



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Traitement de surface revêtement métallique par voie électrolytique

Présenté par :

♦ Morad El berdi

Encadré par :

- ♦ Mr KHAMAR CHANOUNI (Société)
- ♦ Pr E.M. EL HADRAMI (FST)

Soutenu Le 13 Juin 2014 devant le jury composé de:

- Pr A . BEN -TAMA
- Pr S . CHAKROUNE
- Pr E.M. EL HADRAMI

Stage effectué à Société des artisans dinandière de Fès

Année Universitaire 2013 / 2014

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, j'exprime ma gratitude pour tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à faire de ce stage une bonne opportunité tant sur le plan professionnel qu'humain.

Je veux remercier Monsieur **TAHIRI JOUTI abderrafie** de m'avoir donné l'opportunité de réaliser mon stage au sein de la société SADP, pour son accueil chaleureux et sa confiance.

Je remercie tout particulièrement Monsieur **KHAMAR CHANOUNI** mon responsable de stage, pour son aide et sa contribution dans ma formation. La qualité de son encadrement et sa disponibilité au quotidien m'ont beaucoup aidé à réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

J'ai le plaisir de leurs exprimer tous mes remerciements et reconnaissances. Merci à toute l'équipe de la SADP pour l'accueil et la bonne ambiance.

Ce travail a été facilité par un cadre professionnel compétent et agréable, Monsieur le Professeur **EL MESTABA EL HADRAMI**, qui m'a fait profiter de ses expériences et les discussions que nous avons menées ensemble ont été d'une grande importance dans l'avancement de mon travail.

Je tiens à remercier également les membres de jury : Pr **S. CHEKROUNE** et Pr **A. BEN-TAMA** d'avoir accepté de juger mon travail.

Je tiens à remercier l'équipe pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès. La richesse et le contenu de la formation que j'ai eue au sein de l'établissement m'ont donné des outils puissants pour mener à bien le travail de mon stage.

Je n'oublie pas d'exprimer mes sincères remerciements à ma famille, surtout ma mère et mon père qui est malgré la distance, il est toujours près de moi pour me soutenir et m'encourager.

Enfin, je remercie mes camarades de la FST pour leur soutien et pour les réponses attentives qu'ils m'ont apportées lors de ce travail de fin d'études.

INTRODUCTION

Pour mettre en valeur la formation reçue, il est primordial d'effectuer un stage au sein d'une entreprise afin d'amener l'étudiant à se confronter à des situations réelles, d'élargir sa formation dans le domaine pratique, et d'avoir une idée sur la vie professionnelle.

Mon stage était une occasion exceptionnelle qui m'a permis d'étudier de l'intérieur le fonctionnement de la société SADP (*Société des Artisans Dinandiers de Fès*) avec ses particularités humaines, techniques et organisationnelles.

Le projet de fin d'études au sein de la *Société des Artisans Dinandiers de Fès* est un stage qui a comme objectif de suivre les processus de traitement de la surface des articles en métal et plus particulièrement l'étude des dépôts sur le laiton par électrolyse (galvanoplastie). Ces dépôts sont effectués au sein de la SADP en utilisant des bains électrolytiques en une chaîne bien déterminée par plusieurs types des métaux à titre d'exemple le cuivre, le nickel et l'argent pur, avec des contrôles des bains pour répondre aux normes généraux données dans des fiches techniques.

La galvanoplastie en général est une méthode intelligible pour transformer et améliorer l'aspect d'une surface métallique, le but de ce stage c'est vérifier si cette méthode est convenable en terme de masse déposée et rendement ou non ? même signaler les différentes compositions des bains électrolytiques et leurs constitutions utilisées à cette société, ainsi les rôles des produits utilisés.

La partie pratique dans ce stage est une simple opération d'électrolyse sur cinq plaques du laiton de 0.6 dm^2 ont passé sur toute la chaîne de la production pour devenir propres et lisses et enfin immerger dans les bains électrolytiques successifs.

Le contrôle est une simple mesure de pH, densité et de la concentration comparées avec les normes. L'objectif de ces normes consiste à fixer les exigences auxquelles doit satisfaire les articles métalliques.

Ce rapport sera présenté comme suit :

Une introduction générale indiquant les objectifs du stage suivie par le premier chapitre consacré à la présentation de la SADP, le deuxième chapitre qui traite le procédé de fabrication, le troisième chapitre qui donne une idée sur le processus de traitement de surface par électrolyse adopté par la SADP, tandis que le dernier chapitre résume nos principaux résultats !!!!!

Chapitre I :

PRESENTATION DE LA SOCIÉTÉ

1- ENTREPRISE ET SON CONTEXTE :

1-1) Historique.

La SADF (*Société des Artisans Dinandiers de Fès*) a été Créée en 1982. Son activité principale est la fabrication d'articles de décoration à partir d'un métal (argent, laiton, cuivre) et le traitement de leur surface. Elle s'est spécialisée dans l'art de la table, l'aménagement des résidences et hôtels en créant des luminaires, des tables, des plateaux, théières, coffrets, etc.

Après sa création la SADF s'est confrontée aux nombreuses difficultés qui ont fortement entaché ses objectifs de relance de rentabilité et d'affirmations sur les marchés.

Comme dans ce secteur d'activité, la recherche et l'innovation sont primordiales, la SADF s'est préoccupée de la rénovation et de la création, en préservant un cachet traditionnel marocain et en le mariant avec un style contemporain.

En effet, un groupe de Maîtres artisans avait pensé de mettre en place une unité de production regroupant tout le processus de fabrication. Cela leur a permis de préserver le produit artisanal, de le développer et de lui donner l'aspect qui réunit à la fois beauté, goût et qualité et sans oublier la prise en considération du côté coût pour qu'il soit abordable par la plupart des clients.

1-2) localisation et coordonnées

La société des Artisans Dinandiers de Fès est située dans la ville de Fès et ses coordonnées sont les suivantes :

47 ,lot Industriel Ben souda B.P 2423. Fès 30000 Maroc

Tél : (212) 5 35 65 51 43 Fax : (212) 5 35 65 50 89

E-mail : sadf.maroc@gmail.com / sadf.fes@gmail.com

1-3) Produits

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. Par exemple : luminaires, tables, tabourets, miroirs, plateaux, théières, coffrets ou tout autre type de travaux selon modèle.

La découverte de nouvelles compétences et l'apprentissage des techniques de la dinanderie aux générations futures restent parmi les objectifs fondamentaux de la SADF.

1-4) Production

La SADF a fait de grands pas que ce soit sur le plan artistique ou celui de la recherche. Elle a été toujours en tête dans la rénovation et la création, pour substituer ce qui est « Traditionnel – Traditionnel » par ce qui est « Traditionnel – Contemporain ». Aussi, elle a gardé la conformité comme tradition, et le style comme contemporain. Elle s'efforce toujours à satisfaire les goûts de ses clients aussi bien marocains qu'étrangers, et ce malgré la concurrence acharnée des industries modernes.

Au contraire de ce qui est connu dans l'ancienne médina de Fès, la SADF a intégré un certain nombre d'artisans spécialisés dans différentes disciplines et dont la capacité de leurs mains donne l'aspect original du produit. Signalons que la SADF a acquis une très bonne image de marque et une bonne réputation assez large. Pour cela, la SADF a vu qu'il est temps d'élargir sa gamme de produits en offrant des produits en bois marié au laiton.

1-5) Clients

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

⇒ Clients nationaux : Etablissement étatique, Palais Royaux.

⇒ Clients internationaux : Emirats Arabes Unis et Arabie Saoudite.

1-6) Structure de SADF

Dans la SADF on trouve un personnel qui est de 166 personnes, avec 84% d'hommes et 16 % de femmes. L'organigramme de la société SADF est représenté par la fig1.

