

PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ :

I. HISTORIQUE :

La *création* de la **Société des Artisans Dinandiers de Fès** connue par l'abréviation **SADF** remonte à 1982. En effet, un groupe de Maîtres-artisans avait pensé mettre en place une unité de production renfermant tout le processus de fabrication. Cela leur permettrait de préserver le produit artisanal, de le développer et de lui donner l'aspect qui réunit à la fois beauté, goût et qualité.

Depuis sa mise en place, la **SADF** n'a pas cessé de déployer ses efforts pour apposer son empreinte sur l'argenterie et sur d'autres articles en métal

(**Luminaires, Tables, Tabourets, Miroirs, Coffrets** ou tout autre type de travaux selon modèle,...).

SADF a fait de grands pas que ce soit sur le plan artistique que sur le plan de la recherche.

II. CLIENTS :

Tableau1 : *Les clients du SADF.*

Clients nationaux	Clients internationaux
<ul style="list-style-type: none">● Palais royaux● Garde royale.● Divers ministères● Les hôtels● Les associations● Les clients particuliers	<ul style="list-style-type: none">● Emirats arabes unies● Bahreïn● Arabie saoudite● Tunisie● Sultanat Oman● France● Allemagne● Italie● Japon

III. _ STRUCTURE DE LA SADF :

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

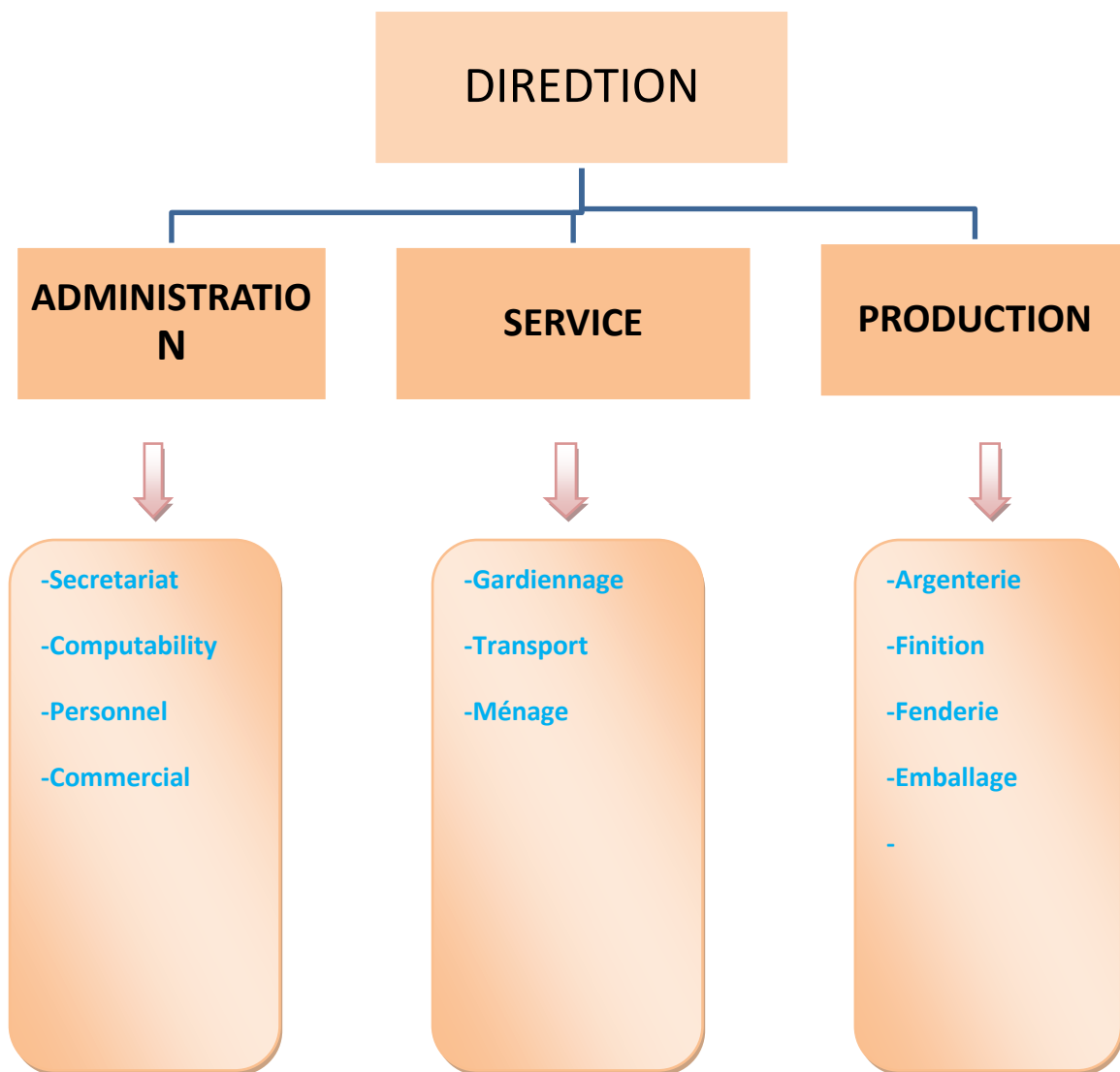


FIGURE1 : *La structure de la SADF*

SOMMAIRE

LESTE DES TABLEAUX.....	1
LISTE DES FIGURES.....	2
REMERCIEMENTS.....	3
PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ.....	4
I. HISTORIQUE.....	4
II. CLIENTS.....	4
III. STRUCTURE DE LA SADF.....	5
INTRODUCTION.....	9

CHAPITRE I : PROCÉDÉ DE FABRICATION

I. MATIÈRE PREMIÈRE.....	11
II. CHAÎNE DE PRODUCTION.....	11
1. MODÉLISATION.....	11
2. DÉCOUPAGE.....	11
3. GRAVURE.....	12
4. REPOUSSAGE.....	12
5. FONDERIE.....	13
6. LIMAGE.....	14
7. SOUDAGE	14
8. DÉCAPAGE DES ARTICLES.....	14
9. POLISSAGE DES PRODUITS.....	15
10. RAVIVAGE.....	15
11. TRAITEMENT DE SURFACE.....	15

