

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE
FILIERE DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences & Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master Professionnalisant

Spécialité : construction mécanique

THÈME

**TRAITEMENT DE SURFACE PAR CHROMATATION D'UN
ALLIAGE METALLIQUE**

Préparé par : Mr. SARIR Fethi

Mr. SEBIHI Bouabdellah

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
Mr . ZAGAN Salah Mohammed	MCA	UIK Tiaret	Président
Mr. Moulgada Madjid	MCB	UIK Tiaret	Examineur
Mr. Sassi Ahmed	MCA	UIK Tiaret	Encadreur

PROMOTION 2017 /2018

Remercîment

*Nous remercions **ALLAH** tout puissant de nous avoir accordé la santé et la volonté de réaliser ce modeste projet.*

*Un grand merci à notre encadreur monsieur **Mr. AHMED SASSI** pour sa grande disponibilité et ses encouragements tout au long de la rédaction de ce mémoire.*

Nous voudrions remercier les membres du jury qui ont consacré leur précieux temps afin d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de ce travail.

*Nous remercions tous les enseignants de l'université **Ibn Khaldoun (génie mécanique)** qui ont contribué à notre formation.*

*Nous remercions aussi les spécialistes du **GROUPE BCR (SETIF)** qui nous ont donnés beaucoup de conseils utiles.*

Enfin nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidé et soutenu de pré ou de loin.



Je remercie ALLAH de m'avoir donnée la force pour finir cursus universitaire.

Je dédie ce modeste travail à :

- ★ Celui qui représente pour moi l'exemple du courage, De volonté, Mon frère Ahmed et mon oncle Kafi ben mhamade*
- ★ Ma mère, groupe BCR,*
- ★ Mes frères et Mes sœur.*
- ★ Une spéciale dédicace à mon binôme Fethi.*
- ★ Tous mes ami(e)s.*
- ★ Toute ma famille.*
- ★ notre promo de construction mécanique 2018.*

BOUABDELLAH



*Je remercie dieu de m'avoir donnée la force pour finir
cursus universitaire.*

Je dédie ce travail :

- * Celui qui représente pour moi l'exemple du
courage, de volonté, **Mon très cher Père.***
- * Celle pour laquelle je dois tout et je ne rendrais
jamais assez, **Ma très chère Mère.***
- * **Ma princesse Nour Alaâ**, mes frères, mes amies de
génie civil et groupe **BCR**,*
- * Une spéciale dédicace à mon binôme **Sebihi.***
 - * **Tous mes ami(e)s.***
- * **notre promo de construction mécanique 2018.***

FETHI

Sommaire :

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur les traitements de surface	3
I-1 Types de traitements de surfaces	4
I-1-1 Les revêtements	4
I-1-1-1 Dépôt par voie humide	5
A- Les revêtements électrolytiques	5
B-dépôts chimiques	5
C-Par immersion dans un métal fondu	6
I-1-1-2 Dépôt par voie sèche	7
A-Projection thermique	7
A- Phase vapeur	7
B-Faisceau énergétique	8
C- Rechargement métallique	8
I-1-2 Les traitements par conversion	9
I-1-2-1 Electrolytique	9
A- Anodisation	9
B- Sulfuration	10
I-1-2-2 Chimique	10
A- Phosphatation	10
B- Chromatation	11
I-1-3 Les traitements thermochimiques avec diffusion	11
I-1-3-1 Diffusion d'éléments non métalliques	12
A- La cémentation	12
B- Nitruration	13
C- Carbonitruration	13
I-1-3-2 Diffusion d'éléments métalliques	14
A- Chromisation	14
B- Aluminisation	14
I-1-4 Les traitements superficiels avec transformation structurale	15
I-1-4-1-Voie thermique	15
I-1-4-2 -Voie mécanique	16
A- Grenailage	16
B- Galetage	16
CHAPITRE II : ETUDE DU PROCEDE DE CHROMAGE	18
Introduction	19

II-1 Propriétés du chrome	20
II-1-1 Constantes physiques du chrome	22
II-1-2 Propriétés électrochimiques	23
II-1-3 Propriétés chimiques et mécaniques des dépôts de chrome	24
II-1-4 Applications	25
II-2 Chromage avec électrolyte au chrome hexavalent	25
II-2.1 Généralités sur chrome hexavalent	25
II-3 Les différentes étapes de la chromatisation	26
II-3-1 Préparation de la surface	26
II-3-2 Principales opérations de préparation des surfaces	27
II-3-2-1 Décapage	27
A- Décapage mécanique	27
B- Décapage chimique	28
C- Décapage électrolytique	28
D- Décapage thermochimique	29
E- Décapage ionique	29
II-3-2-2 Dégraissage	29
A- Choix du dégraissage	29
B- Dégraissage chimique	30
C- Dégraissage électrolytique	30
D- Dégraissage aux ultrasons	31
E- Dégraissage mécanique	31
II-3-2-3 Nettoyage et mise à vif de la surface	31
II-3-2-4 Polissage	31
A- Polissage mécanique	31
B- Polissage électrolytique	32
C- Polissage chimique	32
D- Dégazage	34
E- Rinçage	34
E-1 Rinçage statique	34
E-2 Rinçage simple courant	34
E-3 Rinçage multiple en série (cascade)	34
E-4 Rinçage par aspersion	35
II-3-2-5 Compositions du bain de décapage	35
II-3 Le Nickelage	35
II-3-1 Caractéristiques physico-chimiques du nickel	36
II-3-2 Propriétés chimiques et électrochimiques	36
II-3-3 Bain de Ni	38
II-4 Les bains de chrome	38

II-5 Conditions opératoires	44
II-6 Appareillage et matériel annexe	44
II-7 Caractéristiques et Contrôle des bains	46
Chapitre III : Chromatation et impacts	48
III-1 Technique expérimentale	49
III-1-1 Le laiton	49
III-1-1-1 Diagramme binaire de l'alliage Cu-Zn	49
III-1-1-2 Définition des échantillons	51
A- Echantillon I (barre en laiton Cu59.65 Zn37.81)	51
B- échantillon II (Tube en Cuivre Cu99.75 Zn0.2)	52
C- échantillon III (Tube en laiton Cu64.21 Zn35.71)	53
III-1-2 Chromage des échantillons	54
III-1-1-1 Préparation des échantillons	54
III-1-1-2 Résultats	56
III-1-1-3 Interprétation	57
III-2 Toxicité des métaux lourds	57
III-2-1 Généralité sur la toxicité	57
III-2-1-1 Toxicité du Chrome	57
III-2-1-2 toxicité du Nickel	59
III-2-1-3 Toxicité du zinc	60
III-2-1-4 Toxicité du cuivre	61
III-2-2 Réglementation	63

Listes des figures :

Chapitre I :	3
Figure I-1 : Mécanismes des traitements surfaces	4
Figure I-2 : les revêtements métalliques.	4
Figure I-3 : Schéma d'une cellule électrolytique	5
Figure I-4 : Principe de revêtements chimiques	6
Figure I-5 : Principe d'immersion dans un métal fondu	6
Figure I-6 : Principe de fonctionnement de projection thermique	7
Figure I-7 : Principe de fonctionnement des dépôts phase vapeur	7
Figure I-8 : principe de fonctionnement des faisceaux énergétiques	8
Figure I- 9: Principe fondamental du rechargement métallique	8
Figure I-10 : traitement de conversion	9
Figure I-11 : Conversion électrolytique	10
Figure I-12 : Phénomènes électrochimiques se produisant lors de la phosphatation	11
Figure I-13 : principe de la chromatisation	11
Figure I-14 : Traitement thermochimique de diffusion	12
Figure I-15 : Procédé de cémentation d'une pièce métallique	13
Figure I-16 : Procédé de nitruration	14
Figure I-17 : la carbonituration	14
Figure I-18 : Traitement par transformation structurale	16

Figure I-19 : Trempe thermique par induction	16
Figure I-20 : principe de grenailage	16
Figure I-21 : Principe du galetage	17
Chapitre II :	18
Figure II-1 : Exemple des pièces revêtues par chromage décoratif.	19
Figure II-2 : Exemple des pièces revêtues par chromage dur.	20
Figure II-3 : Produits en chrome noir	20
Figure II-4 : Structures des différents chromates.	23
Figure II-5 : Diagramme d'équilibres tension-pH du système chrome / eau à 25 °C.	24
Figure II-6 : la ligne de chromage décoratif	33
Figure II-7 : Diagramme tension – pH du système nickel/eau à 25°.	37
Chapitre III :	48
Figure III-1 : Diagramme binaire du laiton.	50
Figure III-2 : Barre en laiton.	51
Figure III-3 : Tube en cuivre pur.	52
Figure III-4 : Tube en laiton.	53
Figure III-5 : Bande abrasive.	54
Figure III-6 : Pâte de polissage.	55
Figure III-7 : Echantillons après le meulage et le polissage.	55
Figure III-8 : Les échantillons après le chromage.	56

Listes des tableaux

Chapitre II :	18
Tableau II-1 : Exemple de bains électrolytiques pour de chromage	21
Tableau II-2 : L'utilisation du chromage.	25
Tableau II-3 : Représente densité par la concentration de sulfate.	47
Chapitre III :	48
Tableau III-1 : Composition chimique d'une barre en laiton.	52
Tableau III-2 : Composition chimique d'un tube en cuivre pur.	53
Tableau III-3 : composition chimique d'un tube en laiton.	54
Tableau III-4 : représente l'épaisseur de Ni en fonction de % de Cu.	56
Tableau III-5: Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 réglementant les effluents liquides industriels.	63

Liste de symbole

e^- : électron négatif
 A^+ : cation
 Mn^- : anion
Ni-P : nickel -phosphore
TiO₂ : Dioxyde de titane
TiN : Le nitrure de titane
CdS : sulfure de cadmium
H : hydrogène
Al : aluminium
O : oxygène
mm : millimètre
N : azote
C : Carbone
NH₃ : Ammoniac
Cr : chrome
V : dureté Vickers
Sb : L'antimoine
Sn : l'étain
Al : aluminium
Mg : magnésium
Zn : zinc
SiO₃ : silicate
CrO₃ : Trioxyde de chrome
SO₄⁻² : sulfate
SiF₆⁻² : acide hexfluorosilicique
Sr⁺² : strontium
K⁺ : Potassium
H₂SO₄ : acide sulfurique
Pb : plomb
NiOH : hydroxyde de nickel
HRC : dureté Rockwell
µm : micromètre
°C : degré Celsius
min : minute
g : gramme
cm : centimètre
W : watt
m : mètre
K : kelvin
Ω .m : ohm mètre
MPa : méga pascal
V : Potentiel
pH : Le potentiel hydrogène

L : litre

A : ampere

mol : moule

Rm : Résistance à la rupture

$\mu\Omega$: micro ohm

nm : nano mètre

ESH : Connectivité

A : hamper

KNetKC : capteur pilotée la teneur de azote

PVD : dépôt physique en phase vapeur.

CVD : dépôt chimique en phase vapeur.

EHN : électrode normale à hydrogène.

SRHS : SelfRegulating High Speed

Re : Limite d'élasticité

C' : la concentration

DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours

DCO : Demande chimique en oxygène

MES : Matière en suspension

S₁ : surface d'échantillons 1

S₂ : surface d'échantillons 2

S₃ : surface d'échantillons 3

d₁ : diamètre d'échantillons 1

d₂ : diamètre d'échantillons 2

d₃ : diamètre d'échantillons 3

h₁ : longueur d'échantillons 1

h₂ : longueur d'échantillons 2

h₃ : longueur d'échantillons 3

Introduction

Un 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. Le traitement de surface réalisé par voie électrolytique (voie humide) représente aujourd'hui, et pendant longtemps encore sans doute, l'essentiel du marché des traitements et revêtements de surfaces des matériaux métalliques.

La notion de traitement de surface par revêtement est une technique de plus en plus utilisée. Elle consiste à améliorer les propriétés d'une surface par un dépôt d'un film. Cette couche appelée revêtement, peut être utilisée afin d'augmenter la dureté, d'assurer la protection contre la corrosion, d'améliorer les propriétés physiques particulières ou, encore à usage décoratif.

Les procédés de dépôts par voie humide sont tous des procédés nécessitant le trempage de la pièce à traiter dans un bain contenant le matériau à déposer. Ils peuvent requérir le passage d'un courant électrique pour entraîner une réaction d'oxydoréduction.

Il est vrai qu'on ne peut pas fixer avec précision l'origine des traitements de surface mais on peut vérifier facilement l'existence de ces traitements il ya plus de trois milles ans, en effet, la présence dans les sépultures antiques de Thèbes et de Memphis de divers objets recouverts d'une mince couche de cuivre, tels que des vases et des statuettes en argile cuite, des lames de sabre et des pointes de flèches en bois, permet de supposer que les anciens Egyptiens utilisaient des procédés analogues à la galvanoplastie du cuivre telle qu'elle est encore pratiquée de nos jours.

Comment serait-il donc possible d'expliquer autrement l'exécution de ces statues en cuivre rouge, de très faible épaisseur?

Donc on doit bien admettre que de tels ouvrages n'ont pu être réalisés que par le dépôt du cuivre provenant d'une solution concentrée d'un sel de ce métal, acétate, sulfate, tartrate, sur une statue en bois sculpté, dont la surface été préalablement métallisée par application d'or réduit en poudre à fine granulation ou bien par application d'or battu en feuilles minces. La présence d'une source extérieure de courant n'était pas nécessaire pour exécuter le dépôt de cuivre: il suffit tout simplement d'immerger, dans la solution de cuivre, des plaques de zinc et de les relier à la statue préalablement métallisée à l'or, ce qui détermine un échange d'ions constant. Lorsque le dépôt de cuivre devient suffisamment épais, on retire la statue cuivrée du bain puis on procède à un chauffage progressif permettant finalement la réduction en cendres

du support en bois. On sait maintenant qu'un tel processus thermique non seulement consolidait le dépôt de cuivre en homogénéisant sa structure, mais aussi l'affinait par diffusion.

Dans ce mémoire, nous avons présenté dans le premier chapitre les différents traitements de surface des matériaux métalliques en insistant sur les procédés industriels ; dans le deuxième chapitre, nous avons traité les questions relatives au procédé de chromage qui est l'objet principal de ce travail et dont le stage a été effectué dans ce sens et enfin une troisième partie qui correspond à une expérimentation dans laquelle nous avons aussi abordé les impacts de ce procédé sur l'environnement.

I-1 Types de traitements de surfaces :

Il existe différentes possibilités des traitements de surfaces. En se basant sur le mécanisme mis en jeu pour modifier la surface, on peut répartir les traitements de surfaces en quatre ensembles.[1]

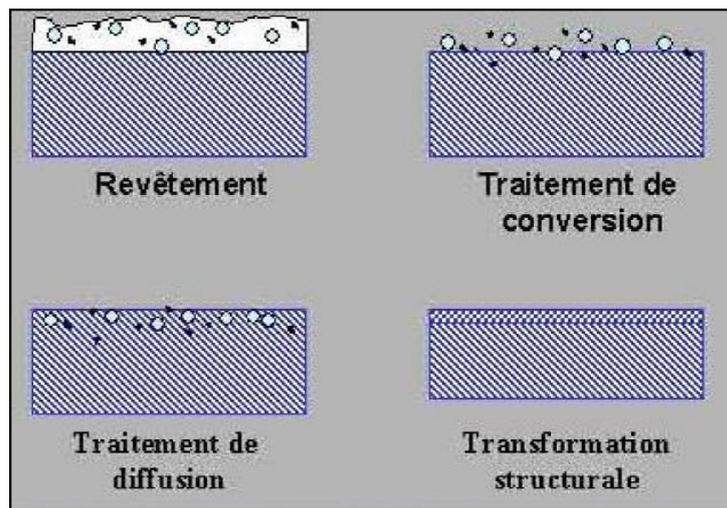


Figure I-1: Mécanismes des traitements surfaces[1]

I-1-1 Les revêtements :

Le matériau d'apport ne réagit pas ou peu avec le substrat.

