



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. AMJOUEL Abdellatif**

Encadré par :

◆ **Pr. TOUZANI Hanane** (FST – Fès)

◆ **Mr. CHNOUNI Khammar** (SADF)

Soutenu Le 09 Juin 2016 devant le jury composé de:

- **Pr. TOUZANI Hanane**
- **Pr. CHAKROUNE Said**
- **Pr. ALILOU El-houssine**

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>

Remerciements

Au terme de ce travail de fin d'étude, Je remercie dans un premier temps toute l'équipe pédagogique de la faculté des sciences et techniques de Fès (**FST**) et spécialement les professeurs et les responsables de la formation Techniques d'analyses et contrôle de qualité. Mes remerciements vont à **Mr Abderafié TAHIRI** 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 remercier aussi **Mr CHNOUNI khammar** mon encadrant du stage.

J'aimerais témoigner et remercier particulièrement **Pr. TOUZANI Hanane** d'avoir m'encadrer dans ce projet de fin d'étude, et me guider tout au long du déroulement de ce stage. Je la remercie pour tous les efforts et les orientations qu'elle 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. ALILOU El-houssine Pr. CHAKROUNE Saïd** et **Mr CHNOUNI khammar** d'avoir accepté de juger ce travail.

Mes remerciements à tous ceux et celles qui m'ont aidés à titres divers, à achever ce rapport de stage.

Liste des figures, des photos et des tableaux :

FIGURES	PAGE
Figure 1 : organigramme de la société SADP	6
Figure 2 : Etapes de traitement électrolytique	12
Figure 3 : Différents types des traitements de surface	14
Figure 4 : types de dépôt par voie humide	15
Figure 5 : Secteurs industriels utilisateurs de traitement de surface	15
Figure 6 : Fonctionnalités des traitements de surface	16
Figure 7 : Mécanisme d'électrolyse	17
Figure 8 : Mécanisme de saponification	21
Figure 9 : mécanisme de détergent	22

PHOTOS	PAGE
photo1 : Le laiton	7
Photo 2 : Découpage manuel	8
Photo 3 : Découpage électrique	8
Photo4 : Machine de gravure électrique	9
Photo 5 : Les chutes de laiton	10
photo 6 : Fente des chutes de laiton	10
Photo 7 : Moules	10
Photo 8 : Soudure en étain	10
Photo 9 : Redresseur	18
Photo 10 : thermomètre du bain de nickel	18
Photo 11 : L'aréomètre	19
Photo 12 : Bain d'électrolyse	19
Photo 13 : Bain de dégraissage	23
Photo 14 : bains de rinçage	23
Photo 15 : Bain de cuivre alcalin	25
Photo 16 : Bain de cuivrage acide	26
Photo 17 : bain de nickel	28
Photo 18 : bain de pré-argenture	29

TABLEAU	PAGE
Tableau 1 : Composition et conditions opératoire du bain	22
Tableau 2 : Les principaux rôles des produits chimiques	22
Tableau 3 : Conditions et composition du bain de cuivrage alcalin	24
Tableau 4 : composition et conditions opératoires du bain	26
Tableau 5 : composition et conditions opératoires du bain de nickel	27
Tableau 6 : composition et conditions opératoires du bain de préargenture	28
Tableau 7 : conditions et composition du bain d'argent	29
Tableau 8 : les résultats expérimental obtenus	34

Table des matières

INTRODUCTION.....	3
PARTIE 1 : Présentation et Procédé de fabrication de la société	4
A. Présentation de la société.....	5
1. Historique :	5
2. Production, produits et principaux clients :	5
3. Organigramme :.....	6
B. Procédé de fabrication des articles de décoration.....	7
I. La matière première	7
II. La chaîne de production :.....	8
1. Découpage :.....	8
2. Gravure :.....	9
3. Repoussage :.....	9
4. Fonderies :.....	9
5. Limage :	10
6. Soudure :	10
7. Décapage	11
8. Polissage :.....	11
9. Finition :.....	11
10. Traitement de surface	11
11. Emballage :	12
PARTIE 2 : Traitement de surface par voie électrolytique	13
A. Traitement des surfaces des métaux	14
I. Généralité	14
1. Définition et types :.....	14
2. Secteurs et fonctionnalités.....	15
II. Le dépôt électrolytique.....	16
1. Définition, Principe et mécanisme :	16
2. Equipements et instruments utilisés pour réaliser un dépôt électrolytique	17
3. But et domaines d'applications.....	20
B. Différentes Types Des Bains utilisés par SADF	20
1. La préparation des surfaces : une étape incontournable	20
2. Rinçage	23
3. Cuivrage :.....	24

4. Nickelage	27
5. Pré-argenture	28
6. Argenture.....	29
7. Séchage :.....	30
C. Applications.....	31
I. Principaux problématiques rencontré lors de l'électrolyse :.....	31
II. Paramètres influençant le dépôt électrolytique :.....	31
III. Rendement électrolytique :	33
CONCLUSION	35
BIBLIOGRAPHIE	36

INTRODUCTION

Les traitements de surface des alliages métalliques ont pour effet de modifier l'apparence d'une surface (décoration, amélioration de l'aspect) ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données telles que la résistance à la corrosion et à l'oxydation et bien d'autres propriétés physiques et chimiques.

La société SADF intègre dans son processus de fabrication des procédés de traitement de surface semi-modernes par électrolyse qui restent une étape primordiale dans le processus de fabrication des articles. La maîtrise de ce processus est un point clé pour SADF afin de garantir des produits de qualité, sûrs et sains destinés à tous ces marchés nationaux et internationaux.

C'est dans ce contexte que vient mon étude effectuée lors de ce stage dans SADF. Ce rapport présentera les objectifs scientifiques et techniques, méthodes opérationnelles et économique du stage réalisé à la société des artisans dinandiers de Fès. Dans la première partie, j'ai décrit le procédé de fabrication des articles de décoration, la deuxième partie consiste à une étude du traitement de surface par voie électrolytique ce qui fera l'objet de ce rapport.

PARTIE 1

Présentation et Procédé de fabrication de la société



A. Présentation de la société

1. Historique :

La création de la Société des Artisans Dinandiers de Fes (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 permettrait 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 pur *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 lumineux, tables, miroirs, plateaux, théières, coffrets ou tout autre type de travaux selon modèle.

SADF a réussi de gagner la confiance des clients et d'imposer sa marque. En effet, SADF est parmi les sociétés qui honorent et représentent le produit artisanal marocain. Elle a donc participé remarquablement à plusieurs manifestations nationales et internationales. Cette participation a été couronnée par plusieurs titres d'honneur.

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.

2. Production, produits et principaux clients :

SADF adapte une stratégie qui consiste à offrir une large gamme de produits pour la satisfaction de 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 tous les clients sont considérés comme uniques pour la société.

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

- Clients nationaux : palais royaux, les hôtels, établissements étatiques...
- Clients internationaux : Émirat Arabie, Arabie Saoudite, foire de Hanover ...