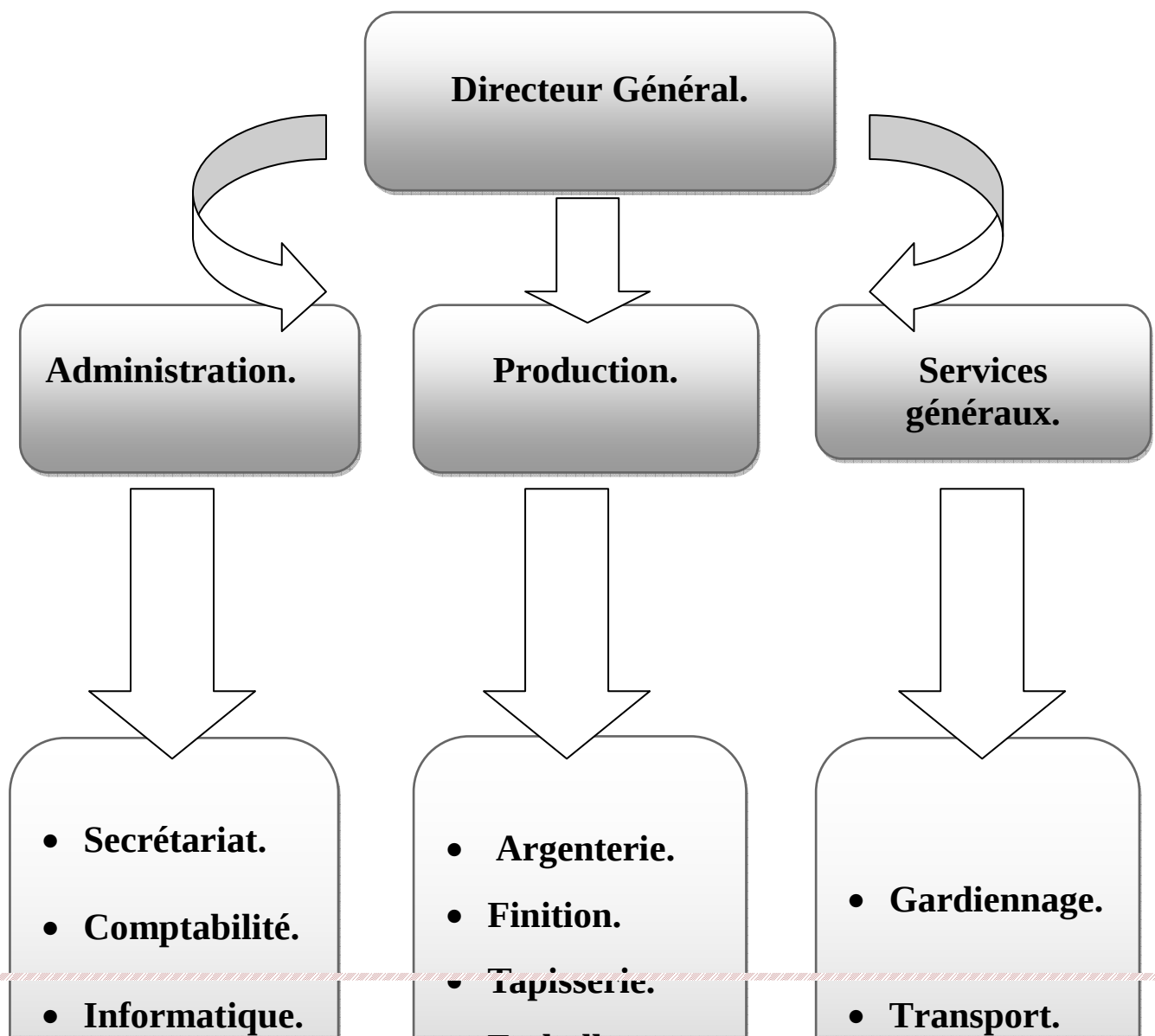


Figure 1 : Organigramme de la société SADF

chapitre 2:

PROCEDE DE FABRICATION

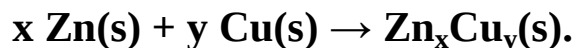
A l'instar de toute industrie, le procédé de fabrication dépend de deux éléments à savoir :

- **La matière première.**
- **La chaîne de production.**

a) MATIERE PREMIERE :

La SADF utilise comme matière première principale le Laiton. Ce dernier est un alliage de cuivre 60-70% et de zinc 30-40%. Aussi il peut contenir d'autres éléments métalliques comme le plomb, l'aluminium et le nickel qui sont ajoutés afin d'améliorer la qualité. Le Laiton a une température de fusion de 900 °C.

Donc Si on fusionne le cuivre et le zinc à une température de 900°C il va se former un laiton selon l'équation suivante :



Remarque 1 : Les proportions de cuivre et zinc peuvent varier d'un laiton à un autre.

Le bronze c'est le laiton dans le langage courant, on le choisit (laiton) grâce aux propriétés suivantes :

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

b) CHAINE DE PRODUCTION :

i. Conception du prototype ou Modélisation :

Dans la SADF il y a des modélistes spécialisés dans ce domaine qui élaborent un prototype qui va aider à continuer la production s'il est accepté. Le dessin de prototype se fait dans des feuilles qui vont se coller dans des plaques en laiton qui passent par toutes les étapes de la chaîne de production.

ii. Découpage :



Image 1et 2 : Machine de découpage automatique.

La découpe des pièces métalliques peut être réalisée avec différents outils, à main ou électriques, certains étant mieux adaptés à tels ou tels types de découpes ou formes de pièces métalliques.

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

iii. Gravure :

C'est une technique qui consiste à **dessiner** sur un objet en creusant, ou en incisant sa surface. Le fait de « graver », c'est-à-dire de creuser ou d'inciser un matériau ; par extension la gravure désigne aussi un ensemble de techniques utilisées en art ou en reprographie, ne nécessitant pas toujours de graver le matériau. S'effectue avec un appareil appelé le « Burin », il s'agit d'une tige d'acier trempé affûtée et fixée dans un manche qui découpe nettement le métal et l'enlève sous forme de copeaux.



image 3 : Gravure de dessins traditionnels.

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

- Dessins traditionnels :
- Dessin modernes :
- Dessin voulu par les clients

iv. Repoussage :

Le repoussage au tour est une technique permettant de réaliser des surfaces de révolution (dômes, cônes et vases) de toutes formes à partir de métal en feuille.

On distingue deux types :

- Manuel
- Automatique



Image 4 : machine de repoussage

v. 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 reproduire, après refroidissement, une pièce donnée (forme intérieure et extérieure) en limitant autant que possible les travaux ultérieurs de finition.

Les chutes du laiton provenant des différentes étapes précédentes sont conduites à la fonderie pour reproduire un article désiré.

Cette fabrication se déroule en trois étapes :

- Fabrication d'un moule approprié et à partir d'un sable particulier.
- Fondage des chutes du laiton avec quelque gramme d'aluminium.
- Moulage qui consiste à couler l'alliage fondu dans les moules pour fabriquer de nouveaux articles.



Images 4 et 5 : la fonderie

Remarque :

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

vi. Limage :

Le **limage** est l'usinage d'une pièce à l'aide d'une lime pour enlever des irrégularités provenant de la fonderie. Il se fait manuellement ou à l'aide d'une machine.



Images 6 et 7 : Limage manuelle et avec machine.

vii. Soudure :

Désigne un ensemble de procédés d'assemblage de pièces mécaniques, généralement par chauffage. Elle consiste à assembler les différentes pièces d'un article. Cette fixation est réalisée par des soudures en étain.



Images 8 et 9: soudure manuelle, avec un chalumeau.

viii. Décapage :

C'est l'élimination mécanique ou chimique de 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 l'électrolyse en présence de H_2SO_4 .
- ❖ **Chimique** : surface attaquée par les acides forts et concentrés

ix. Polissage :

Le **polissage** ou **poli** est l'action de polir. Il sert à rendre lisses et brillants les articles par différentes matériaux tournant à grande vitesse avec une pâte à polir.



Image 10 : machine de polissage

x. Ravivage :

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

xi. Contrôle de qualité :

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

xii. Traitement de surface :

Le procédé de traitement de surface utilisé par la SADP 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 en augmentant sa résistance à la corrosion.

xiii. Emballage :

Il est composé de trois étapes :

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



Image 11 : Emballage en cartons.

