4) organigramme

L'organigramme de la société SADF est représenté par la fig. 1, son personnel est de 166 personnes. Avec 16% de femmes et 84% d'hommes.

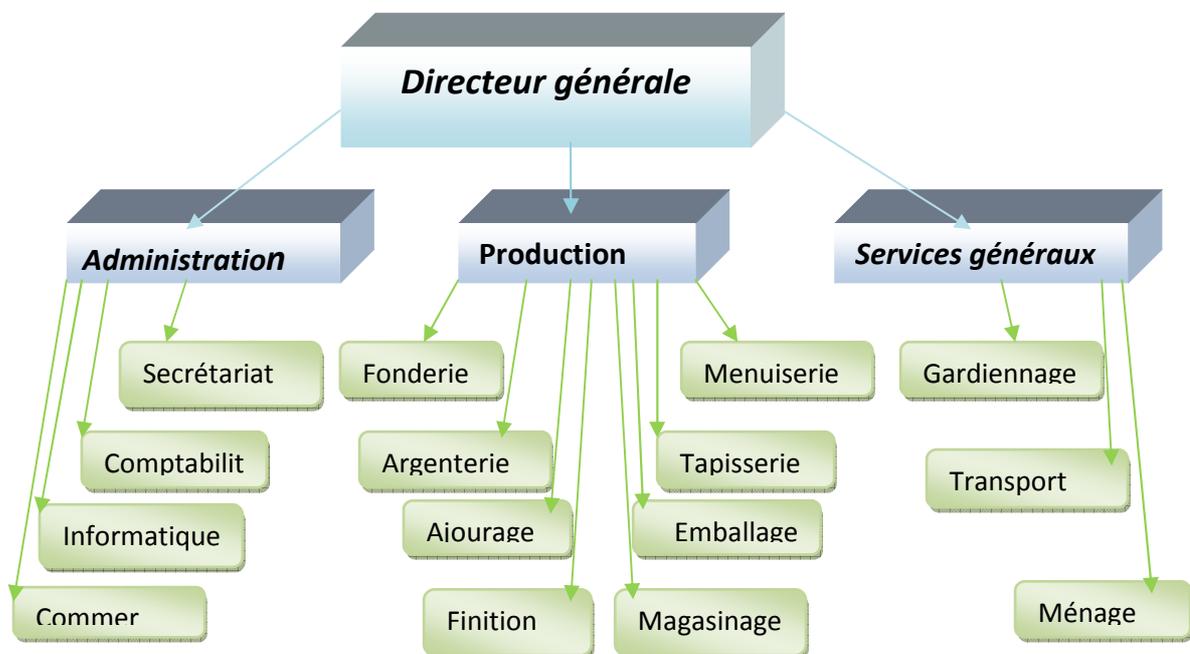


Figure 1: organigramme de la société SADF

Chapitre 2 : procédé de fabrication

I.) Matière première:

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

- ✓ La matière première et de la chaîne de production.

SADF utilise le laiton comme leur matière première. Les laitons sont des alliages composés essentiellement de [cuivre](#) et de [zinc](#), aux proportions variables. Selon les propriétés visées ils peuvent contenir d'autres éléments d'additions comme le [plomb](#), l'[étain](#), le [nickel](#), le [chrome](#) et le [magnésium](#).

Les laitons sont parfois improprement appelés cuivre jaune. Selon leurs compositions, ils peuvent être appelés : [Tombac](#), Archal, Bronze florentin. Exemple, le Bronze florentin (ou Bronze vénitien) est composé de 85 % de cuivre et 15 % de zinc.



On choisit le laiton grâce aux propriétés suivantes:

- Très bonne résistance à la corrosion et ductilité donne une bonne surface à travailler
- Un alliage relativement malléable, peut être travaillé à chaud aussi bien qu'à froid
- Pas ou peu d'oxydation, couche protectrice

Les propriétés physiques de l'alliage dépendent fortement de sa composition.

Par exemple pour un laiton contenant 90 % de cuivre et 10 % de zinc, la masse volumique est $8\,800\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, la conductivité thermique est environ $121\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, et la température de fusion est environ $900\text{ }^\circ\text{C}$.

Il existe trois catégories de laiton (chaque catégorie englobe les propriétés des précédentes) :

- Les laitons simples (binaires) : ils ne contiennent que du cuivre et du zinc. L'ajout de zinc abaisse la température du point de fusion de l'alliage ainsi que sa conductivité électrique, mais en augmente la dureté et la résistance mécanique.
- Les laitons au plomb (environ 57à60 % de cuivre, 37à40 % de zinc, 1 à 3 % de plomb) : le plomb amélioré l'usinabilité en se disséminant en fins globules qui permettent une meilleure fragmentation des copeaux.
- Les laitons spéciaux : ils ont pour but d'augmenter les propriétés mécaniques par l'addition d'éléments d'alliage, le nickel est utilisé dans les pièces de monnaie ou pour le plaquage du laiton, en raison de sa résistance à l'oxydation et à la corrosion.

II.) Chaine de production

1.) découpage:

Les différents types de prototype sont tracés sur les plaques de laiton, en tenant compte de leurs caractéristiques. Ensuite ces plaques sont découpées soit manuellement ou électriquement.

2.) Gravure:

S'effectue avec un appareil appelé le burin, il s'agit d'une tige d'acier trempé affûté et fixée dans un manche qui découpe nettement le métal et l'enlève sous forme de copeaux.

Il est important de remarquer que ce procédé se repose sur l'habileté des maîtres artisans qui exécutent des motifs décoratifs.

- Dessin traditionnel
- Dessin moderne
- Dessin voulu par les clients

3. Repoussage

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

On distingue deux types:

- Manuel
- Automatique

4. Fonderies:

Les chutes du laiton provenant des différentes étapes précédemment sont conduites aux fonderies. Cette fabrication se déroule en trois étapes:

- a. Fabrication d'une moule approprié et c'est partir d'un sable particulier.
- b. Fendage des chutes laiton avec quelque gramm. d'aluminium.
- c. Moulage qui consiste à culer l'alliage fondu dans les moules ayant forme pour fabrique les pièces de formes souhaitées après refroidissement.

Nb.les pièces provenant de la fonderie ont des irrégularités qui nécessitent des corrections pour donner les formes et les déclarations désirées.

5. 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 demandé.



6. Soudure

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



Soudage par l'étain

7. Décapage



C'est l'élimination mécanique ou chimique des toutes les traces d'impuretés ainsi que les couches d'oxydes formées à la surface des objets. Cette attaque est faite par deux moyens:

- ✓ Electrochimique : pour oxyder la surface d'une pièce, placée en anode dans un électrolyse en présence H_2SO_4 .
- ✓ Chimique: surface attaqué par les acides fortes et concentrés.

Le décapage des laitons, appelé dérochage dans certaine industries lorsqu'il est suivi le brillantage s'effectue généralement à l'acide sulfurique dilué 10à15% d'acide sulfurique à densité ($d=1.84$) dans l'eau à des températures ne dépassant pas 30à40°C.