3. 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% hommes

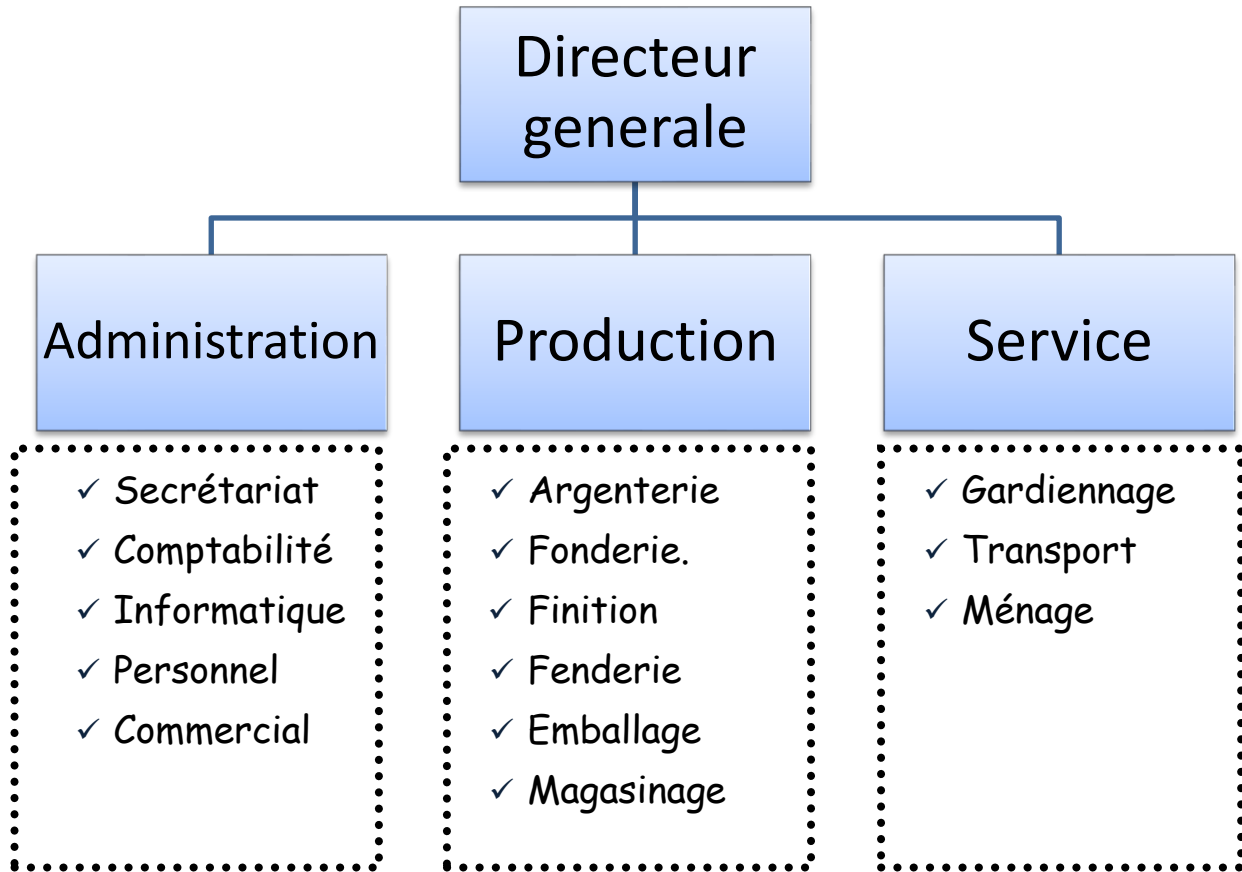


Figure 1 : organigramme de la société SADF

B. Procédé de fabrication des articles de décoration

Un **procédé de fabrication** est un ensemble de techniques visant l'obtention d'une pièce ou d'un objet par transformation de matière brute. Obtenir la pièce désirée nécessite parfois l'utilisation successive de différents procédés de fabrication, Ce procédé dépend étroitement de deux éléments à savoir :

- Matière première.
- La chaîne de production.

A la SADF et comme toute société le procédé de fabrication est l'un des principaux objectifs qu'il faut tenir compte lors de la production.

I. La matière première

Une matière première est un matériau, une denrée ou une substance intervenant dans la production des biens intermédiaires et de produits finis. Les matières premières sont souvent appelées « Commodities » transformées ou traitées pour être utilisées à différentes fins industrielles.

SADF utilise le laiton (photo1) comme leur matière première. Les laitons sont des alliages composés essentiellement de cuivre (60% à 70%) et de zinc (30% à 40%), aux proportions variables. Ils peuvent contenir d'autres éléments d'additions comme le cuivre, l'étain, le nickel, le chrome et le manganèse selon les propriétés visées et aussi dans le but d'améliorer la qualité. Le laiton, communément appelé «bronze», est connu et utilisé depuis la préhistoire.



photo1 : Le laiton

Le laiton est un alliage fréquemment utilisé par de nombreux domaines d'application du fait des nombreux avantages qu'il offre, parmi ses propriétés on trouve :

- Très bonne résistance à la corrosion et une ductibilité 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.
- Pas ou peu d'oxydation, couche protectrice.

II. La chaîne de production :

1. Découpage :

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



Photo 2 : Découpage manuel



Photo 3 : Découpage électrique

2. Gravure :

La gravure désigne un ensemble des techniques utilisées en art pour produire un dessin. S'effectue avec un appareil appelé « le burin », il s'agit d'une tige d'acier trempé affûté et fixée dans un mâche qui découpe nettement le métal et l'enlève sous forme de copeaux. La gravure repose sur la compétence des maîtres artisans qui exécutent des motifs décoratifs. On distingue trois types : Dessin traditionnel et Dessin moderne



Photo4 : Machine de gravure électrique « Burin »

3. Repoussage :

Le repoussage est le procédé de mise en forme de pièces produites à partir d'un disque de tôle. Ceci a pour but de fabriquer les articles sous formes géométriques voulues et désirées. On distingue deux types : Repoussage manuel et Repoussage automatique

4. Fonderies :

Les chutes de laiton provenant de différentes étapes de fabrication sont conduites aux fonderies, cette fabrication se déroule en trois étapes :

- i. Fabrication d'une moule appropriée et c'est à partir d'un sable particulier.
- ii. Fondage des chutes de laiton avec quelque gramme d'aluminium.
- iii. Moulage consiste à couler l'alliage fondu dans les moules ayant la forme pour fabriquer les pièces de forme souhaitées après refroidissement.



Photo 5 : Les chutes de laiton

photo 6 : Fente des chutes de laiton

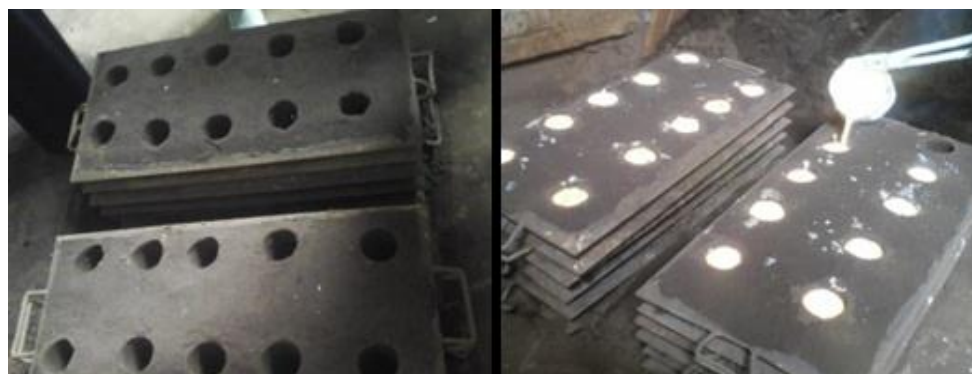


Photo 7 : Moules

5. Limage :

Le limage est l'enlèvement manuel ou mécanique des irrégularités provenant de fonderie et que nécessitent des corrections.

