



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

**UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI -TIZI-OUZOU**

**FACULTÉ DU GÉNIE DE LA CONSTRUCTION**

**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**



# Mémoire de fin d'études

POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME MASTER EN GENIE MECANIQUE

OPTION : CONSTRUCTION MECANIQUE

## Thème

***Minimisation de l'épaisseur de la couche de peinture  
utilisée pour les carcasses des réfrigérateurs (ENIEM)***

***Proposé par :***

M. HOUASSINE

***Dirigé par :***

M. HAMOUR

***Présenté par :***

M<sup>elle</sup> HADI Meriem  
M<sup>elle</sup> BENAMER Dalila

Promotion 2013/2014

## Remerciements

*Nous remercions et nous rendons grâce à Dieu qui nous a bénéficié d'une volonté suffisante pour accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier, M. HAMOUR, notre promoteur pour sa disponibilité, sa serviabilité et ses conseils constructifs qui nous ont énormément aidés tout au long de notre travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux travailleurs de l'atelier peinture de l'ENIEM, en particulier le chef de service qui est notre Co-promoteur M. HOUASSINE Chargé de projet qui a proposé ce thème.*

*Nous tenons à remercier tous les ingénieurs du bureau technique de l'ENIEM d'avoir mis en notre disposition toute la documentation nécessaire.*

*Nos remerciements vont également à M. NECHICHE pour son aide et son orientation, sa disponibilité et sa serviabilité au laboratoire SDM ainsi que tous les travailleurs de la bibliothèque du département de Génie Mécanique et du hall technologique.*

*Nous remercions énormément tous nos enseignants.*

*Ainsi que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin au bon accomplissement de ce travail.*

*Nous exprimons notre gratitude aux membres du jury qui nous ferons l'honneur d'examiner et de critiquer ce modeste travail.*



# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

☞ *La mémoire de mon grand père Belaid, mon Père Rachid, mon oncle Mohamed et ma grande mère maternelle que leurs âmes reposent en paix,*

☞ *Ma très chère mère baya qui a consacré tout son temps pour notre bien.*

☞ *Ma grande mère bien aimée paternelle.*

☞ *Mon grand père maternel*

☞ *Mes très chers frères Hamza et Rachid.*

☞ *Ma sœur Samia adorée, son mari Nasser et mon neveu Rayane.*

☞ *Mes oncle, mes tantes mes cousins et cousines chacun son nom*

☞ *Mes chers amis (es).*

☞ *A mon binôme Meriem et toute sa famille.*

☞ *Toute la promotion CM 2013-2014*

*Dalila*





# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

- ☞ La mémoire de mes grands -parents maternels*
- ☞ La mémoire de ma grand-mère paternelle.*
- ☞ Mon cher grand père paternel Hocine*
- ☞ Ma très chère mère Baya qui a consacré tout son temps pour notre bien.*
- ☞ Mon très cher père Ramande à qui je dois tout et auquel je ne rendrai jamais assez*
- ☞ Mon très cher frère Ghiles et sa femme Joëlle ainsi que sa fille Inès*
- ☞ Mes très chères sœurs : Wardia, Celia, Souhila*
- ☞ Amon cher père tuteur Kamel et sa famille*
- ☞ A mon cher futur mari Amar qui ma encouragée et soutenue tout le long de mon travail.*
- ☞ A ma belle famille.*
- ☞ Mes tantes : Aldjia, Ouiza, Fetta, Zahra.*
- ☞ Mes oncles, mes cousins et cousines chacun son nom.*
- ☞ Mes chères amies : Faiza, Celia, Wardia, Katia, Ouiza.*
- ☞ Mon binôme Dalila et sa famille.*
- ☞ Toute la promotion CM 2013-2014.*

**MERIEM**



# Table des matières

Remerciements .....	i
Dédicace .....	ii
Sommaire .....	iv
Liste des figures .....	xi
Liste des tableaux .....	xiv
Introduction générale .....	01
<b>Chapitre : Présentation de l'entreprise</b>	
I-Historique .....	03
II. Principales missions et activités de l'entreprise .....	04
II.1- Direction générale .....	04
II.2-Unité froid .....	04
II.3-Unité de cuisson .....	04
II.4.-Unité climatisation .....	05
II.5- Unité sanitaire .....	05
II.6-Filiale Filamp .....	05
II.7- . Organisation générale .....	06
III- Engagement de la direction .....	07
<b>Chapitre I : Généralités sur les Aciers</b>	
I.1- Introduction .....	08
I .2.Classification des aciers .....	08
I. 2.1- Classification des aciers selon leur concentration en carbone .....	08
I.2.1.1-Aciers à faible teneur en carbone .....	09
I.2.1.2- Aciers à moyenne teneur en carbone.....	09
I.2.1.3- Aciers à forte teneur en carbone.....	09
I.2.1.4-Aciers inoxydables.....	09
I.2 .2- Classification des aciers selon le diagramme d'équilibre Fer – Carbone .....	10
I.2.2.1-Aciers hypoeutectoïdes.....	12
I.2.2.2- Aciers eutectoïdes .....	13
I .2.2.3 Aciers hypereutectoïdes .....	13

I.1.2.3-Classification des aciers par emploi.....	13
I.2.4-Désignation symbolique par composition chimique.....	16
I.2.3- Influence des principaux éléments d'alliage sur les propriétés des aciers .....	17
I.3- Les caractéristiques mécaniques de l'acier .....	18
I.3.1- Résistance à la traction .....	18
I.3.2- La résilience .....	20
I.3.3- La ténacité.....	20
I.3.4-La dureté .....	21
I.3.4.1-Principe de l'essai de dureté.....	21
I.3.4.2-Types d'essai .....	21
I.3.4.2.1-Essai Brinell .....	21
I.3.4.2.2-Essai Vickers.....	22
I.3.4.2.3- Essai Rockwell .....	23
I.4- Procédés de mise en forme des aciers .....	24
I.4.1- Principe du laminage .....	24
I.4.1.1- Paramètres du laminage .....	26
I.4.1.2-Avantages et inconvénients du laminage .....	26
I.4.1.3-Différences entre les tôles laminées à chaud et les tôles laminées à froid .....	26
I.4.2- Emboutissage .....	27
I.4.2.1-Emboutissage à chaud et l'emboutissage à froid.....	28
I.4.2.2- Problèmes rencontrés dans les procédés de mise en forme particulièrement par emboutissage.....	28
I.5-Conclusion.....	29

## **Chapitre II : CORROSION DES ACIERS ET PROTECTION PAR REVETEMENT DE SURFACE**

II.1- Introduction .....	30
II.2- Facteurs influençant le taux de corrosion .....	30
II.3- Processus de la corrosion .....	31
II.4- Formes de corrosion.....	32
II.4.1- La corrosion uniforme (généralisée) .....	32
II.4.2- Les corrosions localisées.....	32
II.4.3- Corrosion galvanique .....	33

II.4.4- Corrosion par piqûres .....	33
II.4.5- Corrosion caverneuse (par crevasses).....	34
II.4.6- Corrosion par fatigue .....	35
II.4.7- Corrosion intergranulaire.....	35
II.4.8- Corrosion fissurant sous contrainte .....	35
II.4.9- Corrosion sélective.....	36
II.4.10- Corrosion érosion .....	36
II.4.11-Corrosion bactérienne .....	36
II.5- Méthodes d'étude de la corrosion .....	36
II.6- Lutte contre la corrosion .....	36
II.7- Traitements de surface .....	37
II.7.1- Définition d'un traitement de surface.....	38
II.7.2- Les objectifs du traitement de surface .....	38
II.7.3- Principales opérations de préparation de surface .....	39
II.7.3.1-Différentes techniques de nettoyage et de mise à vif de la surface .....	39
II.7.3.2- Techniques qui améliorent l'aspect.....	40
II.7.4- Différents types de traitements de surface .....	41
II.7.5-Procédé de phosphatation .....	45
II.7.6- Objectifs d'utilisation de la phosphatation .....	45
II.7.7- Description d'un atelier de traitement de surface .....	46
II.7.7.1- Structure d'un atelier de traitement de surface.....	46
II.7.7.2- Bains de traitement.....	47
II.7.7.3- Bains de rinçage .....	48
II.8- Les revêtements.....	49
II.8.1- Définition d'un revêtement de surface.....	49
II.8.2- Couches de conversion .....	50
II.8.3- Les revêtements métalliques .....	50
II.8.4- Les revêtements minéraux .....	51
II.8.5- Les revêtements organiques.....	51
II.9-Conclusion .....	51

# Chapitre III: LES REVETEMENTS ORGANIQUES

## PEINTURE LIQUIDE ET POUDRE

III.1- Introduction .....	52
III.2- Définition de la peinture .....	52
III.3- Constitution général d'une peinture liquide.....	52
III.4- Séchage et formation du film de peinture après dépôt .....	54
III.4.1- Séchage physique.....	54
III.4.2- Séchage chimique .....	54
III.5- Définition et intérêt de la peinture en poudre .....	55
III.6- Composition des poudres .....	55
III.6.1- Les poudres thermoplastiques .....	55
III.6.2- Les poudres thermodurcissables.....	56
III.7- Comparaison de la peinture liquide et poudre .....	59
III.7.1- Produit.....	59
III.7.2- Applications .....	59
III.7.3- Résultats .....	60
III.8- Mode d'application des poudres .....	60
III.8.1- Bain (lit) fluidisé .....	61
III.8.1.1- Avantages .....	61
III.8.1.2- Inconvénients .....	61
III.8.2- Pulvérisation électrostatique .....	62
III.9- Consommation de poudre théorique .....	64
III.10- Calcul du rendement théorique des peintures poudres .....	65
III.11- Contrôle du revêtement de peinture .....	65
III.11.1- Eprouvettes .....	65
III.11.2. Essais .....	65
III.11.2.1- Epaisseur de la couche .....	65
III.11.2.2- Contrôle de la brillance .....	66
III.11.2.3- Adhérence (quadrillage) .....	66
III.11.2.4- Aspect extérieur .....	68
III.11.2.5- Couleur .....	68