Chapitre 3:

PROCESSUS DE TRAITEMENT DE SURFACE PAR ELECTROLYSE ADOPTE PAR LA SADF

I. Galvanoplastie.

C'est le principe de l'électrolyse utilisé pour appliquer au moyen d'un courant électrique continu, un dépôt métallique, à la surface d'un objet, le métal étant initialement sous forme de cations en solution dans un solvant (en général l'eau). Cette technique est utilisée soit pour préserver l'objet de l'oxydation, soit pour l'embellir.

Le traitement de surface des articles dans la SADF se fait par voies électrolytiques.

1- L'ELECTROLYSE :

1-1) Définition :

L'électrolyse est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. C'est le processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique.

1-2)

Principe de fonctionnement :

On dépose une couche mince du métal voulu sur les articles en laiton pour avoir un aspect et une couleur exigée. L'électrolyse dans la SADF comme toute électrolyse a comme principe de diriger les ions du métal qui se trouve en solution vers la cathode (électrode négative) en travaillant avec un courant continu arrivant d'un générateur avec un voltage et un ampérage précis.

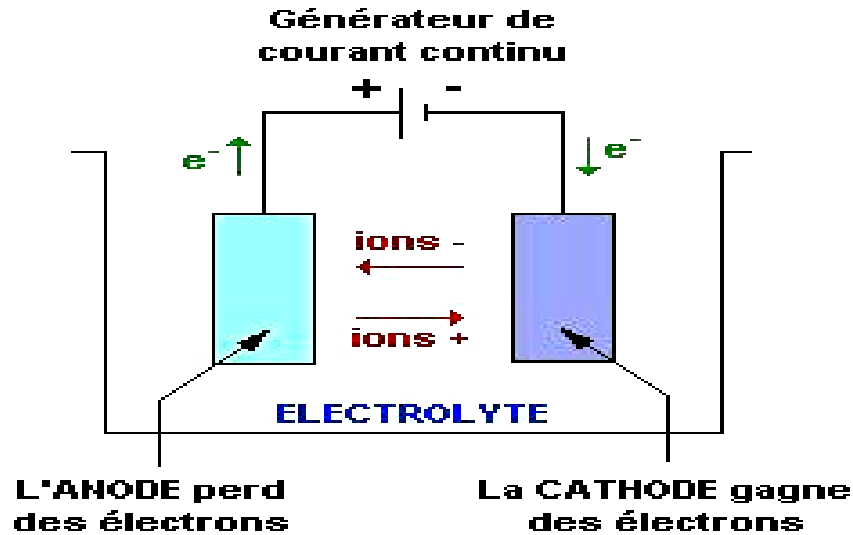
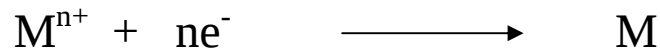


Figure 2 : Schéma d'un bain électrolytique.

Les anodes sont en général en métal souhaité à recouvrir à ce stade, le métal s'oxyde selon la réaction suivante :



Les articles sont eux mêmes considérés comme des cathodes en laiton. Les ions de métal en solution se réduisent sur les pièces tout en se transformant en une petite couche sur les pièces selon la réaction suivante :



Cette méthode se réalise dans des bains spécifiques qui résistent à la corrosion dans lesquels on met une solution électrolytique et on plonge deux électrodes reliées aux bornes d'un générateur de courant continu. Dans l'électrode positive (anode) se fait le phénomène d'oxydation et l'électrode négative (cathode) se fait la réduction...

Le pôle positif du générateur est toujours relié à l'anode et le pôle négatif à la cathode. (Voir schéma). Les secrets de la réussite en galvanoplastie sont très stricts. Les voici dans l'ordre d'importance :

- Il faut savoir dégraisser parfaitement ses pièces.
- Il faut connaître la bonne formule du bain.
- L'agitation des pièces est souvent recommandée.

N.B : La densité du courant appliqué dépend de la surface des pièces et du résultat que l'on souhaite obtenir.

Les faibles densités donneront un dépôt formé de gros grains (aspect brillant) car les cristaux métalliques ont le temps de s'organiser, les densités fortes donneront des grains fins (aspect mat), les densités très fortes donneront des dépôts brûlés (aspect noir) avec dégagement d'hydrogène.

2- CONSTITUTION DES BAINS D'ELECTROLYSE:

Cuve : qui est protégée contre tous les attaques corrosives de certains électrolytes car il est revêtu par de **caoutchouc, d'ébonite ou Polyvinyle de Chlorure (PVC)**, les volumes de ces cuves varient de l'un à l'autre selon plusieurs paramètres.

Générateur : est la source d'énergie électrique en courant continu (Juste pour avoir des charges positive et négative aux bornes de ce redresseur, car ces charges là dirigent les ions en solution par **la migration** : *déplacement des ions sous l'effet d'un champ électrique* « potentiel électrique ».), qui sera transformée en énergie chimique. Dans la SADP, on utilise le générateur Potensiostat qui permet d'imposer un courant constant.

Les électrodes : en général, 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. Dans certain cas on peut utiliser des électrodes d'inox et de fer.

Chauffage : dans **cette technique** il est nécessaire de chauffer car la température agit aussi sur le rendement des réactions électrochimiques qui se font en solution. Pour cela les cuves de la **SADP** sont équipées d'un système de chauffage réalisé par des thermoplongeurs avec une régulation thermostatique, pour que la température reste constante au niveau du bain. Ces thermoplongeurs sont plongés au bout du bain et l'énergie dégagée sous forme de chaleur se conduit par conduction et parfois par convection si la température est élevée. Pour éviter beaucoup d'échange de cette énergie avec le milieu extérieur, on utilise des boules en plastique qui flottent sur toute la surface du bain électrolytique.

Agitation : on la fait mécaniquement, par vibration de la cathode donc des articles et non pas l'agitation de la solution ou bien agitation de la solution à aire.

Filtration : on filtre la solution par une pompe qui contient le charbon actif pour éliminer les traces des impuretés que ce soit les poussières, des micro-organismes etc..., une filtration continue sur le charbon actif est indispensable afin d'obtenir une couche de métal propre et lisse déposée sur l'article.

3- TYPE D'ELECTROLYSE UTILISEE A LA SOCIETE SADP :

3.1-Dégraissage :

Le traitement de la surface d'un article par galvanoplastie, nécessite que cette surface soit propre de toute pollution qui a comme effet de diminuer la qualité de l'article. Puisque la méthode d'électrolyse dépend des caractéristiques physicochimiques de cette surface, il faudra donc un nettoyage au préalable de la superficie en éliminant les graisses, les huiles et les oxydes métalliques qui empêchent d'avoir une qualité demandée.

Ainsi on assure la mouillabilité à l'eau en évitant tout caractère hydrophobe indésirable afin d'obtenir l'hydrophilie requise. C'est donc le **rôle** du dégraissage qui reste la très importante étape dans le procédé du traitement de la surface des articles. Autrement dit c'est le point critique de la qualité totale de l'article. L'élimination des matières grasses qui recouvrent la surface des pièces à traiter conditionnent la qualité de traitement final.