La durée de décapage est de quelques minute pour des pièces ayant subi un usinage seul. En revanche, pour des pièces qui aurone subi une opération de matriçage, le décapage peut demander plusieurs heur et nécessiter une action mécanique complémentaire (grattage, brossage, eau sous pression).

Après décapage, les pièces sont rances soigneusement, à l'eau courant de préférence, puis séchés immédiatement par un procédé approprié (air chaud, sciure de bois...).

8. Polissage, et brillantage:

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

Le brillantage chimique des laitons (préalablement décapés, ou dérochés, lavés) comprend généralement une opération intermédiaire de pré brillantage appelée blanchiment.

Les bains de blanc les plus couramment utilisés sont constitués d'eau règle additionnée de suie calcinée qui joue un rôle d'accélérateur et surtout d'égalisateur. L'acide chlorhydrique est parfois remplacé par du chlorure de sodium.

- Excès de chlorure: les pièces sortent du bain, avec des marbrures brunes localisées; après rinçage elles présentent des zones mates et des zones brillantes (le zinc a été attaqué trop fortement).
- Excès d'acide nitrique: les pièces conservent une couleur brune après rinçage; à la loupe elles montrent des piqures qui atténuent leur brillant.
- Manque d'acide sulfurique: les pièces restent mates et présentent parfois des taches blanches après rinçage.
- Excès d'acide sulfurique: mêmes caractères que pour le manque d'acide nitrique, diluer le bain ou ajouter de l'acide nitrique.

Tous ces bain sont employés à température ambiante (20°C) et agissent rapidement (une quelque secondes).



9. ravivage:

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



10. *contrôle de qualité:*

Une série de contrôle et effectuer afin d'avoir une qualité désirée avant de les remettre à l'étaler de traitement des surfaces.

11. *traitement de surface*

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

Les pièces fabriquées par la SADF passant dans plusieurs bains:

- ✚ bain de dégraissage
- ✚ bain de cuivrage alcalin
- ✚ bain de nickelage
- ✚ bain de cuivrage acide
- ✚ bain de pré argenture
- ✚ bain d'argenture
- ✚ bain d'orage
- ✚ bain de rinçage

12. *Emballage:*

L'emballage se fait en trois étapes:

1. Equiper de fabrication des emballages chargés de la fabrication des différents types d'emballage en respectant la forme de l'article.

2. Equiper de contrôle de la qualité des articles avant son emballage. Dans le cas d'un défaut, la pièce est retournée au service de production.
3. Equiper d'emballage, chargé 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...

CHAPITRE 3 : traitement de surface par revêtement métallique par voie électrolytique

I. l'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.

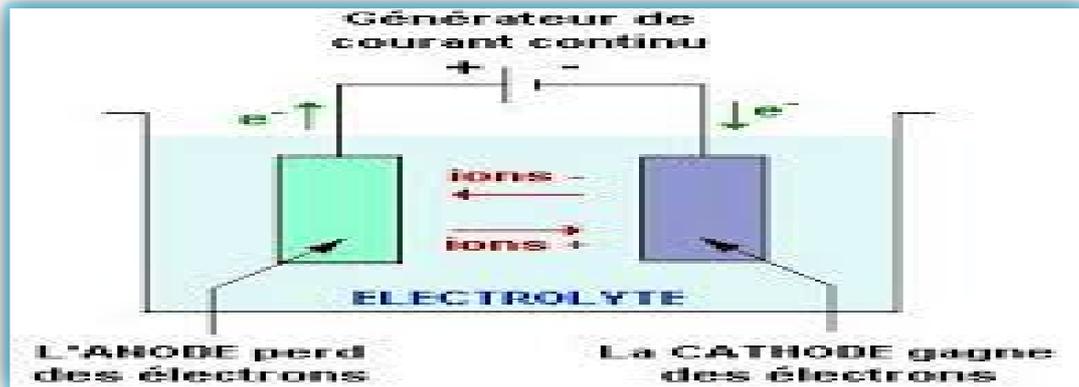
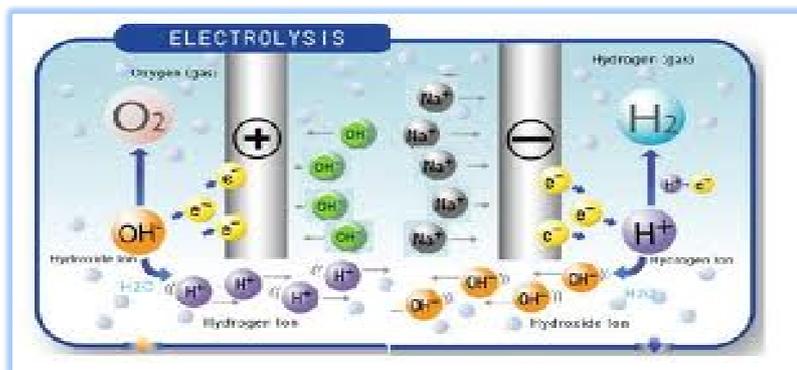


Schéma simplifié d'une cellule électrolytique

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.

Lorsque la pièce de fabrication ou le substrat est raccordé au circuit dans la cellule de dépôt électrolytique, les cations se déplacent vers la cathode. Le métal se dépose, tandis que celui de l'hydrogène est généré en tant que réaction cathodique secondaire. Les anions se déplacent vers l'anode.



En solution acide :



En solution alcaline:



Les cellules électrolytiques peuvent être classées en fonction de quatre paramètres principaux:

- ✓ la géométrie des cellules électrolytiques
- ✓ la densité de courant
- ✓ le type de bain électrolytique
- ✓ le type d'anode

Deux types d'anode sont disponibles:

- ❖ *Les anodes solubles*, qui ont deux fonction: fournir des ions métalliques au bain électrolytique et repousser les ions positifs vers le substrat. L'anode est consommée au cours du traitement et doit être remplacé régulièrement pour maintenir l'efficacité de la solution.
- ❖ *Les anodes insolubles*, qui a une seule fonction: repoussé les ions positifs vers la cathode. Elles sont fabriquées en matériaux conducteurs qui ne participent pas à la réaction de la solution. Elles sont utilisées dans les traitements électrochimiques auxquels les matériaux de l'anode ne participent pas tels que le dégraissage électrolytique.

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

II. Equipement du bain d'électrolyse

Cuve: sont protégée contre les attaques de certains électrolytes par un revêtement intérieur de caoutchouc, d'ébonite ou polychlorure de vinyle (pvc)

Générateur: constitue la source d'énergie qui sera transformé en énergie chimique. Dans la société SADF on utilise le générateur potentiostat qui permet d'imposer un courant constant.