III.11.2.6-Porosité .....	68
III.11.2.7- Adhérence au choc direct et indirect.....	68
III.12- Cabine d’application de poudrage .....	69
III.13- Consignes générales de sécurité .....	71
III.14-Conclusion .....	72

## **CHAPITRE IV : PROCEDURE EXPERIMENTALE**

IV.1-Introduction .....	73
IV.2-L’usinage de ce nouveau modèle de balancelle .....	73
IV.3-Tôles DC03 A et leur état de livraison.....	74
IV.4- Dimensions de la tôle d’acier DC03 A .....	75
IV.5- Caractéristiques de la DC03 A .....	76
IV.5.1- Composition chimique .....	76
IV.5.2- Caractéristiques mécaniques.....	76
IV.6- Caractéristiques techniques de la peinture poudre époxy polyester Blanc bleuté utilisée.....	76
IV.6.1- Caractéristiques de la poudre .....	76
IV.6.2- Caractéristiques de la couche de peinture .....	76
IV.7- Paramètres d’application de cette peinture .....	77
IV.8 - Mise en peinture de l’échantillon .....	77
IV.9-Equipements utilisés.....	80
IV.9.1- Tunnel de prétraitement de surface .....	80
IV.9.2- Cabine de peinture électrostatique .....	80
IV.9.2.1-Mise en marche de la cabine de peinture .....	81
IV.9.2.2 –Programme de revêtement.....	82
IV.9.2.2.1 – Programmation de notre pièce .....	82
IV.9.3- Cabine de peinture manuelle.....	83
IV.9.4- Four de séchage .....	84
IV.9.5- Four de cuisson .....	85
IV.10- Essais mécaniques sur la couche de peinture obtenue avec la nouvelle balancelle .....	86
IV.10.1- Mesure de l’épaisseur de revêtement .....	86
IV.10.1.1. Le micro test.....	86

IV.10.2- Essai de pliage .....	87
IV.10.3- Essai de quadrillage.....	88
IV.10.4- Essai d'emboutissage.....	89
IV.10.4.1- Machine d'emboutissage .....	90
IV.10.5- Essai de résistance au choc par chute de masse.....	90
IV.10.5.1- Appareil de choc .....	90
IV.10.6- Contrôle de l'aspect des pièces peintes .....	91
IV.11-Examens micrographiques .....	92
IV.12-Conclusion .....	94

## **CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION**

V.1-Introduction .....	95
V.2-Caractéristique de la tôle DC03 A.....	95
V.2.1-Composition chimique.....	95
V.2.2-Microstructure de la tôle DC03 A .....	95
V.3-Caractéristique de la peinture .....	96
V.4-Balancelle obtenue après l'usinage .....	97
V.5-Traitement de surface des deux échantillons .....	98
V.6-La pulvérisation électrostatique par le procédé corona avec la nouvelle balancelle .....	99
V.7 -Résultats des essais d'adhérence et d'élasticité de la peinture .....	100
V.7.1- Résultats de l'épaisseur de la couche de peinture.....	100
V.7.2- Contrôle de l'aspect de la porte .....	101
V.7.3- Résultats du pliage maximum et minimum.....	102
V.7.4-Résultats du quadrillage.....	103
V.7.4.1-Essai de quadrillage.....	103
V.7.4.2-Micrographie de l'essai de quadrillage .....	103
V.7.5- Résultats d'emboutissage .....	104
V.7.6- Résultats de résistance au choc par chute de masses.....	104
V.7.7-Résultats de l'essai de microdureté .....	105
V.7.8-Résultats de l'essai d'attaque corrosive .....	105
V.7.9-Analyse micrographique de l'attaque corrosive .....	106
V.8-Examens micrographiques.....	107

<b>V.8.1-Résultats observés au microscope optique de la couche de peinture de 60µm.....</b>	<b>107</b>
<b>V.8.2- Résultats observés au microscope optique de la couche de peinture 50 µm.....</b>	<b>107</b>
<b>V.9-Conclusion .....</b>	<b>108</b>

## Liste des Figures

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre I</b>	<b>Généralités Sur Les Aciers</b>	X
Figure I.1	Diagramme fer carbone	12
Figure I.2	Diagramme conventionnel d'un essai de traction	18
Figure I.3	Essai de flexion par choc (Charpy)	20
Figure I.4	Essai de dureté Brinell.	22
Figure I.5	Principe de l'essai Vickers.	22
Figure I.6	Principe des essais Rockwell (HRB, HRC)	24
Figure I.7	Laminage à chaud	25
Figure I.8	Laminage à froid	25
Figure I.9	Procédés d'emboutissage	28
Figure I.10	Problèmes rencontrés dans les procédés de mise en forme	29
<b>Chapitre II</b>	<b>Corrosion des aciers et protection par revêtement de surface</b>	X
Figure II.1	Exemple de corrosion généralisée	32
Figure II.2	Exemple de corrosion galvanique	33
Figure II.3	Exemple de Corrosion par Piqûres	33
Figure II.4	Différents types de corrosion localisée	35
Figure II.5	Répartition suivant la fonction d'utilisation	38
Figure II.6	Représentation du procédé de traitement de surface.	39
Figure II.7	Type des traitements de surface	42
Figure II.8	Structure générale d'une chaîne de traitement de surface	46

<b>Chapitre III</b>	<b>Les revêtements organiques : peinture liquide et poudre</b>	X
Figure III.1	Principaux constituants des peintures et des vernis	54
Figure III.2	Principe de la charge par effet CORONA (ou bombardement ionique)	63
Figure III.3	Principe de la charge par effet « Tribo- électrique »	63
Figure III.4	Appareil portable à induction magnétique	66
Figure III.5	Brillance mètre	66
Figure III.6	Outils utilisé pour essai de quadrillage	67
Figure III.7	Impacteur (test de résistance aux chocs)	68
Figure III.8	Présentation schématique d'une installation de ventilation et de récupération de la peinture en poudre dans une cabine de poudrage manoteinte	69
Figure III.9	Cabine de poudrage	70
<b>Chapitre IV</b>	<b>Procédure Expérimentale</b>	X
Figure IV.1	Fraiseuse verticale utilisée	73
Figure IV.2	Balancelle réalisée	74
Figure IV.3	Bobines de tôle	75
Figure IV.4	Tunnel de prétraitement TOSHIBA utilisé.	80
Figure IV.5	Cabine de poudrage utilisée	81
Figure IV.6	Programme de revêtement utilisé pour notre pièce	83
Figure IV.7	Four de séchage utilisé	84
Figure IV.8	Etuve de séchage	85
Figure IV.9	Micro teste utilisé	86
Figure IV.10	Contrôle de l'épaisseur de la couche de peinture sur une porte de réfrigérateur	87
Figure IV.11	Dimension des éprouvettes de pliage selon la norme NF A 03-158	88
Figure IV.12	Dispositif de l'essai de pliage	88