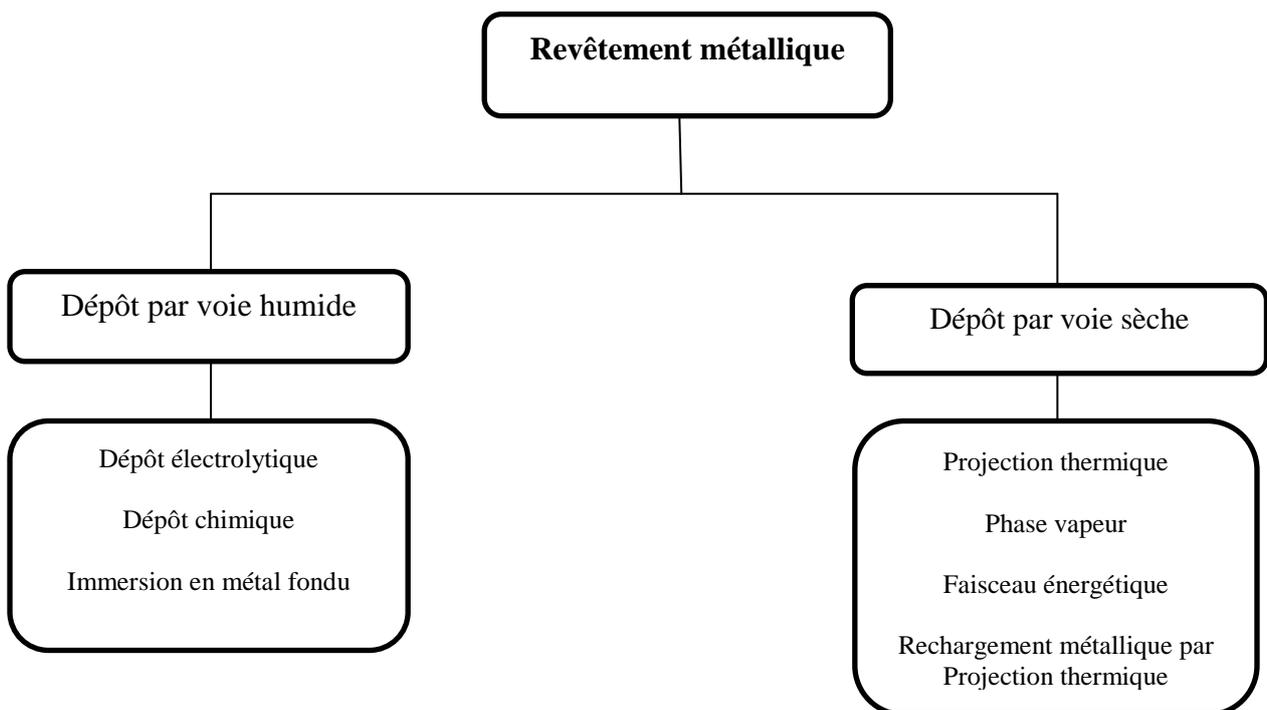


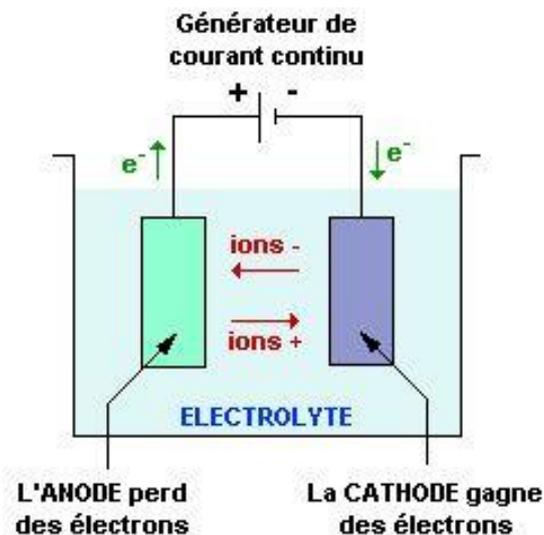
Figure I-2 : Les revêtements métalliques

I-1-1-1 Dépôt par voie humide :

A- Les revêtements électrolytiques :

Les revêtements sont obtenus par réduction cathodique d'un métal ou alliage sur le métal de base lors de l'électrolyse d'un électrolyte approprié. Les revêtements électrolytiques sont utilisés sur tout type de pièces pour toutes sortes d'industries dont l'automobile (zinc et zinc nickel), l'aéronautique, la cosmétique, la bijouterie, le spatial...

Le procédé est le même quelque soit le métal que l'on souhaite déposer.[2]



FigureI-3 : Schéma d'une cellule électrolytique [2]

Les principaux métaux déposés sont le Cuivre, le Zinc, l'argent, l'or, l'étain, le nickel, le chrome et les alliages (par exemple Zinc-Nickel)...

Selon la géométrie des pièces, la quantité, la qualité du traitement souhaitée... le traitement pourra se faire au tonneau ou à l'attache. Le traitement de certaines pièces nécessite la réalisation d'outillages spécifiques. [2]

B-dépôts chimiques :

Les revêtements sont obtenus par réduction du métal approprié sur la pièce à revêtir, sans aucun apport de courant. Ce traitement s'intègre dans une gamme de traitement qui comprend la préparation de surface de la pièce à traiter (dégraissage et décapage).[2]

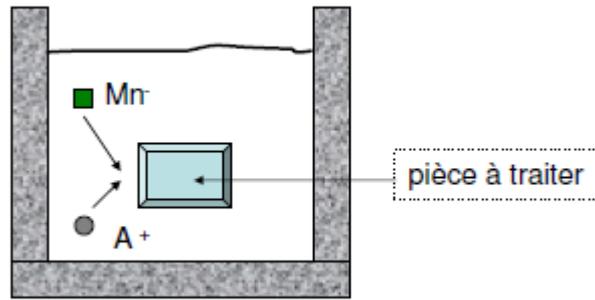


Figure I- 4 :Principe de revêtements chimiques [2]

Les principaux revêtements obtenus par cette méthode sont le Ni-P (plus couramment appelé nickel chimique), le Cuivre et l'étain. Presque tous les métaux et de nombreux matériaux peuvent être traités par cette méthode.

Les dépôts de nickel chimiques sont exempts de porosités. Leur épaisseur dépend du temps laissé dans le bain car ils sont auto catalytiques. Ils possèdent d'excellentes propriétés mécaniques et de résistance aux fluides. Ces propriétés dépendent du taux de phosphore contenu dans le dépôt. Ils peuvent subir un post traitement thermique afin d'augmenter leur dureté. Des lubrifiants peuvent être ajoutés pour améliorer le coefficient de frottement. [2]

C-Par immersion dans un métal fondu :

Le métal à déposer est maintenu dans un bain à une température légèrement supérieure à la température de fusion, donc très élevée. La pièce à revêtir est ensuite immergée dans le bain.

Les métaux pouvant être déposés par cette méthode sont le zinc, l'étain et le plomb. On parle couramment de galvanisation pour les métaux traités en immersion dans du zinc fondu.[2]

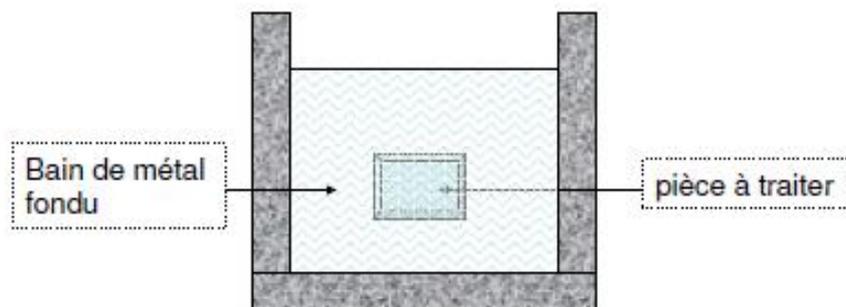


Figure I-5 :Principe d'immersion dans un métal fondu[2]

I-1-1-2 Dépôt par voie sèche

A-Projection thermique :

Le traitement des pièces de géométrie complexe est très difficile vu que le flux d'atomes ou de molécules du corps à déposer est très directif. Pour élaborer des alliages on procède à une évaporation directe d'un alliage « mère » ou à une Co-évaporation de tous les constituants formant l'alliage désiré mais pour certains composés tels que TiO_2 , TiN , CdS ... On procède à l'évaporation réactive.

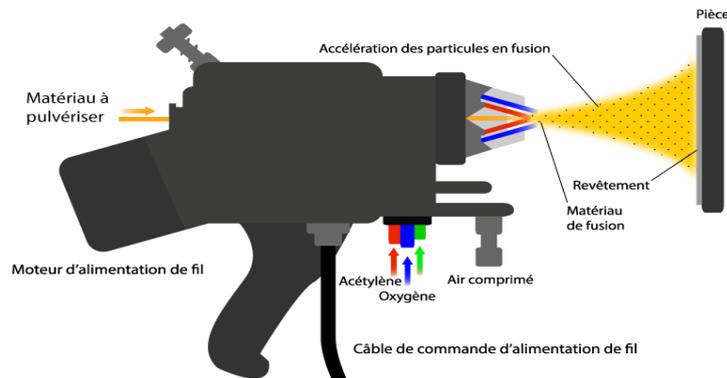


Figure I-6 :Principe de fonctionnement [3]

B- Phase vapeur :

Deux grandes familles de techniques de réalisation de ces dépôts sont utilisées :

- PVD : dépôt physique en phase vapeur.
- CVD : dépôt chimique en phase vapeur.

Dans les deux cas, la matière est pulvérisée sous forme gazeuse, on agit sur la source et sur le milieu pour évaporer la matière qui se condensera pour donner les dépôts.[4]

Principe de fonctionnement :

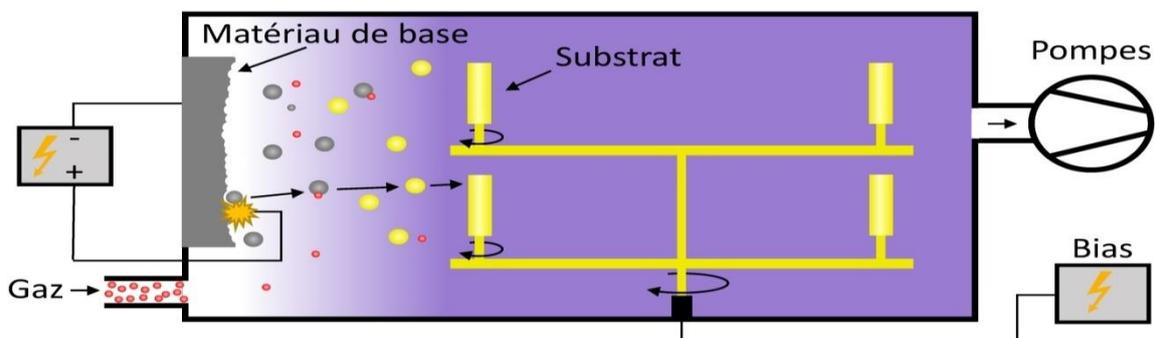


Figure I-7 :Principe de fonctionnement des dépôts [5]

C-Faisceau énergétique :

Ces faisceaux sont essentiellement des faisceaux laser, bombardement électronique et implantation ionique nous donnent possibilités d'application prometteuses quoiqu'ils soient récemment découverts.

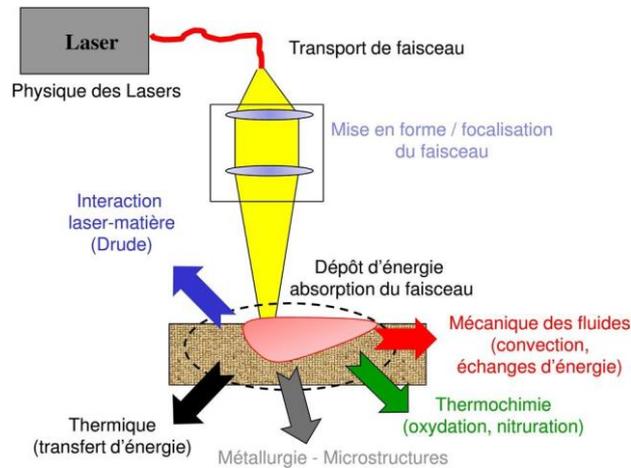


Figure I- 8 :Principe de fonctionnement des faisceaux énergétiques [6]

D- Rechargement métallique :

Le principe consiste essentiellement à fondre le matériau d'apport sur la surface du substrat par projection grâce à un gaz vecteur. Le mode opératoire se résume par: on fonde la matière à déposer totalement ou partiellement dans une source de chaleur, la pulvérisation de la matière se fait par un gaz vecteur enfin les gouttelettes formées seront transportées jusqu'à la surface à revêtir.[7]

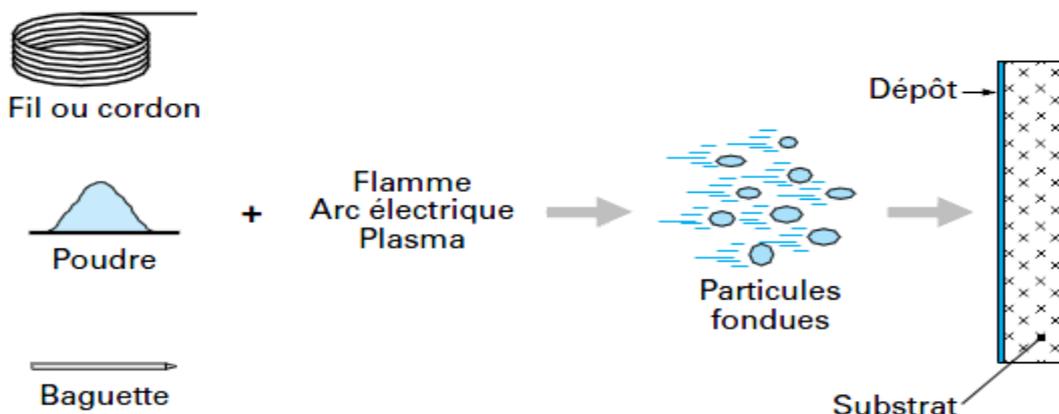


Figure I- 9: Principe fondamental du rechargement métallique[8]

I-1-2 Les traitements par conversion :

Le matériau d'apport réagit superficiellement avec le substrat.

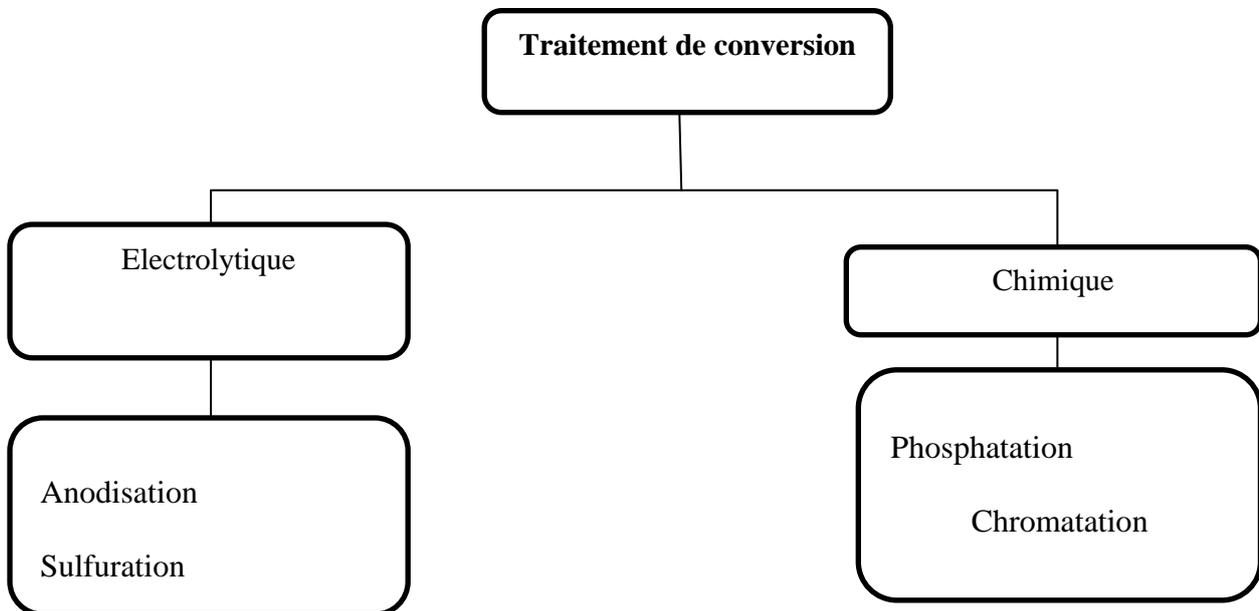


Figure I-10 : Traitement de conversion

I-1-2-1 Electrolytique

A- Anodisation :

Est un traitement de surface de type conversion qui permet de protéger ou décorer une pièce en aluminium ou titane par anodisation (couche électriquement isolante de 5 à 50 μm) elle octroie aux matériaux une meilleure résistance à l'usure, à la corrosion et à la chaleur, l'épaisseur varie en fonction de la destination du produit finale. [9]

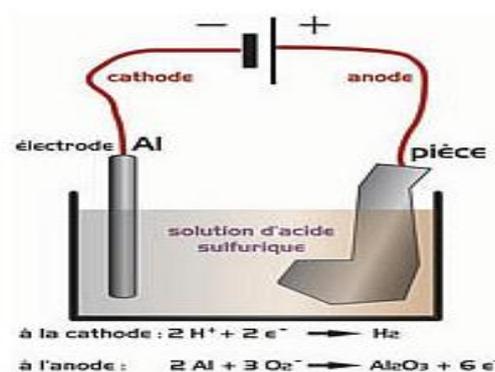


Figure I-11 : Conversion électrolytique [10]

B- Sulfuration :

procédé de traitement par sulfuration de pièces en alliage ferreux, selon lequel on immerge les pièces dans un bain d'une solution aqueuse, sans passage d'un courant électrique, portée à une température comprise entre environ 100°C et 140°C et pendant une durée comprise entre 5 et 30 min environ. Le bain de solution aqueuse présente des concentrations de soude de thiosulfate de sodium et de sulfure de sodium. On observe également que l'absence de passage de courant permet de maîtriser, avec une grande précision et une grande reproductibilité, la composition, l'épaisseur et la continuité des couches superficielles et permet de traiter également des pièces de formes complexes, y compris celles présentant des cavités (alésage, trous borgnes, engrenages,...). [53]

I-1-2-2 Chimique :

A- Phosphatation :

Le décapage d'une surface d'acier à l'aide d'une solution diluée et chaude d'acide phosphorique provoque la formation de phosphate de fer, qui assure une passivation et améliore la tenue à la corrosion des revêtements de peinture. C'est un fait connu depuis longtemps, dénommé *Pickling*, ou également procédé *Duplex Footner*, c'est une passivation phosphorique suivie d'un décapage à l'acide sulfurique.[11]

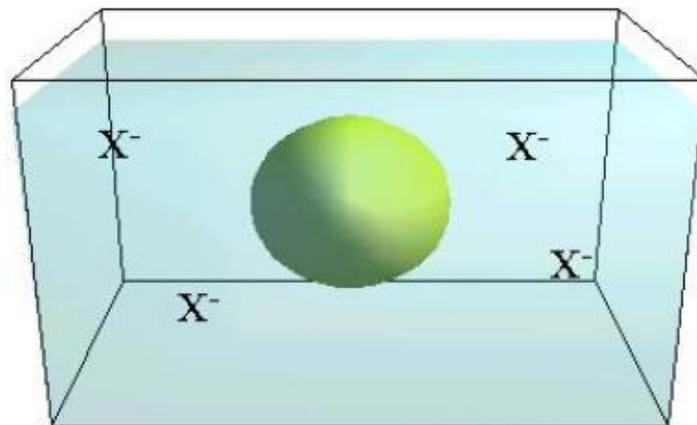


Figure I-12 :Phénomènes électrochimiques se produisant lors de la phosphatation[12]

B- Chromatisation :

La chromatisation est un traitement de conversion chimique pouvant être appliqué par aspersion ou par immersion à partir de solutions contenant du chrome VI, pour former des couches d'oxydes complexes. Les conversions avec fluorures et éventuellement du ferricyanure de potassium induisent une coloration iridescente à jaune de la couche. La durée de traitement varie de 1 à 3 minutes et la température maximale d'utilisation est de 70°C (pour éviter une -fissuration importante de la couche). Les couches obtenues sont de faible épaisseur d'environ 0,5 µm, soit une masse surfacique de l'ordre de 1 g/m². La couche de chromatisation est une excellente base d'accrochage pour les finitions organiques. Elle augmente légèrement la résistance à la corrosion. [13]

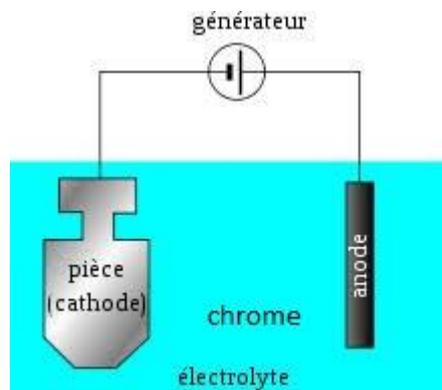


Figure I-13 : Principe de la chromatisation

I-1-3 Les traitements thermochimiques avec diffusion :

Le matériau d'apport diffuse dans le substrat.