6. Soudure :

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



Photo 8 : Soudure en étain

7. Décapage

Le décapage est l'élimination de toutes traces d'impureté et les couches d'oxydes formées à la surface d'un article ou d'un objet. On distingue deux types de décapage :

- **Décapage chimique** : la surface de la pièce est attaquée par des acides forts et concentrés. Les acides utilisés sont : L'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide nitrique (HNO₃). C'est le type équipé par SADF.
- **Décapage électrochimique** : consiste à oxyder superficiellement la surface d'une pièce placée en anode et dans une solution de H₂SO₄ ou de H₃PO₃.

8. Polissage :

Le polissage a pour but de rendre les articles lisses et brillants par différents matériaux tournant à grande vitesse avec une pâte à polir.

9. Finition :

Une série de contrôle de qualité est effectuée pour avoir une bonne qualité de la pièce et de préparer cette dernière à l'étape suivant c'est-à-dire l'étape de traitement de surface.

- **Premier contrôle** : consiste à éliminer les parties mal soudées et les pièces qu'présent des rayures et trous.
- **Elimination des défauts** : cette étape permet de corriger tous les défauts de fabrication par soudage et polissage.
- **Deuxième contrôle** : ce contrôle est effectué par deux équipes (une pour les pièces plats l'autres pour les pièces bombées), qui éliminent toutes traces de soudure et les bordures mal définies.
- **Ravivage** : C'est un polissage secondaire qui donne un éclat de l'article et rend sa surface plus vive et par utilisation d'une pate rouge et des machines équipées de papier abrasif.

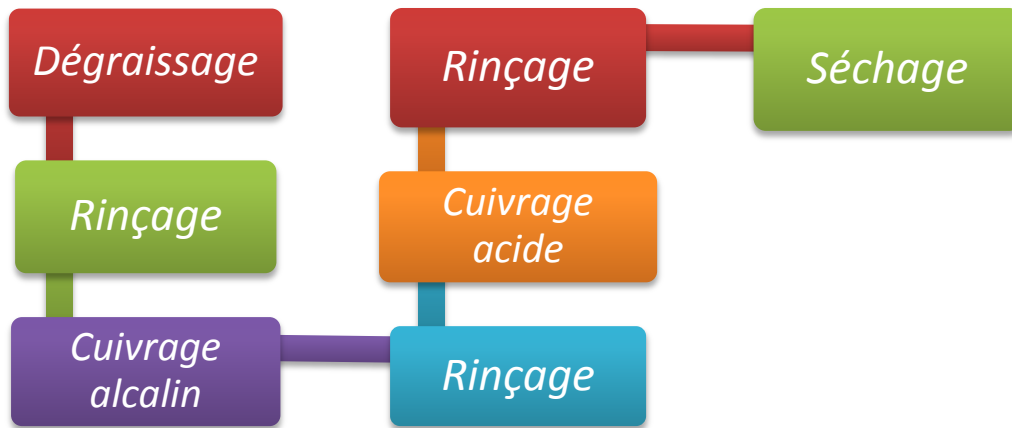
10. Traitement de surface

Le traitement de surface est basé sur le procédé de l'électrolyse. Il a pour but de modifier, transformer la surface de la pièce dans l'objectif de lui conférer de nouvelles propriétés par exemples, résistance à la corrosion, à l'usure ou modification de l'aspect apparent.

N.B : on va mieux parler de ces différents traitements dans la partie suivante.

La figure suivante représente différents voix de traitement de surface par voie électrolytique suivie par SADF :

1^{ère} voie :



2^{ème} voie :

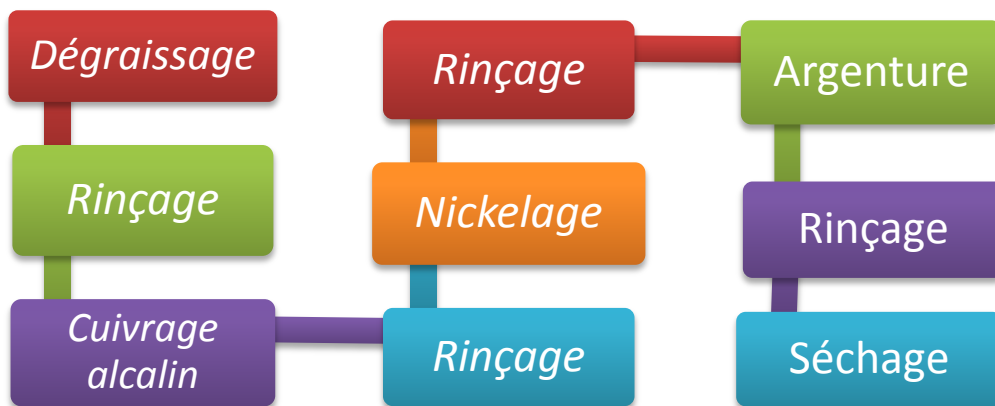


Figure 2 : Différents voies de traitement électrolytique

1. Emballage :

Au cours du stockage et du transport, les pièces métalliques peuvent être exposées au phénomène d'oxydation, aux chocs, aux poussières.... Donc l'emballage consiste à protéger les articles de différents dangers et aussi à préserver la qualité du produit.

Cette étape est réalisée par trois équipes :

- Equipe chargée de la fabrication de différents types d'emballages en respectant la forme de l'article.
- Equipe chargée de contrôler la qualité des articles avant son emballage. Dans le cas d'un défaut la pièce est retournée au service de production.
- Equipe chargée par l'emballage des articles, et assurer qu'il soit adéquat pour chacun des produits.

Conclusion : Chaque étape de production joue un rôle bien définie dans la chaine de production, et surement la qualité et l'aspect de produit final est un objet très important à atteindre pour SADP.

PARTIE 2

Traitement de surface par

Voie électrolytique

A. Traitement des surfaces des métaux

I. Généralité

1. Définition et types :

On peut définir par traitement de surface toute opération mécanique, chimique, électrochimique ou physique qui a pour conséquence de modifier l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données.

Famille et types de traitement de surface :

- **Revêtements** : le matériau d'apport ne réagit pas ou peu avec le substrat. On a deux types Les dépôts par voie sèche et les dépôts par voie humide
- **Les traitements de conversion** : le matériau d'apport réagit superficiellement avec le substrat
- **Les traitements thermochimiques de diffusion** : le matériau d'apport diffuse dans le substrat
- **Les traitements par transformation structurale** : la structure métallurgique du substrat est modifiée.

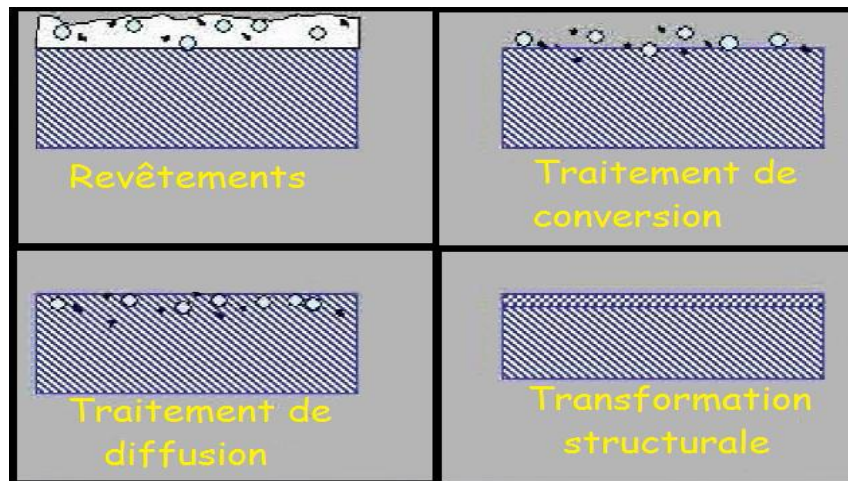


Figure 3 : Différents types des traitements de surface

Pour chaqu'un de ces types de traitement existe des sous types par exemple le revêtement ou dépôt par voie humide contient :

- **Dépôt électrolytique** : Un courant électrique (I) réduit le métal d'apport **A** (Sous forme ionique A^+ en solution) à la surface du substrat **S**.