12. EMBALLAGE.....	16
CONCLUSION.....	16

CHAPITRE II : TRAITEMENT DE SURFACE

I. DÉFINITION.....	18
II. TYPES DE TRAITEMENT DE SURFACE.....	18
III. ELECTROLYSE.....	19
1. GÉNÉRALITÉS.....	19
2. CONDITIONS D'ÉLECTROLYSE.....	20
IV. BAINS D'ÉLECTROLYSE DANS LA SADP.....	20
1. INSTRUCTION UTILISÉE.....	20
2. BAIN DE DÉGRAISSAGE.....	21
a) DÉFINITION.....	21
b) DIFFÉRENTS TYPES DE DÉGRAISSAGE.....	21
c) DÉGRAISSAGE CHIMIQUE.....	21
d) COMPOSITIONS ET CONDITIONS DE TRAVAIL.....	22
3. BAIN DE RINÇAGE.....	23
4. BAIN DE CUIVRE.....	24
a) CUIVRE ALCALIN.....	24
b) CUIVRE ACIDE.....	25
5. BAIN DE NICKEL.....	26
6. BAIN DE PRÉ-ARGENT.....	27
7. BAIN D'ARGENT.....	28
8. SÉCHAGE.....	28
TRAITEMENT DE CYANURE.....	29
CONCLUSION.....	29

CHAPITRE III : PARTIE EXPÉRIMENTALE

I.	GÉNÉRALITÉS.....	31
II.	MODE OPÉRATOIRE.....	32
III.	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	32
	CONCLUSION.....	34
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	35
	WEBGRAPHIE.....	36

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'Homme était toujours à la recherche de matériaux de qualité, résistant à la corrosion et peuvent être utilisés en décoration (aspect présentable vis à vis du touche, visuel,...) ; d'où le traitement de surface métallique. Les traitements et revêtements de surface constituent actuellement un des moyens essentiels pour améliorer les propriétés fonctionnelles des métaux, notamment la résistance à l'oxydation et à la corrosion, la tenue à la fatigue sous toutes ses formes (fatigue mécanique, fatigue thermique, fatigue de surface), la résistance au frottement et à l'usure, sans oublier la couleur et l'aspect esthétique.

En effet le traitement de surface est une opération chimique intermédiaire dans le processus de production. Cette opération est, généralement, effectuée entre les opérations d'usinage et les opérations de montage. Le traitement de surface consiste à appliquer un dépôt sur les pièces à traiter. Ce procédé permet de modifier sur une surface et avec une faible variation de poids, soit les caractéristiques mécaniques d'un produit (conductibilité, anticorrosion, protection inoxydable,...), soit ses propriétés esthétiques (dépôt d'argent, dorure, chromage, nickelage, cuivrage,...).

Le traitement se fait en immergeant successivement et sans attente, les pièces dans les bains contenant des solutions chimiques ou neutres. En effet, la Société des Artisans Dinandiers de Fès où j'ai effectué mon projet de fin d'étude, comprend des bains ainsi qu'une installation de traitement de surface bien équipée de matériels et de produits nécessaire pour la réalisation de ce procédé.

Le but de ce stage est de décrire les méthodes ainsi que les différentes étapes du traitement de surface métallique par voie électrolytique effectuées au sein de la SADP dans le but d'avoir un bon rendement du dépôt électrolytique.

Dans un premier temps, nous allons présenter le procédé de fabrication des pièces, puis dans un second temps, nous allons aborder la partie spécifique à l'électrolyse et son application au traitement de surface métallique.

Dans la dernière partie nous allons présenter les méthodes utilisées durant le dépôt électrolytique ainsi que les résultats expérimentaux obtenus et leurs interprétations. Et enfin nous terminons par une conclusion.

CHAPITRE I : *PROCÉDÉ DE* FABRICATION

I. MATIÈRE PREMIÈRE

La SADF utilise comme matière première des laitons, ces derniers sont des alliages jaunes, très ductiles et malléables, composés essentiellement de cuivre et de zinc, avec des proportions variables, dont la fabrication directe à partir de minerais appropriés était déjà maîtrisée par les métallurgistes avant l'Antiquité. Selon les propriétés visées, ils peuvent aujourd'hui contenir d'autres éléments d'addition comme le plomb, l'étain, le nickel, le chrome, et le magnésium, dans des proportions très modérées. Il existe trois catégories de laiton (chaque catégorie englobe les propriétés des précédentes) :

- ❖ les laitons simples ou alliages binaires : 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 augmente la dureté et la résistance mécanique ;
- ❖ les laitons au plomb (environ 60 % de cuivre, 40 % de zinc, 1 à 3 % de plomb).
- ❖ les laitons spéciaux : ils ont pour but d'augmenter les propriétés mécaniques par l'addition d'éléments d'alliage (étain, aluminium, arsenic, magnésium, nickel, fer, silicium,...) ; 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. CHAÎNE DE PRODUCTION

1. Modélisation

La modélisation des articles est élaborée par des modélistes spécialisés sous forme d'exemplaires. Avant la validation du prototype, le modèle est transmis au service de production où il sera examiné par plusieurs maîtres artisans qui peuvent exiger des modifications, si nécessaire, afin que le modèle prenne l'aspect souhaité. Cet échantillon représente le modèle à suivre pour la chaîne de fabrication.

2. Découpage

Les formulaires requis de différentes pièces de l'article sont tracés sur les plaques de laiton en tenant compte des dimensions mentionnées sur l'exemplaire. Ensuite ces plaques sont découpées soit manuellement ou bien par machine.



Figure 2 : *Découpage manuel {SAD}*

3. Gravure

La gravure est une technique qui permet de reproduire un dessin en plusieurs exemplaires, en creusant un support et en se servant de ce support en relief pour « imprimer » le dessin. On appelle une estampe mais aussi couramment gravure le dessin qui a été imprimé de cette façon .Elle s'effectue par un appareil appelé burin pour le cas de la SAD. La gravure repose sur la compétence des maitres artisans qui exécutent des motifs décoratifs dessinés sur les surfaces de plaque de laiton. Ces motifs présentent la beauté et l'originalité des produits artisanaux marocains. Les dessins peuvent être traditionnels ou modernes.

4. Repoussage

Le repoussage au tour est un procédé de déformation plastique d'une feuille de métal de forme circulaire. C'est la mise en forme des pièces produites à partir d'un disque de tôle.