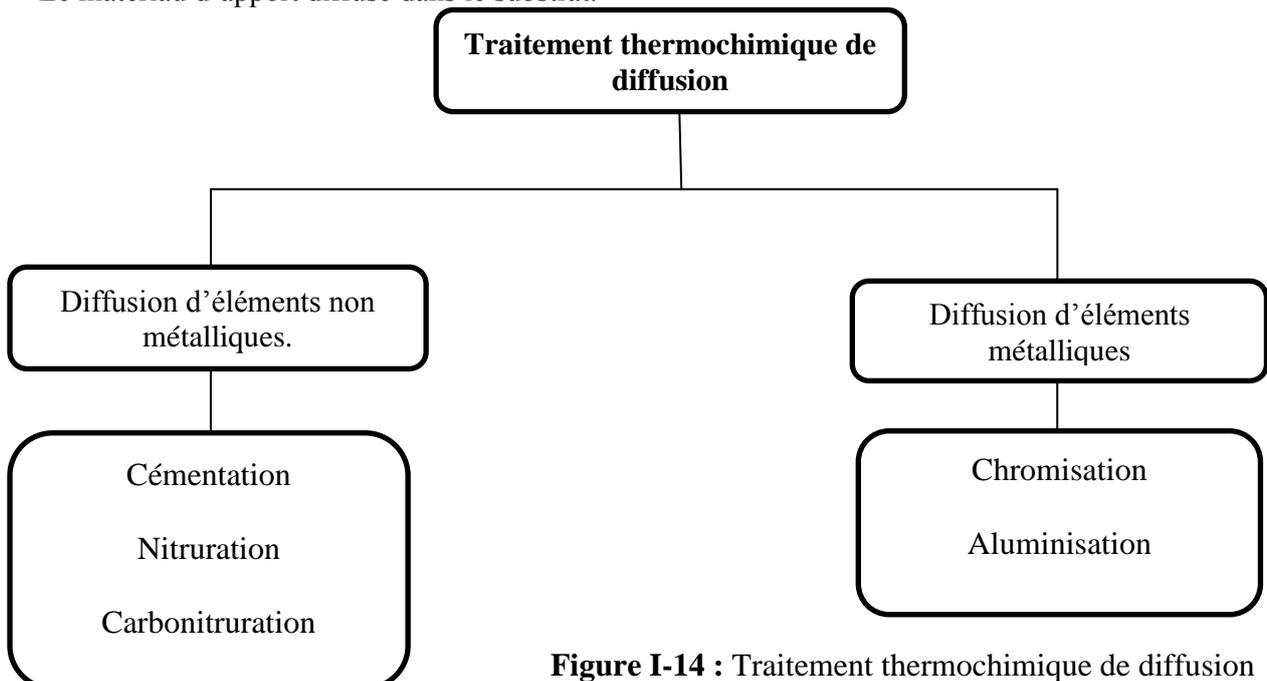


Figure I-14 : Traitement thermochimique de diffusion

I-1-3-1 Diffusion d'éléments non métalliques :

A- La Cémentation :

Le traitement de cémentation appliqué aux aciers est un traitement thermo-chimique superficiel d'enrichissement en carbone réalisé en phase austénitique (généralement 900 à 980°C). Il est destiné à obtenir après refroidissement un durcissement superficiel par trempe.

On sait que le durcissement superficiel d'un alliage fer-carbone par transformation martensitique est directement relié à sa teneur en carbone. La recherche d'une dureté maximale conduit à obtenir des teneurs superficielles en carbone comprises entre 0,7 et 0,9 % de carbone.

Appliquée sur un acier à faible teneur en carbone, la cémentation est un moyen de durcissement superficiel permettant d'assurer une forte mise en précontrainte de compression de la surface et une bonne résistance à l'usure grâce à l'obtention d'une martensite à haute teneur en carbone, tout en garantissant à cœur une bonne ductilité grâce à l'obtention d'une martensite à bas carbone (la transformation du cœur sera, selon la trempabilité de l'alliage et la section de la pièce à traiter, totale ou partielle).

Les profondeurs de diffusion du carbone seront pratiquement limitées à 4 mm pour des raisons économiques évidentes.

Les fortes profondeurs seront réservées aux pièces de mécanique lourde, les profondeurs les plus courantes variant de 0,3 à 2,5 mm.[14]



Figure I-15 : Procédé de cémentation d'une pièce métallique.[15]

B- Nitruration :

La nitruration est une diffusion d'azote atomique N à la surface des pièces préalablement traitées par trempe et revenu (N et C pour nitrocarburation). L'insertion de N (ou N et C pour le traitement de nitrocarburation) et la formation de nitrures avec les éléments d'alliage de l'acier, provoquent un durcissement de surface apportant les propriétés recherchées (dureté 750 à 1100V).

Différents procédés de nitruration sont : ionique, bains de sels, basse pression, gazeux.

La nitruration gazeuse contrôlée, (objet de la présente fiche) est réalisée en four à convection forcée à une pression voisine de la pression atmosphérique, d'un mélange ou gaz actif. Les espèces actives N (ou N et C) sont nées par craquage de NH_3 (ou NH_3 et gaz carburant) à la température de traitement (500 à 570°C). La teneur en azote est pilotée automatiquement grâce à l'utilisation de capteur spécifique (pilotage KN et/ou KC). [16]

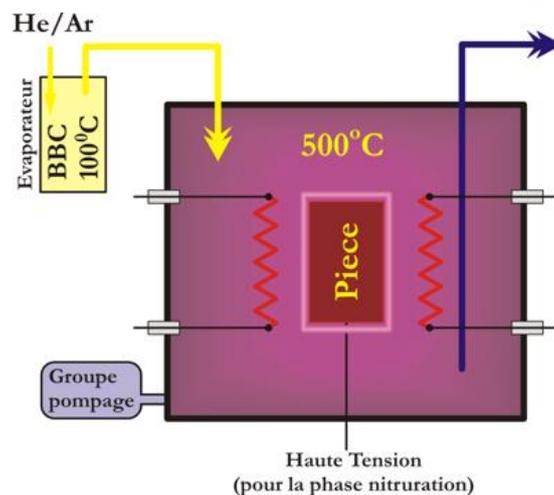


Figure I-16 : Procédé de nitruration [17]

C- Carbonitruration :

Enrichissement superficiel en carbone (entre 0,7 et 0,9% en masse) et azote (entre 0,15 et 0,3% en masse) par diffusion dans le domaine austénitique (825 à 900°C) suivi d'une trempe et d'un éventuel revenu, afin d'obtenir une dureté superficielle élevée (58 à 62 HRC) selon un gradient décroissant sur une profondeur donnée.

Les profondeurs réalisables sont comprises entre 0,05 et 0,6 mm, au-delà de 0,6mm l'apport d'azote n'a plus d'intérêt.[18]

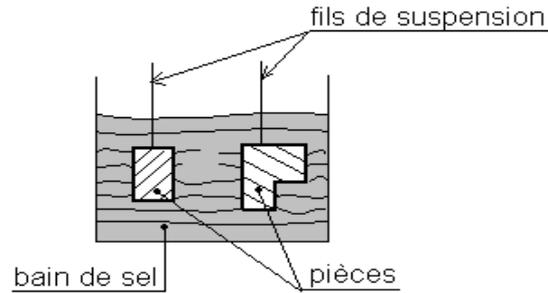


Figure I- 17 : La carbonituration[19]

I-1-3-2 Diffusion d'éléments métalliques :

A- Chromisation :

Ce procédé de métallisation est la mise en contact du métal avec une atmosphère d'iodure ou de fluorure de chrome. Celle-ci est régénérée par réaction de l'halogène sur du chrome métallique disposé en granules.

Le domaine de travail en température est de l'ordre de (850° à 1100°C) ; dans le cas du fer ou d'un acier doux, il se forme une couche de ferrite chargée en chrome de 10 à 100 microns. Compte tenu des faibles vitesses de diffusion du chrome dans l'austénite, presque tout le chrome reste fixé dans cette couche qui, a pour caractéristique d'être inoxydable, ductile et brillante. [20]

B- Aluminisation :

Le revêtement par immersion à chaud dans un bain d'aluminium ou d'alliage d'aluminium (aluminage) est possible pour les fontes, les aciers ordinaires et les aciers au chrome. La dénomination des aciers aluminés est fonction de la nature du bain de traitement : ils seront désignés de type II dans le cas d'un bain d'aluminium pur, et de type 1 pour un bain d'aluminium allié au silicium. Durant la phase d'immersion dans le bain de métal fondu, une réaction a lieu entre le substrat et le métal liquide, pour engendrer une couche intermédiaire (couche d'alliage ou d'intermétalliques), conséquence logique de l'inter diffusion entre le substrat solide et le métal liquide. Cette opération est gênée ou empêchée par la présence à la surface du substrat, au moment de l'immersion, des graisses, des souillures quelconques ou des oxydes la recouvrant.[21]

I-1-4 Les traitements superficiels avec transformation structurale :

La structure métallurgique du substrat est modifiée.

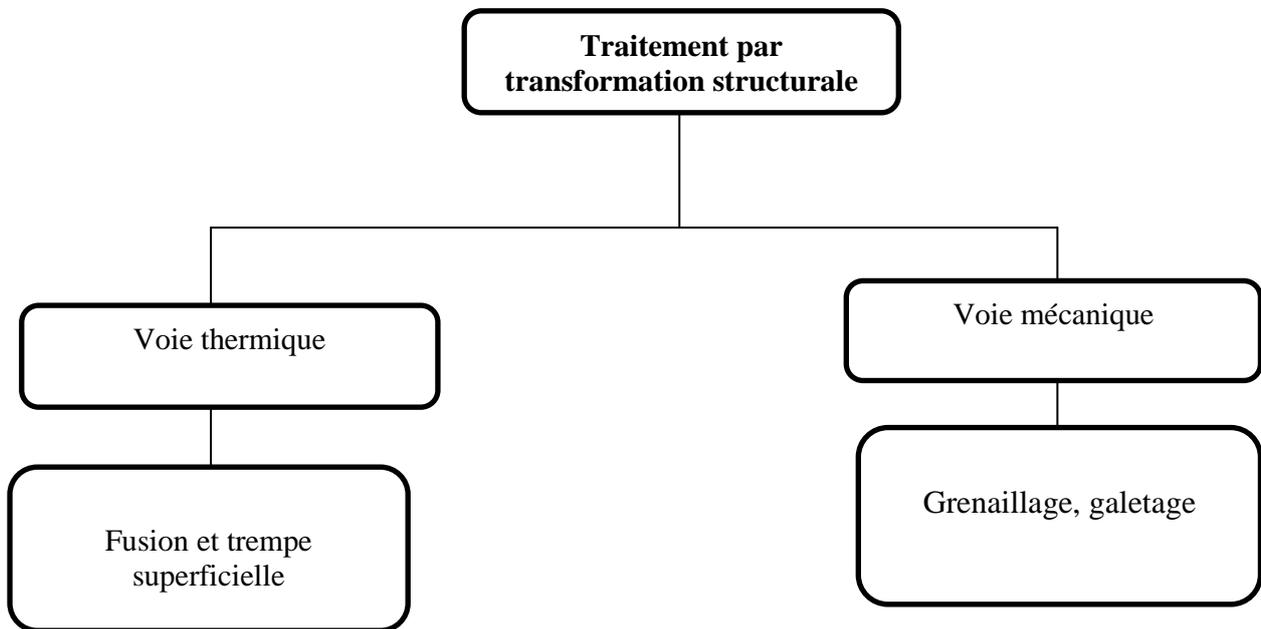


Figure I-18 : Traitement par transformation structurale

I-1-4-1-Voie thermique

Elle s'effectue par une Fusion et Trempe superficielle :

On va chauffer très rapidement la surface de la pièce et ne pas modifier les propriétés au cœur de la pièce.

La trempe ne sera effective que sur une petite profondeur de la pièce à traiter.

On fait donc appel à des procédés qui sont capable de produire beaucoup d'énergie

- induction,
- laser, - bombardement électronique.[22]

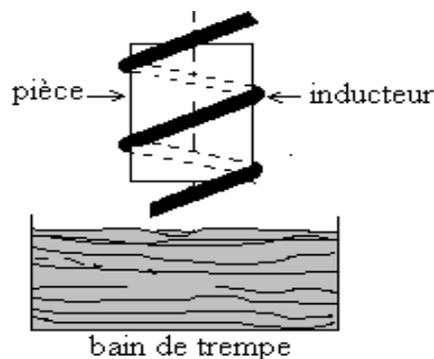


Figure I-19 : Trempe thermique par induction[23]

I-1-4-2 -Voie mécanique :

A- Grenailage :

Le grenailage est une technique consistant à projeter, à l'aide d'une grenailleuse desmicrobilles sur la surface d'un objet pour en modifier la structure superficielle afin d'éliminer toutes les impuretés.[24]

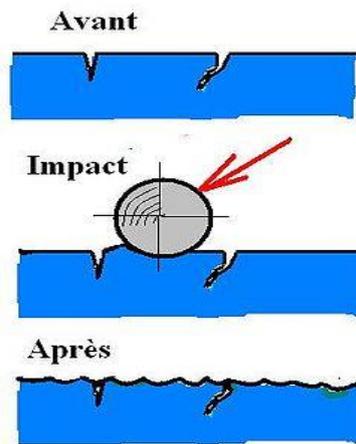


Figure I- 20 : Principe de grenailage [24]

B- Galetage :

Le galetage est un usinage sans enlèvement de matière. Ce procédé consiste à compacter fortement la matière en surface d'une pièce, avec des outils spécifiques (galets traités avec une dureté supérieure), afin de lui conférer des propriétés géométriques et mécaniques particulières.

Le galetage est un procédé industriel réalisé en finition et super finition.L'opération est réalisée avec un outil : le brunissoir à galets. Il est réalisé sur une pièce pour en augmenter la résistance à la fatigue, soit sur son ensemble soit sur les parties soumises à des concentrations de contraintes élevées. Cette opération favorise l'endurance de la pièce.

Exemple d'application : le galetage d'un vilebrequin (en fin d'usinage, on réalise un galetage aux bords des tourillons et des manetons pour réduire le risque de fissuration dans ces zonesparticulièrement sollicitées).[25]

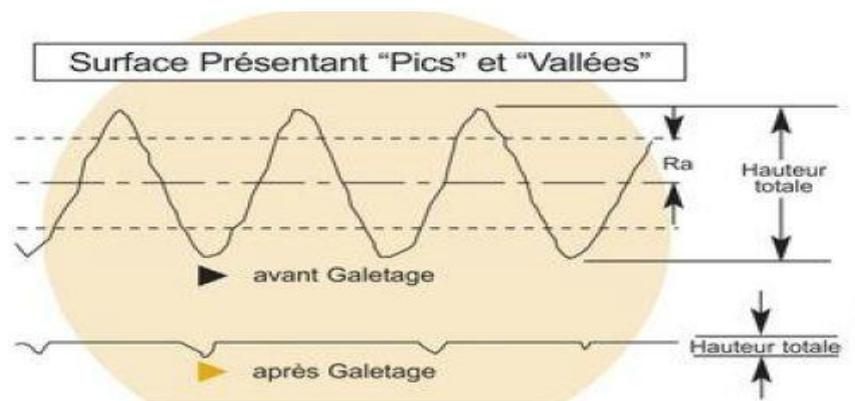


Figure I-21 : Principe du galetage [25]

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Introduction :

Le chromage est un procédé de revêtement par électrolyse permettant de déposer du chrome métallique sur les surfaces à traiter pour leur conférer les propriétés de ce métal. Ce traitement bien connu est effectué pour deux applications importantes le chromage décoratif et le chromage dur, pour lesquelles, la couche déposée ne diffère essentiellement que par son épaisseur [26].