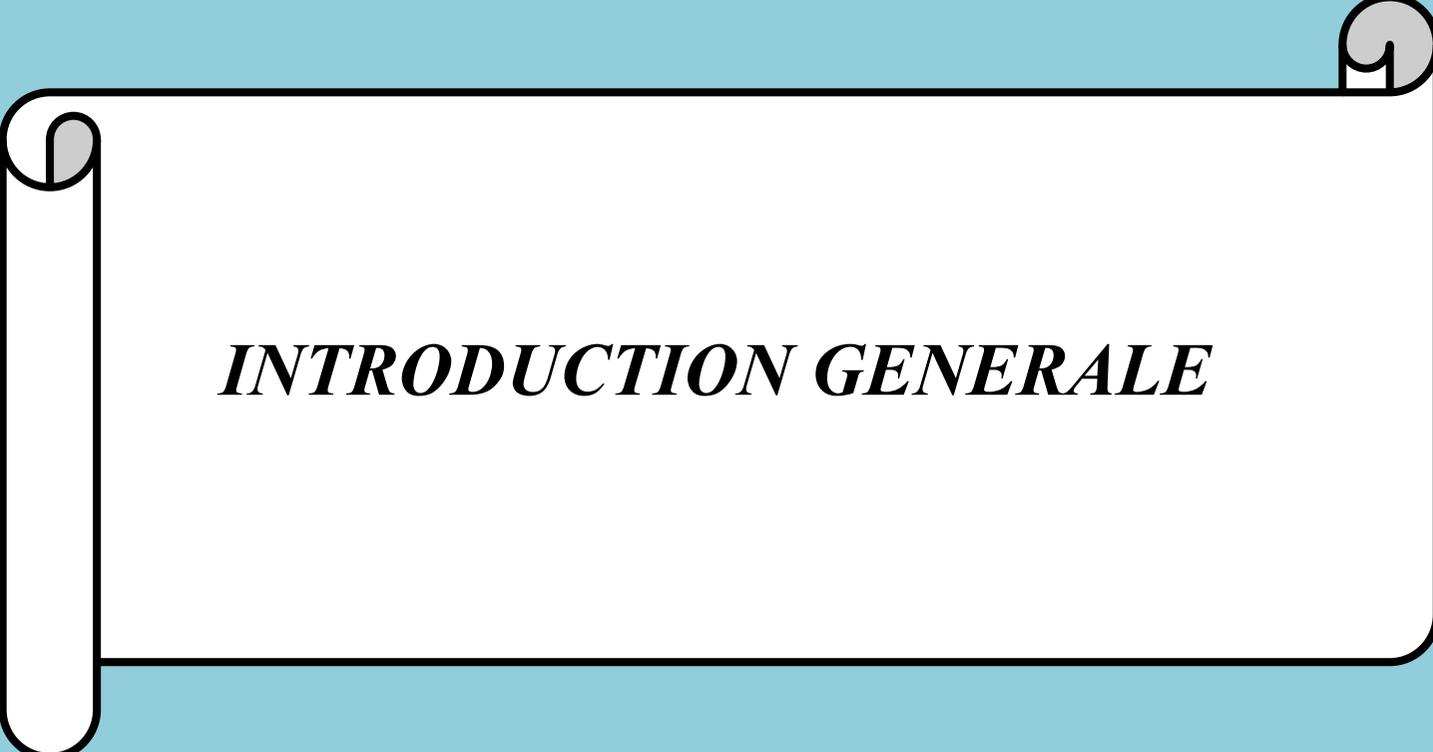
Figure IV.13	Appareil utilisé pour essai de quadrillage	89
Figure IV.14	Machine d'emboutissage utilisée	90
Figure IV.15	Appareil de choc utilisé	91
Figure IV.16	Enrobeuse utilisée	92
Figure IV.17	Polisseuses utilisées	93
Figure IV.18	Microscope optique	93
Figure IV.19	Micro Duromètre	94
<b>Chapitre V</b>	<b>Résultats Expérimentaux et Discussion</b>	X
Figure V.1	Microstructure de l'acier DCO3 A	96
Figure V.2	Micrographie de la poudre époxy polyester utilisée	96
Figure V.3	Nouveau modèle de balancelle réalisé	97
Figure V.4	Actuel système de balancelle et le nouveau proposé	97
Figure V.5	Traitement de surface des échantillons avant peinture	98
Figure V.6	La pulvérisation électrostatique	99
Figure V.7	résultats obtenus de la pulvérisation électrostatique	100
Figure V.8	Couche de revêtement	100
Figure V.9	L'aspect de la porte	101
Figure V.10	Résultats obtenus au cours de l'essai du pliage maximum	102
Figure V.11	Résultats obtenus au cours de l'essai du pliage minimum	102
Figure V.12	Résultats d'essai de quadrillage	103
Figure V.13	Micrographie du quadrillage (x100)	103
Figure V.14	Résultat d'essai d'emboutissage	104
Figure V.15	Résultats sur l'essai de choc	104
Figure V.16	Empreinte de l'essai de microdureté	105
Figure V.17	L'attaque corrosive	106

Figure V.18	Résultats de l'attaque corrosive	106
Figure V.19	Micrographie de l'échantillon en coupe d'une couche de 60 $\mu\text{m}$	107
Figure V.20	Micrographie de la couche de peinture 50 $\mu\text{m}$	108

## Liste des Tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre I</b>	<b>Généralités Sur Les Aciers</b>	
Tableau I.1	Désignation symbolique par emploi des aciers (NF EN 10027)	14
Tableau I.2	Facteurs multiplicatifs des pourcentages des différents éléments d'alliages dans les aciers faiblement alliés	16
<b>Chapitre II</b>	<b>Corrosion des aciers et protection par revêtement de surfaces</b>	
Tableau II.1	Principaux facteurs de corrosion	31
Tableau II.2	Principaux traitements chimiques et leurs applications	45
Tableau II.3	Récapitulatif des différents bains de traitement	47
Tableau II.4	Récapitulatif des différents types de rinçage	49
<b>Chapitre III</b>	<b>Les revêtements organiques : peinture liquide et poudre</b>	
Tableau III.1	Exemples de polymères (poudres) thermoplastiques et thermodurcissable	58
Tableau III.2	Caractéristiques de la peinture en poudre en fonction des résines	58
Tableau III.3	Avantages et inconvénients des systèmes corona et tribo	64
Tableau III.4	Présentation schématique de quadrillage	67
<b>Chapitre IV</b>	<b>Procédure Expérimentale</b>	
Tableau IV.1	Composition chimique de la DC03 A	76
Tableau IV.2	Caractéristiques mécanique de la DC03 A	76
Tableau IV.3	Caractéristiques de la poudre époxy polyester blanc bleuté	76
Tableau IV.4	Caractéristiques de la couche de peinture	76
Tableau IV.5	Les opérations de traitement de surface	77
Tableau IV.6	Paramètres de contrôle	79
Tableau IV.7	Caractéristiques de la cabine de peinture électrostatique utilisée	81
Tableau IV.8	Caractéristiques de la cabine de peinture manuelle utilisée	83
Tableau IV.9	Caractéristique du four de séchage utilisé	84

Tableau IV.10	Caractéristique du four de cuisson utilisé	85
Tableau IV.11	Diamètre de la tige et l'épaisseur de la plaque équivalente	87
<b>Chapitre V</b>	<b>Résultats Expérimentaux et Discussion</b>	
Tableau V.1	Composition chimique de la tôle DC03 A	95
Tableau V.2	Caractéristique de la poudre époxy polyester blanc bleuté	97
Tableau V.3	Valeurs de l'épaisseur de la couche de peinture obtenue avec la nouvelle balancelle	101
Tableau V.4	Valeurs de l'épaisseur de la couche de peinture obtenue avec l'ancienne balancelle	101
Tableau V.5	Hauteurs de chaque essai de choc	105
Tableau V.6	Valeurs moyenne des résultats de microdureté	105



***INTRODUCTION GENERALE***

## INTRODUCTION GENERALE

L'amélioration des systèmes utilisés dans la chaîne industrielle des appareils électroménagers est un sujet très intéressant et toujours d'actualité. L'enjeu est très important pour des entreprises nationales comme l'ENIEM (Entreprise nationale des industries de l'Electroménager) qui doit préserver sa part du marché national notamment. Avec la disponibilité de produits importés ou fabriqués par des filiales de groupes étrangers, un large choix s'offre aux clients. Le rapport qualité/prix des appareils produits, leur durée de vie et leur aspect extérieur sont des facteurs de comparaison pour le client. Dans ce registre, étant donné que ces appareils sont destinés à l'usage dans des environnements humides (cuisine, salle de bains, etc), le revêtement de la carcasse de l'appareil et sa tenue à la corrosion est un point important à prendre en considération.

Il existe une très grande variété dans les types de revêtements organiques. Sur de nombreux produits, l'étape de mise en peinture garantit une protection de base et assure l'esthétique du produit final. L'arrivée de nouvelles directives visant à réduire les sources de rejets de composés organiques volatiles (COV) incite les industriels à s'orienter vers des technologies alternatives de peintures en poudres.

A l'ENIEM, le système de peinture des plaques constituant les carcasses des appareils est composé de chaînes de revêtement par injection de poudre organique par un mécanisme de pulvérisation électrostatique.

L'application de peinture par poudrage électrostatique est un procédé relativement récent qui tend à se répandre de plus en plus. Il offre la possibilité de contrôler la quantité de peinture injectée et la disposition des tôles à peindre.

A l'échelle industrielle, une bonne maîtrise des paramètres clés influant l'efficacité de transfert des particules et l'homogénéité du dépôt (contre émission, aspect) nécessite une bonne compréhension des phénomènes de transfert de charges, de pulvérisation et de déposition des particules. La granulométrie, l'agent de fluidité, le débit massique et la haute tension, la conductivité sont des paramètres essentiels qui influencent les performances de la pulvérisation électrostatique.

L'objectif de notre travail consiste en l'étude du système de revêtement des plaques de la carcasse de réfrigérateur afin de réduire l'épaisseur du revêtement pour économiser la peinture tout en maintenant la bonne tenue à la corrosion des tôles et un bel aspect extérieur.

Pour ce faire, nous avons effectué un stage pratique au sein de l'entreprise ENIEM implantée à la zone industrielle de Oued Aissi. Nous proposons une modification de l'ancien système de peinture en changeant la balancelle utilisée pour la suspension des portes de réfrigérateurs. Ces dernières étant fabriquées en utilisant une tôle DC03 A.

Notre manuscrit est constitué de deux parties :

- **La partie bibliographie** comporte, dans le chapitre 1, une revue des connaissances en ce qui concerne les aciers : famille des matériaux utilisés pour fabriquer les tôles de réfrigérateurs. Il est question de leur classification, leurs structures, les procédés de mise en forme et leurs principales propriétés mécaniques domaines d'application. Des généralités sur leur comportement à l'oxydation et à la corrosion sont abordées dans le chapitre 2. Dans le chapitre 3, nous nous intéressons aux systèmes de revêtements organiques qui constituent l'une des techniques utilisées pour protéger les tôles contre la corrosion.