- **Dépôt chimique** : Réduction chimique du métal d'apport **A** (Sous forme ionique A^+ en solution) dans un sel dissous **M** (sous forme ionique M^{n-}):
- **Dépôt par immersion dans un métal fondu** : Le substrat **S** est immergé dans le métal d'apport (**A**) fondu

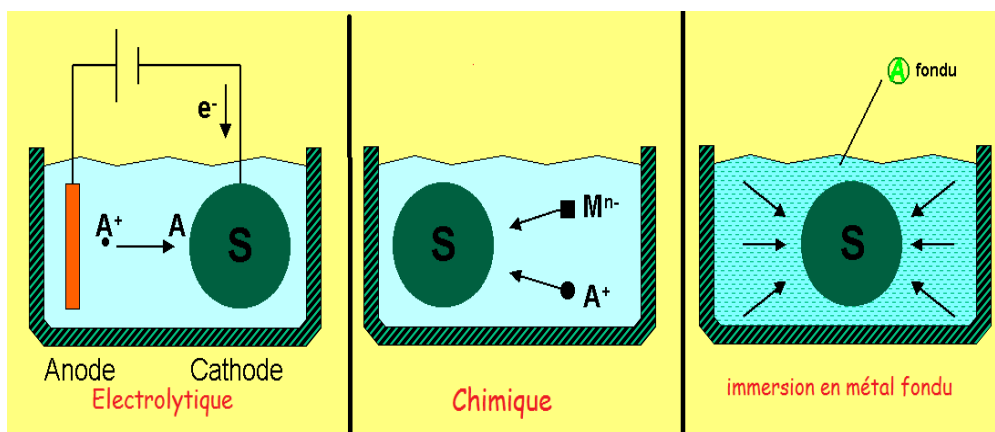


Figure 4 : types de dépôt par voie humide

2. Secteurs et fonctionnalités

Les opérations de traitements de surfaces sont effectuées de nos jours grâce à l'adaptation et l'efficacité de cette technique dans chacun des secteurs de l'industrie, la figure suivante représente les secteurs industriels utilisateurs de cette technique :

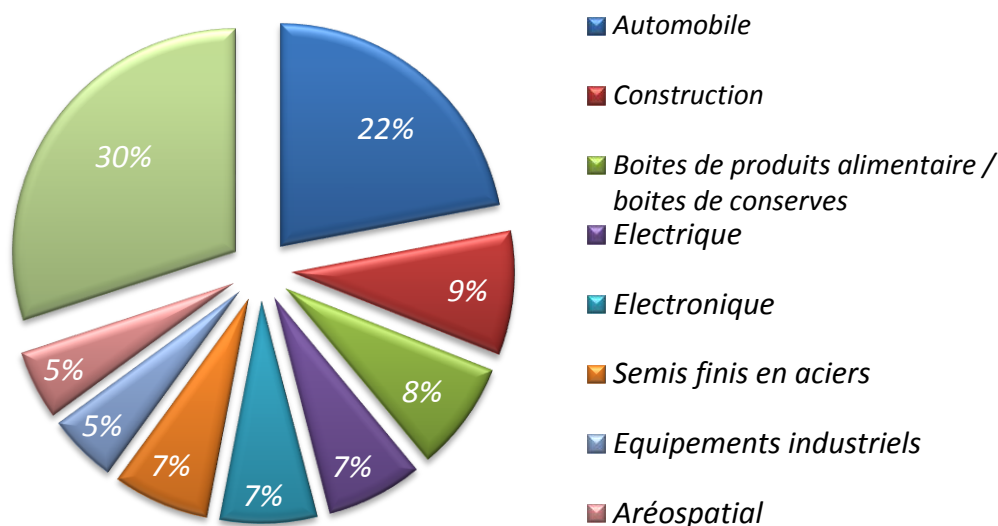


Figure 5 : Secteurs industriels utilisateurs de traitement de surface

POURQUOI LES TRAITEMENTS DE SURFACE? : Le traitement de surface permet d'accroître de manière considérable les propriétés d'un produit, que cela concerne les aspects esthétiques ou techniques. Ceci peut inclure par exemple une amélioration de sa dureté, de résistance à

l'usure, de sa résistance à la corrosion, ou encore une modification de la couleur du produit.

La figure suivante représente le rôle et l'utilisation de ce type des traitements :

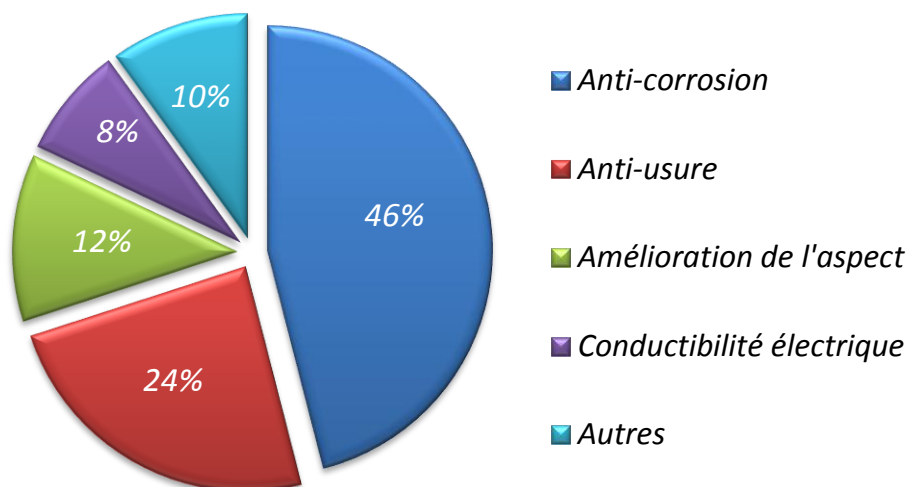


Figure 6 : Fonctionnalités des traitements de surface

II. Le dépôt électrolytique

Dans notre cas d'étude on s'est intéressé à la technique de traitement de surface par voie électrolytique.

1. Définition, Principe et mécanisme :

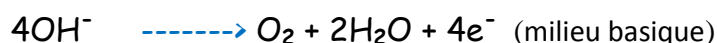
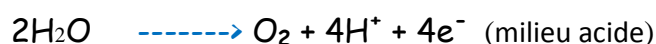
L'électrolyse est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique, c'est le processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique grâce aux électrons fournis par un générateur. Une électrolyse est utilisée lorsque les réactifs de départ ne peuvent évoluer spontanément pour former les produits souhaités, Ce type de réaction permet de faire évoluer un système dans le sens contraire de son sens d'évolution spontané.