Le chromage décoratif s'effectue sur des surfaces généralement revêtues au préalable d'une couche de nickel (ou éventuellement de couches de cuivre et de nickel) et il a pour but essentiel de donner au revêtement les caractéristiques de brillance du chrome. La résistance au ternissement de ce métal, associée à sa dureté, fait que cette couche décorative de l'ordre du micromètre permet de donner un aspect brillant qui peut être entretenu pendant de longues années. On l'utilise par exemple pour des pare-chocs et des poignées de porte des automobiles.[26]



Figure II-1 : Exemple des pièces revêtues par chromage décoratif.[27,28]

Le chromage dur se distingue du précédent par le fait que son épaisseur est plus importante (de quelques micromètres à quelques dixièmes de millimètres). Il procure au matériau sur lequel il est effectué [26] :

- un bon coefficient de frottement;
- assure de bonnes propriétés de résistance à l'usure et à la corrosion;
- il est très visible par exemple sur les vérins des appareillages mécaniques (appareils de levage ou engins de travaux publics, etc.).

Ce type de traitement est le revêtement privilégié dans le domaine de la mécanique pour les pièces en rotation ou en translation qui ont à résister à l'usure et à avoir de bonnes qualités de frottement, et pour les domaines où l'adhérence pourrait être un handicap (plasturgie, cylindres de laminoir, etc.).



Figure II-2 : Exemple des pièces revêtues par chromage dur.[29 ,30]

L'aspect noir du chrome varie avec le métal de base ou la finition subie par ce métal, du mat après un sablage au brillant après un dépôt de nickel brillant; des aspects intermédiaires sont obtenus par polissage du dépôt de chrome après revêtement sur un substrat mat.

Le dépôt de chrome noir a une bonne tenue à l'usure ; malgré le manque d'indication chiffrée on constate que des poignées ou des instruments de salle de bain résistent à la manipulation répétée.

La tenue à la corrosion des dépôts de chrome noir est identique, voire supérieure aux dépôts de chrome classique. Nombreuses industries sont attirées par ce dépôt : l'automobile dans le souci de créer des surfaces non réfléchissantes ; l'optique pour les caméras et les appareils de mesure à lunette; l'armement, dans un souci d'anti reflet ; les industries sanitaires pour diverses pièces destinées aux salles de bain; la décoration, la bijouterie: en outre les dépôts de chrome noir constituent une excellente base pour l'accrochage des peintures.[31]



Figure II-3 : Produits en chrome noir[32 , 33]

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCEDE DE CHROMAGE

Electrolyte	utilisation	
Au sulfate	Décoration Chrome dur	Composé d'anhydride chromique et d'acide sulfurique – pénétration médiocre – rendement 12-15%- contrôle facile
Fluoré	Décoration Chrome dur	Une partie des ions sulfate sont remplacés par des composés fluorés utilisé dans les memes conditions que le bain au sulfate – pénétration amélioration – rendement 15-18%
Dépôt micro fissuré	Décoration	Bain au sulfate ou fluoré avec addition de sélénium. Dépôt comportant au moins 250 fissures centimètre dans toutes directions- amélioration de la tenue à la corrosion.
SRHS	Décoration	SRHS (SelfRegulating High Speed) Bain contenant l'anion fluosilicique auquel on ajoute de sulfate de strontium qui, peu soluble en excès, maintient juste la quantité nécessaire d'ion sulfate . Autorégulation du bain .
Tétrachromate de bornhauser	Décoration	N'est plus utilisé dans sa forme initiale. Composé d'acide chromique et de tétrachromate De sodium- rendement 23-25% - bonne pénétration – supporte bien les impurtés
Chrome trivalent	Décoration	Pas de chrome hexavalent – facilite le traitement des effluents- température ambiante insensible aux ruptures de courant pas de bouillard toxique . Brilliant à reflet noir – tenue à la corrosion inférieur au chrome hexavalent
Chrome gris	Décoration	Bain classique contenant de fortes quantités de chrome trivalent Utilisé pour le chromage des verniers.
Chrome noir	Décoration	Bain contenant des catalyseurs spéciaux Dépôt noir protecteur, très décoratif , appliqué dans les traitements anti-reflet – panneaux solaires – Base d'accrochage pour peinture

Tableau II-1 : Exemple de bains électrolytiques pour le chromage. [31]

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

II-1 Propriétés du chrome :

Le chrome est un métal à reflet bleuté qui s'allie par voie thermique avec d'autres métaux tels que le fer, le nickel ou le cobalt permettant d'obtenir des alliages métalliques aux caractéristiques variées. [27]

II-1-1 Constantes physiques du chrome :

Symbole : Cr.

Isotopes stables : ^{50}Cr (4,35 % en masse), ^{52}Cr (83,79 %), ^{53}Cr (9,50 %), ^{54}Cr (2,36 %).

Numéro atomique : 24.

Masse atomique : 52,01.

Masse volumique : $7,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Température de fusion : $1\,830 \text{ }^\circ\text{C}$.

Température d'ébullition : $2\,672 \text{ }^\circ\text{C}$.

Coefficient de dilatation : $20 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 7 \cdot 10^{-6} / \text{ }^\circ\text{C}$.

Dureté : 500 à 1200.

Conductivité thermique du dépôt brut : $23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Résistivité du dépôt brut : $(30 \text{ à } 65) \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

Module d'élasticité [MPa] : 25 000.

Potentiel standard : $-0,74 \text{ V (Cr}^{3+} / \text{Cr)}$

Cristallisation : cubique centré.

Structure électronique : $1 \text{ s}^2 2 \text{ s}^2 2 \text{ p}^6 3 \text{ s}^2 3 \text{ p}^6 3 \text{ d}^5 4 \text{ s}^1$.

En fait, il est admis que pour cet élément à l'état solide, il y a un échange continu entre les électrons $3d$ et $4s$ (on pourrait s'attendre à un remplissage du type $3 \text{ d}^4 4 \text{ s}^2$ par exemple) et que par suite le nombre d'électrons moyens dans ces bandes d'énergie n'est pas un nombre entier ce qui peut, peut-être, expliquer les caractéristiques particulières du chrome d'un point de vue magnétique, température de fusion, etc. [26,27]

Figure qui explique les différentes structures du chrome :

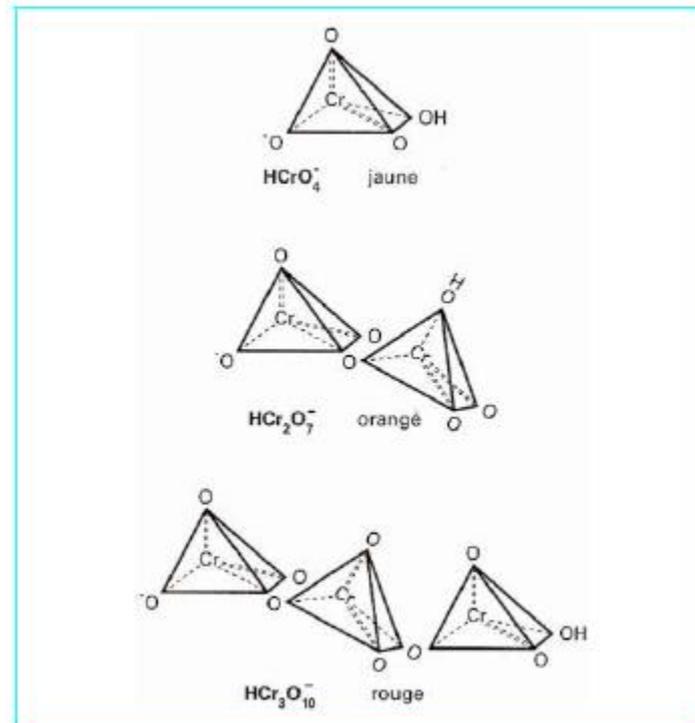
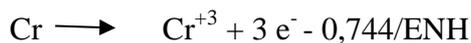
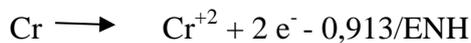


Figure II-4 : Structures des différents chromates.[34]

II-1-2 Propriétés électrochimiques :

Le chrome peut se présenter sous plusieurs degrés d'oxydation : +II, +III, +VI (le chrome II, chrome chromeux, est très peu stable). Le métal est très peu noble (moins que le zinc), et les potentiels normaux sont[27] :



Note : EHN électrode normale à hydrogène.

À la cathode :

Trois réactions principales :

— dégagement d'hydrogène par la réaction : $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$

—réduction de chrome hexavalent en chrome trivalent (qui ne conduit pas un dépôt métallique) ;

— réduction du chrome hexavalent en chrome métallique.[27]

À l'anode:

— dégagement d'oxygène par la réaction :



CHAPITRE II : ETUDE DU PROCEDE DE CHROMAGE

— oxydation du chrome trivalent formé par la réaction cathodique en chrome hexavalent.

— bivalent dans le protoxyde de chrome (CrO), instable;

— trivalent dans l'oxyde chromique (Cr_2O_3);

— hexavalent dans l'anhydride chromique (CrO_3).

Il y a là, au vu de ces potentiels normaux, une contradiction avec le comportement *Noble* du chrome.

Cependant, le chrome se passive très facilement en milieu oxydant (par création à la surface d'une couche d'oxydes ou d'hydroxydes insolubles). Cette faculté explique le comportement du chrome qui est à la fois attaquable en milieu acide et/ou réducteur, et qui résiste bien à la corrosion en milieu neutre, basique et/ou oxydant. Le diagramme tension-pH permet de se rendre compte de ce phénomène (**Figure II- 5**).[27]

- Figure qui explique le diagramme d'équilibres tension -pH du système chrome /eau a 25 °c

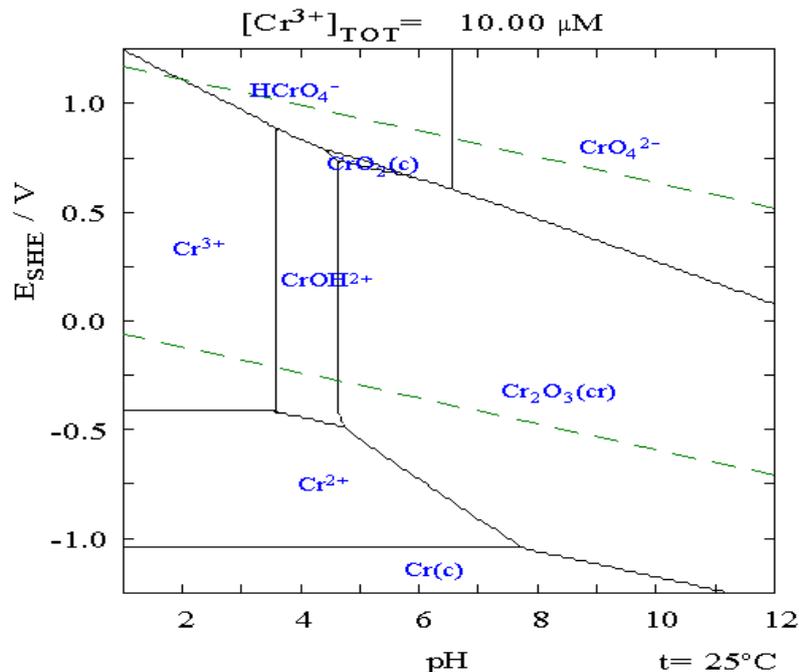


Figure II- 5 : Diagramme d'équilibres tension - pH du système chrome / eau à 25 °C.[35]

II-1-3 Propriétés chimiques et mécaniques des dépôts de chrome :

Dans le domaine chimique, la résistance des dépôts de chrome est bonne (à très bonne) à température ordinaire pour :

— les acides : chromique, nitrique, sulfurique, gluconique, mandélique, oxalique, salicylique, stéarique.

— les gaz : ammoniac, dioxyde de carbone, oxygène, air ;

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCEDE DE CHROMAGE

— certains produits : les acides de fruit, le lait, le pétrole, les encres d'imprimerie, le sucre, les huiles lourdes.

Pour les propriétés mécaniques, la caractéristique essentielle est le coefficient de frottement bas (qui dépend des conditions de température, nature du lubrifiant, force appliquée, nature de l'antagoniste... dans lequel il est mesuré) de ce matériau, comparativement à d'autres métaux lorsqu'il est électro déposé.[27]

II-1-4 Applications :

En ne considérant uniquement que l'utilisation principale et essentielle pour laquelle le chromage est utilisé (en fait, il est appliqué pour bénéficier de plusieurs de ses propriétés), la répartition en fonction de l'application est donnée au **Tableau 2**.

Fonction	Pourcentage
Anti-usure (frottement, abrasion, érosion)	53
Anticorrosion	22
Amélioration des caractéristiques de glissement	11
Amélioration de l'aspect	8
Autres (isolation, propriétés optiques)	6

Tableau II-2 : L'utilisation du chromage.[27]

II-2 Chromage avec électrolyte au chrome hexavalent :

La concentration se situe entre 200 et 400 g/L, mais la variation autour de la valeur choisie ne doit guère dépasser 10 % en valeur relative. L'appauvrissement du bain en chrome hexavalent a pour causes essentielles d'une part, bien sûr, le chrome déposé, et d'autre La recommandation qui est faite pour un bon fonctionnement est :

- usage d'anodes en plomb (avec des éléments d'addition du type Sb, Sn,...) toutes les fois que les conditions d'utilisation le permettent (nature du bain, forme des pièces...) ;
- surface anodique suffisante pour permettre une oxydation du Cr^{3+} : en général, la surface anodique doit être au moins le double de la surface cathodique.[36]

II-2.1 Généralités sur le chrome hexavalent :

Comme nous l'avons vu précédemment, le chrome peut se présenter au degré d'oxydation 6. La solution aqueuse du trioxyde de chrome (anhydride chromique) est appelée acide

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

chromique. En solution dans l'eau, on peut trouver, suivant la concentration C' en CrO_3 , des composés différents [36] (**Figure II-4**) :

Concentration (mol/L)	Nature du complexe
$C' < 10^{-2}$	HCrO_4^-
$10^{-2} < C' < 10^{-1}$	$\text{HCrO}_4^- \longleftrightarrow \text{Cr}_4\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
$10^{-1} < C' < 1,5$	$\text{Cr}_4\text{O}_7^{2-}$
$1,5 < C' < 3,5$	$3\text{Cr}_4\text{O}_7^{2-} + 2\text{H}^+ \longleftrightarrow 2\text{Cr}_4\text{O}_{10}^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
$3,5 < C' < 7,5$	$\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$
$7,5 < C' < 10$	$4\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-} + 2\text{H}^+ \longleftrightarrow 3\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

II-3 Les différentes étapes de la chromatisation :

II-3-1 Préparation de la surface :

Si nous nous référons au but ultime, c'est toute la gamme de traitement de surface qui sert à communiquer à cette surface des propriétés qu'elle n'a pas spontanément, c'est-à-dire une mise en condition de réception de la surface pour un revêtement (conversion, galvanoplastie, etc.). À l'intérieur de la gamme de traitement, nous pouvons considérer que toute opération élémentaire (l'aspersion après l'immersion, l'égouttage, le séchage, etc.) est une préparation à celle qui la suit [37].

La surface en question est en fait un volume, avec des éléments étrangers sur le métal dans la « peau » du métal et dans les imperfections de continuité du métal (joints de grains, fissures, porosités, jonctions et assemblages de pièces). Ces éléments étrangers dépendent de l'origine de la pièce, et qui sont [37] :

- des oxydes et des scories de traitements ou d'usage à hautes températures (fonderie, laminage, brasure, reprise après traitements thermiques);
- des « calamines » et des graisses brûlées;
- des oxydes « naturels » et des couches de passivation (réhabilitation de pièces, reprise après stockage);
- des huiles et des graisses de lubrification ou de protection (usinage, estampage, reprise après stockage);
- des produits adsorbés (inhibiteur de corrosion par exemple);
- des poussières et des copeaux (polissage, usinage);
- des traces d'eau (réhabilitation de pièces);
- des sels minéraux (réhabilitation de pièces);

- quelquefois des micro-organismes (réhabilitation de pièces);
- des gaz dissous ou occlus (fonderie, traitements de surfaces);
- des revêtements provenant d'un traitement précédent (masque, pellicule de protection temporaire, métal, etc.);
- des éléments de la couche superficielle du métal écrouie ou non;
- des bavures (traitements de surfaces, usinage).

De cette diversité de matériaux à éliminer résulte la diversité des préparations de surface.

II-3-2 Principales opérations de préparation des surfaces :

Les principales techniques de mise en œuvre pour la préparation d'une surface peuvent être classées en deux catégories:

- les techniques de nettoyage et de mise à vif de la surface : le décapage et le dégraissage;
- les techniques qui consistent à améliorer l'aspect de la surface : le polissage et les traitements thermiques de restauration. [38]

II-3-2-1 Décapage :

Le décapage est une préparation soit :

1- de la pièce oxydée avant revêtement en éliminant les produits solides adhérents au surface sans altération du métal de base:

- couches d'oxydes superficielles;
- sable de la fonderie;
- produits de corrosion.

2- de rénover les matériaux revêtus qu'ils soient organiques (décapage des peintures) ou métalliques (dé métallisation sélective).

La diversité infinie des matériaux métalliques et de leurs oxydes, ainsi que la multiplicité des procédés mécaniques ou chimiques pouvant être mis en œuvre, montre qu'il n'existe pas un décapage mais des décapages à savoir:

- le décapage mécanique;
- le décapage chimique;
- le décapage thermochimique;
- le décapage ionique. [39]

A- Décapage mécanique :

Il est réalisé par divers procédés :

- grattage ou piquage à l'aide d'un instrument de percussion;

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCEDE DE CHROMAGE

- brossage à l'aide d'une brosse métallique;
- sablage et microbillage;
- grenailage (projection d'abrasifs);
- meulage (surtout pour supprimer la calamine des pièces de grandes dimensions).

Ces opérations peuvent se dérouler à sec par exemple (le grenailage), ou par voie humide (par exemple le sablage humide) . Dans ce dernier on ajoute un passivant afin de créer un film mince qui assure une bonne adhérence des revêtements ultérieurs. [39]

B- Décapage chimique :

Il a pour objectif d'éliminer à l'aide des acides (l'acide sulfurique ; l'acide chlorhydrique ; l'acide fluorhydrique, etc.), les couches d'oxydes adhérentes à la surface de la pièce à traiter. L'opération peut se faire à froid, mais elle est accélérée lorsque la température du bain augmente. Il est réalisé par divers méthodes [37] :

- par circulation de la solution (pour canalisation);
- par projection (pour des petits objets);
- à la pâte (pour des gros objectifs);
- à la mousse (pour les volumes très important);
- au trempé.