- **La partie pratique** consiste en la réalisation de la nouvelle balancelle, sa mise en place à l'atelier peinture et la comparaison des résultats obtenus avec ceux obtenus en utilisant le système de l'ENIEM. Nous nous sommes d'abord intéressés à la structure de l'acier et ses caractéristiques. Ensuite, il est question de vérifier que le revêtement réalisé en utilisant le nouveau modèle est bien suffisant. Ceci en observant la couche de peinture et réaliser des essais d'adhérence et de choc.

Après discussion des résultats obtenus, une conclusion générale et des perspectives clôt ce mémoire.



***PRESENTATION DE L'ENIEM***

## I-Historique

L'entreprise Nationale des industries de l'électroménager (ENIEM) est issue de la restructuration organique de la SONELEC (société nationale de fabrication et de montage et de commercialisation des produits électroménagers) et disposait à sa création de :

- Complexe d'Appareils Ménagers (CAM) de TIZI OUZOU, entrée en production en juin 1977.
- Unité Lampes de Mohammedia (ULM), entrée en production en février 1979.

En 1989, l'entreprise ENIEM est devenue une société par actions au capital de 40.000.000DA.

Avec un capital social de 2.957.500.000 DA, détenu en totalité par la société de gestion de participation «Industries Electrodomestique» (INDELEC). Son siège social est à TIZI OUZOU. Ses unités de production issues de l'ex CAM sont implantées au niveau de la zone industrielle «Aissat idir». Son unité commerciale est située également à la zone industrielle «Aissat Idir». Sa filiale lampes est implantée à Mohammedia.

Le champ d'activité de l'entreprise ENIEM consiste en la conception, la fabrication et la commercialisation des produits électroménagers, ainsi que la prise en charge de la fonction service après vente. Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

- La direction générale (DG).
- L'unité froide (U .F).
- L'unité cuisson (U. Cuis).
- L'unité climatisation (U. CL).
- L'unité prestation technique (U.P.T)
- L'unité commerciale (U. C).
- L'unité sanitaire (U.S).
- La filiale FILAMP

L'entreprise ENIEM aujourd'hui a une importante gamme de production, ses différents produits sont :

- Les réfrigérateurs petit et grand modèle (RPM et RGM).
- Le congélateur vertical.
- Le combiné.
- Cuisinières à 4 et à 5 feux.
- Climatiseurs type fenêtre et split-système.

Ces produits sont destinés au grand public et la distribution se fait par des agents agréés dont la liste se trouve au niveau de l'unité commerciale (Département vente).

## **II- Principales missions et activités de l'entreprise**

### **II.1- Direction générale**

La direction générale est responsable de la stratégie et du développement de l'entreprise. Elle exerce son autorité hiérarchique et fonctionnelle sur l'ensemble des directions et des unités.

### **II.2- Unité froid**

La mission globale de l'unité froid est de produire et développer les produits froids domestiques. Ses activités sont:

- Transformation des tôles,
- Traitement et revêtement de surface (peinture, plastification),
- Injection plastique et polystyrène,
- Fabrication de pièces métalliques,
- Isolation,
- Thermoformage,
- Assemblage.

### **II.3- Unité de cuisson**

La mission principale de l'unité est de produire et de développer la cuisson à gaz électrique ou mixte et tout produit de technologie similaire. Ses activités sont :

- Transformation de la tôle.
- Traitement et revêtement de surface (Zingage, Chromage).
- Assemblage.

#### **II.4-Unité climatiseur**

La mission globale de l'unité est de développer les produits de climatisation.

Ses activités sont:

- Transformation.
- Traitement et revêtement de surface (peinture).
- Assemblage.

#### **II.5- Unité sanitaire**

L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000. Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise.

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits sanitaires (Baignoires, lavabos ...).

#### **II.6- Filiale Filamp**

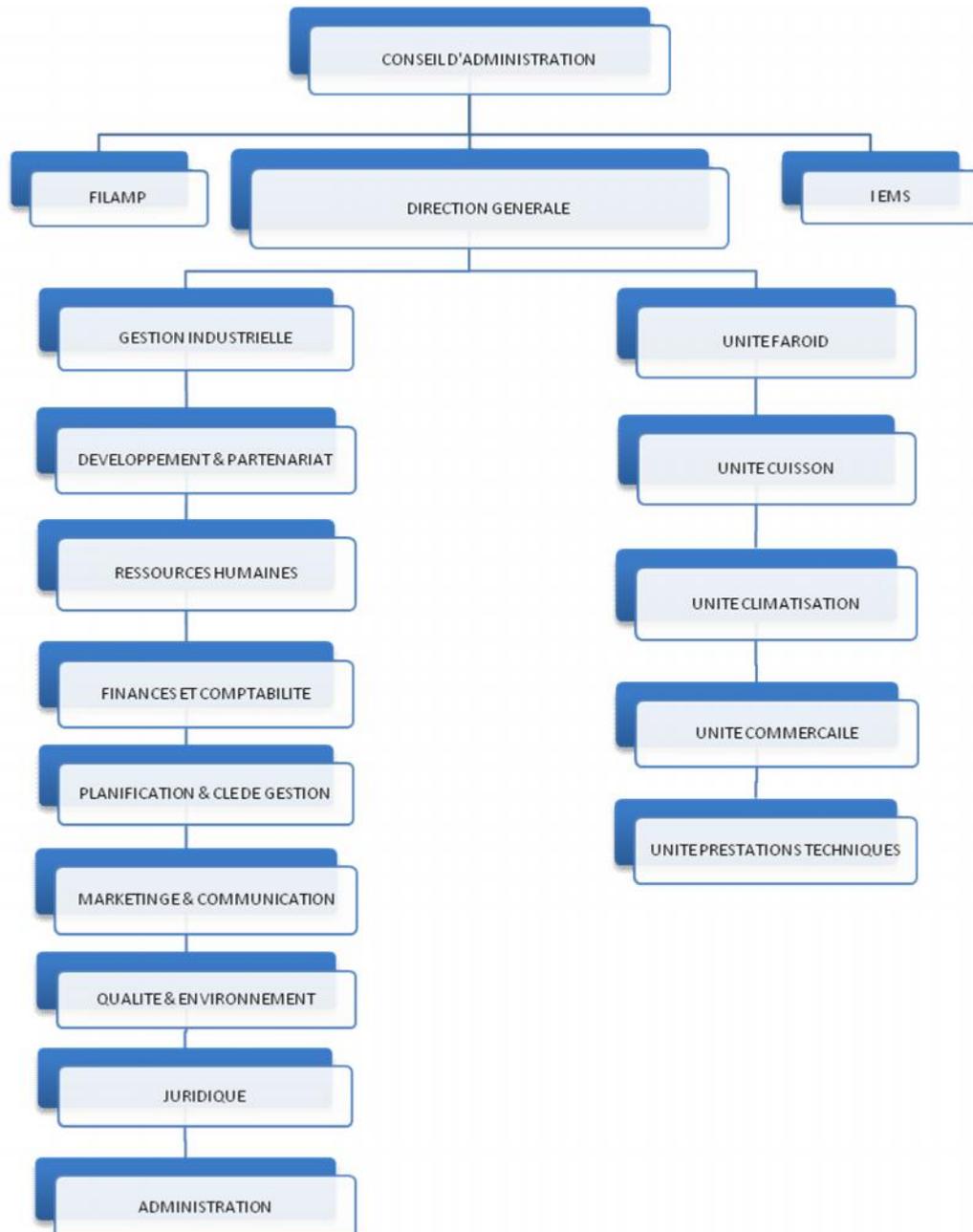
L'Unité Lampes de Mohammadia (ULM) qui a démarré en février 1979 pour fabriquer des lampes d'éclairage domestique ainsi que des lampes de réfrigérateurs est devenue filiale à 100% ENIEM le 01/01/1997. Cette filiale est dénommée «FILAMP»



**Siège de l'entreprise**

## II.7- Organisation générale

L'entreprise s'est organisée par centres d'activités stratégiques qui se composent de 03 unités de production, d'une (01) unité commerciale et d'une (01) unité de présentations techniques ainsi que deux (02) filiales dont le capital est à 100% ENIEM.



L'ENIEM offre une gamme variée de produits électroménager pour assurer un confort et un bien être chez soi :

L'importance et l'accroissement de la concurrence dans un environnement en perpétuel changement imposent à L'ENIEM d'être à l'écoute du client.

Aussi, dans le souci d'accroître la satisfaction des ses clients, l'Entreprise base sa politique qualité sur l'amélioration continue de ses processus, produits et services tout en préservant l'environnement par la mise en place d'un système de management environnemental ISO 14001.