La réaction a lieu dans une solution appelée électrolyte que contiennent deux électrodes, les ions doivent pouvoir circuler librement dans la solution pour passer d'une électrode à l'autre. Les deux électrodes sont reliées par l'électrolyte et par un générateur de courant électrique.

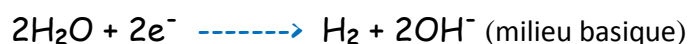
L'électrode positif qui est le siège de l'oxydation est toujours appelée ANODE, par contre l'électrode qui est relié à la borne négatif du générateur ou bien du redresseur et appelé CATHODE qui est le siège des réactions de réduction, on parlera d'oxydation anodique et de réduction cathodique. Ainsi que les électrons parvenus du générateur passent de l'anode vers la cathode.

Cette technique utilise le principe d'oxydoréduction. On plonge le métal à recouvrir dans un bain contenant le métal à déposer sous forme de sels dissous et/ou d'anodes solubles. Un courant électrique imposé au circuit permet de forcer la réaction attendue. La barre d'alimentation en courant électrique est alors la cathode et l'on dispose la pièce à recouvrir entre des anodes.

- Les réactions possibles à l'anode :



- Les réactions possibles à la cathode :



Cette technique d'électrolyse est présentée dans le graphique ci-dessous:

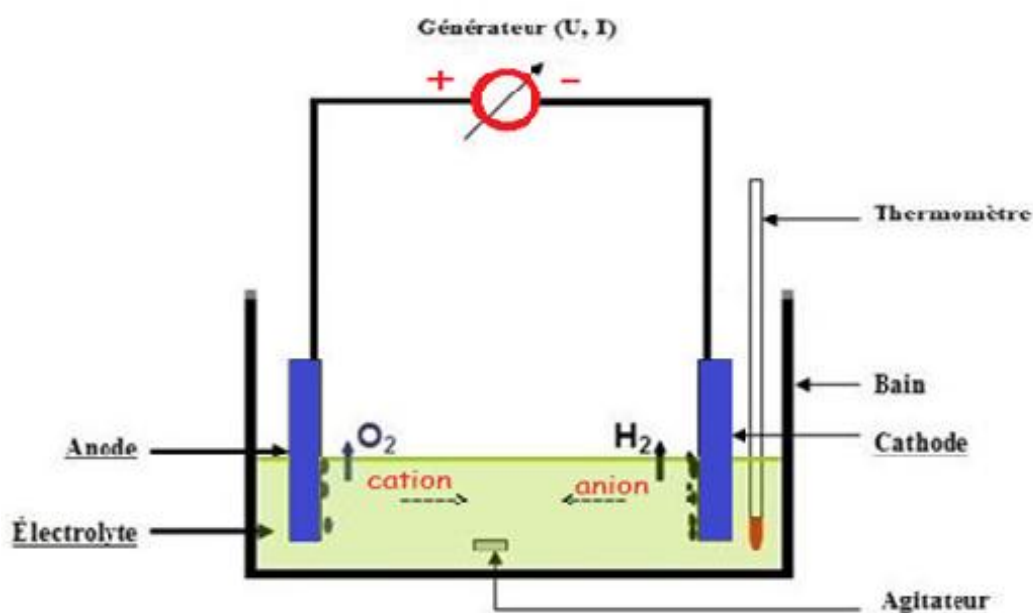


Figure 7 : Mécanisme d'électrolyse

2. Equipements et instruments utilisés pour réaliser un dépôt électrolytique

a) Equipements du bain :

La photo 12 montre différents équipements d'un bain d'électrolyse. Les bains de traitement

Par voie électrolytique Utilisés par SADF sont :

Bains : sont protégés contre les attaques de certains électrolytes donc les cuves doivent être revêtus intérieurement de caoutchouc, d'ébonite de PVC.

Générateur: le redresseur d'alimentation doit être muni d'un inverseur périodique de courant. Cette inversion périodique permet d'obtenir un dépôt à grain fin et régulier depuis le forte jusqu'à la faible jusqu'à faible densité de courant. Elle permet également d'appliquer la densité de courant la plus élevée possible en fonction de la concentration et de la répartition des pièces sur les montages.



Photo 9 : Redresseur

Chauffage :les cuves sont équipées d'un système de chauffage assuré par des thermoplongeurs avec une régulation thermostatique. Pour réduire l'échange d'énergie avec milieux extérieur on utilise les boules en plastique flottantes sur la surface du bain. La température des bains est parmi les paramètres peuvent influencer sur le rendement en plus il y'a des additifs que ne peuvent pas réagir qu'à des températures spécifiques.



Photo 10 : thermomètre du bain de nickel

Système de Filtration : une filtration en continu de l'électrolyte sur charbon actif est préconisée. En plus les bains utilisés par SADF contiennent un système de filtration appelé

filtreur. En fait ce filtreur est une pompe que permet d'éliminer une partie des impuretés élaborées pendant le dépôt électrolytique.

Système d'Agitation : une agitation verticale ou horizontale de la barre cathode peut suffire, l'agitation à l'air de l'électrolyte est de loin préférable et vivement conseillée.

b) Instruments :

Le papier pH : le pH est considéré parmi les conditions opératoires des bains.

L'aréomètre Baumé : est un appareil (photo11) dont la graduation, en degrés Baumé On le note par: °B, °Be ou °Bé. , est arbitraire, mais permet de mesurer la concentration de n'importe quelle solution avec le même appareil et la même unité. L'aréomètre est plongé dans la solution qu'on veut mesurer sa concentration, il flotte verticalement et s'enfonce plus que le liquide est moins dense. Chacune des bains d'électrolyse a un degré de baumé spécifique pour que le métal puisse se déposer à la surface d'un article. Le rôle de cet instrument est très important car il nous donne une idée sur le rendement du bain de dépôt.



Photo 11 : L'aréomètre



Photo 12 : Bain d'électrolyse

3. But et domaines d'applications

L'électrolyse ou Les traitements électrolytiques permettent de déposer sur métaux de faibles couches de revêtements métalliques, ce dépôt joue plusieurs rôles :

- améliorer leurs propriétés de surface d'un point de vue, soit décoratif, soit technique pour protéger le métal en accroissant sa dureté, sa résistance à la corrosion....
- Grandes possibilités dans le choix des dépôts de métaux ou alliages.
- On peut réaliser des épaisseurs variables, faciles à contrôler
- Peuvent aussi servir à la restauration d'objet anciens (ex : l'artisanat)

Cette technique a une large utilisation dans le domaine industriel, on note quelques applications : Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, Production de chlore, Placage (nickelage, cuivrage, chromage, d'orange....), Production de cuivre et d'aluminium et production d'ozone...etc.

B. Différentes Types Des Bains utilisés par SADF

1. La préparation des surfaces : une étape incontournable

Avant tout traitement de surface, une étape est indispensable pour s'assurer de la tenue du revêtement : la préparation de surface. Les procédés de fabrication laissent des résidus à la surface des pièces à traiter, notamment des graisses et des huiles d'usinage... Le transport et le stockage sont par ailleurs susceptibles de contaminer la surface.

Par conséquent, tout traitement de surface nécessite une préparation de surface au préalable. Le nettoyage de la surface permet la tenue et la qualité du traitement appliqué en favorisant l'adhérence du revêtement, en limitant la corrosion aux interfaces et en donnant un aspect particulier (rugueux, brillant, etc.)