On note qu'il est nécessaire de faire suivre ce décapage par un rinçage afin d'éliminer toute trace de produit de corrosion.

C- Décapage électrolytique :

Le principe est simple et consiste à imposer au produit à décaper une polarisation anodique et/ou cathodique .

Les objectifs visés sont multiples:

- accélération de la pénétration du proton dans la couche d'oxydes (sous l'effet du champ électrique);
- réduction des oxydes;
- action des dégagements gazeux (oxygène + hydrogène) à l'interface métallique, résultant de l'alternance des polarisations anodique et cathodique;
- meilleur contrôle des conditions de décapage;
- gain de productivité.

L'électrolyte utilisé, est généralement à base de sulfate et peut être acide ou neutre. Le décapage se fait à chaud afin d'éviter la cristallisation des sulfates métalliques. [39]

D- Décapage thermochimique :

Il consiste à traiter les pièces en acier dans un bain des sels fondus. Ce procédé permet une transformation des oxydes superficiels aux d'autres types d'oxydes plus solubles dans une solution acide [39] .

E- Décapage ionique :

Il s'effectue à l'aide des ions de gaz rares, focalisés sous forme d'un faisceau qui balaie la surface à nettoyer. Ce type de décapage est plus intéressant, mais il peut conduire à une modification structurelle de la pièce à traiter à cause de la forte énergie des ions projetés.[40]

II-3-2-2 Dégraissage :

Ce que l'on cherche à éliminer dans cette opération clef, ce sont des graisses animales, végétales ou minérales ainsi que leurs produits de dégradation et toutes les souillures qu'elles retiennent et de rendre la surface physiquement propre afin d'assurer le bon déroulement des opérations ultérieures et par là même, de garantir la qualité du produit fini .

Dans la pratique, la phase de dégraissage se subdivise généralement en deux grandes classes:

- pré dégraissage aux solvants, qui contribue à éliminer l'essentiel des polluants organiques;
- dégraissage final, réalisé en milieu aqueux et destiné à détruire le résidu huileux de faible épaisseur. [39].

A- Choix du dégraissage :

Choisir un dégraissage, pour une application donnée, nécessite de réaliser un état des lieux détaillés prenant en compte :

- nature des matériaux à dégraisser et les critères de propreté de la surface;
- nature des polluants de surface à traiter;
- les contraintes dans les domaines de la protection des travailleurs et de l'environnement;
- les options technologiques proposées par les différents fournisseurs de produits et de matériels.

En somme, il n'existe pas une seule forme de dégraissage mais un ensemble de techniques, chacune d'entre elles possédant sa spécificité. Savoir apprécier la nature exacte de l'interface métallique et par voie de conséquence connaître l'histoire amont du matériau d'une

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

part, et les conditions aval des traitements superficiels d'autre part, constituera un atout important pour le choix du dégraissage. Le dégraissage peut s'effectuer soit par: [39]

- voie chimique;
- voie électrolytique;
- effet mécanique;
- aux ultrasons.

B- Dégraissage chimique :

Il est un simple moyen de nettoyage, permettant d'obtenir une surface physiquement propre, conforme aux besoins. Les dégraissants chimiques couramment utilisés sont classés en deux groupes [39] :

- a.** dégraissants organiques : solvants chlorés, hydrocarbures, etc;
- b.** dégraissants alcalins ou neutres : soude, carbonate de soude, etc;

Ils sont très répandus dans les industries mécaniques et métallurgiques en mettant en œuvre, de manière isolée ou conjointe, trois mécanismes d'action :

- la dissolution des graisses par un solvant organique;
- la solubilisation des corps gras d'origine animale ou végétale (esters) par saponification dans des solutions alcalines concentrées et chaudes;
- l'emploi d'un produit tension-actif dans un bain de dégraissage a pour effet de produire un mouillage de la surface à nettoyer, ce qui diminue l'aire de contact de la goutte graisseuse avec la pièce et en facilite l'élimination.

Au surplus, le tension-actif produit l'émulsion des graisses insaponifiables en une multitude de particules sphériques qui sont décollées de la surface souillée et mises en suspension dans le bain.

C- Dégraissage électrolytique :

Le dégraissage électrolytique est généralement employé comme finition dégraissante.

Il conjugue l'effet d'une polarisation de la pièce à partir d'une source de tension extérieure, la solution aqueuse étant utilisée comme électrolyte dans un réacteur où le matériau métallique à dégraisser occupe la position d'anode ou de cathode. Lors de la polarisation, le système réagit vers un nouvel équilibre ce qui induit des réactions électrochimiques et un violent dégagement gazeux sur la surface des pièces [39] :

A la Cathode :

- dégagement de l'hydrogène;
- réduction des solvants ou de celle des cations métalliques parasites contenus dans le milieu.

A l'Anode :

- dégagement de l'oxygène;
- oxydation du solvant si le métal est inattaquable;
- ionisation du matériau s'il n'est pas stable dans le milieu (ex : Al, Mg, Zn, etc.).

Ces dégagements (de l'oxygène et de l'hydrogène), générateurs d'une agitation locale associés aux propriétés dégraissantes du bain en assurant un excellent nettoyage de la surface à traiter, mais certains effets secondaires sont parfois néfastes :

- formation d'oxyde à l'anode;
- attaque du métal par la solution basique à la cathode;
- fragilisation du substrat;
- redéposition d'impuretés à partir de bain pollué.

Pour remédier les inconvénients de ce traitement, on fait alterner périodiquement les polarités des pièces à dégraisser.

D- Dégraissage aux ultrasons :

Il facilite le décollement des salissures. La technique consiste à transmettre des vibrations suivant les caractéristiques chimiques du bain liquide, sous forme des ondes sonores [39].

E- Dégraissage mécanique :

Il utilise du dioxyde de carbone congelé ou la projection de billes de glace sur la surface à dégraisser.

II-3-2-3 Nettoyage et mise à vif de la surface :

Avant de subir un traitement de surface, un matériau métallique est généralement oxydé et couvert d'huiles ou de graisses. Il faut donc procéder à différents stades de la fabrication un nettoyage préalable au sens large du terme, afin de passer d'une interface souillée à une interface physiquement et chimiquement propre, apte à recevoir convenablement les traitements de surfaces ultérieures. Ces préparations, routinières dans l'industrie des traitements de surface, sont d'une grande importance. Elles conditionnent en grande partie la réussite des opérations ultérieures de fabrication ou de traitements de surface.[40]

II-3-2-4 Polissage :

A- polissage mécanique :

Le polissage est un usinage de surface, au moyen d'abrasifs de plus en plus fins. Il consiste à polir les surfaces par la suppression des anfractuosités et des aspérités superficielles à l'aide des machines rotatives.

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Les abrasifs sont collés sur des disques de bois ou de feutre animés d'un mouvement de rotation rapide, comme les meules. L'état de la surface à polir dépend de la dureté du métal et la qualité finale désirée.

Cette technique de préparation est indispensable pour des revêtements protecteurs durables. [41]

B- Polissage électrolytique :

La plupart des métaux ou alliages (laitons, cuivre, cadmium, zinc, etc.) peuvent être polis ou brillantés chimiquement ou électrolytiquement.

La pièce à polir est constituée l'anode dans l'électrolyte sous des conditions électriques qui permettent une dissolution sélective des aspérités du métal (zone où la densité du courant très importante). Il confère à la surface un pouvoir réflecteur très élevé.

L'avantage principal de ce procédé est le gain de temps et l'absence des couches minces superficielles écrouies, mais il ne peut pas être appliqué pour des échantillons à forte porosité [41].

C- Polissage chimique :

Le polissage chimique ne diffère pas essentiellement du polissage électrolytique, la source du courant étant constitué par la multitude de couples locaux (piles) qui se manifestent à la surface du métal pendant l'opération.

Pour augmenter la tension de ces couples, on opère à haute température, en présence d'oxydants et d'un sel lourd [41].

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Suivant le schéma (Figure II- 6).

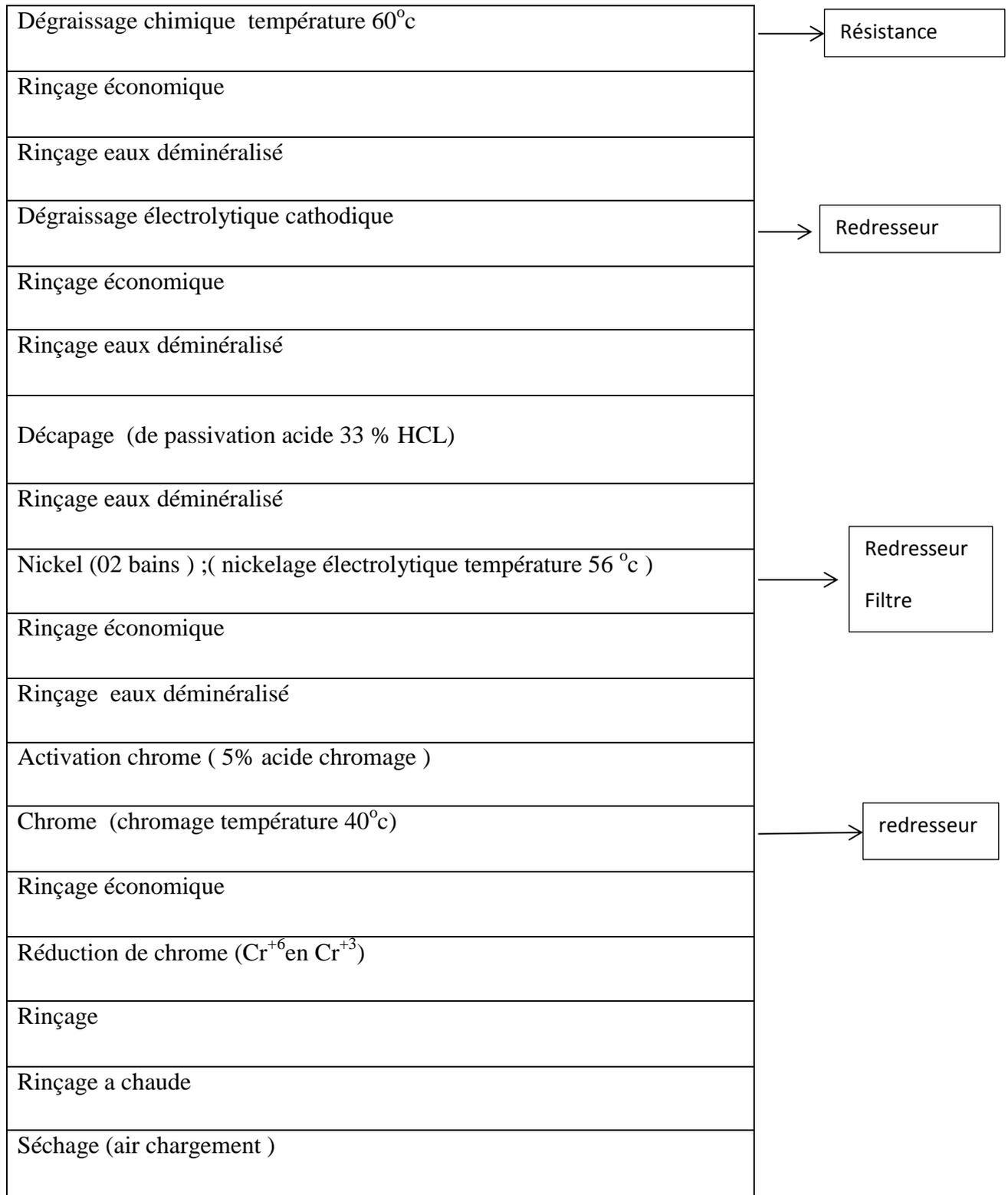


Figure II- 6 : La ligne de chromage décoratif [42].

D- Dégazage :

Les métaux peuvent retenir des gaz aussi bien par adsorption superficielle que par dissolution dans leur masse. Ces gaz sont susceptibles de se dégager lors d'un traitement sous vide ou à tout autre moment entraînant le décollement d'un revêtement. Par ailleurs, l'hydrogène détériore les propriétés mécaniques des aciers. Les dégazages se font par étuvage, la température et la durée dépendant du matériau.[40]

E- Rinçage :

Une ligne de traitements de surfaces est une succession de traitements chimiques ou électrolytiques, séparés par des rinçages qui ont donc une double vocation :

- débarrasser les pièces de leur pellicule d'entraînement du bain après immersion.
- jouer le rôle de barrière antipollution entre deux opérations consécutives.

Après émergence d'un bain de traitement, le matériau métallique traité est recouvert d'un film de solution « concentrée » dont l'épaisseur dépend des caractéristiques de la solution (concentration, température, etc.) mais également de celles du matériau (forme géométrique, rugosité, etc.). Rincer une surface consiste donc à diluer cette fine pellicule de solution, c.à.d. diminuer la concentration du squelette minéral de la solution mais également à déstabiliser les émulsions.

Pour améliorer le rinçage, il convient d'associer l'effet de dilution avec une agitation (mécanique ou par injection d'air déshuilé), en augmentant la vitesse de diffusion des espèces en solution par chauffage des rinçages ou en intervenant sur le rapport de dilution.

Plusieurs structures de rinçages sont exploitées en pratique [43]

E-1 Rinçage statique :

Il est souvent considéré comme un pré-rinçage (rinçage mort) qui sert à retenir une partie de la pollution en provenance du bain de traitement ;

E-2 Rinçage simple courant :

Nécessitant un débit d'eau élevé pour assurer un rapport de dilution satisfaisant.

E-3 Rinçage multiple en série (cascade) :

C'est la configuration la plus rencontrée dans les installations de traitements de surface. L'arrivée d'eau se situe dans la dernière cuve de rinçage et traverse en cascade les différentes cuves de rinçages jusqu'à la première. L'eau brute circule donc à contre-courant du transfert des pièces rincées [43].

E-4 Rinçage par aspersion :

Il permet d'améliorer la qualité du rinçage grâce à l'effet hydromécanique et peut être réalisé en combinaison avec un rinçage au trempé.

II-3-2-5 Compositions du bain de décapage :

Pour le décapage chimique on utilise les proportions suivantes :

Pour les aciers au carbone, l'aluminium et ses alliages, on utilise des bains contenant de l'eau additionnée de: [42]

- 5 à 15% d'acide sulfurique;
- 10% d'acide chlorhydrique;
- 2 à 15 % d'acide fluorhydrique.

2. les aciers inoxydables se décapent avec un bain contenant:

- 15% d'acide chlorhydrique;
- 15% d'acide azotique;
- 5% d'acide sulfurique et de l'eau.

3. pour le cuivre et ses alliages, on emploie un bain contenant un mélange:

- 5% d'acide azotique;
- 5% d'acide sulfurique et d'eau.

Pour le dégraissage électrolytique, les dégraissants alcalins utilisés sont :

- la soude caustique :70g/l;
- cyanure de soude :25g/l;
- carbonate de soude : 30g/l;
- phosphate trisodique :30g/l;
- agent mouillant :3g/l.

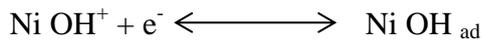
II-3 Le Nickelage :

Le nickel, métal gris blanc à reflets jaunes connu depuis des siècles (fabrication d'armes et de monnaie) n'a pourtant été isolé qu'en 1751 par le chimiste suédois Axel Frédéric Cronstedt. Il se trouve présent dans le manteau et noyau terrestre (sous forme essentiellement de sulfures, oxydes ou silicate) ou allié au fer dans certaines météorites. Les gisements (exploités) les plus importants se situent au Canada (région de Sudbury), en Nouvelle Calédonie (le découvreur français Jules Garnier a donné son nom au minerai : la Garniérite, $(Ni, Mg) SiO_3.nH_2O$), en ex-URSS et en Australie.[44]

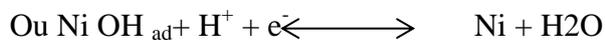
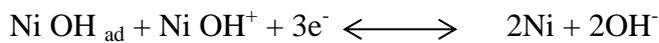
CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Les dépôts de nickel s'effectuent par électrolyse de solutions de sels de nickel (sulfate, chlorure, sulfamate, fluoborate) à pH acide (compris entre 2 et 5), à des températures de l'ordre de 50 à 75 °C, et à des densités de courant variant de 2 à 30 A/dm². Les anodes sont en nickel : leur dissolution assure un apport constant en cations.

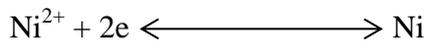
En pratique, pour le bain le plus classique au sulfate de nickel (bain de Watts), le dépôt de nickel est conditionné par la formation d'un hydroxyde NiOH adsorbé à la cathode selon les réactions suivantes : [44]



Deux mécanismes sont proposés [3] quant à la formation du nickel métallique :



Globalement, la réaction correspond à :



II-3-1 Caractéristiques physico-chimiques du nickel : [44]

Symbole :	Ni
Masse volumique	8,9 g/cm ³ (dépôts électrolytiques : variant de 8,85 à 8,93)
Température de fusion	1 455 °C
Coefficient de dilatation	13,6 10 ⁻⁶ (°C) ⁻¹ à 20 °C
Conductivité thermique	74 à 95 W · m ⁻¹ · K ⁻¹
Résistivité électrique	6,85 [μΩ/cm] (de 6,8 à 11,5 pour les dépôts électrolytiques)
Résistance à la rupture	R _m > 350 MPa.
Limite d'élasticité	R _e 150 MPa.
Cristallisation	CFC (a ₀ = 0,3524 nm)
Température de Curie	359 °C
Champ coercitif	280 à 400 A/m (Fer : 50 à 80 A/m)
Aimantation à saturation	0,61 T (Fer : 2,16 T)

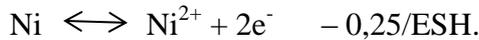
II-3-2 Propriétés chimiques et électrochimiques :

Le nickel sous forme d'ions, se trouve essentiellement au degré d'oxydation + 2. Il peut se présenter au degré + 3 et très exceptionnellement au degré + 4. Au degré d'oxydation 2, le nickel donne de manière générale des composés verts, de degrés d'hydratation différents (essentiellement avec 6 ou 7 molécules d'eau).[44]

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Le métal, après s'être recouvert d'une couche de passivation d'oxyde, n'est pas oxydable à froid dans l'oxygène. Il résiste bien à la corrosion par l'eau distillée et par l'eau de mer. On peut cependant constater une attaque locale par l'eau de mer stagnante.