### **Politique qualité**

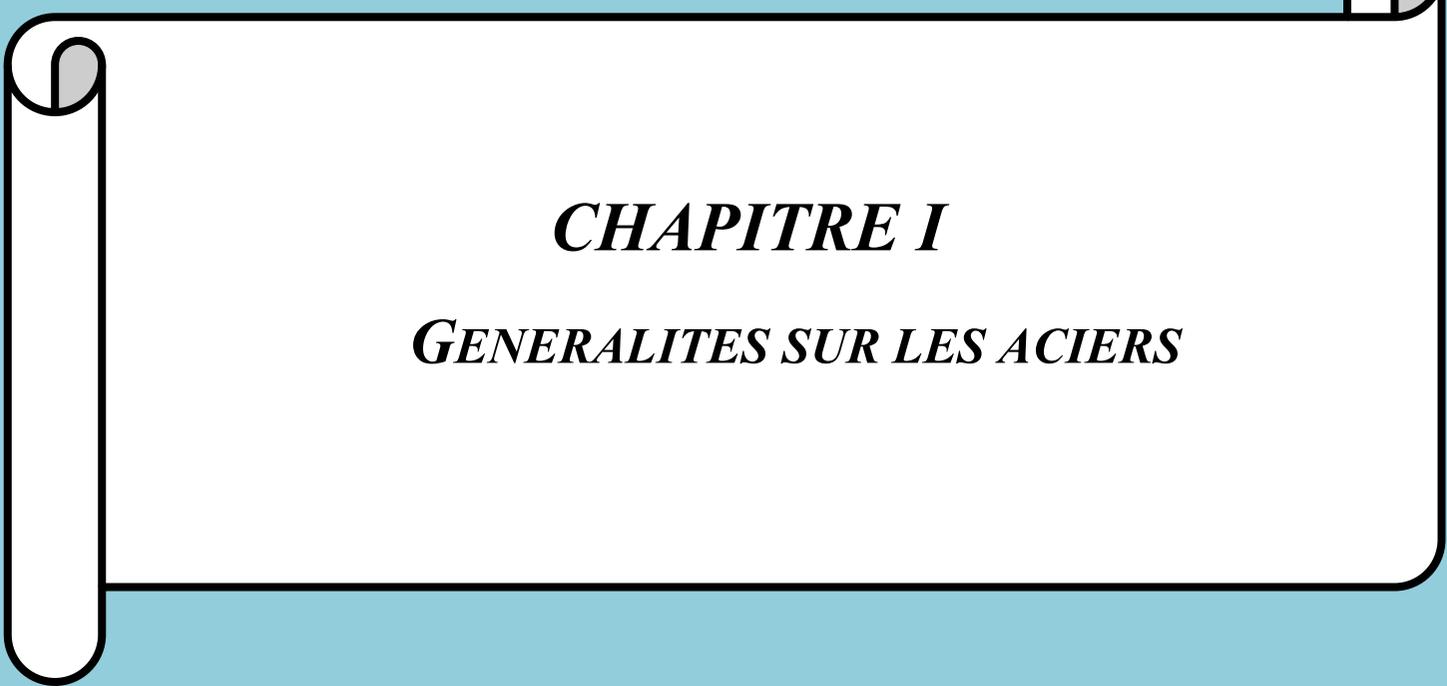
La politique qualité de l'ENIEM se manifeste par la volonté de la direction Générale :

- A accroître la satisfaction des clients.
- A veiller sur la réduction des coûts de qualité par maîtrise des processus.
- A l'amélioration continue de l'efficacité du système de Management qualité
- Au développement des compétences et de la communication

### **III- Engagement de la direction**

**La direction générale de l'ENIEM s'engage à :**

- Fournir les ressources nécessaires pour atteindre ces objectifs.
- Se conformer aux exigences légales et réglementaires.
- Appliquer et respecter les procédures du système de management de qualité.
  - La mise en place d'un système de management environnemental selon la norme ISO 14001
  - Développer la formation et la communication.
  - Développer les produits.
  - Réduire les couts de non qualité.
  - Augmenter la production
  - Améliorer le chiffre d'affaires.



***CHAPITRE I***  
***GENERALITES SUR LES ACIERS***

## GENERALITES SUR LES ACIERS

### I.1. Introduction

L'acier est le matériau de base constituant la porte et les éléments (carcasse) de l'enceinte du réfrigérateur fabriqué à l'ENIEM. Cette carcasse est conçue principalement pour protéger les éléments internes de l'appareil (compresseur, la tuyauterie et le matériau d'isolation thermique, etc.). Pour des raisons d'esthétique et d'économie sur le prix de revient du réfrigérateur, de réduction de son poids, cette carcasse doit être fabriquée à partir d'une tôle ou un matériau facilement mis en forme.

Pour cela, les tôles d'acier sont des matériaux adaptés à ce besoin. Ils sont utilisés dans plusieurs domaines : équipements publics (rails, signalisation), bâtiment (armatures, charpentes, ferronnerie, quincaillerie), moyens de transport (carrosseries, transmission), composants mécaniques (visserie, ressorts, câbles, roulements, engrenages), outillage de frappe (marteaux, burins, matrices) et de coupe (fraises, forets, porte-plaquette). Les aciers sont aussi très présents dans des produits destinés au grand public (meubles, appareils électroménagers).

L'acier est un alliage de fer contenant moins de 2 % de carbone. Les aciers sont classés selon leur mode d'élaboration et d'utilisation ainsi que leur teneur en carbone et éléments d'alliage qui déterminent leur structure et propriétés mécaniques (module de Young, dureté, etc). Un acier de haute teneur en carbone sera employé pour sa grande dureté alors qu'un acier de teneur plus faible est moins dur et plus malléable. Il contient généralement de petites quantités d'autres éléments que le fer et le carbone, incorporés, volontairement ou non, au cours de son élaboration. Les aciers à faible teneur en carbone ont des masses volumiques relativement plus faibles que les aciers à haute teneur en carbone. On peut également y ajouter des quantités plus importantes d'éléments d'alliage; il est considéré alors comme un acier allié [1,2].

### I .2.Classification des aciers

#### I. 2.1- Classification des aciers selon leur concentration en carbone

On classe quelques-uns des aciers les plus courants selon leur concentration en carbone, à savoir les aciers à faible teneur en carbone, les aciers à moyenne teneur en carbone et les aciers à forte teneur en carbone. Chaque groupe se subdivise en sous – groupes selon la concentration des autres éléments d'alliage. Les aciers au carbone ordinaires ne contiennent que des concentrations résiduelles en impuretés autres que le carbone et un peu de manganèse. Quant aux aciers alliés, on leur ajoute davantage d'éléments d'alliage en concentrations précises [3].

### ***1.2.1.1-Aciers à faible teneur en carbone***

De tous les aciers, ce sont les aciers à faible teneur en carbone qui sont produits en plus grand nombre. Généralement, ces aciers contiennent moins de 0.25% m de carbone environ, sont insensibles aux traitements thermiques destinés à former de la martensite et peuvent être renforcés par écrouissage. Leur microstructure consiste en ferrite et en perlite. Par conséquent, ces alliages sont relativement mous et faibles, mais leur ductilité et leur ténacité sont exceptionnelles; de plus, ils se prêtent à l'usinage et au soudage, et leur coût de production est inférieur à celui des autres aciers. Parmi les pièces faites d'aciers à faible teneur en carbone, mentionnons carrosserie des automobiles, les profils de constructions (poutres en I, profilés en U), les ponts et les boîtes de conserve [3].

### ***1.2.1.2- Aciers à moyenne teneur en carbone***

La concentration en carbone de ces aciers varie de 0.25% m à 0.60% m. Leurs propriétés mécaniques s'améliorent par austénitisation, trempe, puis revenu. On les utilise le plus souvent à l'état revenu, ils ont une microstructure de martensite revenue. Les aciers à moyenne teneur en carbone ont une faible trempabilité et leur traitement thermique n'est efficace que si leur section est très mince et si la vitesse de refroidissement est très élevée. L'ajout de chrome, de nickel ou de molybdène facilite l'application de traitements thermiques à ces alliages et offre un large éventail de combinaisons résistance-ductilité. Les traitements thermiques produisent des aciers plus résistants que les aciers au carbone ordinaire, mais d'une ductilité et d'une ténacité moindres. Parmi les pièces faites d'aciers à moyenne teneur en carbone, mentionnons les roues de train et les voies ferrées, les engrenages, les vilebrequins ainsi que d'autres pièces de machine et des composants structuraux alliant haute résistance, résistance à l'usure et ténacité [3].

### ***1.2.1.3- Aciers à forte teneur en carbone***

Avec une teneur en carbone habituellement comprise entre 0.60% m et 1.4% m, les aciers à forte teneur en carbone sont à la fois les plus durs, les plus résistants et les moins ductiles des aciers au carbone. Puisqu'ils sont presque toujours durcis et revenus, ils résistent particulièrement bien à l'usure et supportent bien les pièces à bord tranchant. Les aciers utilisés pour la fabrication d'outils et de matrices sont des alliages à forte teneur en carbone qui contiennent habituellement du chrome, du vanadium, du tungstène ou du molybdène. Ces éléments d'alliages se combinent au carbone pour former des composés de carbure (par exemple  $\text{Cr}_2\text{C}_3$ ,  $\text{V}_4\text{C}_3$ , WC).

Ils sont très durs qui résistent très bien à l'usure [3].

### ***1.2.1.4-Aciers inoxydables***

Les aciers inoxydables sont très résistants à la corrosion dans de nombreux milieux, en particulier à l'air ambiant. Leur concentration en chrome, principal élément d'alliage,

doit être d'au moins 11 %m. L'ajout de nickel ou de molybdène accroît leur résistance à la corrosion. On distingue généralement trois catégories d'aciers inoxydables :

Les aciers austénitiques, ferritiques et martensitiques [3].