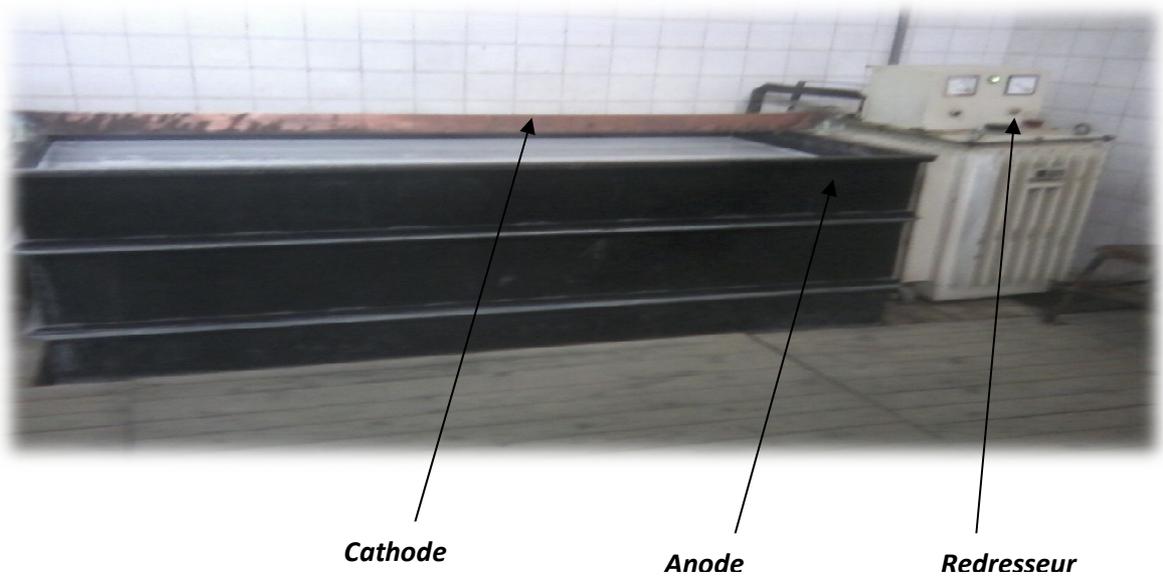
Chauffage: les cuves sont équipées d'un système de chauffage assuré par les thermoplongeurs avec une régulation thermostatique. Pour réduire l'échange d'énergie avec milieu extérieur on utilise les boules en plastique flottantes sur les surfaces du bain.

Agitation : se fait soit mécaniquement ou par air.

Filtration: se fait par une filtration continue sur le charbon actif est indispensable afin d'obtenir une couche de métal propre et lisse déposée sur l'article.

III. Types d'électrolytes utilisés dans la société SADF

1. Dégraissage



Bain de dégraissage

Ce bain sert à éliminer les graisses et les huiles présentes sur la surface des pièces. Toutes les pièces sans exception doivent être immergées dans ce bain. Le rôle de ces bains est primordial car il conditionne la qualité de traitement final.

Composition de bain

Déx : 66,67 g/l
 NaOH : 1,11 g/l
 AB 40 (savon) : 0,55 g/l
 L'eau minéralisée

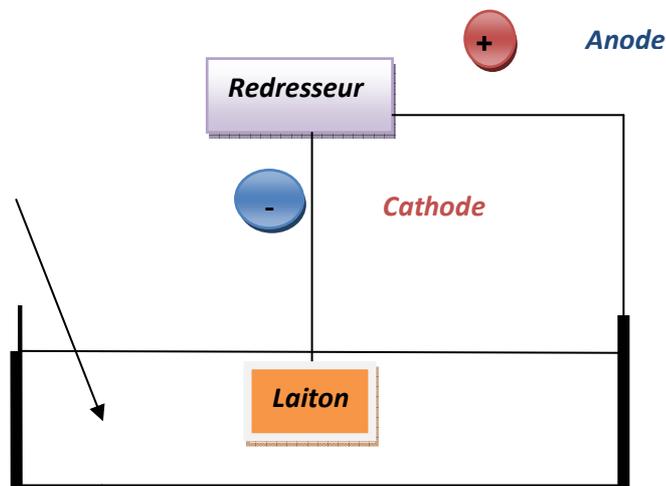


Schéma simplifié de bain de dégraissage

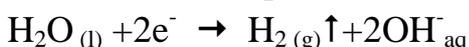
Le dégraissage a une double vocation:

- + d'une part, purifier l'interface métallique en éliminant les pollutions superficielles.
- + d'autre part, assurer la mouillabilité à l'eau de la surface et donc conférer au métal l'hydrophilidé requise pour les traitements ultérieurs

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

COMPOSITIONS	CONDITIONS
<ul style="list-style-type: none">✓ DEX✓ AB 40✓ Eau minéralisée✓ Cyanure de sodium et soude (NaOH)	<ul style="list-style-type: none">✓ Température ambiante✓ Le courant de 25 A/dm²✓ pH=12✓ degré boumé=17✓ temps de traitement= 5à10 min

Généralement la pièce à traiter est reliée 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 de saponification et émulsifiante.

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



Il y a deux types de dégraissage: chimique et électrochimique.

1-1) Le dégraissage chimique:

On utilise de produit chimique pour nettoyer l'aspect extérieur de la pièce. Ce dégraissage se fait par voie aqueuse ou semi aqueuse dont on note la présence des solutions alcalines, neutres, émulsionnable ...ce dégraissage met en jeu les réactions de saponification et les phénomènes tensioactifs.

Le choix des solutions de dégraissage n'était pas au hasard, une étude au préalable des agents de dégraissage est effectuée pour un fonctionnement efficace. Le 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 maintenir constant malgré la saponification des graisses, la neutralisation d'acides.
- ✓ Il doit être soluble et possède une tension superficielle faible, un bon pouvoir mouillant, émulsionnant, et dispersant.
- ✓ Il doit être stable et résistant aux températures d'utilisation.

- ✓ Il doit être insensible aux eaux dures et pour cela, il complexera ou inhibera les sels alcalino-terreux et notamment Mg^{2+} et Ca^{2+} de la dureté.
- ✓ facile au rinçage après l'opération de nettoyage en éliminant la combinaison "souillure détergent" pour laisser un film résiduel d'eau.

La matière première idéale qui possède toutes ces qualités n'existe pas, il faut donc associer différents produits de base afin d'obtenir un produit satisfaisant.

Le principe de dégraissage chimique: les pièces sont immergées d'un produit dégraissant dont l'action repose sur les paramètres suivants:

- une température élevée qui permet de fluidifier les huiles.
- Une base minérale alcaline capable de transformer les graisses et huiles en savon solubles dans l'eau.
- Des tensio-actifs organiques complexes qui permettent de décoller et empêcher la déposition des corps gras sur la surface du métal.

Donc cette méthode repose sur trois actions: le dissoudre le solubiliser et le décoller et le empêcher de se déposer.

- ✚ La dissolution: la base minérale attaque les graisses et les transforme en savon.
- ✚ Le décollement: le mouillant se glisse entre le métal et la graisse.
- ✚ Emulsifiations: les tensio-actifs (AB40 ou bien phosphate tri sodique, DEX ou presol utilisés à la SADF) vont fractionner les particules de graisses instables pour qu'elles se dispersent en gouttes de très petite taille qui deviennent finalement stable et facile à rincer.

On utilise comme produit de dégraissage la soude caustique ou hydroxyde de sodium, les phosphates alcalins et notamment phosphate tri sodique (Na_3PO_4) le carbonate de sodium (Na_2CO_3) et d'autres produits commerciaux.