Le potentiel standard du couple Ni/Ni²⁺ correspondant à la réaction



Le diagramme d'équilibre tension-pH (figure II- 7) pour le nickel montre les différents comportements suivant la polarisation des électrodes en l'absence de composés oxydant ou réducteur.

Les acides minéraux du type chlorhydrique, fluorhydrique ont, en l'absence d'oxydant, une action très limitée sur le nickel.

L'acide nitrique fumant passive le nickel, tandis que les solutions plus diluées nitriques ou phosphoriques provoquent une attaque qui, pour l'acide nitrique, peut être accentuée par la présence d'acide fluorhydrique ou d'eau oxygénée.

Le nickel résiste aux acides organiques, aux alcools, aux bases fortes (soude, potasse) jusqu'à 700 °C, à l'ammoniaque (jusqu'à 400 °C) [44].

Dans tous les cas, la présence de sulfure modifie de manière notable le comportement du nickel en raison de son pouvoir dépassivant.

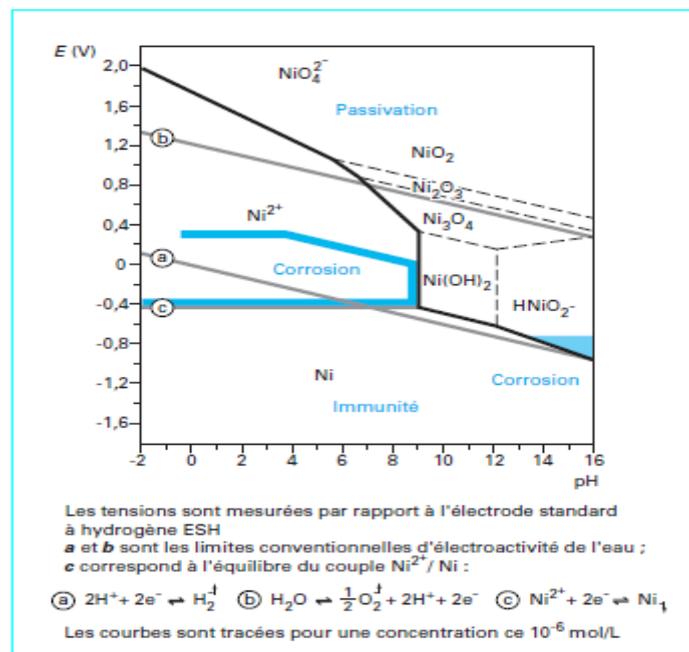


Figure II- 7 : Diagramme tension – pH du système nickel/eau à 25°.[44]

II-3-3 Bain de Ni :[31]

Sulfate de nickel : 250 à 320 g/l

Chlorure de nickel : 50 à 80 g/l

Acide borique : 45 à 50 g/l

Brillanteur secondaire

Brillanteur primaire

Nivelant

Mouillant

} suivant le fournisseur

Condition opératoire

Température : 50 – 60 °c

PH : 3.5-4.2

Tension superficielle : 30-35 dyne/cm

Densité de courant cathodique 1 à 6 A/dm²

Anode nickel

Agitation : air ou agitation cathodique

Filtration agitation cathodique : 1 volume / heure

Aire : 2 volume / heure

Note : L'agitation cathodique doit être de 5 à 6 m/minute.

Dans le bain de nickel les brillanters peuvent être remplacés par des additifs servant à obtenir la Nive lance sans apport de soufre afin d'effectuer des dépôts double couche (binickel. Nickel duplex).

II-4 Les bains de chrome[31]

II-4-1 Bain de chrome décoratif :

Anhydride Chromique300g/l

Acide sulfurique3g/l

Rapport de (CrO₃/H₂SO₄).....100

Conditions d'utilisation :

Température.....30-40° C

Densité de courant.....15-12 A/ dm²

Rendement12%

Anode Plomb à 6% d'antimoine.

Rapport anode-cathode.....1,5-2/1

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

II-4-2 Bain de Chrome dur : [31]

Anhydride Chromique250g/l

Acide sulfurique2,5g/l

Rapport de (CrO₃/H₂SO₄).....100

Condition d'utilisation :

Température.....50-60° C

Densité de courant.....40-50 A/ dm²

Rendement13-14%

Rapport anode-cathode.....1,5-2/1

II-4-3 Bain de chromage froid : [31]

Acide chromique220 g/l

Sulfate de nickel1,2 g/l

Sulfate de fer0,8 g/l

Alcool méthylique.....0,5 g/l

Conditions d'utilisation :

Température.....18-20°C

Densité de courant cathodique.....7-10 A/dm²

Anodes..... plomb 7% antimoine

Rapport anode-cathode.....1-1

Maintenir le bain à une densité de 1,150-1,160 par addition d'acide chromique.

Le dosage des sulfates de nickel et de fer sera effectué une fois par mois.

La teneur en fer peut atteindre 5 à 6 g/l, mais la teneur en chrome trivalent ne doit pas dépasser 5g/l.

Note : L'alcool méthylique n'est utilisé qu'au montage du bain.

L'emploi d'une basse température et l'application d'une faible densité de courant permettent, en présence de surfactant fluoré, la suppression de l'aspiration.

II-4-4 Bain de chrome fluorés : [31]

Acide-chromique200 g/l

Acide sulfurique.....1 g/l

Fluosilicate de potassium.....4 g/l

Conditions d'utilisation :

Température.....35-45°C

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCEDE DE CHROMAGE

Densité de courant cathodique.....10-30 A/dm²

Rendement.....20-22 %

Rapport anode-cathode1-1

Maintenir la densité du bain entre 1,135-1,145 par addition d'acide chromique.

Effectuer au moins une analyse par mois.

II-4-5 Bains SRHS (Self Regulating High Speed) : [31]

Acide chromique250 g/l

Fluosilicate12 g/l

Sulfate de Strontium2 g/l

Bichromate de Potassium.....10g/l

Chromate de Strontium2g/l

Conditions d'utilisation : [31]

Température.....35-55°C

Densité de courant cathodique.....4-50 A/dm²

Rendement.....25 %

Rapport anode-cathode1-1

Maintenir la densité 1,170 et 1,180 par addition acide chromique.

Du fait de la faible dissolution du sulfate de brayum , la teneur en sulfate sera maintenue constante ce qui permet un bon équilibre du bain il est toutefois nécessaire de faire analyser régulièrement la solution .

II-4-6 bains au tétrachromate (dit de Borhauser) : [31]

Ancienne formule :

Acide chromique350 g/l

Carbonate de sodium.....150 g/l

Sulfate de Sodium0.7 g/l

Alcool Méthylique1ml/l

Conditions d'utilisation :

Température.....15-22°C

Densité de courant cathodique.....5-50 A/dm²

Rendement.....30-33 %

Anodeplomb – antimoine

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Pour augmenter la pénétration après 10-15 secondes de chromage, faire une interruption courant 10-J 15 secondes.

Ce bain possède des avantages certains sur les différents bains de chrome décrits :

- fonctionne à température ambiante
- très bonne pénétration
- dépôt peu poreux
- peu sensible aux contaminations de métaux lourds
- rendement élevé 30-35 .
- supporte des densités de courant élevées.

Ces qualités permettent de déposer rapidement des dépôts épais.

Ce bain a été utilisé pour chromer sans sous-couche du zinc, du cuivre, avec une bonne tenue à la corrosion.

Il donne des dépôts mats qu'il est nécessaire d'aviver, une dureté plus faible et le dépôt noirci à l'utilisation.

Dans la version moderne, qui contient l'anion fluosilicate à forte teneur, les qualités du bain d'origine sont maintenues, à l'exception du rendement qui revient à 25 %, mais les dépôts sont très brillants et le bain est utilisé jusqu'à 40°C sans interruption de courant.

II-4-7 Bain à haute densité de courant : [31]

Acide chromique	300 g/l
Métavanadate d'Ammonium	20 g/l
Acide Acétique	10 g/l
Acétate de Baryum	7 g/l

Conditions d'utilisation :

Température	30-40 °C
Densité de courant	75-90 A/dm ²
Anode	Plomb
Rapport avec la cathode	1-1

II-4-8 Bain moderne : [31]

Acide chromique	480 g/l
Chrome trivalent	7 g/l
Catalyseur non dévoilé	

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Conditions d'utilisation :

Température	16-30 °C
Densité de courant	27-60 A/dm ²
Anode	Plomb dur
Rapport avec la cathode	2-1
Temps de traitement minimum	6 à 8 min

Note : La température optimal se suite entre 180et 22 °C pour une densité moyenne de 20 à 30 A / ai. Les montages doivent être introduis sous courant à forte densité.

II-4-9 Bain concentré : [31]

CrO ₃	500g/l
SO ₄ ⁻²	5g/l.

Conditions d'utilisation :

Température	40°C
Densité.....	10A/dm ²

II-4-10 Bain standard : [31]

CrO ₃	250 g/l
SO ₄ ⁻²	2.5g/l

Conditions d'utilisation :

Température	50°C
Densité.....	20A/dm ²

II-4-11 bain autorégulé : [31]

CrO ₃	250g/l
SO ₄ ⁻²	1g/l
SiF ₆ ⁻²	2g/l
Sr ⁺²	4g/l
K ⁺	14g/l

Conditions d'utilisation :

Température	45°c
Densité.....	15A/dm ²

A- Non-fissuré :

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

CrO₃.....450g/l
SO₄⁻².....2.5g/l
SiF₆⁻².....1g/l

Conditions d'utilisation :

Température45°c
Densité.....20A/dm²

B- Microfissuré :

CrO₃.....175g/l
SO₄⁻².....0.35g/l
SiF₆⁻².....3g/l

Conditions d'utilisation :

Température45°c
Densité.....15A/dm²

II-5 Conditions opératoires :

De manière générale, les conditions opératoires pour le chromage, que l'on cherche à faire un chromage pour ses propriétés mécaniques, d'anticorrosion ou décoratives, sont les suivantes :

— composition du bain : [45]

- acide chromique (CrO₃) : de 250 à 400 g/L,
- acide sulfurique : (H₂SO₄) : de 2,5 à 5 g/L ;

— densité de courant : de 20 à 50 A/dm²

— température : de 45 à 60°C.

Anodes :

Lors des traitements de surface par dépôt électrolytique, les anodes conditionnent la qualité d'un bon dépôt. Dans le cas du chromage, les anodes utilisées sont du type anodes insolubles, le chrome consommé lors du dépôt est rajouté régulièrement sous forme de CrO₃ (solide ou en solution aqueuse).

De manière générale, les anodes utilisées pour le dépôt de chrome sont des **anodes en plomb** ou en alliage de plomb (tels que Pb-Sb, Pb-Sn). Toutefois, pour des applications bien particulières, il est possible d'utiliser des anodes en fer, en platine, ou en titane platiné.

Dans ces applications, il est nécessaire de prendre en compte l'influence du métal de l'anode pour la bonne marche du bain.

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Au cours du processus anodique, le plomb métallique tend à s'oxyder : le dégagement gazeux d'oxygène et la présence de chrome hexavalent de la solution tendent à provoquer à la surface de l'anode des réactions d'oxydation qui conduisent à la formation d'oxydes de plomb (de couleur noire) et de chromates de plomb (de couleur jaune). Il semble que lors de l'électrolyse, la réaction de formation des oxydes soit préférentielle (les anodes sont alors de couleur brun noir). Si on laisse les anodes dans le bain sans passage de courant, elles se recouvrent d'une pellicule jaune orangée, signe de formation de chromate. Ces chromates sont de très mauvais conducteurs du courant, il convient donc de conditionner les anodes ayant séjourné dans un bain sans passage de courant, avant de démarrer un traitement. Un léger brossage ou une électrolyse primaire sous potentiel, permettent de remettre les anodes en état. Le rôle de ces anodes, outre les caractéristiques bien connues dans les processus électrolytiques, est primordial pour le bon fonctionnement dans le temps du bain de chromage.

En effet, au cours de l'électrolyse, le chrome trivalent formé à la cathode s'oxyde en chrome hexavalent, permettant ainsi de maintenir la concentration de chrome trivalent à des valeurs correctes.

Nous reviendrons par la suite sur l'influence des ions Cr^{3+} sur la qualité du dépôt. Cette réaction d'oxydation du chrome trivalent en chrome hexavalent a été étudiée par de nombreux auteurs. Son rendement est fonction des potentiels réciproques des réactions pouvant se produire, potentiel qui est bien sûr fonction du matériau sur lequel se produit cette réaction (plomb, fer, platine...), mais aussi fonction de son état physique (massif, électrodéposé...) et de son état de la surface (polie, couche d'oxyde formée dans le bain...). Comme on peut le constater, un grand soin doit être apporté à la nature, la forme, l'entretien des anodes pour assurer un fonctionnement correct des bains [45]

II-6 Appareillage et matériel annexe :

En ce qui concerne les cuves, la matière en contact avec la solution de chromage devra être en matériau résistant à l'agressivité à la fois acide et fortement oxydante de cette solution, d'autant plus que les traitements sont généralement réalisés à une température de l'ordre de 50 à 55°C. De plus, pour éviter tout phénomène de modification dans la répartition du courant sur les pièces traitées, l'ensemble de la cuve devra être parfaitement isolée électriquement pour ne laisser en fonctionnement que les parties métalliques des anodes ou des pièces à revêtir. Les amenées de courant devront aussi être protégées.

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

Tout le matériel utilisé en complément de l'électrolyse (agitation, chauffage, refroidissement...) devra également être parfaitement résistant à l'agressivité de la solution et des vapeurs émises.

Au cours de l'électrolyse, une grande quantité de gaz se dégage : à l'anode, c'est l'oxygène et à la cathode, l'hydrogène. Ces gaz entraînent avec eux de la solution de chromage sous la forme d'un brouillard chromique. Pour des raisons de sécurité et de santé, ces vapeurs doivent être parfaitement lavées avant d'être rejetées dans l'atmosphère. Un système d'aspiration très efficace et de lavage avec récupération de ces entraînements est donc nécessaire. L'ensemble aspiré passe dans un dévésiculeur dont le rôle est de retenir les particules d'acide chromique par condensation sur des parois solides.

L'utilisation d'agents de type tensio-actifs ne réagissant pas chimiquement aux électrodes se développe de plus en plus. Ces agents agissent en diminuant la tension superficielle, en particulier aux électrodes, et permettent ainsi de diminuer la taille des bulles de gaz qui se dégagent, diminuant très sensiblement la quantité de solution entraînée.

Dans certains ateliers on utilise aussi un *rideau* surnageant dans la cuve, rideau formé de boules d'un matériau organique (type polypropylène) de faible densité et résistant bien sûr à l'acide chromique.

Lors de l'introduction des pièces, ces boules s'écartent facilement laissant pénétrer la pièce dans le bain, le rideau se reforme ensuite pour s'écarter à nouveau lors de la sortie du bain, des pièces traitées.

Ce rideau permet aussi de diminuer les pertes par évaporation qui se produisent en raison de la température de fonctionnement des bains (50°C). À ce sujet, il est utile de signaler que l'ajout de liquide pour ajuster le niveau des bains doit prendre en compte l'introduction toujours possible d'éléments ou d'ions contenus dans ce liquide ; par exemple, il faut se méfier de ne pas introduire d'eau contenant des ions sulfates ou chlorures qui, pour les premiers, viendraient s'ajouter au catalyseur, et qui, pour les seconds provoqueraient une dégradation des conditions de dépôt ainsi que la corrosion des anodes.

Une attention toute particulière doit bien sûr être apportée à la qualité des contacts électriques pour éviter la création d'étincelles pouvant conduire à des accidents en raison de la nature des gaz qui se dégagent.[45]

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCÉDE DE CHROMAGE

II-7 Caractéristiques et Contrôle des bains :

Dans ce paragraphe, nous ne traiterons pas des contrôles très classiques type température, agitation ou qualité de l'électrolyse mais plutôt de l'évolution des caractéristiques du bain au cours du temps.

Au cours du chromage, la composition chimique des bains utilisés varie. Si tout phénomène admet un domaine d'utilisation, les valeurs des paramètres de l'opération doivent rester dans la plage d'utilisation optimale.

Au cours de l'électrolyse et des différentes manipulations, la solution s'appauvrit en chrome hexavalent, et s'enrichit en cations métalliques (type fer, nickel, cuivre) et chrome trivalent. Il peut aussi y avoir variation de la concentration en catalyseur. Nous ne traiterons pas ici des cas particuliers de dégradation des différents composés d'addition pouvant être ajoutés dans le bain (type tensio-actifs)... Il faut cependant se méfier de certains composés organiques antimoissants qui pourraient, par dégradation anodique ou cathodique, relarguer des ions semblables au catalyseur utilisé (ions sulfates par exemple).

Pour un bon fonctionnement, il est nécessaire de connaître les concentrations respectives des différents composants majeurs du chromage pour ajuster au mieux, quand cela est possible, leur concentration dans la zone adéquate [45].

II-7-1 Bain de nickel :

Contrôler chaque jour le pH

Effectuer les additions nécessaires de brillanteur.