Il est donc nécessaire d'éliminer les 3 grandes catégories de souillures suivant :

- **Les graisses et huiles** par des opérations de DEGRAISSAGE
- **Les oxydes** (la rouille et la calamine) par des opérations de DECAPAGE

Surface d'une pièce non préparée

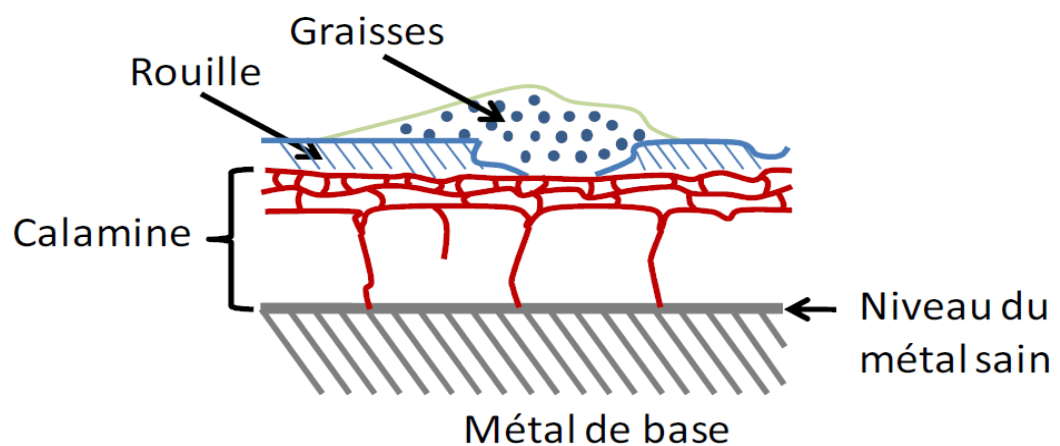


Figure 3 : Surface d'un métal brut.

Il y a deux types de dégraissage :

- ✓ Chimique
- ✓ Electrolytique

i. Le dégraissage chimique :

Ce type de dégraissage se fait par voie aqueuse ou semi aqueuse dont on note la présence des solutions alcalines, neutres, émulsionnables ...etc. Ce dégraissage met en jeu les réactions de saponification et les phénomènes des tensioactifs en utilisant des produits chimiques pour nettoyer l'aspect extérieur de la pièce.

Le choix des produits de dégraissage ne se fait pas au hasard. Il faut premièrement faire une étude au préalable des agents de dégraissage pour un fonctionnement efficace. La **SADF** utilise principalement des détergents alcalins. Le détergent doit contenir 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 se maintenir 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 de son 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+} .
- ✚ Il doit se rincer facilement 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.

Nous allons étudier dans les pages suivantes les différents produits chimiques qui sont utilisés dans la SADP pour un dégraissage efficace.

Les principes du dégraissage chimique :

Les pièces sont immergées d'un produit dégraissant dont l'action repose sur les paramètres suivants :

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

Donc cette méthode repose sur trois actions : la dissolution, le décollement et l'émulsification.

- ❖ **La dissolution** : la base minérale (NaOH en général) attaque les graisses et les transforme en savon.
- ❖ **Le décollement** : le mouillant se glisse entre le métal et la graisse
- ❖ **Emulsification** : les tensio-actifs (AB40 ou bien phosphate trisodique, DEX ou Presol utilisés à la SADP) va 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 trisodique (Na_3PO_4), le carbonate de sodium (Na_2CO_3) et d'autre produit commercial.

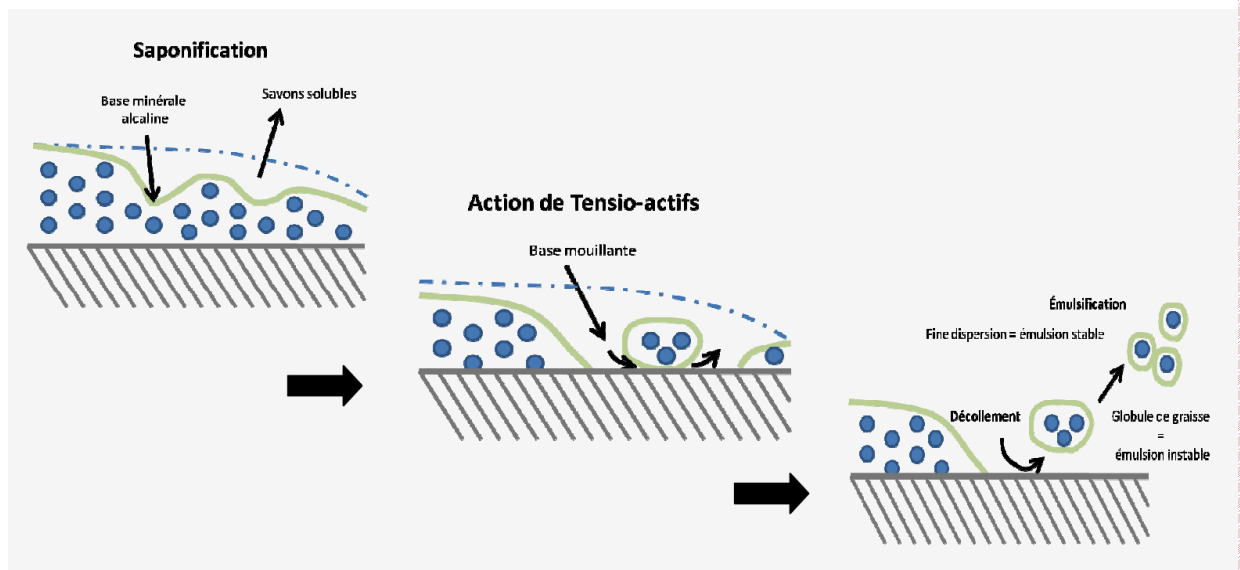
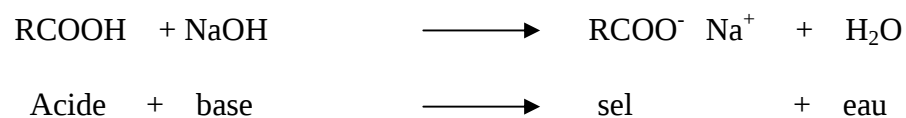


Figure 4: Les étapes du dégraissage chimique.

Propriétés chimiques de la soude :

La soude est un alcalin puissant 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 propriétés détergentes mais elle apporte une réserve d'alcalinité permettant la neutralisation des acides gras et la saponification des corps gras d'origine animale ou végétale.

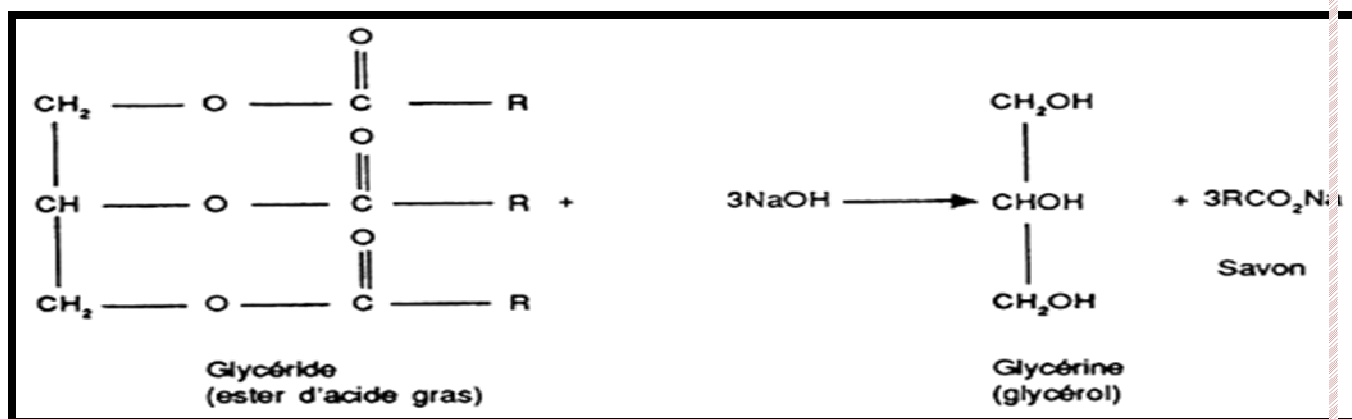


Figure 5 : Réaction de saponification

Dans le tableau suivant on peut citer les différentes propriétés détergentes de la soude :

Tableau 1 : Propriétés détergentes de la soude

Mouillance	Pas d'abaissement de la tension superficielle
Emulsion	Pas d'action directe mais favorise l'action des agents émulsifiants
Dissolution	Hydrolyse de la matière organique, très efficace grâce à son alcalinité
Saponification	De la matière grasse excellente, surtout à haute température
Dispersion	Pas d'effet
Antiredéposition	Pas d'effet

Le carbonate de sodium Na_2CO_3 :

Le carbonate de sodium se dissout mal dans l'eau froide parce qu'il se prend immédiatement en grumeaux par formation de cristaux de soude au contact de l'eau. La solubilité maximum se trouve entre 31 °C et 35 °C. Au-dessus, la solubilité diminue de nouveau.