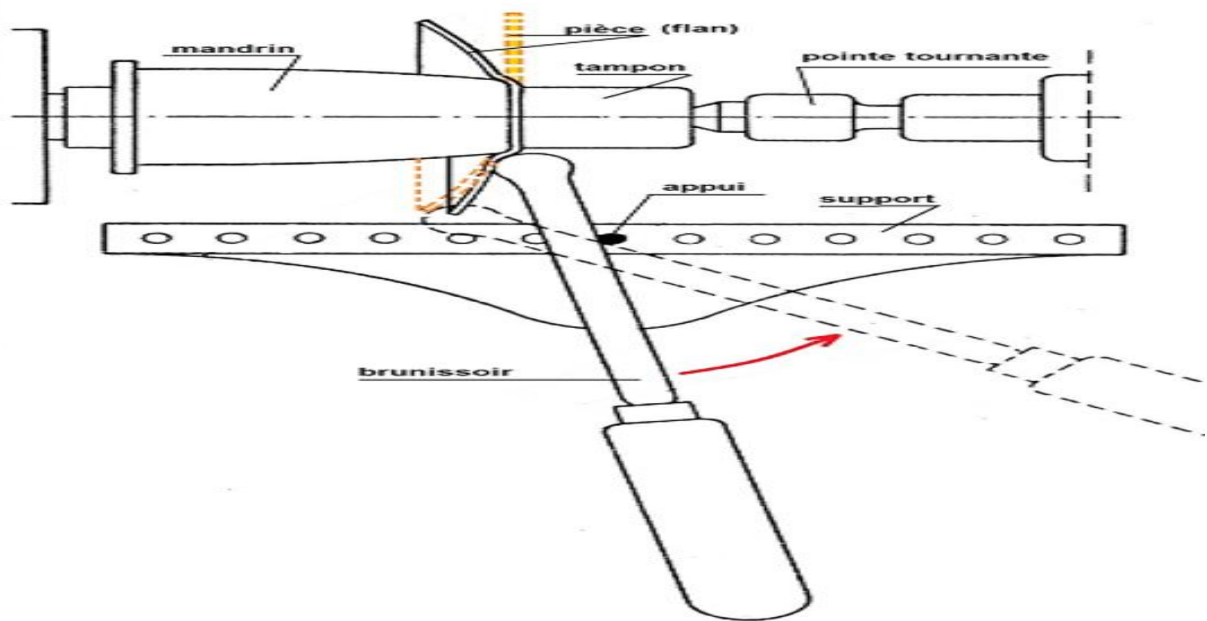


Figure 3 : *Schéma simplifiant le repoussage.*

5. Fonderie

La fonderie est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour produire et reproduire un article désiré. Les chutes des alliages du laiton provenant des différentes étapes de fabrication et quelques grammes d'aluminium sont conduites à la fonderie. Ensuite l'alliage fondu est coulé dans les moules déjà fabriqués à partir d'un sable particulier. Après refroidissement, on aboutit à la formation des pièces désirées.



Figure 4 : *Fonderie {SADF}.*

6. Limage

Les pièces provenant de la fonderie ont des irrégularités sur leurs surface qui nécessitent des corrections .limage c'est l'enlèvement manuel ou mécanique de ces irrégularités pour avoir la forme désiré

7. 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.



Figure 5 : *Processus de soudage.*

8. Décapage des articles

Le laiton est principalement un alliage de zinc et de cuivre, avec parfois des traces d'autres métaux. C'est un matériau apprécié de tout temps pour sa malléabilité, sa solidité et sa beauté. Cependant, il a tendance à se ternir à cause de la poussière, des marques de doigts s'il est manipulé. Il existe dans le commerce des produits spécifiques pour nettoyage de laiton. Avec ceux-ci, vous pourrez redonner du lustre au laiton.

Le nettoyage dans l'industrie est dite décapage.

A la SADP le décapage est l'élimination de toutes traces d'impureté ainsi que les couches d'oxyde superficielles, les hydroxydes, les particules métalliques incrustées et toutes sortes d'impuretés à la surface du métal. Pour décaper une pièce, on utilise les acides forts et concentrés citons par exemple, HCl, H₂SO₄, HNO₄, H₃PO₄. Un mélange d'acides peut être aussi utilisé.

Exemple d'élimination d'oxyde de fer à la surface du métal :



9. Polissage des produits

En générale le polissage est l'action de polir : traitement permettant de rendre lisse et éventuellement brillant une surface (métal, plastique, bois). Le polissage à la SADP est un procédé de finition des pièces de laiton visant à obtenir un bel aspect, ou un état de surface de haute qualité.

Cette qualité de surface est caractérisée par la rugosité, la brillance, l'éclat...

Le principe : Le polissage est l'action de polir, de rendre lisse et de briller par abrasion. La pièce est présentée manuellement sur la surface de disques tournant à grande vitesse et enduits de pâte à polir.