Propriétés chimiques de la soude:

La soude est une alcaline puissante qui neutralise tous les acides en donnant des sels de sodium selon la réaction suivante:



C'est la matière première la plus utilisée pour apporter de l'alcalinité ou causticité. Par elle-même, elle ne possède pas de propriété mais elle apporte une réserve d'alcalinité permettant la neutralisation des acides gras d'origine animale ou végétale.



TG: Triglycéride

Mouillance	Pas d'abaissement de la tension superficielle
Emulsion	Pas d'action directe mais favorise l'action des agents émulsifiant
Dissolution	Hydrolyse de matière organique, très efficace grâce à son alcalinité
Saponification	Excellente, surtout à haute température
Dispersion	Pas d'effet
Anti ré-déposition	Pas d'effet

tableau1: propriétés détergents de la soude

Le carbonate de sodium:

Le carbonate de soude se dissout mal dans l'eau froide parce qu'il se prend immédiatement en grumeaux par formation des cristaux de soude au contact de l'eau. La solubilité maximale est obtenue à des températures comprises entre 31°C et 35°C. C'est un alcalin moyen il neutralise tous les acides en donnant des sels de sodium et en dégagement du gaz carbonique. L'alcalinité est plus faible que celle par la soude, mais elle reste stable. En effet en solution, la soude a tendance à se transformer en carbonate de soude. Elles sont des propriétés tel que:

- ❖ faiblement hygroscopique, il absorbe, à la longue, l'humidité et se transforme en $\text{Na}_2\text{CO}_3, 1 \text{H}_2\text{O}$ qui durcir.
- ❖ L'hydrolyse de la matière organique est beaucoup plus faible qu'avec la soude.
- ❖ Il est facile au rinçage.

Mouillance	Pas d'abaissement de la tension superficielle
Emulsion	Pas d'action directe mais favorise cette action
Dissolution	pas Hydrolyse de matière organique, faible par manque alcalinité
Saponification	De la matière grasse moins rapide qu'avec la soude
Dispersion	Pas d'effet
Anti ré-déposition	Favorise la précipitation de la dureté carbonatée

Tableau 2: propriété détergentes de carbonate de sodium

Il est utilisé comme détergents industriels d'une part pour son alcalinité, et d'autre part comme électro- charge pour fixer la partie liquide du détergent poudreux.

L'utilisation des tous ces produits n'est pas suffisante, les expériences montrent que l'ajout des agents tensioactifs tels que le savon, donne une action remarquable sur l'efficacité du dégraissage.

Propriétés tensioactifs des savons

Soit une surface métallique encrassée par des gouttes d'huile ou de graisse plongée dans un liquide de nettoyage (savon, autres tensioactifs, NaOH..). Une tension s'exerce entre deux phases par les forces d'hydratation et de solvation des deux solvants (les molécules organique hydrophobes solvates la goutte d'huile et l'eau hydrate les molécules polaire hydrophiles..). Les tensioactifs présentent dans leurs structures organiques deux parties principales: une tête hydrophile, une queue hydrophobe.

1-2) Le dégraissage électrochimique

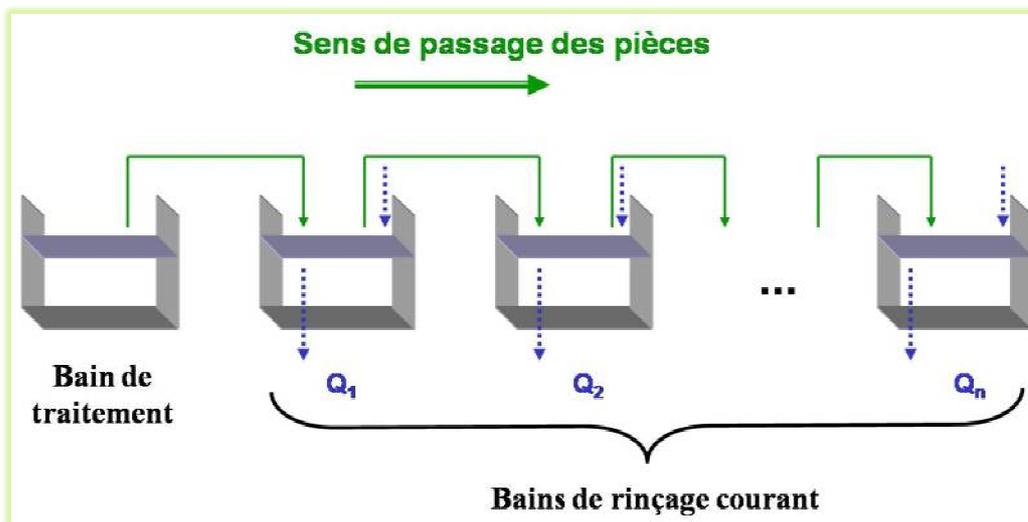
Le principe de dégraissage électrochimique est le même que le dégraissage chimique. On utilise les mêmes produits mais on impose une densité de courant constante par un générateur de courant continu, à la solution par des électrodes.

Dans le SADF tout le bain est utilisé comme anode de fer 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.

L'objectif du nettoyage électrochimique est d'enlever toutes les huiles en surface et d'activer la surface du métal. L'activation est habituellement obtenue en employant le nettoyage électrochimique en courant inversé (anodique). Le dégagement d'oxygène élimine toute trace d'huile en surface du métal et évite aussi toute ré-déposition de particules métalliques. Une immersion en acide minéral le procédé de dégraissage électrochimique de façon à neutraliser le film alcalin de la surface en métal.

2.) Bains de rinçage

Les opérations de rinçage 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

3. Cuivrage:

C'est une opération de revêtement de la surface des pièces par de cuivre. Le dépôt électrolytique de cuivre qu'il soit brillants ou mats, ont des utilisations décoratives ou techniques.

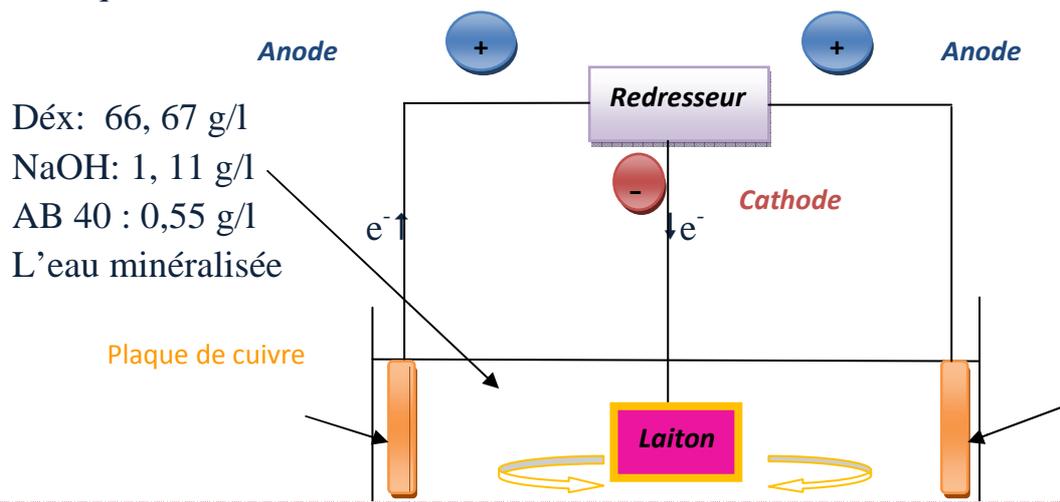


Schéma simplifié de bain de cuivrage

En raison de sa couleur (métal rouge) de la facilité de son polissage et des patines possibles, le cuivre devient un revêtement attrayant.