C'est un alcalin moyen, il neutralise tous les acides en donnant des sels de sodium et en dégageant du gaz carbonique. Il a une alcalinité plus faible que la soude mais elle est sous forme stable. En effet, en solution, la soude a tendance à se carbonater et à se transformer en carbonate de soude. Le pH d'une solution à 1% est de 11,4.

- Faiblement hygroscopique, il absorbe à la longue l'humidité et se transforme en $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ qui durcit.

- L'hydrolyse de la matière organique est beaucoup plus faible qu'avec la soude.
- Il est facilement rinçable.

Tableau 2 : propriétés détergentes de carbonate de sodium.

Mouillance	Pas d'abaissement de la tension superficielle
Emulsion	Pas d'action directe mais favorise cette action
Dissolution	Par hydrolyse de la matière organique. Faible par manque d'alcalinité
Saponification	De la matière grasse moins rapide qu'avec la soude
Dispersant	Pas d'action
Antitartre	Favorise la précipitation de la dureté carbonatée

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

Même l'utilisation de tous ces produits n'est pas suffisante, les expériences montrent que l'utilisation des agents tensioactifs dont le plus anciennement connu est le savon, donne une action remarquable sur l'efficacité du dégraissage.

Propriétés tensioactives des savons

Dans le cas d'une surface métallique souillée par des gouttes d'huile ou de graisse (phase organique) plongée dans un liquide de nettoyage (savon, autres tensioactifs, NaOH...) généralement aqueux, s'exerce une tension entre ces deux phases par mise en évidence des forces de l'hydratation et de solvation exercées par les deux solvants présents en solution (la goutte d'huile solvate les molécules organique hydrophobes et l'eau hydrate les molécules polaire hydrophiles...). Les tensioactifs présentent dans leurs structures organiques deux parties principales une tête hydrophile, une queue hydrophobe (soluble dans la phase organique).

caractère tensio-actif des acides gras (exemple dans corps gras) :

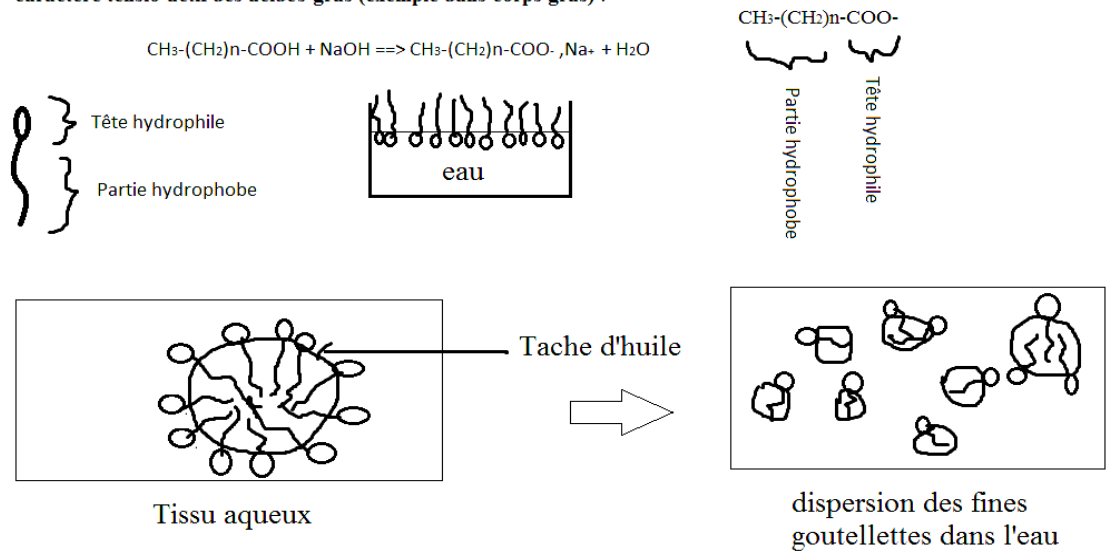


Figure 6 : caractère tensio-actif du savon

Les phosphates alcalins :

La SADF utilisent essentiellement les orthophosphates (phosphates trisodiques). Ils sont préparés industriellement en neutralisant l'acide phosphorique par le carbonate de sodium :

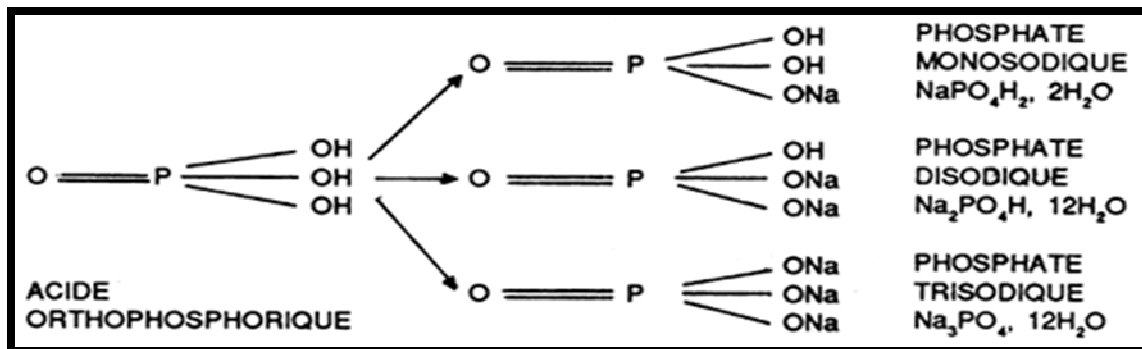


Figure 7 : Les structures développées des orthophosphates.

Propriétés détergentes des phosphates alcalins :

- Les phosphates possèdent un excellent pouvoir dispersant qui favorise la troisième action de la figure 4.
 - Ils ont une action synergique vis-à-vis des agents tensio-actifs.
 - Ils sont de très bons agents tampons « une propriété agréable d'un détergent ».
 - Ils améliorent la rinçabilité des détergents en général.
 - Leurs excellentes propriétés détergentes et complexantes sont malheureusement contrebalancées par leur hydrolyse à chaud qui transforme rapidement leurs structures.

ii) Le dégraissage électrolytique :

Il a le même principe que le dégraissage chimique. Justement on utilise les mêmes produits mais cette fois on impose une densité de courant constante arrivée d'un générateur de courant continu et entre dans la solution par des électrodes « anode de d'inox. Dans la SADP tout le bain est utilisé comme **anode de fer** et les pièces à traiter sont la cathode. » qui a comme rôle de favoriser l'élimination des graisses et des huiles présentes sur la surface des pièces. Toutes les pièces sans exception doivent être immergées dans ce bain qui est de 1800 litres.



Image 12 : Bain de dégraissage électrolytique dans SADP

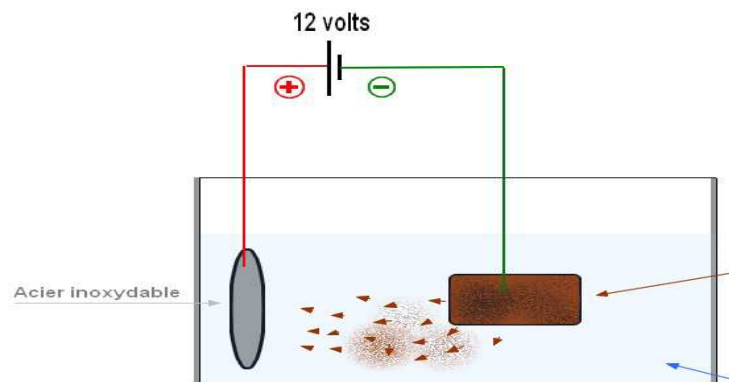


Figure 8 : Dégraissage électrolytique.