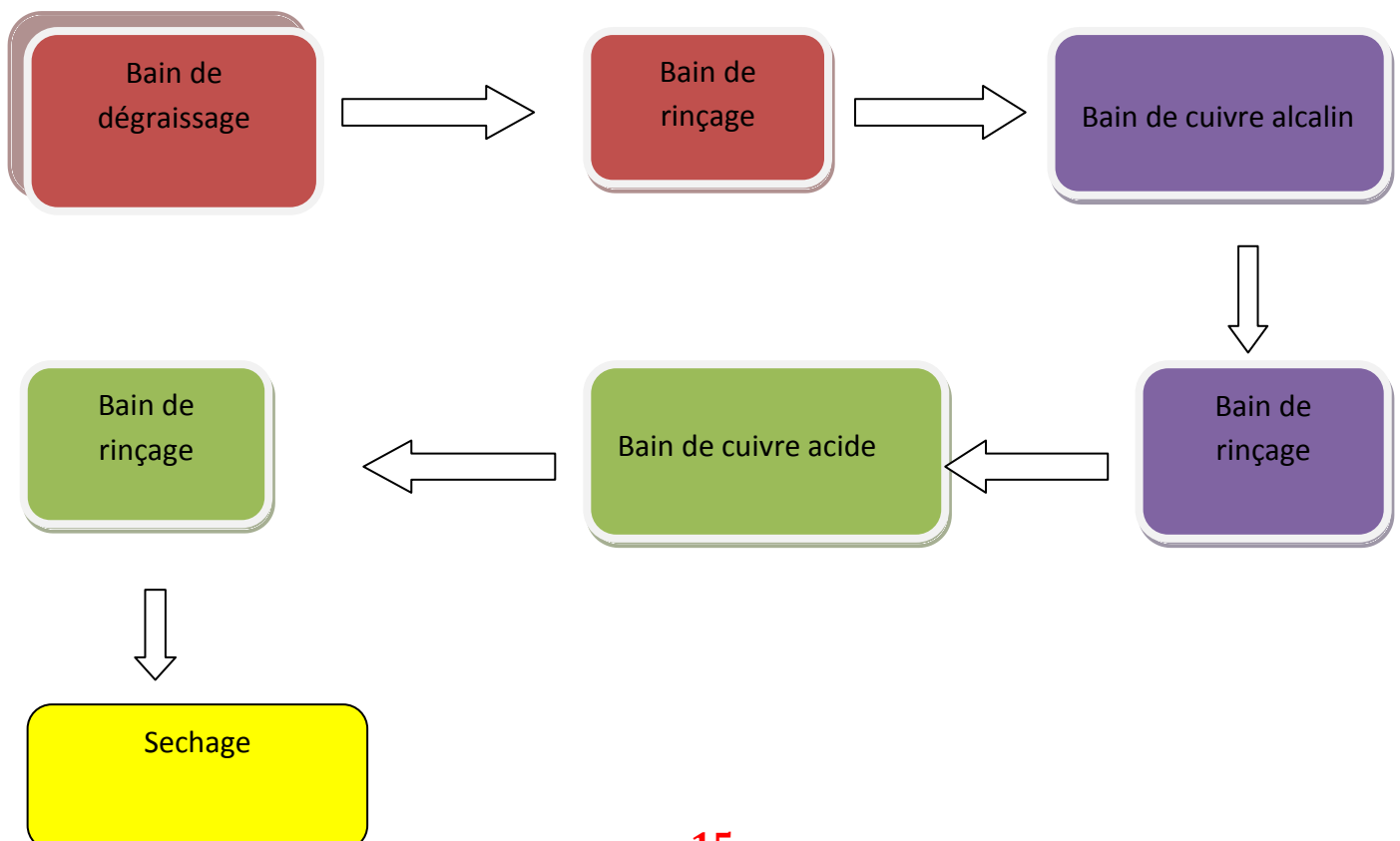
10. Ravivage

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.

11. Traitement de surface

Dans la SADP le traitement de surface est basé sur le procédé de l'électrolyse. Il a pour but de déposer une couche d'un métal sur l'article à traiter, pour transformer la surface de l'article dans l'objectif de lui conférer de nouvelles propriétés par exemples, la résistance à la corrosion, à l'usure ou la modification de l'aspect apparent.

Voie 1



Voie 2 :

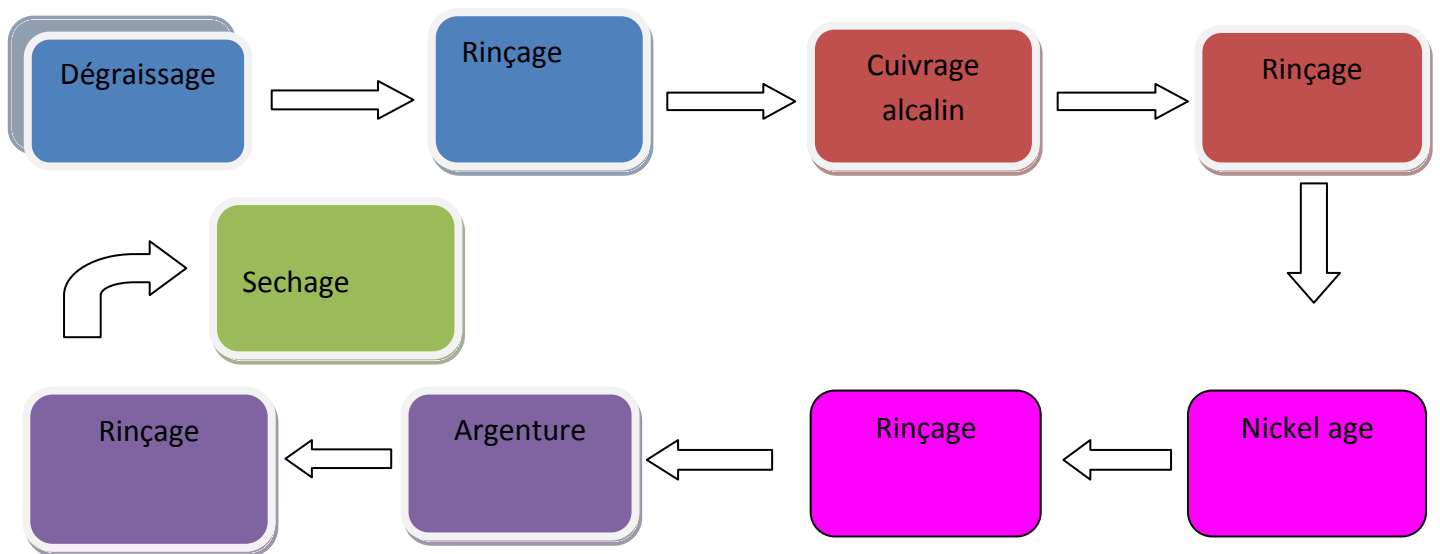


Figure 6 : *Etapes de traitement de surface selon deux voies*

12. Emballage

L'emballage se fait en trois étapes :

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

Conclusion

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

CHAPITRE II : TRAITEMENT DE SURFACE

I. DÉFINITION

Le traitement de surface est une 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.

Les traitements de surface ont pour effet de modifier l'apparence d'une surface (décoration, amélioration de l'aspect), ses propriétés physiques ou/et chimique, afin d'apporter : une tenue à la corrosion, à l'usure, une amélioration du frottement, une résistance à l'oxydation à chaud.

Ils représentent un apport d'épaisseur relativement faible dépassant rarement le mm, et pouvant être de quelques nanomètres

II. TYPES DE TRAITEMENT DE SURFACE

Les traitements de surface incluent les préparations de surface par voie chimique : dégraissage, lavage et par voie mécanique les dépôts, revêtements et parachèvements. La famille des dépôts et revêtements est la plus importante. Elle comprend :

- dépôts électrolytiques (minces et épais – décoratifs et fonctionnels). La plupart des métaux et alliages peuvent être déposés avec d'éventuelles inclusions de particules
- dépôts chimiques (nickel-phosphore, cuivre)
- dépôts par immersion dans les métaux fondus: galvanisation (zinc), étain (étamage), plomb (plombage)
- peintures (l'importance de ce domaine est tel qu'il constitue une spécialité à part)

Ainsi au sien de la SADF on ne s'intéresse qu'au premier type, c'est à dire : traitement de surface par dépôt électrolytique (électrolyse).

III. L'ÉLECTROLYSE

1. Généralités

Décomposition chimique de certaines substances sous l'effet d'un courant électrique.

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.

On appelle anode l'électrode reliée à la borne positive du générateur et cathode celle reliée à la borne négative du générateur. L'ensemble constitue une cellule d'électrolyse. Lors de l'électrolyse :

- ❖ L'anode est le siège d'une réaction d'oxydation : avide d'électrons, elle se comporte comme un oxydant ;
- ❖ La cathode est le siège d'une réaction de réduction : source d'électrons, elle se comporte comme un réducteur.