Le dégraissage est un traitement chimique ou électrolytique a pour rôle de rendre la surface physiquement propre afin d'assurer le bon déroulement des opérations ultérieures et garantir la qualité du produit fini, cette méthode est équipée par SADF grâce à l'efficacité de la technique. On distingue deux types du dégraissage :

a) **Dégraissage chimique:**

On utilise des produits chimiques pour nettoyer l'aspect extérieur de la pièce dont on note la présence des solutions alcalins, neutres ... ce dégraissage met en jeu les réactions de saponification et le phénomène de Tensioactifs.

Le choix des solutions de dégraissage n'était pas au hasard, il faut effectuer une étude au préalable pour trouver les agents de dégraissage les plus efficaces.

On distingue deux phénomènes :

❖ **SAPONIFICATION**

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

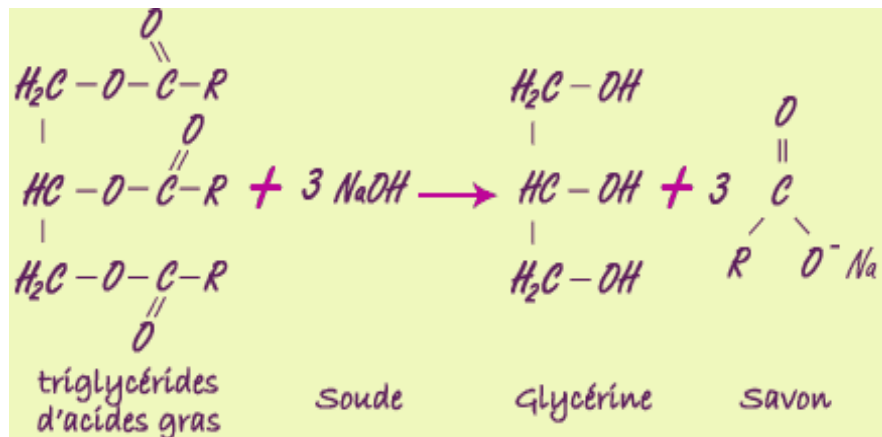


Figure 8 : Mécanisme de saponification

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

❖ **MECANISME DE DETERGENCE :**

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

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

But : Décoller les souillures grasseuses de surface métallique.

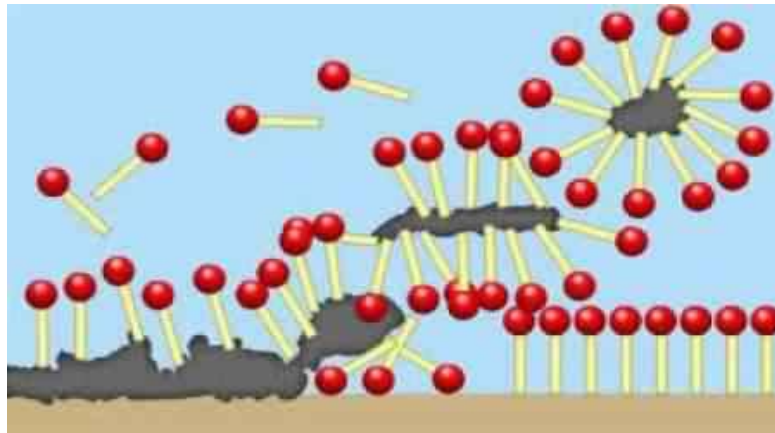


Figure 9 : mécanisme de détergent

b) **Dégraissage électrochimique**

Le principe de dégraissage électrochimique est le même que le dégraissage chimique. On utilise les mêmes produits mais on impose une intensité de courant par le générateur.

❖ **Conditions et composition**

La composition du bain de dégraissage électrochimique ainsi que ces conditions opératoires sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Composition et conditions opératoire du bain

Composition du bain	Conditions opératoires
✓ Cyanure de sodium	✓ Température ambiante.
✓ La soude caustique	✓ Le courant de 25 A/dm ² .
✓ Carbonate de sodium	✓ Temps d'immersion : 5 à 10 min
✓ Phosphate tri sodique	✓ Baumé de 15 à 17°
✓ Eau déminéralisée.	✓ Le pH = 12

Chaque composé à un rôle spécifique on distingue :

Tableau 2 : Les principaux rôles des produits chimiques

Produit	Rôle
✓ Soude caustique NaOH	➤ matière première de l'alcalinité. ➤ pouvoir saponifiable
✓ Carbonate de Sodium Na_2CO_3	➤ source d'alcalinité
✓ Phosphate tri-sodique Na_3PO_4	➤ Agent tensioactif. ➤ Facilite le rinçage.

But : éliminer les souillures organiques: les graisses, les huiles présentes sur la surface des pièces.

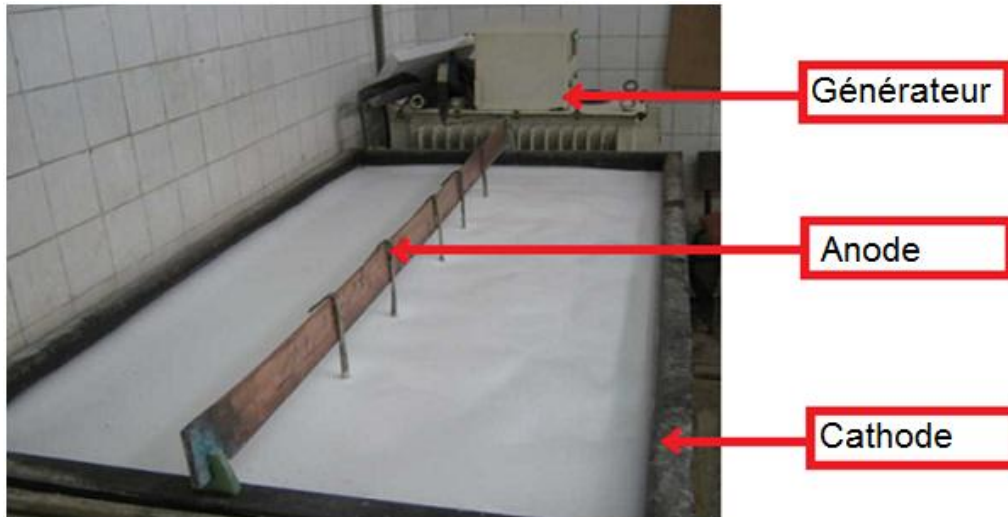


Photo 13 : Bain de dégraissage

Remarque

Lors le baumé du bain diminue, l'article ne sera pas bien dégraisser, dans ce cas il faut se débarrasser de la solution et remplir le bain avec une autre neuve car un mauvais dégraissage veut dire une mauvaise préparation de surface de l'article donc un mauvais dépôt électrolytique.

2. Rinçage

Les opérations de rinçage se situent après chaque opération de bains actifs. Le rôle du rinçage est d'éviter les traces d'ions provenant du bain précédent, afin de limiter l'altération du bain suivant. Les articles traités, après chaque bain actifs, doivent être rincés dans trois bains successifs afin d'assurer leur purification.

La qualité de l'eau peut être un paramètre important. Lorsque les bains deviennent altérer il faut se débarrasser de la solution et remplir le bain de l'eau propre.



Photo 14 : bains de rinçage

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

Nettoyage des baigns d'électrolyse: le nettoyage du bain se fait quotidiennement, ce traitement est très important, il permet de se débarrasser des impuretés transmises au bain pour cela SADF ajoute les composés suivants : Eau oxygénée+Charbon actif+Permanganate.