## I.2 .2- Classification des aciers selon le diagramme d'équilibre Fer – Carbone

La figure I.1 représente le diagramme d'équilibre Fer-carbone métastable. Il représente la composition des phases et la structure des alliages dont la concentration varie du fer pur à la cémentite. La cémentite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) correspond à 6,67% de carbone.

Ce système présente un grand nombre de transformations, tant en ce qui concerne les équilibres liquide-liquide que les équilibres solide-solide [4].

### • Le fer et ses caractéristiques

Le fer est le métal de base le plus important pour les alliages techniques. Il est relativement abondant dans l'écorce terrestre (4.7% en masse) sous forme d'états combinés dans de nombreuses roches. Le fer pur n'est pas employé dans l'industrie, les plus employés sont les alliages de fer avec le carbone qui sont la fonte et l'acier.

Avec 99.9 % de fer, il est déjà pur, mais il contient toujours des trous de différents éléments. Le fer le plus pur qui peut s'obtenir actuellement contient 99.99% de fer. Le fer est de couleur blanche possédant les caractéristiques suivantes :

- Masse atomique : 55.85.
- Nombre atomique : 26.
- Rayon atomique : 1,27 Å CFC).
- Masse volumique 7.8 g/cm<sup>3</sup>.
- Température de fusion 1539°C.

Il possède une dureté HB de 60 kp/mm<sup>2</sup>, une limite de traction d'environ 20 kp/mm<sup>2</sup> et une faible limite d'élasticité. C'est un bon conducteur de chaleur et d'électricité (une résistivité électrique à 20°C de  $9.76 * 10^{-8} \Omega\text{m}$ ). Grâce à sa grande perméabilité magnétique, il est très utilisé dans l'électrotechnique. Les propriétés magnétiques du fer dépendent dans une grande mesure de sa pureté et des régimes de traitement thermiques.

On connaît deux formes (variétés) allotropiques du fer (deux réseaux cristallins différents). Le fer  $\alpha$  dont le réseau est cubique centré (CC) et le fer  $\gamma$  dont le réseau est cubique à faces centrées (C.F.C). Le phénomène de la modification du réseau cristallin sous l'effet de la température porte le nom de transformation allotropique [4].

- **Le carbone et ses caractéristiques**

C'est un élément non métallique peut abondant, (0.1% en masse dans l'écorce terrestre). Il est rare à l'état libre, on le rencontre à l'état combiné dans toutes les substances végétales et animales comme dans le pétrole, le charbon, le bois, la houille, etc. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Numéro atomique : 6.
- Masse atomique : 12.
- Rayon atomique : 0.77. Å
- Masse volumique : 2.5g/cm<sup>3</sup>.
- Température de fusion : 3500°C.

C'est un élément polymorphe et il existe deux variétés cristallines dans les conditions ordinaires, le diamant et le graphite. La variété du diamant est métastable à réseau cristallin C.F.C et il est classé comme le plus dur des corps solides, c'est aussi un isolant électrique.

Le graphite possède un réseau hexagonal simple, c'est un matériau réfractaire, relativement bon conducteur d'électricité. On l'utilise à l'état poudre pour les mines de crayons, pour la lubrification (combinaison de graphite et de graisse), dans les bronzes Graphités [4].

D'après le diagramme d'équilibre fer-carbone, on distingue trois types d'aciers :

Aciers hypoeutectoïdes, Aciers eutectoïdes, Aciers hypereutectoïdes [5].

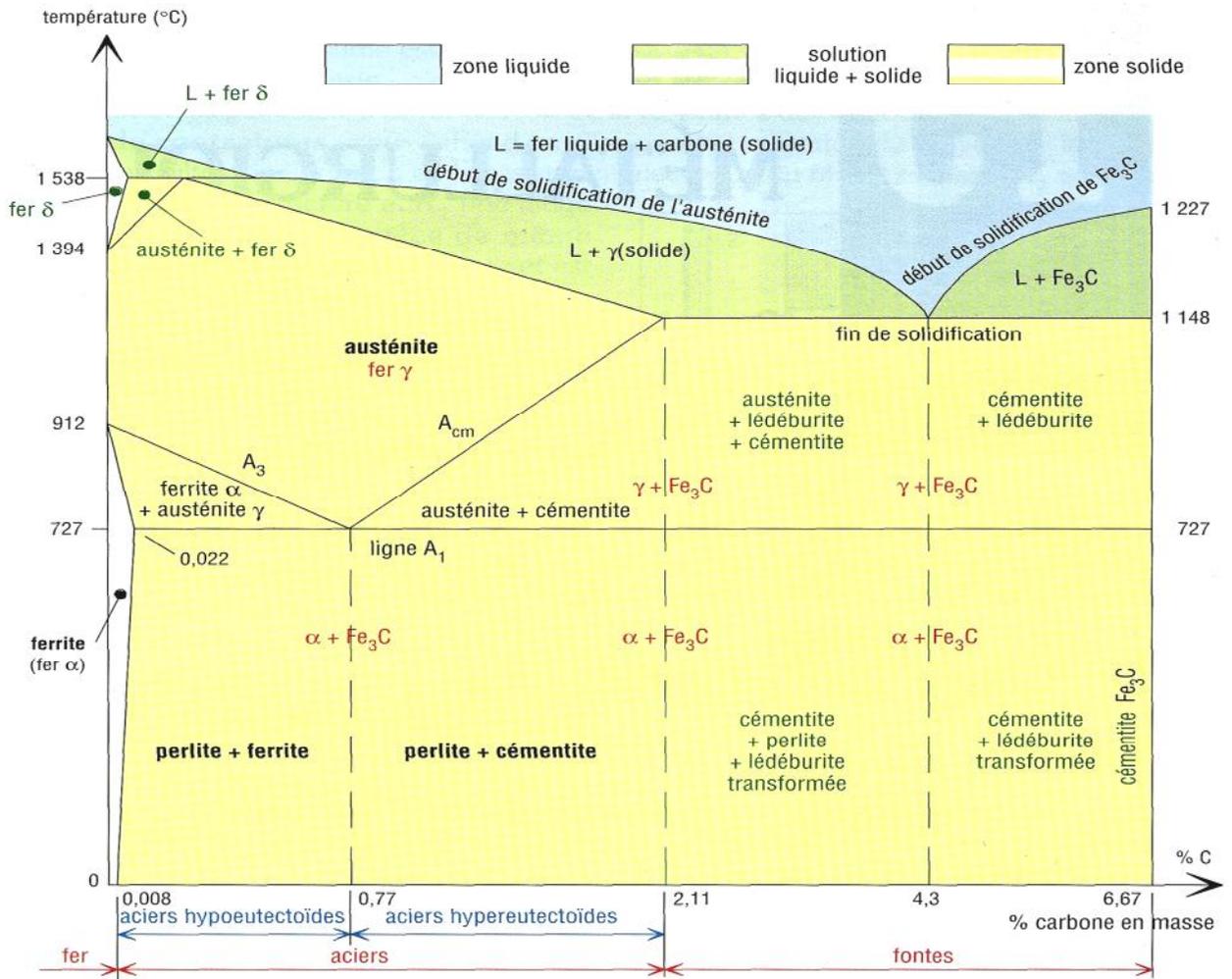


Figure I.1 : Diagramme fer carbone

### I.2.2.1-Aciers hypoeutectoïdes

Ces aciers ont une teneur en carbone inférieure à 0,77%, leur structure est constituée de grains de ferrite et d'agrégats de perlite qui sont les plus malléables .

Selon les propriétés mécaniques, on peut scinder les aciers hypoeutectoïdes en cinq sous groupes :

- **Aciers extra-doux** : sont des aciers dont la teneur en carbone est comprise entre 0,05 et 0,1%. Ils contiennent uniquement de la ferrite et une faible quantité de perlite et de cémentite tertiaire.
- **Aciers doux** : la teneur en carbone de ces aciers est comprise entre 0,1 et 0,25%.
- **Aciers mi-doux** : leur teneur en carbone est comprise entre 0,25 et 0,4%.
- **Aciers mi-durs** : leur teneur en carbone est comprise entre 0,4% et 0,6%.
- **Aciers durs** : leur teneur en carbone est comprise entre 0,6% et 0,77% [5].

### ***I.2.2.2- Aciers eutectoïdes:***

Ce sont des aciers dont la teneur en carbone est égale à 0.77% à la température de 727°C. Leur structure métallographique est constituée de lamelles alternées de ferrite et cémentite c'est-à-dire 100 % de perlite [5].

### ***I.2.2.3 Aciers hypereutectoïdes***

La teneur en carbone de ce type d'acier est comprise entre 0.77 et 2.11%. Ils présentent une structure constituée de plages de perlite séparées par des lisières de cémentite sont les plus résistants.

Parmi ces aciers, on distingue les deux sous-groupes :

- **Aciers durs:** leur teneur en carbone est comprise entre 0,8% et 1%.
- **Aciers extra-durs:** leur teneur en carbone varie entre 1% et 2.11% [5].

### **I.2.3-Classification des aciers par emploi**

Elle commence toujours par une lettre majuscule. Les aciers désignés par leur emploi ne présentent généralement pas de garantie d'aptitude aux traitements thermiques.