L'électrolyse a de nombreuses applications industrielles comme le chromage, la dorure, nickelage, cuivrage, la galvanoplastie, la préparation du chlore, la fabrication de la soude à partir de sel marin.

Par exemple, le nickelage de pièce se déroule ainsi :

- La pièce métallique constituant la cathode est plongée avec une anode en Nickel dans une solution (l'électrolyte) contenant des ions de nickel (Ni^{2+}).
- Le générateur positionné entre l'anode et la cathode délivre un courant continu ;
- La pièce métallique gagne des électrons et attire les ions de nickel qui adhèrent à sa surface.

La réaction qui peut avoir lieu à l'anode est : (oxydation)



La réaction qui peut avoir lieu à la cathode est : (réduction)

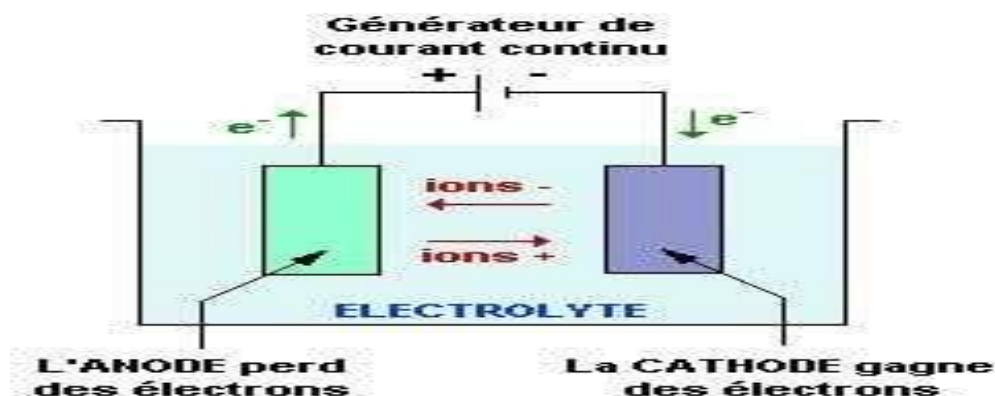


Figure 7 : Schéma type d'une électrolyse.

2. Condition d'électrolyse

- ▶▶ **Densité de courant** : Facteur limitatif : à partir d'une certaine densité de courant, les dépôts deviennent fins ou gros. Si la densité de courant est trop faible, le dépôt obtenu est mat (gros cristaux).
- ▶▶ **Agitation du bain** : Elle permet d'augmenter l'intensité limite anodique ou cathodique car elle permet d'amener le plus rapidement les espèces aux électrodes et facilite la diffusion.
- ▶▶ **Température** : Elle a pour conséquence d'augmenter la vitesse de diffusion et d'augmenter le flux de matière se présentant à la cathode
- ▶▶ **Nature du métal** : Des métaux ont tendance à donner des dépôts grossiers et d'autre des dépôts à grains fins, à conditions d'électrolyse égales :
 - Ag, Pb, Sn donnent des dépôts grossiers
 - Co, Ni, Fe ont tendance à donner des dépôts fins.

Nombreux agents brillanteurs ont été utilisés afin de favoriser la finesse du grain.

IV. BAINS D'ÉLECTROLYSE AU SEIN DE LA SADF

1) Instrument utilisé

Les bains de traitements utilisés par SADF sont constitués par les équipements suivants :

- ✚ **Bains** : les bains doivent être revêtus intérieurement de caoutchouc, d'ébonite, de PVC ...
- ✚ **Chauffage** : les cuves doivent être équipées d'un système de chauffage, avec régulation thermostatique.
- ✚ **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 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.
- ✚ **Les électrodes** : on utilise des électrodes métalliques de première espèce « c'est le cas où une électrode métallique en contact avec son ion en solution ». Le choix des électrodes est réparti selon les bains dont aussi l'objectif de l'électrolyse doit prendre en compte. Dans certains cas on peut utiliser des électrodes d'inox et de fer.
- ✚ **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.
- ✚ **Système de Filtration** : une filtration en continu de l'électrolyte sur charbon actif est préconisée (le charbon actif doit être renouvelé fréquemment).

2) Bain de dégraissage

a) Définition

Avant tout traitement, le nettoyage des surfaces est une phase essentielle qui a pour objet d'enlever les souillures existant à la surface des pièces et qui comprend deux opérations distinctes:

- **le dégraissage** qui élimine les corps gras : par des actions mécaniques, chimiques, électrolytiques.
- **le décapage** qui enlève toute trace de corrosion et d'oxyde qui adhèrent à la surface des pièces et qui peuvent être éliminés par une action mécanique (sablage ou grenaillage), chimique ou électrolytique.

Ces opérations sont toujours suivies d'un rinçage.

Le dégraissage a pour mission principale d'éliminer les huiles, les graisses, les poussières et de créer la mouillabilité des supports permettant la continuité et l'homogénéité des traitements ultérieurs.

b) Différents type de dégraissage

Il y a trois types de dégraissage :

- Alcalin
- Acide
- Par solvants
 - **Le dégraissage alcalin** : C'est le procédé le plus utilisé en raison de son large spectre de dégraissage et de sa forte capacité à émulsionner les huiles.
 - **Le dégraissage acide** : Le pouvoir dégraissant de ce produit est généralement faible, mais les températures d'utilisation sont basses. Ces produits sont constitués de mélanges d'acides (acide sulfurique, acide phosphorique)
 - **Le dégraissage par solvants** : Les solvants utilisés sont des hydrocarbures chlorés ou de la famille des hydrocarbures aliphatiques lourds, utilisés soit en phase vapeur soit au trempé.

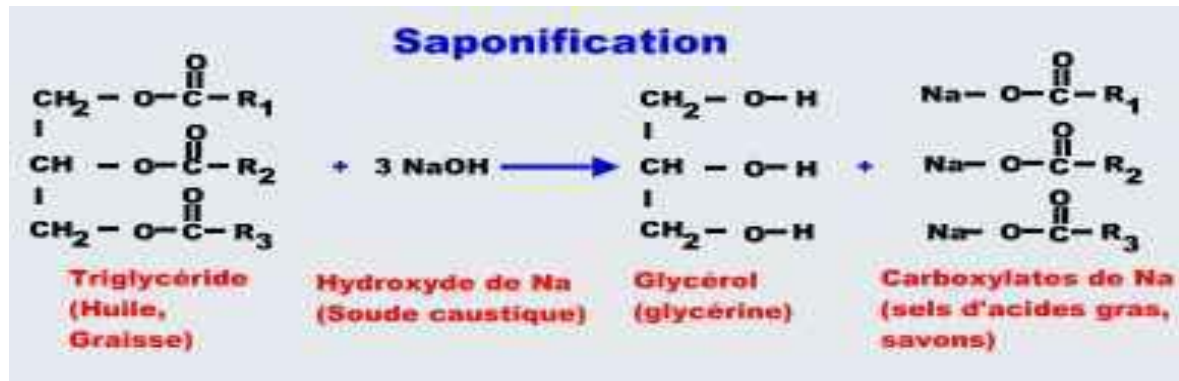
c) Dégraissage électrolytique

Ce procédé repose sur l'électrolyse des pièces à nettoyer, dans un bain alcalin composé de soude caustique et d'autres produits chimiques. La pièce à traiter agissant comme cathode. Les particules colloïdales de graisse, chargées négativement, sont repoussées, et l'hydrogène produit exerce un effet dégraisseur. Le dégraissage implique une réaction chimique qui permet d'éliminer les huiles et les graisses. On a deux catégories de graisses :