3. Cuivrage :

Le cuivrage est l'opération du revêtement de la surface des pièces par le cuivre. La couche de cuivre déposée sur une surface a plusieurs usages en fonction des besoins, de la matière et des conditions électrochimiques :

- Protection contre l'oxydation
- Préparation de surface avant autres traitements (chromage, nickelage, etc....)
- Recouvrement esthétique

On a deux types de cuivrage : cuivrage alcalin et cuivrage acide, chacun de ces types a un rôle spécifique. Par exemple le cuivrage acide a un rôle esthétique et donne à l'article un aspect décoratif, le cuivrage permet de déposer par voie électrolytique des couches d'autres de nickel, de chrome, d'argent ... à la surface des pièces.

a) Cuivrage alcalin

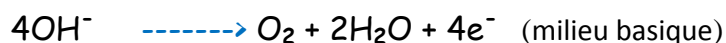
Ce procédé se fait par immersion dans un bain contenant du cuivre en solution mélangé à d'autres produits chimiques et soumis à un courant électrique faible. La pièce à traiter est placée dans le bain est reliée à la cathode (siège des réactions de réduction), l'anode est constituée de cuivre pur.

❖ Conditions et composition

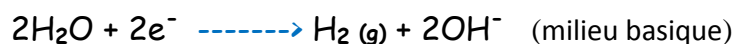
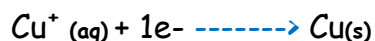
Tableau 3 : Conditions et composition du bain de cuivrage alcalin

Composition du bain	Conditions opératoires
✓ Cyanure de sodium	✓ Température de 35 à 40 °C
✓ Cyanure de cuivre	✓ Le courant : 0.5 à 3 A/dm ²
✓ Additifs:	✓ Temps d'immersion : 5 à 10 min
-Ultinal base	✓ Baumé : 14 °Be
-Ultinal brillant	✓ pH= 14

- **Les réactions à l'anode :**



- **Les réactions à la cathode :**



* NaCN joue le rôle du conducteur à cause des ions de cyanures qui assurent la conductivité des ions cuivreux jusqu'à la pièce réceptrice du dépôt.

*Le cyanure libre a plusieurs rôles dans ce bain, il facilite la décomposition de sel de cuivre, et facilite la dissolution des anodes.



Plaque de cuivre

Pièce traitée reliée à la cathode

Photo 15 : Bain de cuivre alcalin

b) Cuivrage acide

Le bain de cuivre acide donne à l'article un aspect esthétique caractérisé par un dépôt très brillant ainsi que le rendement de ce dernier est élevé par rapport au bain de cuivre alcalin. Le dépôt de cuivre acide effectué de la même manière que celle du milieu basique la pièce à traiter est reliée à la cathode, mais ici la plaque d'anode est constituée en cuivre contenant un pourcentage de phosphore (jusqu'à 7% de P).

*Le phosphore joue le rôle d'un catalyseur dans la réaction et provoque la formation des fins grains à la surface de la pièce ceci influence favorablement la brillance finale.

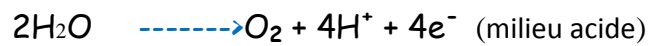
*L'acide sulfurique est indispensable pour la qualité du dépôt, il provoque la dissolution des anodes et accroît la conductivité de l'électrolyte par libération des protons H^+ .

❖ Conditions et composition

La Tableau 4 : composition et conditions opératoires du bain

Composition du bain	Conditions opératoires
✓ Sulfate de cuivre	✓ Température ambiante
✓ Acide sulfurique	✓ Le courant : 2 A/dm ²
✓ Additifs :	✓ Temps d'immersion : 15 à 20 min
- Cubrac brillant.	✓ Baumé de 19° à 25
- Cubrac nivelant.	✓ Le pH = 4.5
	✓ Filtration par charbon actif

• Les réactions à l'anode :



• Les réactions à la cathode :

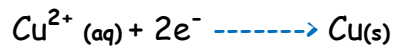


Photo 16 : Bain de cuivrage acide

Remarque :

Dans les bains de cuivrage alcalins cyanurés, le cuivre se trouve sous forme monovalente Cu^{+} (CuCN), alors que dans les électrolytes acides le cuivre est à l'état divalent Cu^{2+} (CuSO_4) en plus la solution du cuivre acide est beaucoup plus stable que celle du cuivre alcalin.

4. Nickelage

L'anode ici est constituée de grosses plaques de nickel pur pour compenser les pertes des ions de Ni^{2+} la cathode est constituée de la pièce à traiter. Parmi les caractéristiques de la couche déposée de nickel :

- une bonne adhérence sur le cuivre
- une bonne résistance au phénomène de corrosion
- Possibilité de déposer des couches épaisses.

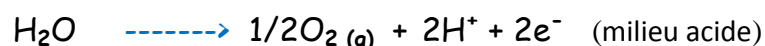
Les anodes de nickel sont ensachées dans un sac, ce dernier a pour rôle de protéger le bain des impuretés libérées lors de la dissolution des plaques anodiques. Ce bain contient aussi des boules empêchant la libération de la mauvaise odeur due à la présence du gaz Cl_2 et aussi empêche la diminution de température.

❖ Conditions et composition

Tableau 5 : composition et conditions opératoires du bain de nickel

Composition du bain	Conditions opératoires
✓ Sulfate de nickel	✓ Température : 60°C à 70°C
✓ Chlorure de nickel	✓ Le courant : 3 à 5 A/dm ²
✓ Acide borique	✓ Temps d'immersion : 10 à 30 min
✓ Additifs :	✓ Baumé de 27 °Be
- brillanteur	✓ Le pH = 3.8 à 5
- Mouillant	✓ Agitation mécanique
- Nivelant	✓ Filtration par charbon actif

- Les réactions à l'anode :



- Les réactions à la cathode :



* Sulfate de nickel : source essentielle des ions Ni^{2+} .

* Chlorure de nickel : source de Ni ainsi constitue un apport d'ions Cl^- dont le rôle est de:

- faciliter l'oxydation de l'anode.
- augmenter le coefficient de diffusion du cation Ni^{2+} .

* Acide borique : tampon du pH, et empêche la réduction de H^+ en H_2 en favorisant la réduction du Ni^{2+} en Ni.



Photo 17 : bain de nickel

5. Pré-argenteure

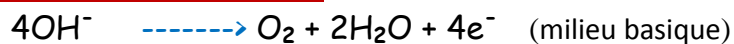
C'est une étape qui dure entre 10 à 15 secondes. Elle a pour but de déposer sous l'effet d'un courant fort une mince couche d'argent pour éviter toute transmission des impuretés au bain suivant et aussi une préparation de la surface d'article au bain d'argent pour obtenir un bon dépôt.

❖ Conditions et composition

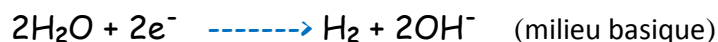
Tableau 6 : composition et conditions opératoires du bain de pré-argenteure

Composition du bain	Conditions opératoires
✓ Cyanure d'argent	✓ Température Ambiante
✓ Cyanure de potassium	✓ Le courant : 200 A
✓ Anode d'acier inox	✓ Temps d'immersion : 10 à 15 sec
	✓ Baumé : 14 à 17 °Be
	✓ pH = 11
	✓ Filtration par charbon actif

- Les réactions à l'anode :



- Les réactions à la cathode :



Plaque d'inox

Pièce à traité relie à la cathode

Photo 18 : bain de pré-argenteure

6. Argenture

L'argent est le métal noble avec coloration blanche, ce métal mou est le meilleur conducteur de chaleur et d'électricité de tous les métaux, même supérieur à celle du cuivre. L'argenture a plus d'importance dans la société à cause de son cout cher et aussi constitue la plupart des articles traités.