Il existe deux procédés de cuivrage. Leur composition et rendement sont différents.

3-1) Cuivrage en solution de sels complexes (cuivrage en solution alcalines)



Plaque de cuivre

Pièce traitée reliée à la cathode

Dans les bains de cuivrage alcalins cyanurés, le cuivre se trouve sous forme monovalente Cu^+ , alors que dans les électrolytes acides, le cuivre est à l'état divalent Cu^{2+} .

Le cyanure libre est indispensable pour la stabilité de l'électrolyte, pour réduire la polarisation anodique et éviter le dépôt de cuivre par déplacement.

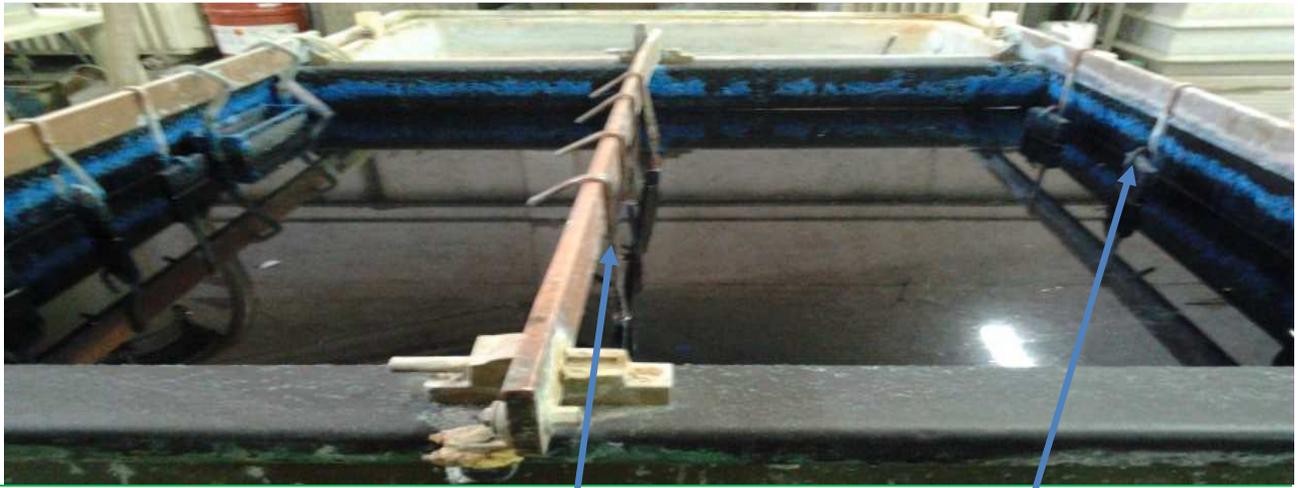
Le rapport cyanure cuivreux et cyanure libre influence sur le rendement cathodique des bains de cuivrage cyanurés. Le rendement cathodique baisse pour des teneurs en cyanure libre croissant, alors qu'il croît avec la teneur en cyanure de cuivre.

Les bains de cuivrage cyanurés sont essentiellement de trois types:

- ⚡ Cuivrage cyanuré ordinaire ou pré-cuivrage à bas rendement
- ⚡ cuivrage cyanuré au sel de seignette, de rendement intermédiaire
- ⚡ cuivrage cyanuré à haute teneur en cuivre et haut rendement

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

3-2) Cuivrage en solution de sels simples (cuivrage en solutions acides)



Plaque à traité relie à la cathode

Plaque de cuivre avec proportion de phosphore

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 qui joue le rôle de catalyseur dans les réactions électrolytiques.

Ces solutions sont désormais le choix habituel pour le cuivrage. Grâce à leur excellent pouvoir nivelant, les électrolytes de cuivrage acide à base de sulfate de cuivre et d'acide sulfurique sont utilisés pour supprimer l'étape de polissage avant le nickelage brillant et le cuivrage sur les structures de meuble, les éléments de salle de bains, la tréfilerie, l'acide sulfurique est indispensable pour la qualité du dépôt: il accroît la conductivité de l'électrolyte et réduit la polarisation d'électrodes.

L'anode et la cathode donnent en effet lieu à des réactions symétriques:



Cette réaction réglée quantitativement par la loi de Faraday qui donne une équivalence de $0.221 \mu\text{m}/\text{min}$ par A/dm^2 et pour 100% de rendement.

Masse volumique (g/mol)	8.9 à 8.95
Masse atomique (g/cm ³)	63.54
Température de fusion °C	1083
Coefficient de dilatation (K ⁻¹)	$16.5 \cdot 10^{-6}$
Résistivité électrique à 20 °C	1.72 (1.6 pour Ag)
Résistance à la rupture (MPa)	220
Limite d'élasticité (MPa)	50
Allongement (%)	40
Dureté Vickers (Cu recuit) (HV)	50

Tableau3 : principales caractéristiques physiques et mécaniques du cuivre

Les bains sont stables mais leur concentration peut s'accroître en cuivre dissous du fait d'une différence entre rendement anodique et rendement cathodique.

L'augmentation de la température accroît la conductivité et la polarisation anodique et cathodique.

La teneur en sulfate de cuivre peut être suivie par mesure de la masse volumique ou mieux par méthode analytique; l'acidité par pH-mètre. Les teneurs en agents d'addition sont habituellement contrôlées empiriquement, par l'aspect de dépôt de cuivre effectué en cellule par exemple. Ces agents d'addition ont pour fonction d'affiner le grain, d'accroître le nivellement la dureté la brillance du dépôt de cuivre et la densité de courant limite.

On utilise le milieu acide pour déposer une grande quantité de cuivre sur les articles, et le milieu basique pour des faibles dépôts.