Les composition ainsi que les conditions sont cités dans les tableau suivants :

Tableau 3 : les compositions et les conditions de bains de dégraissage

Compositions	
--------------	--

❖ 120 Kg) ❖ ❖ ❖ sodium et soude	Dex ou presol (AB 40 (1 Kg) Eau déminéralisé Cyanure de
---	--

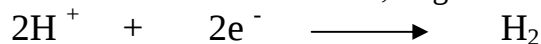
Ou bien on utilise parfois les produits suivants :

Tableau 3 : les compositions et les conditions de bains de dégraissage

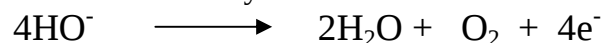
Compositions	conditions
❖ Cyanure de sodium 100 kg/bain. ❖ La soude caustique 70 kg. ❖ Eau déminéralisée ❖ Carbonate de sodium 18 kg. ❖ Phosphate trisodique 20 kg	❖ ❖ ❖ a/dm ² ❖ mins)

Dans ce cas on observe un important dégagement de gaz hydrogène qui réduit l'oxyde présent sur la pièce .la forte alcalinité qui entoure la pièce exerce une puissance action de saponification et d'émulsification (dégraissage chimique).

Généralement la pièce à traiter est relie à la cathode , siège de réduction :



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



3-2) bains de rinçage :

Le rinçage consiste à éviter d'amener les traces d'ions provenant de bain précédent qui peuvent altérer le bain suivant .

Ces opérations de rinçage se situent entre chaque opération de bain actif.les pièces traitées aux bains de dégraissage sont rincés trois fois successifs afin d'assurer leur purification .



Image 13 : les baigns de rinçage

3-3) bain de cuivrage :

Le cuivrage est une opération de revêtement par du cuivre , de la surface des pièces devant être protégées de l'oxydation . en utilisant électrolyse dans des bain ou les anodes sont à base de cuivre.

il y a deux procédés principaux utilisés en SADP l'un avant l'autre qui sont respectivement le cuivrage alcalin et le cuivrage acide. Leurs compositions et rendements son différents.

a) Cuivre alcalin :

dans le tableau suivant on va citer les compositions ainsi que les conditions opératoires du bain :

Composition de bain	Condition de travail
❖ Cyanure de cuivre 37.5 g/l. ❖ Cyanure de sodium 25 g/l. ❖ Soude caustique 10 g/l. ❖ Les additifs : • Ultimal brillanteur • Ultimal base • Mouillant • Epurateur ❖ Sel n°11 et n°2 qui ont comme rôle la conduction du courant.	❖ Température (T =35 à40 °C) ❖ pH = 11 ❖ baumé est de 13 ❖ temps d'immersion (t=5 à 10 mins) ❖ intensité de courant (I= 0.5 à 3 A/dm²)

--	--

Tableau 5 : les compositions et les conditions de travail du bain de cuivre

alcalin

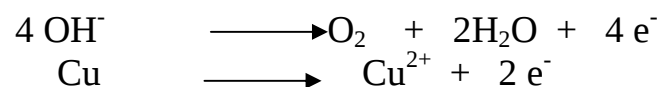


image 14: le bain de cuivrage alcalin

Les pièces à cuivrer sont reliées à la cathode et l'anode est en cuivre pur. Donc les réactions qui se produisent dans ce bain sont :

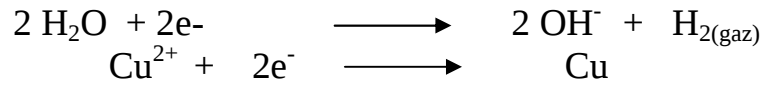
- A l'anode :

L'anode se dissocie en donnant du cuivre II et en libérant des électrons. La solution de même contient de Cu^{2+} l'anode de cuivre a pour but de régénérer les pertes de ces cations en solution et de fermer le circuit en conduisant le courant. Les demi-réactions qui se passent sont les suivantes :



- **A la cathode :**

De même les articles du laiton jouent le rôle de la cathode ,les cations métallique en solution gagnent les électrons imposés par le courant (borne négative) et son degré d'oxydation doit se réduit selon les demis réactions suivantes :



b) Cuivre acide :

dans le tableau suivant on va citer les compositions ainsi que les conditions opératoires du bain .

Tableau 6 : les compositions et les conditions de travail du bain de cuivre acide

Composition de bain	Condition de travail
❖ Sulfate de cuivre (CuSO_4) 50 60 g/l ❖ Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré. ❖ Anode plaque de cuivre contenant une portion (1.7 g) de phosphore. ❖ Les additifs : ◆ Brillanteur . ◆ Cubrac base. ◆ Cubrac nivellant.	❖ Température (T =35 à 40 °C) ❖ pH = 4.5. ❖ baumé est de 19 à 25. ❖ temps d'immersion (t=15 à 20 mins) ❖ intensité de courant (I= 0.15 A/dm²)



Image 15: le bain de cuivrage acide

Dans ce milieu Le dépôt de cuivre est effectuée d'une même manière que celle de milieu basique sauf qu'ici, l'anode est constituée de grosse plaque cuivre à une portion de **phosphore**. Cette dernière joue un rôle de catalyseur dans les réactions électrolytiques.

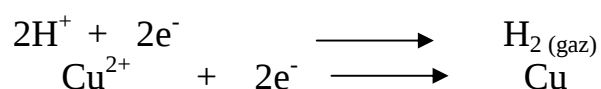
Les réactions qui se produisent dans le bain sont :

A l'anode :

Toujours les mêmes mécanismes qui se produisent dans tous les bains. Les réactions s'effectuent de la même manière .



A la cathode :



Ramarque !

- Il est conseillé dans tous les cas d'agiter mécaniquement les plaques de cathode et de filtrer continuellement par le charbon actif afin d'assurer un dépôt pur et lisse
- on utilise les deux bains selon aux besoins de dépôt voulu. Si on veut déposer une grande quantité de cuivre sur les articles, on utilise le milieu acide sinon le milieu alcalin

3-4) bain de Nickelage :

en générale Pour réaliser 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 présentent une bonne tenue à l'oxydation atmosphérique et à la vapeur d'eau. Les compositions et conditions opératoires sont présentées au tableau suivant :

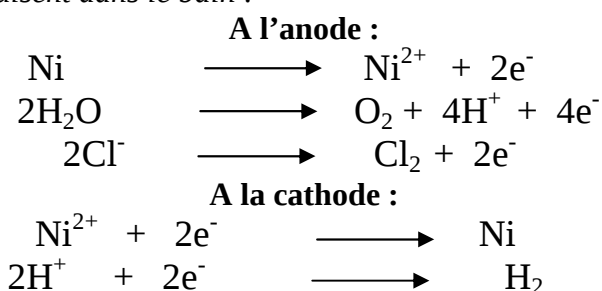
Tableau 7 : les compositions et les conditions de travail du bain de nickel

Composition de bain (1800 litres)	Condition de travail
❖ Sulfate de nickel (NiSO_4) 300 g/l. ❖ Chlorure de nickel (NiCl_2) 80 g/l. ❖ Acide borique (H_3BO_4) 48 g/l. ❖ Les additifs : ◆ Brillanteur . ◆ Fixateur. ◆ Mouillant. ◆ Nivellant. ◆ Purificateur R1 et R2.	❖ Température ($T = 60$ à 70°C) ❖ $\text{pH} = 3.8$ à 5.5 . ❖ baumé est de 26 à 30 . ❖ temps d'immersion ($t = 10$ à 15 mins) ❖ intensité de courant ($I = 3$ à 5 A/dm^2)

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 récompenser les pertes des ions de Ni^{2+} 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.

Les réactions qui se produisent dans le bain :



Remarque !