Les objets à traiter sont immergés dans un bain électrolytique de sels d'argent à faible intensité de courant électrique. L'anode est une plaque d'argent pur et la cathode est constituée par les pièces à argenter.

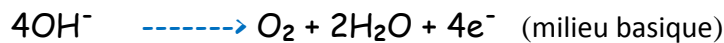
Dans la majorité de cas, on utilise des anodes solubles en argent et les bains contiennent alors du cyanure libre. La présence de cyanure libre favorise la dissolution des anodes et améliore la qualité des dépôts en affinant les grains.

❖ Conditions et composition

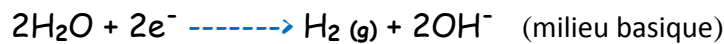
Tableau 7 : conditions et composition du bain d'argent

Composition du bain	Conditions opératoires
✓ Cyanure d'argent	✓ Température Ambiante
✓ Cyanure de potassium	✓ Le courant : 2 à 5 A
✓ Anode d'argent + anode en acier inox	✓ Temps d'immersion : 5 à 25 min
✓ Additifs :	✓ Baumé de 35°
- Silverlium brillanteur	✓ Le pH = 12
- Silverlium base.	✓ Filtration par charbon actif
- Epurateur d'argent R1 et R2.	

- **Les réactions à l'anode :**



- **Les réactions à la cathode :**



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

7. Séchage :

En générale, les pièces après l'argenture sont rincées et séchées dans un four à température de 130°C

Conclusion :

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

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

C. Applications

I. Principaux problématiques rencontré lors de l'électrolyse :

Le décharge des ions H^+ et alors le dégagement de H_2 (dans les bains acides) :

Lors de l'électrolyse une partie du courant fournit par le redresseur sert à la réduction de H^+ en H_2 selon la réaction :



Notre rôle est de diminuer le maximum cette partie de courant.

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

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

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

Les inconvénients de dégagement de l'hydrogène :

- La fragilisation du métal
- La perte de rendement

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 coeur 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'électrolyse, 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 le diminuer par la présence : d'un système d'agitation, d'ions de conductivité important, et des agents mouillants qui diminue la tension superficielle du bain.

II. Paramètres influençant le dépôt électrolytique :

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

✓ La différence de potentiel :

La tension qui fait la différence lorsque la réaction est non spontanée de point de vue chimique.

✓ La densité de courant :

De point de vue industriel, l'objectif est de déposer le maximum en minimum de temps, alors que le courant est le seul paramètre sur lequel on agit pour déposer une masse importante.

✓ Température :

La Température facilite la réaction et la mobilité des ions ce qui traduit l'augmentation de courant possible durant la réaction. Une température très élevée susceptible pour détruire les additifs sensibles.

✓ L'agitation :

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

✓ Concentration de l'électrolyte :

Si la concentration augmente, le nombre des ions devient plus grand, la vitesse de leur décharge croît et cela favorise le dépôt des grains fins, 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 améliorent 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: selon les résultats qu'on pourrait obtenir.

✓ Les additifs :

Agent mouillant : facilite le dégagement H_2 en diminuant la taille des bulles qui peuvent fragiliser le métal

Nivelant : compense les irrégularités de surface du substrat lors du dépôt.

Brillanteur : Améliore la brillance du substrat.

III. 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 dm^2 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 :

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

Avec :

- I : intensité de courant en (A).
- t : temps d'immersion en seconde.
- $m(\text{thé})$: mass théorique en (g).
- n : nombre d'électrons mis en jeu.
- F : constante de Faraday 96500 c/mol.
- M : masse molaire du métal en solution g/mol.

Les résultats obtenus sont expérimentés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : les résultats expérimental obtenus

Type de traitement	Conditions opératoire	Masse de plaque avant dépôt (g)	Masse de plaque après le dépôt (g)	M_{exp} (g)	M_{th} (g)	Rendement (%)
Cuivre alcalin	I = 1 A t = 10 min T=35 °C pH=12	6,86	6,91	0,0519	0,39	13,3
Cuivre acide	I = 1 A t = 15min T=ambiante pH=4,5	6,92	7,038	0,118	0,29	40,8
Nickelage	I = 2,5 A t = 15min T = 60 °C pH=4	6,83	7,27	0,445	0,68	65,4
argenture	I = 2 A t = 20min T=ambiante pH=11	6,80	7,27	0,47	2,68	17,6

Interprétation des résultats

D'après le tableau on distingue que les rendements des bains de cuivre acide et de nickel sont les plus élevés par rapport aux rendements des bains de cuivre alcalin et d'argent.

Les bains de cuivrage alcalin et de nickelage ont un pH acide (entre 3,5 – 4,5) due à la présence de H_2SO_4 dans le bain de cuivre acide et H_3BO_3 dans le bain de nickel, ces acides augmentent la dissolution des anodes et accroît la conductivité de l'électrolyte, Ce que influence favorablement sur le rendement ainsi la qualité du dépôt.

CONCLUSION

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

Selon les besoins des clients, la Société des Artisans Dinandiers de Fès effectue des traitements de la surface des articles en métal, pour obtenir une surface d'aspect, de couleur et de propriété bien déterminés. Les dépôts sur laiton par électrolyse (galvanoplastie) sont effectués au sein de SADF en utilisant des bains électrolytiques selon une chaîne bien déterminée et par plusieurs types de métaux. Au cours de cette étude, il s'est avéré qu'un bon dépôt électrolytique dépend de plusieurs facteurs.

Il faut signaler que la société SADF ne possède pas de laboratoire de contrôle et de l'analyse des éléments chimiques. Ainsi certains matériaux utilisés ne sont pas modernes par exemple les redresseurs utilisés affichent des intensités de courant avec des valeurs inexactes, car on a des graduations de l'ordre de 20 A (grande échelle) et on sait que les valeurs de courant sont proportionnelles à la surface des pièces à traiter donc si on a des petites surfaces ces redresseurs n'affichent pas les valeurs précises de courant. Ainsi le traitement des bains reste aléatoire. Ces choses montrent que la galvanoplastie utilisée par la SADF reste une méthode non précise, mais utilisable. Un matériel de précision, et un laboratoire de contrôle et de mesure donneront sûrement des résultats satisfaisants.

Et comme conclusion ce stage m'a permis la mise en pratique dans un milieu professionnel les connaissances acquises au cours du cursus universitaire à la Fst, l'acquisition de nouvelles compétences et la découverte du monde du travail : ses contraintes et ses exigences, ainsi tenu de se conformer aux règles internes de l'entreprise : horaires, discipline, règles de sécurité, d'hygiène.

BIBLIOGRAPHIE

https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re_premi%C3%A8re

https://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement_de_surface

<http://www.a3ts.org/association-a3ts/traitements-thermiques/traitement-surface/>

http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/electrolyse.php4

<http://www.gesmspa.fr/processus-de-base>

<http://alain.vassel.pagesperso-orange.fr/electrochimie.htm>

<http://www.omg-soft.com/joomla/index.php/tsdef>

<http://www.sonel.fr/savoir-faire/>