Chaque semaine vérifier la concentration du bain à l'aide d'un densimètre de Baumé et ajouter pour chaque degré Baumé manquant (densité prise à 20 °c).

Sulfate de nickel : 15g/l

Chlorure de nickel :5g/l

Acide borique : 3 g/l

La densité de base sera déterminée sur le bain neuf en général entre 25 et 27°Baumé.

Dissoudre le sulfate et le chlorure de nickel dans une portion de bain et les incorporer après filtration.[31]

II-7-2 Bain au sulfate :

La concentration en acide chromique est facilement contrôlée par la mesure de la densité effectuée à 20°C en utilisant le tableau densité / concentration.

CHAPITRE II : ETUDE DU PROCEDE DE CHROMAGE

Densité	CrO ₃ g/l	Densité	CrO ₃ g/l
1140	200	1215	309
1145	208	1220	316
1150	215	1225	323
1155	222	1230	330
1160	229	1235	338
1165	236	1240	345
1170	243	1245	353
1175	251	1250	360
1180	257	1255	368
1185	265	1260	375
1190	272	1265	383
1195	280	1270	390
1200	288	1275	398
1205	295	1280	406
1210	301	1285	414

Tableau II-3 : Représente densité par à la concentration de sulfate.[31]

Les additions d'anhydride chromique ne doivent pas être accompagnées d'ajouts d'acide sulfurique qui ne peuvent être vérifiés que par analyse.

Si la surface anodique est maintenue supérieure à la surface cathodique, il n'y a pas d'augmentation notable du chrome trivalent mais, en chrome dur, ce paramètre ne peut toujours être maintenu, les inversions amenant du fer dans la solution. La somme chrome trivalent + fer doit être maintenue inférieure à 20 g/l.

Les anodes se couvrent d'une couche jaune de chromate de plomb (PbCrO₄) qui est un isolant qu'il est nécessaire d'éliminer. Les anodes, après rinçage, seront immergées dans une solution de :

Soude caustique 100 g/l

Sel de Rochelle 100 g/l

Elles sont ensuite facilement brossées et rincées à grande eau et séchées.[31]

III-1 Technique expérimentale :

Dans cette partie on a étudié le dépôt de l'épaisseur de nickel sur l'alliage.

On a préparé 3 échantillons de laiton avec différent pourcentage de cuivre (99.75%,64.21%,59.65%), on a démarré l'expérimentation par le cuivre 99 il absorbe une grande couche de nickel par ce que il a une grande conductivité électrique.

III-1-1 Le laiton

Le laiton est un alliage de couleur dorée ou argentée, non ferreux, essentiellement composé de cuivre et de zinc, les proportions de ces deux constituants peuvent varier. En outre, selon l'usage auquel il est destiné, le laiton peut aussi contenir du plomb, de l'étain, du nickel, du chrome ou du magnésium.

Le laiton est un alliage malléable connu depuis la Préhistoire. Sans doute parce qu'à l'époque déjà, on avait constaté qu'il pouvait être travaillé à chaud comme à froid et qu'il était facile à usiner, à mouler, à emboutir, etc....[46]

III-1-1-1 Diagramme binaire de l'alliage Cu-Zn

Le diagramme d'équilibre Cu-Zn indique une solubilité maximale de 39% de Zn à 456°C : phase alpha de structure cubique face centrée (Cf zone jaune sur le diagramme de phase ci-dessous).

Mais en pratique industrielle : la phase bêta de structure cubique centrée, hors équilibre, apparaît au delà de 35% de Zn.[47]

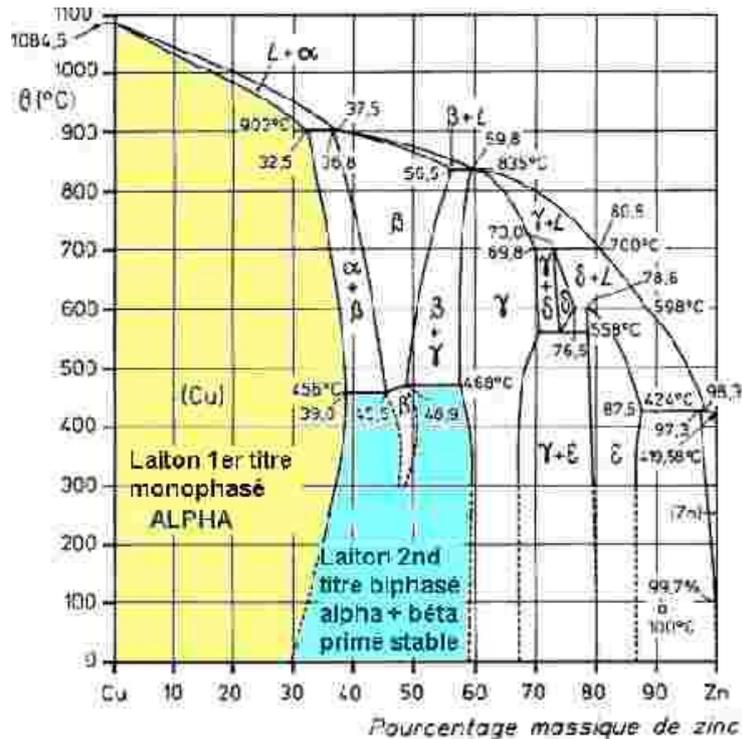


Figure III-1 : Diagramme binaire du laitton [48]

Le diagramme se compose de trois phases:

A- monophasé alpha : CuZn5 à CuZn35

Les alliages contenant jusqu'à 35% de Zinc sont monophasés.

Ils sont réputés pour leurs propriétés de ductilité et leur aptitude à la déformation à froid.

L'alliage de type alpha le plus largement utilisé est l'alliage 64/36 "commonbrass". Il est l'alliage le meilleur marché (le zinc est généralement moins cher que le cuivre). Toutefois, l'alliage à 30% de zinc "cartridgebrass" offre une meilleure ductilité et une bonne résistance à la corrosion.[47]

B- biphasé alpha + bêta : CuZn40

Au delà de 35% de Zinc : la phase bêta apparaît et la dureté augmente. La ductibilité à froid des alliages alpha + bêta n'est pas très bonne, mais ils présentent une excellente ductibilité à chaud en raison de la plasticité de la phase bêta à haute température.[47]

C- Passage de la solution bêta désordonnée à la solution stable bêta prime

Aux environs de 450°C à 470°C : la phase bêta se transforme pour donner la phase bêta prime. Cette modification de structure est liée au passage des atomes de Zinc d'une structure aléatoire à une structure ordonnée dans le réseau. L'aspect de la microstructure n'est pas affecté par ce changement dont l'influence sur les propriétés mécaniques est négligeable.

C'est donc toujours cette phase bêta prime qui est présente dans l'alliage à température à l'ambiante (Cf zone bleue sur le diagramme de phase).

La phase bêta prime est dure et fragile. En ce sens, elle ne permet pas de déformation à froid, et favorise donc le fractionnement des copeaux et, par conséquent, l'usinabilité du métal.

L'alliage à deux phases le plus répandu est le laiton 60/40. Les laitons duplex présentent une excellente ductilité aux températures de déformation à chaud et existent dès lors aussi à l'état forgé par extrusion et laminage à chaud.

On note une concentration limite en Zinc pour les usages commerciaux égale à 42%. La concentration limite en Zinc est de 42%. Au delà de cette limite, les alliages sont trop fragiles et n'ont pas d'utilité commerciale.[47]

III-1-1-2 Définition des échantillons

A- échantillon I (barre en laiton Cu59.65 Zn37.81) :



Figure III-2 : Barre en laiton.

La figure (III-2) montre une barre de laiton dont la composition chimique est donnée dans le tableau (III-1)

CHAPITRE III : CHROMATATION ET IMPACTS

métaux (%)	Cu	Zn	Ni	Sn	Pb	Mn	Fe	Si	As	Sb	Cd	Bi	Al
échantillon													
Barre en Laiton	59.65	37.81	0.0395	0.12	2.3	0.001	0.0697	0.001	0.01	0.01	0.001	0.0017	0.001

Tableau III-1 : Composition chimique d'une barre en laiton.

Calcul de surface :

$$S_1 = \pi * d_1 * h_1$$

$$.d_1 = 13\text{mm} , h_1 = 45\text{mm}$$

$$\text{Donc } S_1 = \pi * 13 * 45 = 1837.83 \text{ mm}^2$$

$$S_1 = 18.38 \text{ cm}^2$$

Calcul du courant :

On applique une densité de courant de 4.4A/cm^2

$$A_1 = S_1 * 4.4 = 18.37 * 4.4$$

$$A_1 = 80.872 \text{ A}$$

B- échantillon II (Tube en Cuivre Cu99.75 Zn0.2) :



Figure III-3 : Tube en cuivre pur.

CHAPITRE III : CHROMATATION ET IMPACTS

Métaux(%) échantillon	Cu	Zn	Ni	Sn	Pb	Mn	Fe	Si	As	Sb	Cd	Bi	Al
Tube en cuivre	99.75	0.20	0.0064	0.0053	0.01	0.001	0.0254	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.006

Tableau III-2 : Composition chimique d'un tube en cuivre pur.

Calcul de la surface :

$$S_2 = \pi \cdot d_2 \cdot h_2$$

$$d_2 = 16 \text{ mm} , h_2 = 53 \text{ mm}$$

$$\text{Donc } S_1 = \pi \cdot 16 \cdot 53 = 2664.07 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 26.64 \text{ cm}^2$$

Calcul du courant :

On applique une densité de courant de 4.4 A/cm^2

$$A_2 = S_2 \cdot 4.4 = 26.64 \cdot 4.4 = 117.216 \text{ A}$$

C- échantillon III(Tube en laiton Cu64.21 Zn35.71) :



Figure III-4 : Tube en laiton.

Métaux(%) échantillon	Cu	Zn	Ni	Sn	Pb	Mn	Fe	Si	As	Sb	Cd	Bi	Al
Tube en laiton	64.21	35.71	0.0038	0.0072	0.04	0.001	0.0170	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001

Tableau III-3 : Composition chimique d'un tube en laiton.

Calcul de la surface :

$$S_3 = \pi \cdot d_3 \cdot h_3$$

$$d_3 = 17 \text{ mm}, h_3 = 52 \text{ mm}$$

$$\text{Donc } S_3 = \pi \cdot 17 \cdot 52 = 2777.18 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = 27.77 \text{ cm}^2$$

Calcul du courant :

On applique une densité de courant de 4.4 A/cm^2

III-1-2 Chromage des échantillons :

III-1-1-1 Préparation des échantillons :

- Meulage : s'effectue par quatre types de bandes abrasives



Figure III-5 : Bande abrasive [49]

- Bande au grain 100
- Bande au grain 180

- Bande au grain 280
- Bnde au grain 400

Polissage : au cours du polissage on utilise une pâte pour enlever les traces de meulage



Figure III-6 : Pâte de polissage

Après ces opérations, on obtient les échantillons suivants (**figure III-7**)



Figure III-7 : Echantillons après le meulage et le polissage.

CHAPITRE III : CHROMATATION ET IMPACTS

Les échantillons sont ensuite montés sur le bouc lards puis ils passent dans la chaîne de chromage (au niveau groupe BCR (filiale SANIAK)).

Les résultats obtenus sont portés sur la **figure III-8**



Figure III-8 : Les échantillons après le chromage.

III-1-1-2 Résultats :

	Epaisseur Ni (μm)
Barre en laiton	15
Tube en cuivre	8
Tube en laiton	12

Tableau III-3 : Représente l'épaisseur de Ni en fonction de % de Cu.

III-1-1-3 Interprétation :

Après ces résultats on remarque que l'alliage joue un rôle dans le traitement par électrolyse. D'après l'expérience qu'on a faite sur les trois échantillons. On a trouvé que le laiton (59% Cu) possède :

- Un bon effet miroir
- Pour une épaisseur de Nickel précise, elle minimise le temps par apport aux deux échantillons.

III-2 Toxicité des métaux lourds :

III-2-1 généralité sur la toxicité :

On appelle en général, métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm³. Ils constituent un groupe d'éléments très différents. [50]

-Mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium, et le mercure.

-La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. la toxicité du mercure est par exemple connu depuis l'antiquité. la plus part du temps, les effets toxiques des métaux lourds concernent le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes.

III-2-1-1 toxicité du Chrome :

-il est classé dans la catégorie cancérigène.

-peut provoquer le cancer

-peut provoquer des altérations génétiques héréditaires.

-très toxique par inhalation.

-peut entraîner une sensibilisation par inhalation.

-toxique par contact avec la peau.

-l'acide chromique à l'état sec ou humide a une action corrosive sur les yeux et la peau. Peut provoquer des brûlures.

-le contact avec la peau peut provoquer des brûlures graves, des ulcères et l'ulcération de la peau fissuré.

-l'ingestion peut provoquer des brûlures au niveau des voies digestives ainsi que des effets généralisés.

-les sels solubles de chrome hexa valent sont absorbé par le corps après contact direct avec la peau et les muqueuses : peut provoquer un empoisonnement générale et des lésions au niveau du foie et des reins.[51]

A- Impact du chrome sur l'environnement :

Il y a plusieurs types de chrome qui n'ont pas tous les mêmes effets sur les organismes. Le chrome pénètre dans l'air, l'eau et le sol sous les formes chrome III et chrome VI lors des processus naturels et du fait de l'activité humaine.

Les principales activités humaines qui augmentent les concentrations en chrome(III) sont la fabrication de l'acier, du cuir et des textiles. Les principales activités humaines qui augmentent les concentrations en chrome(VI) sont les fabriques de produits chimiques, de cuir et de textile, l'électro-peinture et autre application du chrome (VI) dans l'industrie. Ces applications augmentent principalement les concentrations en chrome de l'eau. Lors de la combustion du charbon, le chrome peut aussi se retrouver dans l'air et lors de l'évacuation des eaux le chrome peut se retrouver dans le sol.

La plupart du chrome de l'air se dépose finalement et finit dans l'eau ou dans le sol. Dans le sol, le chrome se lie fortement aux particules du sol et, par conséquent, il ne se déplace pas jusqu'aux eaux souterraines. Dans l'eau, le chrome est absorbé sur les sédiments et devient immobile, seule une petite partie du chrome qui se retrouve dans l'eau finit par se dissoudre.

Le chrome (III) est un élément essentiel pour les organismes qui peut interrompre le métabolisme du sucre et provoquer des problèmes au cœur lorsque la dose quotidienne est trop faible. Le chrome (VI) est principalement toxique pour les organismes. Il peut altérer le matériel génétique et provoquer des cancers.

Les cultures possèdent un système contrôlant la consommation de chrome. Mais lorsque la quantité de chrome dans le sol augmente, cela peut mener à des concentrations plus élevées dans les cultures. L'acidification des sols influence aussi la consommation de chrome par les cultures. En général, les plantes absorbent uniquement le chrome (III). C'est peut-être le type essentiel de chrome mais lorsque les concentrations dépassent une certaine valeur, des conséquences négatives peuvent toujours se produire.

Le chrome n'est pas connu pour s'accumuler dans le corps des poissons, mais des

concentrations élevées en chrome, du fait du rejet de produits en métal dans les eaux de surfaces peut endommager les ouïes des poissons nageant dans des eaux proches du point de rejet.

Chez les animaux, le chrome peut provoquer des problèmes respiratoires, une capacité plus faible à lutter contre les maladies, des défauts à la naissance, une infertilité ou la formation de tumeurs.[51]

III-2-1-2 toxicité du Nickel :

- plus de risque de développer un cancer des poumons, du larynx de la prostate.
- nausées, vomissement et vertige après une exposition au gaz.
- embolie pulmonaire.
- échec respiratoire.
- échec de naissance.
- asthme de bronchite chronique.
- réactions allergiques tels que des éruptions cutanées (principalement avec les bijoux).
- problème cardiaque.

-Formule chimique :Ni²⁺.[51]

A- Effet du nickel sur l'environnement :

-Le nickel est relâché dans l'air par les centrales et les incinérateurs de déchets. Ensuite, il se dépose sur les sols ou retombe après réaction avec l'eau de pluie. Il faut en général un certain temps pour éliminer le nickel de l'air. Le nickel peut aussi finir dans les eaux de surfaces quand il est présent dans les eaux usées.

-La part la plus importante du nickel relâché dans l'environnement est adsorbée par les sédiments et les particules du sol et devient par conséquent immobile. Cependant, dans les sols acides, le nickel devient plus mobile et il peut rejoindre les eaux souterraines.

-Il n'y a pas beaucoup d'informations disponibles sur les effets du nickel sur les organismes autres que l'être humain. On sait que de hautes concentrations en nickel dans des sols sablonneux peuvent endommager les plantes et, de hautes concentrations en nickel dans

les eaux de surface peut diminuer le taux de croissance des algues. Les micro-organismes peuvent aussi souffrir d'une diminution de croissance due à la présence de nickel mais, en

général, après un certain temps, il développe une résistance au nickel. Pour les animaux, le nickel est un aliment essentiel en petite quantité, mais il peut être dangereux lorsqu'on dépasse les quantités maximales tolérées. Il peut provoquer alors différents types de cancer à différents endroits du corps, et ce principalement chez les animaux vivant près des raffineries. [51]

III-2-1-3 Toxicité du zinc :

Le zinc est un élément qui est essentiel pour la santé de l'homme. Les carences en zinc peuvent aussi provoquer des problèmes lors de la naissance, les problèmes qui causent le zinc c'est : [51]

-crampes d'estomac.

-des irritations de la peau.

-vomissement, nausées, l'anémie.

-la grippe quand elle est accompagnée de la fièvre du fondeur).

A- Effet du zinc sur l'environnement :

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol mais les concentrations en zinc de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejeté par les activités industrielles, telles que l'exploitation minière la combustion du charbon et des déchets et l'industrie de l'acier.

La production mondiale de zinc ne cesse d'augmenter, ce qui signifie que de plus en plus de zinc se retrouve dans l'environnement.