4) Nickelage:



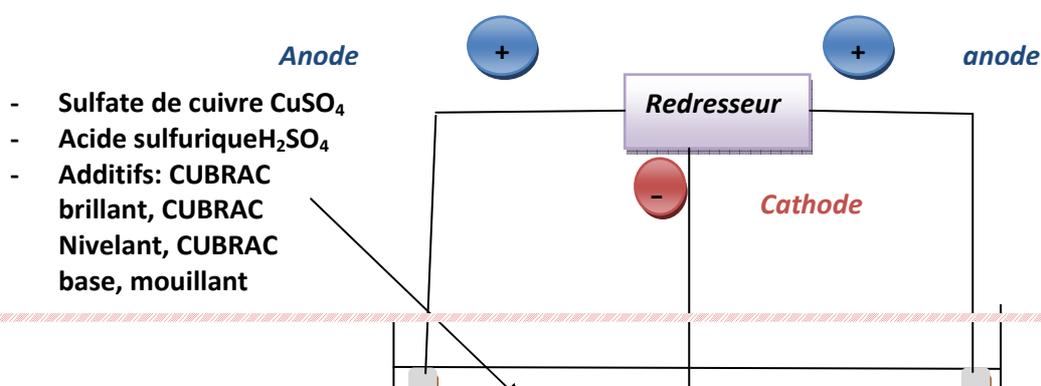
Plaque de nickel dans le sac de thermovyl

Thermoplongeur

Pièce a traité

Poule en plastique

Pour réaliser en générale le 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 présente une bonne tenue à l'oxydation atmosphérique et à la vapeur d'eau.



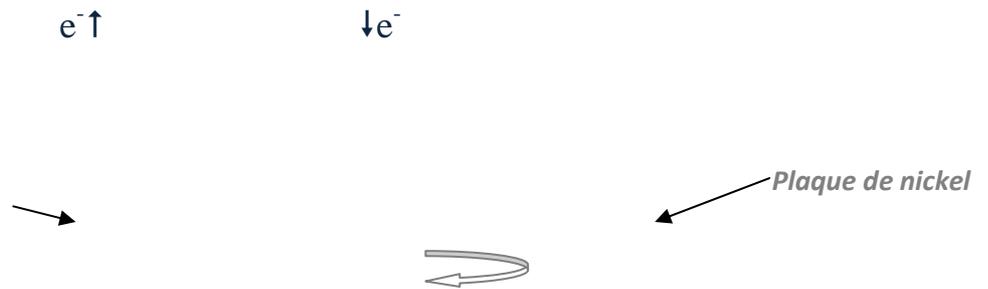


Schéma simplifié de bain de nickelage

L'anode utilisée se forme de plaque du nickel électrolytique de pureté 99.2%, dans des paniers en titane. En général, la surface anodique doit être au moins le double de la surface cathodique. Ensachage des paniers dans des sacs en thermovyl.

Les dépôts électrolytiques de nickel, réalisés par électrolyse de solution aqueuses de différents types de sels suivent l'application envisagée et les caractéristiques des dépôts que l'on cherche à produire, représentent une activité industrielle importante: la consommation de nickel électrolytique est largement supérieure à la consommation des autres métaux classiquement utilisés industriellement pour les autres types de revêtements électrolytiques tels que le cuivre le chrome .

Le nickel est présent dans l'électrolyte sous forme d'ions nickel et sa teneur détermine les densités de courant maximum admissibles. Sa concentration se maintient par dissolution anodique et par addition de sels de nickel.

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

L'acide borique joue un rôle de tampon du pH, il limite le dégagement d'hydrogène à la cathode et contribue à l'amélioration de la ductilité des dépôts, sa teneur ne devrait pas descendre en dessous de 40g/l

4-1) Nickelage électrochimique:

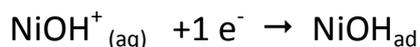
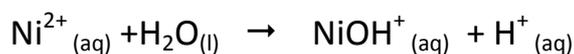
Le dépôt de nickel s'effectue par électrolyse de solution de sels de nickel (sulfate, chlorure, sulfamate, fluo borate) à pH acide (4.2 à 4.8), à des températures de l'ordre

de 60 à 70°C et à des densités de courant variant de 3 à 5 A/dm² les anodes sont en nickel: leur dissolution assure un apport constant en cation.

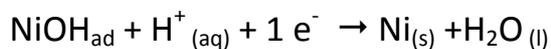
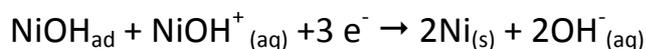
Le nickelage est effectuée en fixant les pièces à traiter sur la barre cathodique. L'anode est constituée d'une grosse plaque de nickel pur pour compenser les pertes des ions de Ni²⁺ déposés. L'agitation mécanique des articles, une filtration s'effectue en continu de l'électrolyte sur le charbon actif.

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 du temps d'immersion.

En pratique pour le bain le plus classique de sulfate de nickel le dépôt électrolytique de nickel conditionné a la formation de hydroxyde de nickel adsorbé à la cathode selon les réactions suivantes :



Il existe deux mécanismes sont proposés quand à la formation de nickel métallique:



Étant donné que le dépôt de nickel s'accompagne de la réduction de protons.

Il sera nécessaire de contrôler le pH si l'on ne veut pas avoir une augmentation trop importante de ce dernier qui entraînerait la précipitation d'hydroxyde de nickel Ni(OH)₂

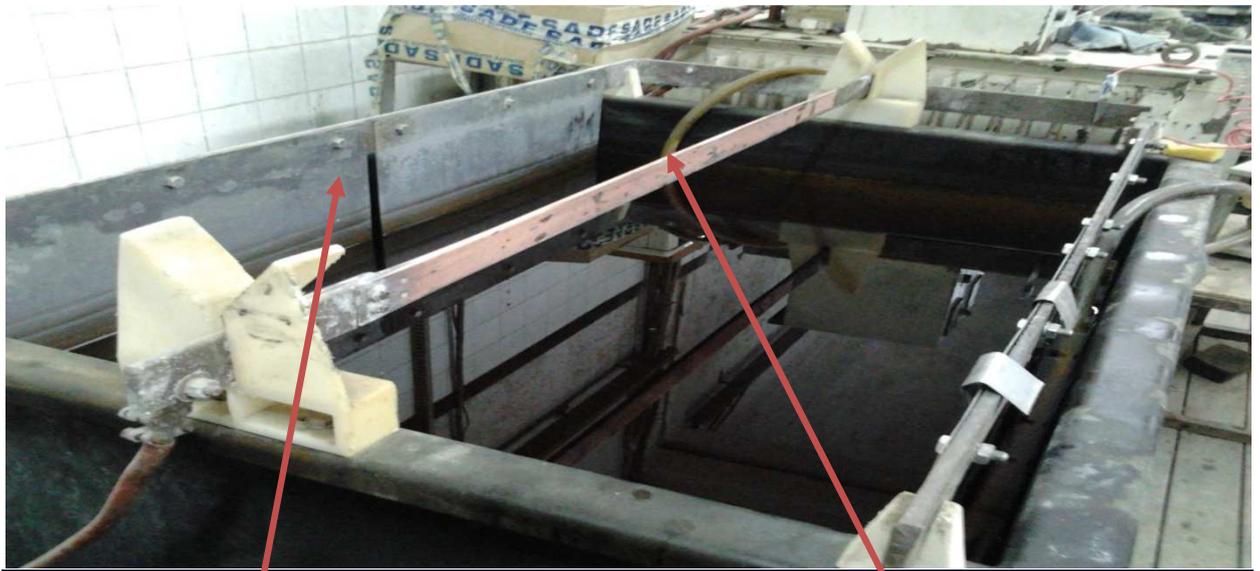
Isotopes stables	58Ni (68.3%); 60Ni (26.1%) ; 62Ni (3.6%); 64Ni (0.9%)
Masse volumique	8.9g/cm ³ (dépôt électrolytiques: variant de 8.85 à 8.93)
Température de fusion	1455° C
Coefficient de dilatation	13.6 10 ⁻⁶ (°C) ⁻¹ à 20 °C
Conductivité thermique	74 à 95 W/m.K
Résistivité électrique	6.85μΩ. Cm (de 6.8 à 11.5 pour le dépôt électrolytique)
Résistance à la rupture Rm	>350 MPa
Limite d'élasticité Re	150MPa
Cristallisation	Cubique faces centrées (a ₀ =0.3524 nm)
Température de curie	359° C
Champ coercitif	280 à 400 A/m (Fer: 50 à 80 A/m)

--	--

Tableau 4: principales caractéristiques physiques et mécaniques du nickel

Si le pH diminue, on ajoute l'acide sulfurique ou bien l'acide borique .ce dernier réduit le pH et blanchisse du nickel.