- Corps gras d'origine végétal ou animal : combinaison d'acide gras et de glycérol ou des savons métalliques (acides gras + métal). Ces graisses sont saponifiables, c'est-à-dire

décomposables à chaud par des bases. Cette décomposition libère des sels alcalins et du glycérol solubles dans l'eau.

La réaction de Saponification ; c'est l'action de la soude sur des triesters, permet d'obtenir un sel et du glycérol :



Si la quantité de soude est très importante, elle s'oppose à l'émulsion et s'élimine au rinçage.

d) Composition du bain de dégraissage et condition de travail

Les compositions chimiques ainsi que les conditions opératoires de travail du bain de dégraissage sont représentées dans le tableau 2 suivant :

Tableau 2 : Composition et conditions opératoire

Compositions	Condition
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cyanure de sodium ▪ soude caustique ▪ Carbonate de sodium ▪ Phosphate tri sodique ▪ Eau déminéralisée. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température ambiante ▪ courant : $I \sim 25 \text{A/dm}^2$ ▪ Temps de travail : 5 à 10 min ▪ Baume de 15 à 17 ▪ pH=12.

Tableau 3 : *Rôle des produits chimique utilisés*

<i>Produit</i>	<i>Rôle</i>
<ul style="list-style-type: none">▪ Soude caustique▪ Carbonate de sodium▪ Phosphate tri sodique.	<ul style="list-style-type: none">▪ Matière première d'alcalinité▪ Pouvoir saponifiable▪ Source d'alcalinité▪ Agent tensioactif▪ Facilite le rinçage.

Remarque

Lorsque le baumé du bain diminue, l'article ne sera pas bien dégraissé, il faut donc remplir le bain avec une autre solution neuve car un mauvais dégraissage veut dire une mauvaise préparation de surface de l'article donc un mauvais dépôt électrolytique.

3) Bain de rinçage

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



Figure 8 : *bains de rinçage*

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

4) Bain de cuivre

Cuivrage électrolytique : étape avant nickelage : Les pièces ne peuvent être nickelées directement sur leur surface d'origine. On procède à un cuivrage par immersion dans un bain contenant du cuivre en solution (cyanure de cuivre ou sulfate de cuivre) mélangé à d'autres produits chimiques (cyanure de sodium, acide sulfurique, etc.), eau déminéralisée, et soumis à un courant électrique. Après dégraissage, la pièce à cuivrer est placée dans le bain et reliée à la cathode, l'anode sera en cuivre pur.

✚ **But :**

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,...)

A la SADF on a deux procédés de cuivrage

a. Bain de cuivre alcalin

Dans le bain de cuivre alcalin et sous forme Cu^+ (CuCN) contrairement au bain de cuivre acide le cuivre est sous forme Cu^{2+} (CuSO_4).

Tableau 4 : *Composition et conditions opératoires.*

Composition du bain :	Conditions :
<ul style="list-style-type: none">▪ Cyanure de sodium▪ Cyanure de cuivre▪ Additif : Ultinale brillante Ultinale base	<ul style="list-style-type: none">▪ Temperature: 35 à 40°C▪ Temps d'immersion 10 min▪ Densité de courant: 0,5 à 3 A/dm²▪ Degré Baume = 14°B▪ pH=11

La réaction qui peut avoir lieu à l'anode {oxydation}



La réaction qui peut avoir lieu à la cathode {réduction}



b. Bain de cuivre acide

Dans le bain de cuivre acide l'anode est constituée d'une grosse plaque métallique de composition d'une grande quantité de cuivre et une portion de phosphore. Ce dernier aboutit à la formation des grains très fins ce qui explique l'influence favorablement et la brillante finale.

On constate même une coloration bleue sur le bord du bain qui est due à la formation de l'hydroxyde de cuivre Cu (OH)_2 (réaction **parasite**)

Tableau 5 : *Composition et condition du bain.*

Composition	Condition
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sulfate de Cuivre CuSO_4 ▪ Acide sulfurique H_2SO_4 ▪ Additif : Cubrac brillant Cubrac nivelant Cubrac base Mouillant 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température ambiante ▪ Temps d'immersion de 15 à 20 min ▪ pH = 4,5 ▪ Degré baume de 19 à 25 °B ▪ Densité de courant 2A/dm^2

La réaction qui peut avoir lieu s à l'anode :



La réaction qui peut avoir lieu à la cathode:



5) Bain de nickel

Dans de bain de nickel, les articles décoratifs jouent le rôle de la cathode et les barres nickel jouent le rôle de l'anode. Lorsque le courant passe, les ions positifs du nickel migrent vers le pôle négatif (articles décoratifs) et se déposent sous forme de couche de métal dont l'épaisseur dépend du temps d'immersion.

Tableau 6 : *Compositions et Conditions opératoires.*

Compositions	Conditions
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sulfate de nickel ▪ Chlorure de nickel ▪ Acide borique ▪ Additifs : <p>Mouillant Nivelant Purificateur Fixateur</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température : 60 à 70°C ▪ Temps d'immersion de 10 à 15 min ▪ pH : 3,8 à 5 ▪ Degré baume de 25 à 30 B° ▪ Densité de courant : 3 à 5 A/dm²

A l'anode se déroule la réaction suivant :



Une réaction de réduction se déroule à la cathode :



Remarque

Les anodes sont constituées de panier en titane contenant des morceaux de nickel, pour éviter que des bouts d'anode détachés migrent dans la solution et le dépôt, on place les paniers dans des sacs qui vont retenir ces débris tout en permettant la circulation des ions, dans ce bain on remarque qu'il existe une certaine coloration verte, cette coloration provient d'une précipitation de l'hydroxyde de nickel $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Les boules servent à garder la chaleur et garder la mauvaise odeur provenant de dégagement de dichlore.