L'eau est polluée en zinc du fait de la présence de grandes quantités dans les eaux usées des usines industrielles. Ces eaux usées ne sont pas traitées de façon satisfaisante. L'une des conséquences est que les fleuves déposent des boues polluées en zinc sur leurs rives. Le zinc peut aussi augmenter l'acidité de l'eau.

Certains poissons peuvent accumuler le zinc dans leur organisme lorsqu'ils vivent dans des eaux contaminées en zinc.

D'importantes quantités de zinc peuvent être trouvées dans le sol. Quand le sol des terres agricoles est pollué par du zinc, les animaux absorbent des concentrations mauvaises pour leur santé. Le zinc soluble dans l'eau qui se trouve dans le sol peut contaminer les eaux

souterraines.

Le zinc n'est pas seulement une menace pour le bétail, mais aussi pour les plantes. du fait de l'accumulation de zinc dans le sol, les plantes absorbent souvent des quantités de zinc que leur système ne peut pas gérer.

Sur un sol riche en zinc seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pourquoi il n'y a pas beaucoup de diversité des plantes près des usines manipulant du zinc. Du fait de ces effets sur les plantes le zinc est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles. Malgré ça les engrais contenant du zinc sont toujours utilisés.

Enfin le zinc peut interrompre l'activité du sol, car il a une influence négative sur l'activité des micro-organismes et les vers de terre. La décomposition de la matière organique peut être sérieusement ralentie de ce fait. [51]

III-2-1-4 Toxicité du cuivre :

-les hommes utilisent énormément de le cuivre, il est utiliser par exemple dans l'industrie et dans l'agriculture.

-on peut trouver du cuivre dans beaucoup de type d'aliments, dans l'eau. A cause de cela on absorbe des quantités importantes de cuivre chaque jour en mangement, buvant. L'absorption de cuivre est nécessaire, car le cuivre est un élément qui est essentiel pour la santé. Bien que l'homme puisse gérer des concentrations proportionnellement importante de cuivre, des quantités excessives peuvent causer des problèmes de santé importante comme :

-endommager les reins, foie, et même peuvent causer la mort.

On n'a pas encore déterminé si le cuivre était cancérigène. [51]

A- Effet du cuivre sur l'environnement :

La production mondiale de cuivre est toujours en augmentation. Ce qui basique ment signifie que de plus en plus de cuivre se retrouve dans l'environnement. Les fleuves déposent sur leur rives des boues contaminées par du cuivre, du fait du rejet d'eaux usées. Le cuivre pénètre dans l'air principalement lors de la combustion de combustibles fossiles. Il reste dans l'air pendant une période assez longue avant de se déposer lorsqu'il pleut. Il se retrouve alors essentiellement dans le sol. Par conséquent, les sols peuvent contenir une grande quantité de cuivre après que le cuivre de l'air se soit déposé.

CHAPITRE III : CHROMATATION ET IMPACTS

Le cuivre peut être relâché dans l'environnement par des sources naturelles et par les activités humaines. On peut citer quelques exemples de sources naturelles: poussières soufflées par le vent, pourrissement de la végétation, feu de forêt, et dispersion de gouttelettes d'eau de mer. Quelques exemples d'activité humaine contribuant à la dispersion du cuivre ont déjà été donnés, on peut citer d'autres exemples: l'exploitation minière, la production de métaux, la production de bois et la production de fertilisants aux phosphates.

Comme le cuivre est dispersé à la fois par des procédés naturels et humains; il est très énormément diffusé dans l'environnement. On le trouve souvent près des mines, des installations industrielles, des décharges et des broyeurs d'ordure.

Quand le cuivre se retrouve dans le sol, il se lie fortement aux matières organiques et aux minéraux. Par conséquent, il ne voyage pas très loin et il ne pénètre presque jamais dans les eaux souterraines. Dans les eaux de surface, le cuivre peut parcourir de longue distance, que se soit suspendue sur des particules de boue ou comme ion libre.

Le cuivre ne se détruit pas dans l'environnement et, de ce fait, il peut s'accumuler dans les plantes et les animaux quand il est présent dans le sol. Sur les sols riches en cuivre, seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pourquoi, il n'y a pas beaucoup de diversité de plantes près des industries rejetant du cuivre. Du fait des effets sur les plantes, le cuivre est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles. Le cuivre peut sérieusement influencer ce qui se passe sur les terres agricoles, suivant l'acidité du sol et la présence de matière organique. Malgré cela, les engrais contenant du cuivre sont toujours utilisés.

Le cuivre peut interrompre l'activité du sol, car il influence de façon négative l'activité des micro-organismes et des vers de terre. La décomposition de la matière organique est sérieusement ralentie de ce fait.

Quand le sol des terres agricoles est pollué par du cuivre, les animaux absorbent des concentrations importantes leur causant des problèmes de santé. Les moutons, surtout, souffrent beaucoup de l'empoisonnement au cuivre car les effets du cuivre chez les moutons se manifestent même à de très faibles concentrations. [51]

CHAPITRE III : CHROMATATION ET IMPACTS

III-2-2 REGLEMENTATION :

Tableau : Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 réglementant les effluents liquides industriels

VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS				
N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

L'entreprise dispose d'une station d'épuration [52]

Conclusion :

Les traitements de surface des matériaux métalliques et en particulier les revêtements constituent l'une des principales propriétés fonctionnelles des métaux telles que la tenue à la corrosion, la résistance à l'usure et au frottement.

Nous avons étudié l'électrodéposition du nickel sur une surface métallique en laiton afin d'obtenir des couches de chrome homogènes susceptibles de garantir une durée de vie et une résistance acceptables ; ce procédé est opérationnel à l'échelle industrielle et constitue un développement croissant compte tenu de l'amélioration des propriétés.

L'aspect des pièces obtenu par ce procédé montre que les laitons s'adaptent bien à cette technique.

La recherche de solutions concrètes et efficaces qui permettent de diminuer les impacts environnementaux de ces procédés de fabrication est nécessaire. Ces solutions passent par la mise en place de stratégies de production plus propre.

Le secteur industriel du traitement de surface par voie aqueuse doit faire face à d'importants enjeux environnementaux, notamment en ce qui concerne la pollution des eaux. Cette activité nécessite l'utilisation de nombreux composés chimiques souvent dangereux dont les rejets doivent en être au maximum exempts. De nombreuses dispositions se mettent en place afin de permettre de réduire la pollution générée par les processus industriels, mais les entrepreneurs ont besoin d'outils concrets directement applicables à leur outil de fabrication.

Ce mémoire s'attache à répondre plus particulièrement à l'acquisition d'un savoir faire dans le domaine des traitements de surface et la limite des flux de pollution.

Le chrome VI est cancérigène, des solutions de remplacement doivent être recherchées afin de minimiser les impacts.

*Introduction
générale*

Chapitre I

Généralités sur les traitements de surface

Chapitre II

Etude du procédé de chromage

Chapitre III

Chromatation et impacts

Conclusion

Référence :

- [1] :M. Melchisedeck UWUMWAMI ;Traitement de surface : Revêtement métallique par voie électrolytique, page (8), 2015
- [2] :http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/assets.uits/redactor_rails/attachments/93/14-revetements_par_voie_humide_2007.pdf?1442408556
- [3] :https://metallitech.qc.ca/wp-content/uploads/2015/03/Illu_Correction02.png
- [4] :http://christophe.matter.free.fr/construction/_private/Exposes/Productions%20gop2%20008%202009/Etat%20de%20surface/Expose%20etat%20de%20surface.ppthttp://christophe.matter.free.fr/construction/_private/Exposes/Productions%20gop2%202008%202009/Etat%20de%20surface/Expose%20etat%20de%20surface.ppt
- [5] :https://www.kaltbrunner.ch/images/content/technologie/kaltbrunner_arcverdampfen_fr.jpg
https://www.kaltbrunner.ch/images/content/technologie/kaltbrunner_arcverdampfen_fr.jpg
- [6]:http://docplayer.fr/docs-images/44/13824487/images/page_13.jpg
- [7] :Alain PRONER: Revêtements par projection thermique (pages 6, 7 et 8) année: 1999
- [8] :http://m.20-bal.com/pars_docs/refs/22/21475/21475_html_2b3597bb.gif
- [9] :<http://www.groupeurfatech.com/des-solutions.ws>
- [10] :<http://www.adesol-tego.com/img/cms/anodisation-schema.png>
- [11] :<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/traitements-de-surface-des-metaux-en-milieu-aqueux-42359210/phosphatation-m1575/origine-et-evolution-m1575niv10001.html>
- [12] :<http://traitement.materiaux.free.fr/res/conversion%20chimique.png>
- [13] :<https://www.a3ts.org/actualite/commissions-techniques/fiches-techniques-traitement-surface/chromatation/>
- [14] :<https://www.a3ts.org/actualite/commissions-techniques/fiches-techniques-traitement-surface/chromatation>
- [15] :http://www.haerterei.com/fileadmin/user_upload/video/reese_einsatzhaerten_posterimage.jpg
- [16] :http://www.groupethermilyon.com/uploads/files/05_NIT_NITRO_GAZ_CONTROLEE.pdf
- [17] :<http://users.utcluj.ro/~hvermesan/cetim/images/fig6-10.png>
- [18] :<https://www.a3ts.org/wp-content/uploads/fiches-techniques/A3TS-carbonituration-aciers.pdf>
- [19] :<http://www.geocities.ws/mbara2/images/techno16.gif>
- [20] :<https://bu.umc.edu.dz/theses/gmecanique/DJE4829.pdf>
- [21] :<https://ori-nuxeo.univ-lille1.fr/nuxeo/site/esupversions/f19135d5-29f1-4bd0-901b-780fb0dc6aa9>
- [22] :https://sead.univ-reims.fr/courses/BUREAUDOCTORALES/document/support_opale/cours/co/024_le_s_traitements_de_transformation_structurale.html
- [23] :<http://www.geocities.ws/mbara2/images/techno13.gif>
- [24] :http://christophe.matter.free.fr/construction/_private/Exposes/Productions%20gop2%202008%202009/Etat%20de%20surface/Expose%20etat%20de%20surface.pptx
- [25] <http://souspression.canalblog.com/archives/2012/07/10/24516389.html>
- [26] :C. Kasper, Théorie du Chromage, J.Res.Nat.Bur. Stand (USA) ,1932.

- [27] :<http://www.chromage-decoratif.fr/images/chromage-vieille-voiture.jpg>
- [28] :https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1IARCOpXXXXXUXVXXq6xXFXXXz/Chrome-ABS-Auto-Car-Styling-Porte-Manche-De-Garnitures-D-coratif-autocollant-Fit-Pour-Toyota-RAV4.jpg_640x640.jpg
- [29] :<http://www.verbrugge.fr/wp-content/uploads/pi%C3%A8ces-salon-004-320x202.jpg>
- [30] :<http://www.ccimetalisation.ca/uploads/gallery/image/Photo%20051.jpg?height=300>
- [31] :G.O T.S ; fiche techniques guide pratique du chef d'atelier 1989
- [32] :http://www.technofinish.fr/SITES/technofinish.fr/IMG/jpg/P1070594_GF-3.jpg
- [33] :<http://www.chromage-decoratif.fr/images/chrome-noir-jantes.jpg>
- [34] :HOARE (J.P.). – Plat. Surf. Finish. 9, 76 (1989).
- [35] :<http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1789>
- [36] :MARTINS (A.) et CARPENI (G.). – J. Chim. Phys., 60, p. 534 (1963).
- [37] :M. Wery, Dégraissage, M1450, Technique de l'Ingénieur, 2000.
- [38] :S. Audisio, Préparation d'une Surface, Généralités, Traitement de Surface et Protection Contre la Corrosion, 1987.
- [39] :M. Wery, Décapage des Métaux, M1455, Technique de l'Ingénieur, 2000
- [40] :GHILANI Laala ,Tenue à la corrosion d'un dépôt de chrome électrolytique sur un substrat en acier xc4, Ingénieur d'Etat en Construction Mécanique , 2008
- [41] :R. Tournier, Polissage Mécanique, M1495, Technique de l'Ingénieur, 2000.
- [42] :document de traitement du surface ; de l'entreprise BCR Sétif
- [43] :J. Deruelle, Préparation des Surfaces, Introduction, Technique de l'Ingénieur, 2000.
- [44] :Patrick BENABEN , Nickelage électrolytique. Caractéristiques , Techniques de l'Ingénieur.
- [45] :<https://fr.scribd.com/document/270271776/M1615>
- [46] :<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-laiton-16504/>
- [47] :<http://www.yrelay.com/article145.html>
- [48] :http://www.yrelay.com/IMG/jpg/diagramme_Cu-Zn_02.jpg
- [49] :<https://www.manomano.fr/bande-abrasive-de-ponceuse-1892>
- [50] :M.G. Miquel, les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2001.
- [51] :documente de l'environnement de l'entreprise BCR Sétif
- [52] :SEBIHLB et SARIR.F . rapport de stage , BCR Sétif, 2018
- [53] :<https://patents.google.com/patent/EP1670969A1/fr>

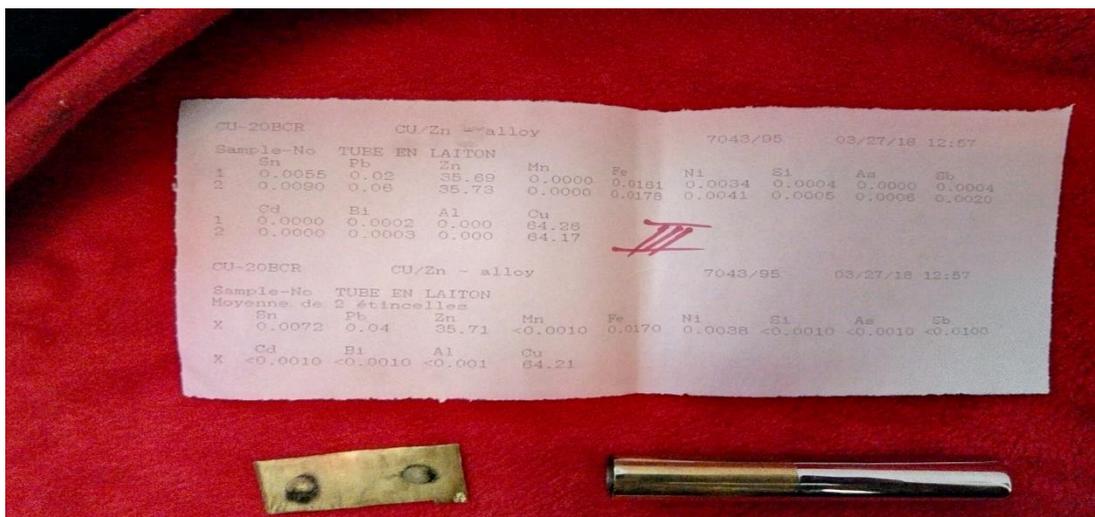
Les Annexes



Les Analyses d'échantillons I (barre en laiton) par Spectromètre.



Les Analyses d'échantillons II (tube en cuivre) par Spectromètre



Les Analyses d'échantillons III (tube en laiton) par Spectromètre

RESUME :

Le traitement de conversion chimique dans un bain à base de chrome **VI** ou **III** constitue le chromage dur dont l'épaisseur est plus importante et confère à la pièce une bonne tenue à la corrosion et à l'usure , c'est un traitement privilégié dans le domaine de la mécanique et surtout pour les pièces en rotation et translation qui nécessitent une bonne résistance à l'usure et au frottement.

Le chromage décoratif s'effectue sur des surfaces généralement revêtues au préalable d'une couche de nickel et a pour but essentiel de donner au revêtement les caractéristiques de brillance du chrome. La résistance au ternissement du métal, associée à sa dureté, font que cette couche décorative, de l'ordre du micromètre, permet de donner un aspect brillant pendant de longues années.

Le chromage des pièces en laiton induit une pollution ; la nécessité d'une gestion rigoureuse des déchets et plus précisément des boues d'épuration qui présentent un danger pour l'environnement, doit être observée tout au long du procédé.

ملخص

إن معالجة التحويل الكيميائي في الحمام على أساس الكروم السادس أو الثالث تشكل طلاء الكروم الصلب ، وسمكه أكبر ويعطي الجزء مقاومة جيدة للتآكل والبلية ، إنه علاج متميز في مجال الميكانيكا وخاصة الأجزاء في الدوران والإزاحة التي تتطلب مقاومة جيدة للارتداء والاحتكاك.

يتم تنفيذ الطلاء بالكروم على الأسطح عمومًا المغلفة بطبقة من النيكل وغرضه الأساسي هو إعطاء الطلاء خصائص اللمعان للكروم. تجعل مقاومة تشويه المعدن إلى جانب صلته ، هذه الطبقة الزخرفية ، بترتيب الميكرومتر ، تعطي مظهرًا لامعًا لسنوات عديدة

طلاء الكروم للأجزاء النحاسية يدفع التلوث. يجب الالتزام بالحاجة إلى إدارة صارمة للنفايات وتحديدًا حماة مياه المجاري التي تشكل خطرًا على البيئة خلال العملية

MOTS CLES : chromatisation ; nickelage ; laiton ; revêtement ; épuration ;

ABSTRACT

The chemical conversion treatment in a bath based on chromium VI or III constitutes hard chromium plating, the thickness of which is greater and gives the part a good resistance to corrosion and wear, it is a privileged treatment in the field of mechanics and especially for parts in rotation and translation that require good resistance to wear and friction.

Decorative chromium plating is carried out on surfaces generally pre-coated with a layer of nickel and its essential purpose is to give the coating the gloss characteristics of chromium. The resistance to tarnishing of the metal, associated with its hardness, make that this decorative layer, of the order of a micrometer, makes it possible to give a glossy aspect for long years.

Chromium plating of brass parts induces pollution; the need for strict management of waste and more specifically of sewage sludge which is a danger to the environment must be observed throughout the process.