5) Pré argenture:



Plaque d'inox

Pièce à traité relie à la cathode

Pour éviter le déplacement de l'argent sur les objets à traiter, en particulier sur les métaux cuivreux, on utilise un bain d'argenture à faible teneur en argent et forte teneur en cyanure libre. Les couches obtenues par déplacement sont en effet peu

adhérentes et parfois pulvérulentes .cette étape est fait aussi par dépôt chimique qu'électrolytique.

Composition du bain	Condition opératoires
Cyanure d'argent (2 à 3g/l) Cyanure de potassium (90 à 110 g/l) Anode d'acier inox Eau déminéralisée	Température: Ambiante Temps de traitement: 10 à 15 s pH=11 Degré baumé : 14° Densité de courant: 4 à5 A/dm ² Filtration par charbon actif Agitation mécanique

A l'anode:



A la cathode:



6) Argenture:



Plaque d'argent

Pièce à traité relie à la cathode

L'argenture de coutellerie et de la vaisselle creuse est l'une des plus anciennes applications décoratives du dépôt électrolytique. Les dépôts d'argent brillant sont largement utilisés en joaillerie ainsi que pour les ornements, les trophées, les cadeaux, etc. Grâce à leur conductivité élevée et leurs propriétés mécaniques et chimiques, les couches d'argent sont utilisées sur de nombreux composants de dispositifs électriques et électroniques. L'utilisation de couches d'argent-palladium augmente également depuis peu en tant que substitut à l'or sur des connecteurs électriques. La plus grande partie des électrolytes d'argent sont à base de cyanure d'argent et de potassium (dicyanoargentate de potassium). Les teneurs en argent de 30 à 65 g/l et en cyanure de potassium de 100 à 160 g/l et en carbonate de potassium (15 à 20 g/l) sont nécessaires pour obtenir de bonnes performances de dorure. Cependant, une concentration en carbonate de potassium supérieur à 200 g/l entraîné l'obligation du rejet des électrolytes. Des tentatives destinées à remplacer le cyanure, par exemple par du thiosulfate et des agents complexants alternatifs, n'ont eu qu'un succès limité ; en effet, le bain était moins stable, plus coûteux, et les revêtements ont présenté des différences d'aspect.

L'argent est déposé essentiellement sous forme d'argent pur. Bien que des alliages électrolytiques aient été étudiés, ils restent pour le moment essentiellement au niveau du laboratoire. Par contre, peuvent contenir des additions minérales, principalement d'antimoine et de silicium, dont l'objet est d'améliorer la dureté du dépôt et de participer au brillantage.

Numéro atomique	47
Isotope stables	107Ag; 109Ag
Masse volumique	10.5 (kg/dm ³)
Température de fusion	961.9 °C
Conductivité thermique	420 W/m. K
Résistivité électrique	1.59μΩ .cm
Coefficient de dilatation	18.9 (10 ⁻⁶ K ⁻¹)
Cristallisation	Cubique faces centrées (a ₀ =0.40772nm)
Dureté de revêtement électrique	65 à 130 (HV)

Tableau 5 : principales caractéristiques physique et mécaniques de l'argent

Les principaux bains utilisés sont très alcalins, à base de cyanure double d'argent et de potassium $\text{KAg}(\text{CN})_2$.

Les sels de potassium apportent une meilleure conductivité électrique et permettent donc d'utiliser des densités de courant plus élevées sans brûler 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 le grain et en donnant une meilleure répartition.

Composition	Bain de base	Bain brillant
Argent se forme $\text{KAg}(\text{CN})_2$ g	20 à 40	30 à 45
KCN (g/l)	50 à 150	85 à 115
Carbonate K_2CO_3 (g/l)	10 à 25	20 à 90
Additives	-	Brillanteurs
Température (° C)	20 à 30	20
Ph	11.5 à 12	>12
Densité de courant (A/dm^2)	0.5 à 2	0.5 à 2
anode	Soluble, argent >99.95%	Soluble, argent >99.95%

Tableau 6: composition type des bains d'argentage décoratifs

Vitesse de déposition:

Les conditions et la vitesse de déposition de l'argent affichés dans le tableau suivent:

Épaisseur Déposée En microns	Densité de courant en A/dm^2			
	0.5	1	1.4	2
1	3min 5s	1min 34s	68s	47s
2.5	8min	4min	3min	2min
5	15min 45s	8min	5min 45s	4min
10	31min 45s	16min	11min 15s	8min
15	47min 15s	23min 45s	17min	11min 45s
20	63min	31min 30s	22min 30s	15min 45s

Tableau 7 : vitesse de déposition de l'argent

Aréomètre Baumé

Baumé a conçu un appareil dont la graduation en degré baumé est arbitraire mais permet de mesurer la concentration de l'un porte quelle solution avec le même appareil.

Ces appareils sont gradués à une température, il est nécessaire de faire une correction car le poids que le volume de l'aréomètre. Des tables de correction de température accompagne ces appareilles.

Chapitre 4: application de traitement de surface sur les plaques de laiton

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 de l'optimiser pour s'approcher le plus près possible 100%. Les pertes de rendement peuvent avoir divers origines: réaction parasites, pertes lors des diverses étapes des synthèses (filtration...)

Pour pouvoir calculer le rendement, on a traité une plaque de laiton de 0.36 dm^2 de surface chaque bain de traitement.

En applique la deuxième loi de faraday, on calcule la masse théorique qu'il faut s'appliquer dans chaque bain en utilisant les conditions opératoires mentionnées dans les tableaux:

Deux facteurs à déterminer lors du revêtement d'un support : la masse et le rendement.

La masse expérimentale :

$$m_{(\text{exp})} = m (\text{après dépôt}) - m (\text{avant dépôt})$$

La masse théorique :

La quantité d'électricité est donnée par la loi de FARADAY:

$$Q = n F m / M$$

Or:

$$Q = \int_0^t Idt = I t$$

$$I t = n F m / M$$

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

Avec:

m_(th) : masse déposée théoriquement (g)

I : intensité de courant (A)

t : temps d'immersion (s)

M : masse molaire du métal déposée (g/mol)

n : nombre des électrons mis en jeu dans la réaction

F : constante de FARADAY.