6). Pré-argent

Ce bain est utilisé pour déposer une mince couche d'argent pour faciliter plus le dépôt d'argent et aussi une préparation de la surface d'article au bain d'argent pour obtenir un bon dépôt.

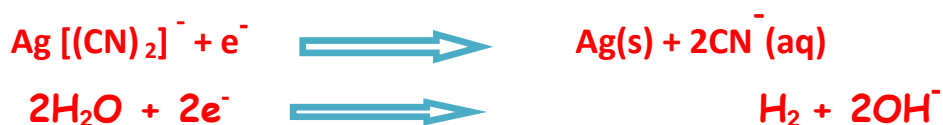
Tableau 7 : Conditions de travail et composition du bain de pré-argenteure

Composition	Condition
<ul style="list-style-type: none">▪ Cyanure d'argent▪ Cyanure de potassium▪ Eau déminéralisé▪ Anode d'acier inox	<ul style="list-style-type: none">▪ Température ambiante▪ Temps d'immersion de 10 à 15 s▪ pH = 11▪ Degré baume de 14 à 17° B▪ Densité de courant de 4 à 5 A/dm²

- A l'anode on a une réaction d'oxydation :



- Une réaction de réduction se déroule à la cathode :



7) Bain d'argent

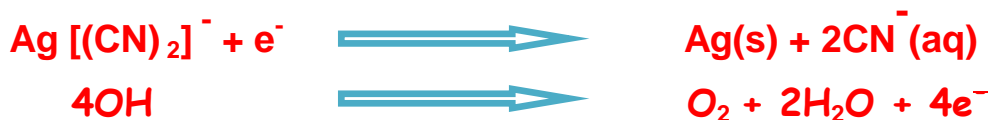
Le revêtement d'argenture a plus d'importance dans la société à cause de son coût cher et aussi par ce qu'elle est la couche superficielle pour la plupart des articles

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.

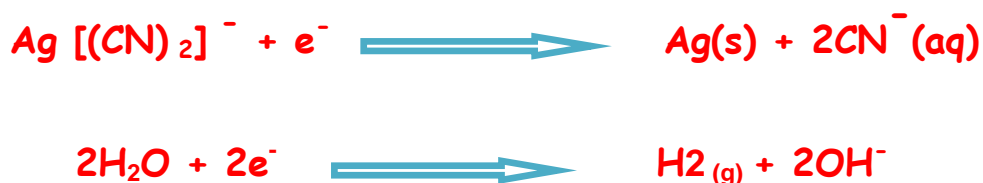
Tableau 8 : *Composition et condition de travail.*

Composition	Condition de travail
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cyanure d'argent ▪ Cyanure de potassium ▪ Anode d'argent ▪ Anode d'acier ▪ Additif <p>Silverlium brillanteur Silverlium base Epurateur d'argent.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperature ambiante ▪ Courant: 2 à 5 A ▪ Temps d'immersion: 5 à 25 min ▪ Baume de 35°B ▪ pH = 12 ▪ Filtration par charbon actif.

La réaction qui se déroule à l'anode :



• La réaction qui se déroule à la cathode :



8) Séchage

La dernière étape du procédé de traitement de surface et le séchage qui consiste à mettre les articles dans un four à la température de 130°C

➤ Le traitement de cyanure

Il faut se méfier des solutions aqueuses contenant des ions cyanure CN^- (comme celle utilisée dans la SADP), car si un acide entre en contact avec la solution, un dégagement gazeux de cyanure d'hydrogène mortel se produira. Il faut donc bannir tout acide à proximité d'un tel mélange. Pour détruire les ions cyanure, il faut les transformer en d'autres composés peu toxiques. Il existe plusieurs méthodes.

1. Transformation en ions cyanates

L'ajout d'eau de Javel additionnée d'hydroxyde de sodium dans une solution de cyanure conduit au cyanate correspondant. Formation de chlorure de cyanogène selon :



Destruction du chlorure de cyanogène en milieu fortement alcalin :



Cette destruction doit s'effectuer en milieu très fortement basique ($\text{pH} = 12$) pour que le chlorure de cyanogène soit immédiatement détruit.

Ensuite on peut détruire les cyanates OCN^- , peu toxiques, en acidifiant le milieu par l'acide chlorhydrique en présence d'un excès de NaOCl selon :



À noter qu'en industrie, on utilise des bains de cyanure pour zinguer des métaux par électrolyse. Ces bains sont tous suspendus au-dessus d'une grande cuve remplie d'eau de Javel : en cas de fuite accidentelle, le cyanure est immédiatement détruit.

2. Oxydation directe

Il est possible de traiter la solution contenant les cyanures par un persulfate (persulfate de potassium) qui oxyde directement en cyanate, sans passer par le redoutable chlorure de cyanogène

Conclusion

En général, 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.
- ✚ Un ou plusieurs conducteurs.

Des additifs pour améliorer l'aspect de dépôt

CHAPITRE III : PARTIE EXPÉRIMENTALE

I. GÉNÉRALITÉ

Le calcul du rendement permet de déterminer l'efficacité d'une synthèse chimique. L'intérêt du chimiste sera donc de déterminer les différentes conditions opératoires permettant de l'optimiser pour s'approcher le plus près possible de 100%. Les pertes de rendement peuvent avoir diverses origines : réactions parasites, pertes lors des diverses étapes de la synthèse (filtration, agitation...)

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



Différence de potentiel (ddp)

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

- Si la tension est trop faible : la réaction ne s'effectue pas.
- Si la tension est trop forte : des phénomènes parasites peuvent s'effectuer.



Densité de courant

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

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



Température

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

⇒ Température très élevées susceptible pour détruire les additifs sensibles.



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.

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

- L'agitation selon 2 méthodes :
 - Agitation mécanique.
 - Agitation par des bulles d'air.



Concentration de l'électrolyte

Si la concentration augmente, le nombre des ions devient plus grand, la vitesse de leur décharge croît et cela favorise le dépôt des grains fins.

II. MODE OPÉRATEUR

On a déposé une couche de métal (Cu, Ni, Ag) sur 0.5 dm^2 de surface de deux faces de plaque en laiton. On peut calculer le rendement électrolytique de chaque dépôt par la relation suivant :

$$R = m_{\text{exp}} / m_{\text{theo}}$$

La masse théorique et calculer on utilisant la loi de faraday :

$$Q = n \cdot F \cdot e \cdot S \cdot \rho / M$$

$$M_{\text{th}} = Q \cdot M / n \cdot F$$

On sait que :

$$i = dq / dt \Rightarrow Q = I \cdot t$$

Car le courant est continu et on le considère constant donc :

Avec $Q(C)$ = charge transportée par un courant $i(A)$, pendant un temps $t(s)$ revêtement métallique par voie électrolytique

$$Q = n \cdot F \cdot M_{\text{th}} / M$$

$$M_{\text{th}} = I \cdot t \cdot M / n \cdot F$$

I : intensité de courant en (A).

t : temps d'immersion en seconde.