La désignation commence par la lettre **S** pour les aciers d'usage général et par la lettre **E** pour les aciers de construction mécanique. La lettre est suivie par des indications chiffrées relatives à des caractéristiques d'usage de l'acier, notamment ses caractéristiques mécaniques : limite d'élasticité  $R_e$ , résistance à la traction  $R_m$  ou dureté [6].

Tableau I.1 : Désignation symbolique par emploi des aciers (NF EN 10027).

Lettre	Signification	Exemple
B	Acier pour béton; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de Re en Mpa	B500
C	Acier non allié apte au traitement thermique (voir désignation par composition chimique).	
D	Produit plat pour formage à froid; lettre suivie de : C : produit laminé à froid; D : produit laminé à chaud; X : conditions de laminage non spécifiées; suivie d'un nombre-repère à 2 chiffres (voir la norme) ; suivi éventuellement de symboles additionnels (voir la norme)	DC04
E	Acier pour construction mécanique; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de Re en MPa.	E360
G	Acier moulé; lettre-préfixe, suivie d'une désignation symbolique complète normale.	G15CrMoV6
H	Acier à haute résistance, produit plat pour formage à froid; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de Re en MPa, ou bien suivie de la lettre T, suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de Rm en MPa.	H420
HS	Acier à outils (acier «rapide»; voir désignation par composition chimique)	
L	Acier pour tube de conduite; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de Re en MPa	L415

Lettre	Signification	Exemple
M	<p>Acier pour application magnétique; lettre suivie d'un nombre à 4 chiffres indiquant la valeur maximale des pertes magnétiques en W/kg;</p> <p>suivi d'un tiret et d'un nombre à 2 chiffres indiquant l'épaisseur du produit en centièmes de mm;</p> <p>suivi d'une lettre caractérisant la microstructure :</p> <p>A=grains non orientés; D=non allié semi-fini;</p> <p>E=allié semi-fini; N=grains orientés normaux;</p> <p>P=grains orientés à haute perméabilité;</p> <p>S=grains orientés à pertes réduites.</p>	M1050-50D
P	<p>Acier pour appareils à pression; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de Re en MPa.</p>	P235
R	<p>Acier pour rails; lettre suivie d'un nombre à 4 chiffres indiquant la valeur minimale de Rm en MPa.</p>	
S	<p>Acier de construction d'usage général; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de Re en MPa; suivi éventuellement de symboles additionnels (voir la norme).</p>	S185
T	<p>Fer noir, fer blanc ou fer chromé; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur nominale de Re en MPa, ou bien suivie de la lettre H, suivie d'un nombre à 2 chiffres indiquant la valeur de la dureté Rockwell C.</p>	
X	<p>Acier fortement allié (voir désignation par composition chimique).</p>	
Y	<p>Acier pour béton précontraint; lettre suivie d'un nombre à 4 chiffres indiquant la valeur minimale de Rm en MPa.</p>	

### I.2.4-Désignation symbolique par composition chimique

**a- Aciers non alliés :** Ils ont une teneur en manganèse inférieure à 1 %

La désignation se compose de la lettre C, suivie du pourcentage de la teneur en carbone multiplié par 100.

Principaux des aciers non alliés :

Exemple : C22, C25 : aciers de construction mécanique.

C30, C35, C40, C45, C50, C55, C60 : ces aciers conviennent aux traitements thermiques

**b-Aciers faiblement alliés :** La teneur de chaque élément d'alliage est inférieure à 5 %; aciers non alliés de teneur en manganèse supérieure à 1 %.

Nombre égal à 100 fois le pourcentage de teneur en carbone; suivi d'un ou plusieurs groupes de lettres qui sont les symboles chimiques des éléments d'addition rangée dans l'ordre des teneurs décroissantes.

Exemple : 42CrMo4, 38Cr2, 34Cr4, 25CrMo4, 30 Cr Ni Mo 81

**Tableau I.2 : Facteurs multiplicatifs des pourcentages des différents éléments d'alliages dans les aciers faiblement alliés**

Éléments	Facteur multiplicatif
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
N, P, S	100
B	1 000

**c- Aciers fortement alliés :** La teneur d'au moins un des éléments d'alliage est supérieure ou égale à 5 %, à l'exclusion des aciers rapides.

Lettre X; suivie d'un nombre égal à 100 fois le pourcentage de teneur en carbone; suivi des symboles chimiques des éléments d'alliage dans l'ordre des teneurs décroissantes, suivis de nombres séparés par un tiret, égaux aux pourcentages de teneur des principaux éléments d'alliage dans l'ordre décroissant (sans facteur multiplicatif).

Exemple : X6CrMo17-1

**d- Aciers à outils (aciers « rapides ») :** La dénomination « acier rapide » est une abréviation de l'expression « acier pour outil d'usinage à vitesse rapide ».

Lettres HS (High Speed); suivies de 4 nombres séparés par un trait d'union, égaux aux pourcentages de teneur des éléments (dans l'ordre) tungstène W, molybdène Mo, vanadium V, cobalt Co [6].

Exemple : HS7-4-2-5

### I.2.3- Influence des principaux éléments d'alliage sur les propriétés des aciers

- **Carbone** : a une importance primordiale, parce qu'il est toujours présent dans l'acier avec différentes teneurs.
- **Aluminium** : excellent désoxydant. Associé à l'oxygène, réduit la croissance du grain en phase austénitique. Peut rendre l'acier inapte à la galvanisation à chaud.
- **Chrome** : c'est l'élément d'addition qui confère à l'acier la propriété de résistance mécanique à chaud et à l'oxydation (aciers réfractaires). Il joue aussi un rôle déterminant dans la résistance à la corrosion lorsqu'il est présent à une teneur de plus de 12 à 13% (selon la teneur en carbone). Il augmente la trempabilité.
- **Cobalt** : utilisé dans de nombreux alliages magnétiques. Provoque une résistance à l'adoucissement lors du revenu.
- **Manganèse** : forme des sulfures qui améliorent l'usinabilité. Augmente modérément la trempabilité.
- **Molybdène** : augmente la température de surchauffe, la résistance à haute température et la résistance au fluage. Augmente aussi la trempabilité.
- **Nickel** : rend austénitique les aciers à forte teneur en chrome. Sert à produire des aciers de trempabilité modérée ou élevée (selon les autres éléments présents), à basse température d'austénitisation et à ténacité élevée après traitement de revenu. C'est l'élément d'alliage par excellence (jusqu'à une teneur de 9%) des aciers pour application cryogéniques.
- **Titane** : pouvoir carburigène élevé et réduit donc la dureté de la martensite. Elimine le carbone en solution à haute température et réduit le risque de corrosion intergranulaire (TiC se forme avant  $Cr_{23}C_6$  évite donc l'appauvrissement en chrome au joint de grain).
- **Niobium** : même avantage que le titane mais beaucoup moins volatile. Dans le domaine du soudage, il le remplace donc dans les métaux d'apport.
- **Phosphore** : augmente fortement la trempabilité. Augmente la résistance à la corrosion. Peut contribuer à la fragilité de revenu.
- **Silicium** : favorise l'orientation cristalline requise pour la fabrication d'un acier magnétique, augmente la résistivité électrique. Améliore la résistance à l'oxydation de certains aciers réfractaires. Utilisé comme élément désoxydant.

- **Tungstène** : améliore la dureté à haute température des aciers trempés revenus.  
Fonctions sensiblement identiques à celles du molybdène.
- **Vanadium** : augmente la trempabilité. Elève la température de surchauffe.  
Provoque une résistance à l'adoucissement par revenu (effet de durcissement secondaire marqué).

### I.3- Les caractéristiques mécaniques de l'acier

Les différents essais (essai de traction, de flexion, de torsion, de dureté) nous permettent de révéler les caractéristiques intrinsèques des métaux et alliages. On les sollicite à des charges ou à des forces provoquant des déformations [7].

#### I.3.1- Résistance à la traction

Il consiste à imposer un allongement à une éprouvette de section initiale  $S_0$  et de longueur utile  $L_0$ . La courbe type obtenue pour un matériau ductile est la suivante:

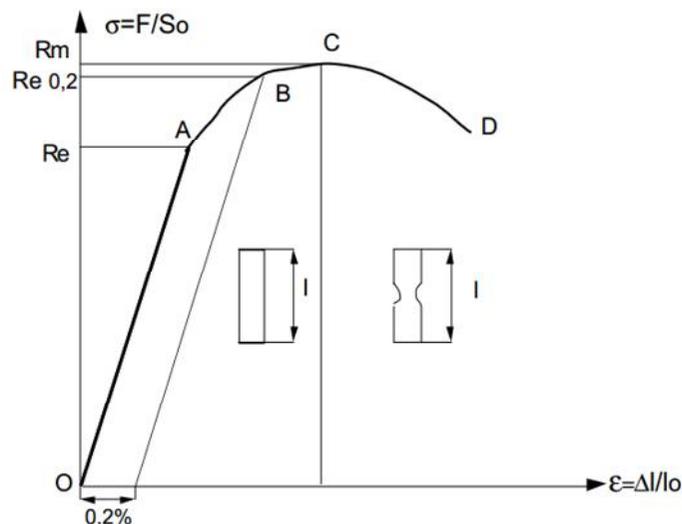


Figure I.2 : Diagramme conventionnel d'un essai de traction

- La droite OA correspond à la déformation élastique réversible.
- La courbe AC est le domaine de déformation plastique homogène: si on supprime la force de traction, il y a un retour élastique suivant une parallèle à OA et il reste une déformation permanente.