Si le pH diminue on ajoute l'acide sulfurique ou bien l'acide borique ,le rôle d'acide borique c'est la réduction du pH et le blanchissement du Nickel



Image16 : le bain de nickelage

3-5) bain de pré-argentage :

C'est une étape qui dure entre 10 à 15 secondes , permet de déposer une faible couche d'argent pour éviter toute transmission des impuretés au bain d'argentage .

Le tableau ci-dessus montre les conditions et les compositions du bain de pré-argentage :

Tableau 8 : les compositions et les conditions de travail du bain de pré-argentage .

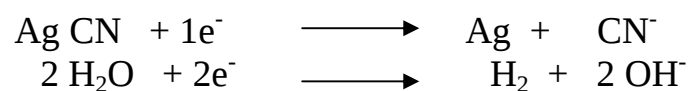
Compositions de bain	Conditions de travail
----------------------	-----------------------

- ❖ cyanure de potassium 150 g/l.
- ❖ cyanure d'argent 14 g/l.
- ❖ anode inox.
- ❖ Eau déminéralisé.

- ❖ Température ambiante
- ❖ Filtration sur charbon actif.
- ❖ pH = 3.8 à 5.5 .
- ❖ baumé est de 14.
- ❖ temps d'immersion (t= 10 à 15 secondes)
- ❖ courant très fort .

Les réactions qui se produisent dans le bain :

A la cathode :



A l'anode :

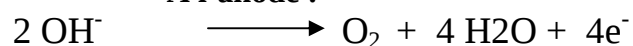


Image 17 : le bain de pré-argantage

3-6) bain d'argantage :

Les dépôts électrolytique d'argent sont blancs, tenders de très bonnes soudabilités, de conductibilité thermique et électrique excellentes. Il permet d'assure simultanément une bonne protection contre la corrosion.

Dans la SADP on utilise es produits et les conditions de travail qui sont citées dans le tableau suivant :

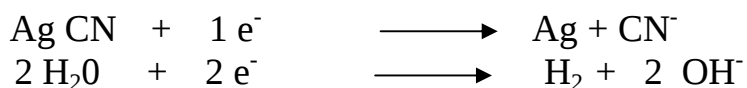
Tableau 9: les compositions et les conditions de travail du bain d'argentage

Compositions de bain	Conditions de travail
❖ cyanure de potassium 150 g/l. ❖ cyanure d'argent 36 g/l. ❖ anode d'argent pur avec les anodes d'inox. ❖ Eau déminéralisé. ❖ Les additifs : 1. Brillanteur 150 g/l . 2. Nivelant . 3. Base 4. Epurateur d'argent R₁ et R₂ (1 litre par semaine)	❖ Température ambiante ❖ Filtration sur charbon actif. ❖ pH = 3.8 à 5.5 . ❖ baumé est de 25 . ❖ temps d'immersion(au choix) ❖ courant 0.5 à 1 A/dm²

Les articles sont reliés sur la plaque cathodique à faible intensité de courant électrique. L'anode est composé de plusieurs plaques (pur) d'argent pour augmenter la concentration des ions d'argent dans la solution , et des plaques d'inox pour imposer le courant dans la solution .

Les réactions qui se produisent dans le bain d'argentage sont :

A la cathode :



A l'anode

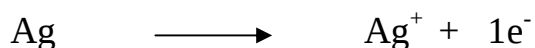


Image 17 : le bain d'argentage

3-7) séchage :

Le **séchage** est un procédé qui sépare un liquide d'un solide, d'un semi-solide, voire d'un liquide par évaporation . Cette opération est endothermique et nécessite l'apport d'énergie thermique.

Dans le cas de la SADP Les pièces bien traitées sont rincées puis séchées aux températures allant jusqu'à 130°C.

Remarque !

En raison de leurs conductivités équivalentes limites qui sont très élevées , Les anions SO_4^{2-} , Cl^- , CN^- et OH^- et les cations Na^+ et H^+ sont ajoutés dans les bains pour conduire le courant électrique dans les bains (alcalins ou acide).

Chapitre 4 :

CALCUL DE LA MASE DEPOSE ET DU RENDEMENT SUR DES ARTICLES EN LAITON

I) introduction :

Si on applique une différence de potentiel suffisante entre deux électrodes plongeant dans une solution électrolytique (électrolyseur), on observe le passage d'un courant électrique et simultanément une série de réactions chimiques à la surface de contact électrode-électrolyte, dégagement gazeux, dépôt de substances, dissolution des électrodes, apparition de nouvelles substances.

Dans cette partie de pratique on a utilisé comme échantillon 5 plaques du laiton ont une surface de 0.6 dm^2 et 1 mm d'épaisseur après avoir effectué le polissage et le dégraissage ,ces plaques sont pesées au préalable.

Dans cette partie de pratique on a utilisé comme échantillon 8 plaques du laiton ont une surface de 0.6 dm^2 et 1 mm d'épaisseur après avoir effectué le polissage et le dégraissage ,ces plaques sont pesées au préalable.

II) Estimation des résultats :

Le dépôt dans la galvanoplastie dépend de la quantité d'électricité imposée dans les bains qui est déterminée en appliquant la loi de faraday :

$$Q = \frac{n \cdot F \cdot M_{th}}{M} \quad \text{donc} \quad M_{th} = \frac{Q \cdot M}{n \cdot F} \quad (1)$$

On sait que : $i = \frac{dq}{dt}$ donc $Q = \int_0^t i dt = I \cdot t \quad (2)$

car le courant est continue , on le considère constant :
et d'après (1) et (2) on obtient :

Avec :

I : intensité de courant en (A).

t : temps d'immersion en seconde.

M_{th} : masse théorique en (g).

n : nombre d'électrons.

F : constante de Faraday 96500 c/mol.

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

Et le rendement se calcule par :

$$R = \frac{M_{ex}}{M_{th}} \times 100.$$

Avec :

M_{expérimentale} = la masse de l'article après le dépôt - la masse de l'article avant le dépôt.

A.

Plaque de cuivre alcalin :

On a immergé cette plaque pendant **10 mn** dans le bain de cuivre alcalin à un courant de **1 A/dm²** la **masse expérimentale** obtenue est :

$$M_{ex1} = 8.64 - 8.51 = 0,13 \text{ g.}$$

La masse théorique est :

On sait que La masse molaire de cuivre est de **M = 63.54 g/mol** et le nombre d'électron est déterminer de la demi réaction suivante :



et on a

AN:

$$M_{th1} = \frac{1 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 63.54}{2 \cdot 96500}$$

$$M_{th1} = 0.20 \text{ g.}$$

Le rendement de cette
:

AN:

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

opération est

$$R_1 = 0.13 / 0.20 = 65 \%$$

B. Plaque de Cuivre Acide :

On a immergé cette plaque pendant **10 mn** dans le bain de cuivrage acide à un courant de **5A/dm²** la **masse expérimentale** obtenue est :

$$M_{ex2} = 8.84 - 8.41 = 0.43 \text{ g.}$$

La masse théorique:

On sait que La masse molaire de cuivre est de **M= 63.54 g/mol** et le nombre d'électron est déterminer de la même demi réaction. $n=2$

$$M_{th2} = \frac{5 * 10 * 60 * 63.54}{2 * 96500}$$

$$M_{th2} = 0.99 \text{ g.}$$

Le rendement:

$$R_2 = 43.4 \%$$

C. Plaque de nickel :

On a immergé cette plaque pendant **10 mn** dans le bain de nickelage à un courant de **5A/dm²** la **masse expérimentale** obtenue est :

$$M_{ex3} = 9.52 - 8.97 = 0.55 \text{ g.}$$

La masse théorique:

On sait que La masse molaire de Nickel est de **M= 58.7 g/mol** et le nombre d'électron est déterminer de demi réaction suivante :



$$M_{th3} = \frac{5 * 10 * 60 * 58.7}{2 * 96500}$$

$$M_{th3} = 0.91 \text{ g}$$

Le rendement :

$$R_3 = 60.4 \%$$

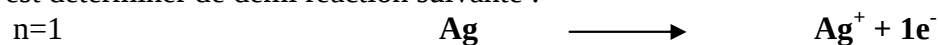
D. Plaque d'Argent :