M_{th} : mass théorique en (g).

n : nombre d'électrons.

F : constante de Faraday 96500 c/mol.

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

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Application numérique pour le cuivrage alcalin :

- ❖ Masse molaire du cuivre : 63,5 g / mol
- ❖ Masse du laiton avant le dépôt : 21,18 g
- ❖ Masse du laiton après dépôt : 21,7430 g

$$\text{Masse expérimentale (m}_{\text{exp}}) = 21,7430 - 21,18 = 0,563 \text{ g}$$

- ❖ La densité du courant : 2A/dm²

- ❖ Masse théorique (m) : $(10 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 63.5) / 1 \cdot 96500 = 0,802 \text{ g}$

❖ Rendement électrolytique (R) : $0.563 \times 100 / 0.802 = 70,19\%$

Tous les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : rendement de dépôt métallique {Ag, Ni, Cu, Totale {dépôt de cuivre et Argent et Nickel}} sur 4 plaque de laiton

Traitement	Cu alcalin	Nickelage	Argenture	Totale
Densité du courant {A/dm ² }	2	5	0,5	
Temps de traitement {min}	10	15	15	
Masse de plaque avant dépôt {g}	21,18	21,18	21,18	21,18
Masse de plaque après dépôt {g}	21,7430	21,5898	21,3150	21,7834
Masse expérimentale {g}	0,563	0,409	0,135	0,603
Masse théorique {g}	0,802	1,368	0,503	2,673
Rendement(%)	70,19	29,89	26,83	22,55

Les quatre plaques du laiton de 0,5 dm² de surface ont été immergées dans les différents bains pour suivre le rendement et la qualité du dépôt des métaux. On obtient des dépôts avec des rendements insuffisants, ceux-ci due au :

- ✓ Utilisation d'un matériel ancien.
- ✓ Les générateurs (redresseurs) ne donnent pas de densité du courant précis.
- ✓ Pertes des ions métalliques qui se déposent au niveau des crochets liant les articles à la cathode.
- ✓ La concentration de la solution qui diminue pendant l'électrolyse et qui n'est pas toujours contrôlée.
- ✓ Utilisation des instruments de mesure (l'aréomètre baumé et le papier pH) qui ne donnent pas de valeurs précises.
- ✓ La température, le pH, l'agitation, la filtration variant au cours du processus du dépôt ne sont pas toujours bien contrôlés.

✓ Les impuretés et la pollution dans les bains électrolytiques.

Pour trouver des résultats satisfaisants il faut :

- + nettoyer les bains électrolytiques par filtrations en continu au charbon actif.
- + Oxyder les impuretés par KMnO_4 et H_2O_2 .
- + déminéraliser l'eau utilisée et le désinfecter par l'eau de javel.
- + Que la concentration du cyanure libre soit respectée.
- + La qualité du revêtement est très satisfaisante de point de vue brillance et couleur
- + résistance à la corrosion en milieu humide.

Pour améliorer la qualité et le rendement il faut :

- + Immerger suffisamment les articles dans le bain de dégraissage.
- + Que les solutions soient propres et parfaitement agitées à une température maintenue constante.
- + Faire des mesures précises de la masse et du volume des produits.
- + Contrôler les bains au fur et à mesure de l'utilisation par des techniques récentes.
- + Les redresseurs soient automatiques et équipés par des afficheurs électroniques et d'indicateurs d'approximation.
- + Le nettoyage et la filtration doit être en continue le long de traitement.

Conclusion :

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 propriétés bien déterminées. Ces caractéristiques peuvent varier en fonction de la chaîne de production et des modifications des propriétés physicochimiques.

Les dépôts sur laiton par électrolyse (galvanoplastie) sont effectués au sein de la SADP 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 comme la concentration, la propreté du métal, le pH de l'électrolyte, la température, la densité de courant, de la solution et l'ajout des sels et des brillanters.

Il faut signaler que la SADP ne possède pas de laboratoire de contrôle et du dosage des éléments chimiques. Les redresseurs utilisés ne sont pas contemporains, ils affichent les intensités de courant et les différences de potentiel entre leurs bornes avec des graduations à grande échelle. De l'ordre de 10 à 20 A.

Les valeurs de courant sont proportionnelles à la surface des pièces à traiter. Si ces surfaces sont petites ces redresseurs n'affichent pas les valeurs précises de courant.

L'approximation est de l'ordre de 6 A.

Les rendements trop élevés montrent que la galvanoplastie utilisée par la SADP reste une méthode non précise, mais utilisable.

Un matériel de précisions et sophistiqués, et un laboratoire de contrôle et de mesure donneront sûrement des résultats satisfaisants.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail une étude des revêtements métallique par voie électrolytique a fait l'objet principal. A la SADF, les revêtements de la surface métalliques présentent beaucoup de problèmes surtout au niveau de rendement du dépôt électrolytique qui reste non satisfaisant. Ceci peut être expliqué par un manque d'instrument et de méthodes de travail modernes et d'une technologie avancée. En effet, différentes mesures correctives pour résoudre ces problèmes ont été proposés pour contrôler le processus de revêtement et avoir des mesures plus exactes et précises.

Enfin, ce stage qui a duré un mois et demi, a été très important pour moi dans la mesure où il m'a permis de toucher de près dans le monde industriel et d'avoir un esprit ouvert à la recherche scientifique. Le sujet, très pertinent, m'a permis d'acquérir une compétence satisfaisante dans le domaine de l'électrochimie et plus précisément dans le cas du revêtement des surfaces métalliques.

WEBOGRAPHIE :

- www.futur-sciences.com/sciences/definitions/physique-electrolyse-339/
- [www.a3ts.org/actualite/commission-technique/fiches-technique-traitement de surface/lavage-dégraissage-avant-ou-après traitement/](http://www.a3ts.org/actualite/commission-technique/fiches-technique-traitement-de-surface/lavage-dégraissage-avant-ou-après-traitement/)
- www.ma.auf.org/corrosion/preparation.htm
- www.usager.umontreal.ca/begin/phase1/7-3-2-D-degraissage-elctrolytique.htm
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement-de-surface>
- www.sv.pm.fr/preparation-desurface/dégraissage-chimique
- Autres rapport
- Fiche technique de la SADP