Le rendement :

$$R = m_{(\text{exp})} / m_{(\text{th})} * 100$$

1) Dépôt de Cuivre alcaline:

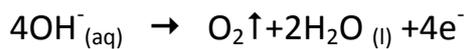
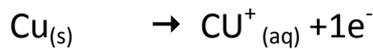
Les compositions de bain et les conditions de travail est le suivant :

Composition de bains	Condition de travail (normalisée)	Condition de travail (pratique)
<ul style="list-style-type: none">✓ Cyanure de cuivre✓ Cyanure de sodium✓ ULTINAL brillanteur✓ ULTINAL base✓ Soude caustique	<ul style="list-style-type: none">• Température 35⁰c à 40⁰c• pH=11• Temps d'immersion 2à5min• J=5à10A/dm²• Baume est de 14	J=5A/0.36dm ² Temps d'immersion =10min

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sel n°11 et n°2 ✓ anodes en cuivre ensachées en paniers 	<ul style="list-style-type: none"> • filtration par charbon actif 	
--	--	--

Les réactions se fait dans se bain est un :

A l'anode:



A la cathode:



2) Le dépôt de cuivre acide

La composition et condition de travaille sont élaborées dans le tableau:

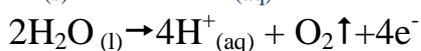
Composition de bain	Conditions de travaille norma	Conditions de travaille pratique
<ul style="list-style-type: none"> • Sulfate de cuivre CuSO_4 (50à60g/l) • Acide sulfurique H_2SO_4 (50à60g/l) • Anode plaque de cuivre Contenant une portion de Phosphore • Additifs: CUBRAC brillant, CUBRAC Nivelant, CUBRAC base, mouillant 	$J=0.5\text{A}/\text{dm}^2$ $t=15\text{à}20 \text{ min}$ $T=15\text{à}25^\circ\text{C}$ (ambiante) $\text{pH}=1.8\text{à}2.4$ degré baumé= 19à25 filtration par charbon actif agitation à air	$J=5\text{A}/0.36\text{dm}^2$ Temps d'immersion=15min

Les réactions se trouvent dans ce bain:

A la cathode:



A l'anode:



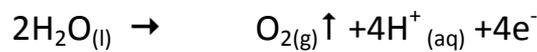
3) le dépôt de nickelage

Les compositions et les conditions de travaille dans le bain de nickelage:

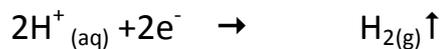
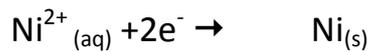
Composition de bain	Condition de travail (normale)
<ul style="list-style-type: none"> ✓ sulfate de nickel NiSO₄ (280à320 g/l) ✓ chlorure de nickel NiCl₂ (60g/l) ✓ acide borique H₃BO₄ (45à55g/l) ✓ additifs:- fixateur, -brillanteur: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Brillanteur Niamond 101 E ▪ Brinil 55S ▪ Brinil 44 - mouillant,- nivelant,-purificateur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ J_c= 3à5A/dm² ▪ J_a=1.5 à 2.5 A/dm² ▪ T=60 à 70°C ▪ pH=4.2à4.8 ▪ t=10à15min ▪ Baumé=26à30° ▪ Filtration par charbon actif ▪ Agitation mécanique

Les réactions se trouvent dans ce bain:

A l'anode:



A la cathode:

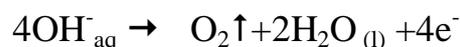


4) dépôt de l'argent:

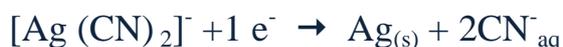
Les conditions et les compositions de travaille dans le bain de l'argent:

Composition du bain	Condition opératoires (normale)	Condition pratique
-cyanure double d'argent et de potassium KAg(CN) ₂ -Additifs: SELVRIUM brillanteur, SELVRIUM base, EPURATEUR d'arg R ₁ , EBURATEUR d'argent R ₂ -Eau déminéralisée -Anodes d'argent+Anodes d'acier inox	-T= ambiante -temps de traitement: 5à10 min -pH: 12 Degré baumé: 26à32° Densité de courant: 1.5à5 A/dm ² -Filtration par charbon actif -Agitation mécanique	J=0.13A/0.36dm ² Temps=12min

A l'anode:



A la cathode:





Rendement: Les différents rendements sont tracés dans le tableau suivant:

traitement	Masse de la plaque avant dépôt (g)	Masse de la plaque après dépôt (exp)	Masse théorique (g)	Rendement %
Cuivrage alcalin	8.9	8.98	$= \frac{5 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 63.5}{1 \cdot 96500}$ =1.974	4.052
Cuivrage acide	8.9	9.3	$= \frac{5 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 63.5}{2 \cdot 96500}$ =1.480	20.27
nickelage	8.8	9.18	$= \frac{4 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 58.7}{2 \cdot 96500}$ =1.095	34.703
argenture	8.8	8.92	$= \frac{0.2 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 107.9}{1 \cdot 96500}$ =0.161	74.534

Cas de traitement de surface de nickel avec changement des paramètres qui influence sur le dépôt électrolytique :

traitement	m_{ex} avant dépôt (g)	M_{ex} après dépôt (g)	Masse théorique (g)	T °C	I	Rendement %
Nickelage N°1	9	9.38	$= \frac{4 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 58.7}{2 \cdot 96500}$	58°C	4 A	34.703

			=1.095			
Nickelage N°1	8.4	8.67	$\frac{=4*10*60*58.7}{2*96500}$ =0.73	58°C	4 A	36.986
Nickelage N°1	8.7	9.14	$\frac{=4*15*60*58.7}{2*96500}$ =1.095	65°C	4 A	40.182
Nickelage N°1	8.3	9.76	$\frac{=8*15*60*58.7}{2*96500}$ =2.19	65°C	8 A	66.666

On observe que le dépôt de cuivre dans le milieu acide est plus fort que le milieu basique, est le meilleur dépôt s'effectué dans le bain d'argenture.

L'augmentation de température et la densité de courant il faut augmenter le rendement électrolytique.

Dans le cas se trouve le bain est froid est le nécessaire de diminution la densité de courant et augmentation le temps de traitement, mais dans le cas de la densité de courant est fort et le bain est froid les pièces il faut brûler.

Conclusion

Ce stage réalisé est une expérience positive et de découvrir l'électrolyse sur le plan industriel ainsi que la réalité de l'entreprise.

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.

Notre étude expérimentale nous a permis d'éclaircir chaque étape de procédé adoptée par la SADF.

Références bibliographie

→ [http:// www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

→ <http://DEGRAISSAGE ELECTROCHIMIQUE.ppt>

→ [http://www. 5_traitements.pdf](http://www.5_traitements.pdf)

→ <http://www.cuivrage.com>

http://www.cuivre.org/contenu/does/doe/pdf/metallurgie/03_laitons.pdf

Mr. Khammar CHNOUNIE: le responsable du traitement de la surface à la société SADF.