On a immergé cette plaque pendant **10mn** dans le bain d'argentage à un courant de **0.5A/dm²** la **masse expérimentale** obtenue est :

$$M_{ex4} = 9.06 - 8.82 = 0.24 \text{ g.}$$

La masse théorique:

On sait que La masse molaire d'argent est de **M= 107.9 g/mol** et le nombre d'électron est déterminer de demi réaction suivante :



$$M_{th4} = \frac{0.5 * 10 * 60 * 107.9}{1 * 96500}$$

$$M_{4th} = 0.34 \text{ g}$$

Le rendement :

$$R_4 = 71 \text{ \%}$$

E. La cinquième plaque (tous les bains):

Est une plaque qui a été immergée dans tout les bains avec les mêmes conditions et aussi les mêmes temps d'immersion.

la masse expérimentale obtenue est :

$$M_{ex} = 9.75 - 8.81 = 0.94 \text{ g}$$

La masse théorique :

Est la somme des masses théoriques dans chaque bain :

$$M_{th5} = M_{th1} + M_{th2} + M_{th3} + M_{th4} ;$$

$$M_{th} = 2.44 \text{ g}$$

Le rendement :

$$R_5 = 39 \text{ \%}$$

Tableau 10 : les résultats obtenue :

	Cuivre en milieu alcalin	Cuivre en milieu acide	Nickelage	Argent	Pièce n° 5
Température (°C)	35 °C	Ambiante	60 °C	Ambiante	-
Courant (A/0,6 dm²)	5	5	5	0.5	-
Temps (min)	10	10	10	10	-
Masse expérimental (g)	0.13	0.43	0.55	0,24	0.94
Mase théorique (g)	0.20	0.99	0,91	0,34	2.44

Rendement (%)	65	43.4	60.4	71	39
----------------------	-----------	-------------	-------------	-----------	-----------

III) Interprétation des résultats.

pour reprendre aux questions de l'introduction en discutant les résultats du rendement et l'aspect du dépôt. On a utilisé les cinq plaques du laiton de 0.6 dm^2 de surface et 1mm d'épaisseur.

Si nous prenons en compte :

- Perd des ions métalliques au niveau des crochés qui lie les articles a la cathode.
- La température, le pH, l'agitation, la filtration...
- L'effet que la concentration de la solution diminue pendant l'électrolyse.
- Le temps de la migration des ions dans la solution.
- La succession des bains qui mélange les différentes solution.
- Utilisation des matériels archaïque .

Le rendement de cuivre dans le cas acide est supérieur à celui du cuivrage alcalin , ceci est du à :

- 1) L'acidité de l'électrolyte qui menée à pH acide, par addition de l'acide sulfurique qui favorise la bonne dissolution anodique .
- 2) Le bon transfert des cations en présence du phosphore (catalyse).

Les résultats des rendements qu'on a trouvé sont acceptables , mais il faut améliorées , c'est pour cela il faut que :

- les bains électrolytiques doivent être nettoyer par filtrations en continu au charbon actif.
- Oxyder les impuretés par KMnO_4 et H_2O_2 .
- Que l'eau utilisé doit être parfaitement déminéralisé et désinfecter par l'eau de javel.
- Que le choix de l'ampérage doit prendre en considération le domaine de stabilité thermodynamique du métal en solution.
- Que la concentration du cyanure libre doit se respecter.
- Prendre en considération des produit pur de brillanceurs, fixateurs et conducteurs.

Et de point de vue brillance, couleur, et résistance a la corrosion en milieu humide La qualité du revêtement est très satisfaisante. et pour une bonification de cette dernière il faut :

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

CONCLUSION

A mon avis, la clé d'une bonne maîtrise du procédé de la production repose en grande partie sur une coopération complète, ces différents acteurs et surtout le service production et qualité, c'est-à-dire une implication du personnel dont les ouvrières et les ouvriers.

Grâce à ces personnes ma vision a changé, j'ai compris ce qui est vraiment un travail de groupe et je leur en serai toujours reconnaissant.

Durant ce stage, j'ai appris :

- D'une part, la possibilité de pratiquer mes connaissances scientifiques requises durant les années universitaires.
- ☐ D'autres part, j'ai connu une approche de la vie industrielle, le sens de travail en groupe, et j'ai suivi et compris parfaitement :
- ☐ Les techniques de la chimie analytique instrumentale et non instrumentale effectués au SADF.
- ☐ Les détails du procédé de fabrication des articles en métal .
- Le travail de mon sujet qui est un suivi sous le thème : « **traitement de surface : revêtement métallique par voie électrolytique** » .
- D'après le travail que j'ai effectué dans la SADF, Je peux dire que « 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 qu' il n'y a pas un laboratoire du contrôle et du dosage des éléments chimiques des solution dans la société. même les redresseurs utilisés ne sont pas contemporain ils affichent les intensités de courant et les différences de potentiel entre leurs bornes avec des graduations à grande échelle. De l'ordre de 10 à 20 A.
- les valeurs de courant sont proportionnel à la surface des pièces à traiter. Si ces surfaces sont petites ces redresseurs n'affichent pas les valeurs précises de courant. L'approximation et de l'ordre de 6 A.
- Les résultat trop élevés ne montrent pas que la méthode de la galvanoplastie utilisée dans SADF est très rentable mais il montre seulement qu'elle est utilisable. La galvanoplastie reste donc une méthode efficace mais la précision se compte aussi.

Enfin on peut conclure que si on opère bien les les techniques théoriques en utilisant des matériels récents et sophistiqués, on doit sûrement avoir les résultats satisfaisantes.

1) Liste des tableaux

Tableau 1 : Propriétés détergentes de la soude.	17
Tableau 2 : Propriétés détergentes de carbonate de sodium.	17
Tableau 3 et 4 : les compositions et les conditions de bains de dégraissage .	20
Tableau 5 : les compositions et les conditions de travail du bain de cuivre alcalin .	22
Tableau 6 : les compositions et les conditions de travail du bain de cuivre acide.	23
Tableau 7 : les compositions et les conditions de travail du bain de nickel.	25
Tableau 8 : les compositions et les conditions de travail du bain de pré-argentage .	26
Tableau 9: les compositions et les conditions de travail du bain d'argentage .	28
Tableau 10 : les résultats obtenue	35

2) Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de la société SADF.

4

Figure 2 : Schéma d'un bain électrolytique.	11
Figure3 : Surface d'un métal brut.	14
Figure 4 : Les étapes du dégraissage chimique.	16
Figure 5 : Réaction de saponification.	16
Figure 6 : Caractère tensio-actif du savon.	18
Figure 7 : Les structures développées des orthophosphates.	
19 Figure 8 : Dégraissage électrolytique.	
20	

3) Liste des images

Image 1 et 2 : Machine de découpage automatique.	6
image 3 : Gravure de dessins traditionnels.	6
Image 4 : machine de repoussage.	7
Images 4 et 5 : la fonderie.	8
Images 6 et 7 : Limage manuelle et avec machine.	8
Images 8 et 9: soudure manuelle, avec un chalumeau.	9
Image 10 : machine de polissage.	9
Image 11 : Emballage en cartons.	10
Image 12 : Bain de dégraissage électrolytique dans la SADF.	19
Image 13 : les bains de rinçage .	21
image 14 : le bain de cuivrage alcalin.	22
Image 15: le bain de cuivrage acide.	23
Image16 : le bain de nickelage.	26
Image 17 : le bain de pré-argentage.	27

Référence bibliographique :

[http://fr.wéqipedia.org/wiki/cuivrage.](http://fr.wéqipedia.org/wiki/cuivrage)

[http://www.ampere.com/fr/nickel.php.](http://www.ampere.com/fr/nickel.php)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectrolyse.](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectrolyse)

[http://endirect.univfcomte.fr/index.php?id=numero_114_13_1&art=1222.](http://endirect.univfcomte.fr/index.php?id=numero_114_13_1&art=1222)

Des Fiches techniques de la Société des Artisans Dinandiers
de Fès.