- Pour CD, la force nécessaire pour déformer le matériau diminue alors que l'allongement continue d'augmenter : cette instabilité est appelée instabilité plastique. La striction apparaît. En D il y a rupture de l'éprouvette.
- **Re** (MPa) est la limite de proportionnalité ou limite élastique. Elle est bien marquée pour les matériaux ductiles. Re correspond au seuil d'écoulement plastique.
- **Rm** est la résistance limite à la traction. Cette valeur est utilisée pour estimer la limite d'endurance à la fatigue.
- **Re** est atteint quand on observe la première chute de l'effort lors de l'essai. En l'absence de ce phénomène, quand OA n'est pas rectiligne, on doit utiliser la limite conventionnelle d'élasticité **Re<sub>0,2</sub>** qui correspond à un allongement plastique de 0,2%.
- **A**: l'allongement à la rupture est le rapport

$$A = 100 \cdot (l_d - l_0) / l_0$$

- où **ld** est la longueur de l'éprouvette à la rupture en D.
- **l<sub>0</sub>**: longueur initiale de l'éprouvette.
- **E**: module d'Young. La pente de la partie linéaire OA représente le module d'Young **E** (en Mpa ou en GPa) ou module d'élasticité.
- On appelle loi de Hooke la relation :

$$\sigma_{\text{élastique}} = E \cdot \varepsilon_{\text{élastique}}$$

La rigidité d'une structure en traction, compression, flexion, est proportionnelle au module d'Young.

- **v** : coefficient de Poisson l'éprouvette subit aussi des déformations latérales, le coefficient de Poisson, ou coefficient de contraction latérale dans le domaine élastique est le rapport sans dimension.

$$v = (d_0 - d) / d_0$$

- **G**: module de cisaillement ou module de Lamé ou module de Coulomb, exprimé en Mpa ou Gpa, définit le cisaillement élastique consécutif à l'application d'une sollicitation de cisaillement. Il varie sensiblement comme E en fonction de la température et le type de matériau. Pour les matériaux isotopes, on a la relation [7] :

$$G = E / 2(1+\nu)$$

### I.3.2- La résilience

La résilience représente la résistance d'un matériau à la propagation brutale d'une fissure sous l'effet d'un choc. Elle se mesure par l'énergie par unité de section consommée pour la rupture d'une éprouvette, en  $J/cm^2$  [6].

#### • Essai de flexion par choc

L'essai de résilience le plus couramment pratiqué sur les matériaux métalliques est l'essai Charpy (NF EN 10045). [6]

Cet essai consiste à rompre d'un seul coup de mouton-pendule, une éprouvette ISO entaillée en son milieu et reposant sur 2 appuis. On détermine l'énergie absorbée par la rupture en mesurant la hauteur de chute du pendule qui provoquera la rupture.

L'essai de flexion par choc (ou mouton de « Charpy ») permet de mesurer des quantités d'énergie nécessaires à la rupture de l'éprouvette [7].

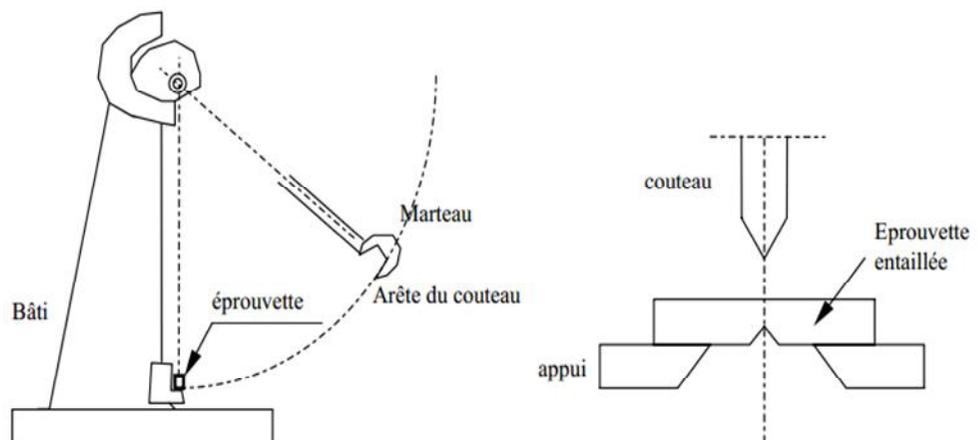


Figure I.3 : Essai de flexion par choc (Charpy)

### I.3.3- La ténacité

C'est une caractéristique, à la base du concept de tolérance au dommage dans les structures, qui est basée sur la formulation des contraintes et déplacements au voisinage d'une fissure de géométrie connue. Le chargement est statique ou dynamique.

Ces conditions déterminent le facteur d'intensité de contraintes  $K$ , calculé, qui caractérise l'accroissement des contraintes et des déformations provoquées par la fissure.

La ténacité **Kc** est déterminée expérimentalement au moyen d'éprouvettes pré-fissurées. Elle correspond à la valeur critique de K pour laquelle se produit une propagation brutale d'une fissure de longueur « ac » sous une charge « Pc ».

**Kd** est la ténacité dynamique qui correspond à la valeur critique de K sous un choc [7].

### I.3.4-La dureté :

La dureté est la caractéristique de résistance d'un matériau à la pénétration. La pénétration met en jeu une série de facteurs dont les principaux sont: les déformations élastique et plastique, les frottements entre le pénétrateur et l'échantillon, la géométrie de pénétrateur, ses propriétés mécaniques et la charge qui lui y appliquée [8].

#### I.3.4.1-Principe de l'essai de dureté

L'essai consiste à enfoncer un pénétrateur dans le métal à tester. La charge appliquée est constante et on mesure la dimension de l'empreinte. Celle-ci est d'autant plus grande que le métal est mou. La dureté H s'exprime par le rapport de la force sur la surface de l'empreinte :

$$H = F/S$$

Avec :

H : symbole de dureté (MPa)

F : charge d'essai (N)

S : surface de l'empreinte (mm<sup>2</sup>)

#### I.3.4.2-Types d'essai

##### I.3.4.2.1-Essai Brinell

Il consiste à imprimer dans la pièce à tester une bille en acier ou en carbure de tungstène de diamètre **D** sous une charge **F**, et à mesurer le diamètre **d** de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge

La dureté Brinell est donnée par la relation suivante :  $HB = F/S$

– F : charge de l'essai (N)  $S = D/2 ( D - \sqrt{D^2 - d^2} )$  (mm<sup>2</sup>)

– S : aire de l'empreinte (mm<sup>2</sup>)  $d = \frac{(d1+d2)}{2}$

– D : diamètre de la bille (mm)

– d : diamètre de l'empreinte (mm).

- **Choix de la charge**

Il existe un rapport de proportionnalité entre la charge et le diamètre de la bille.

$$F = K * D^2$$

Les valeurs de K sont en fonction du matériau à essayer.

K = 30 pour les aciers,

K = 2,5 ou 10 pour l'aluminium et pour les alliages,

K = 5 ; 10 ou 30 pour le cuivre et ses alliages.

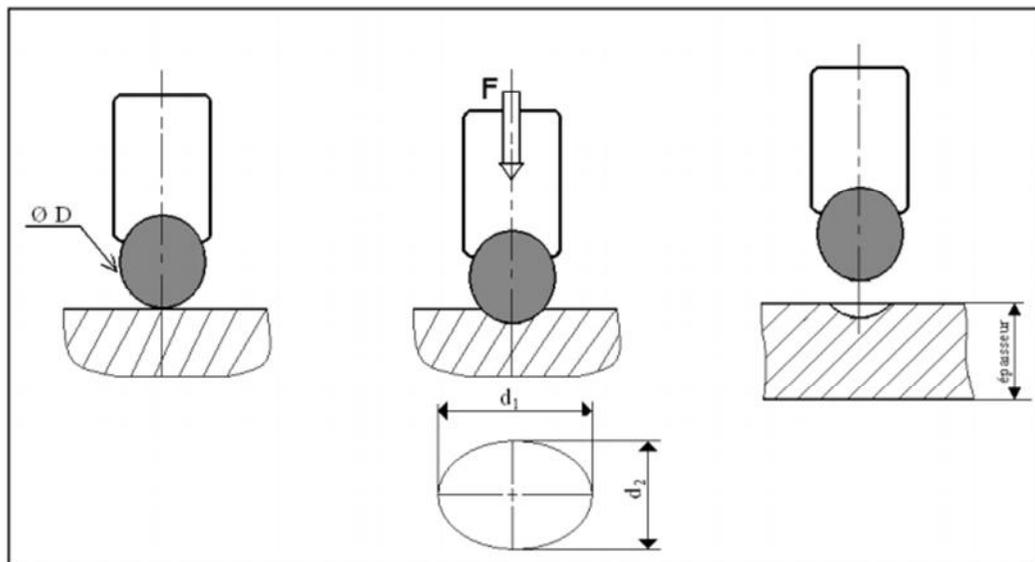


Figure I.4: Essai de dureté Brinell.

#### 1.3.4.2.2-Essai Vickers

Il consiste à imprimer dans la pièce à tester un pénétrateur en forme de pyramide droite, à base carrée, d'angle au sommet  $136^\circ$ , sous une charge  $F$ , et à mesurer la diagonale  $d$  de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge.

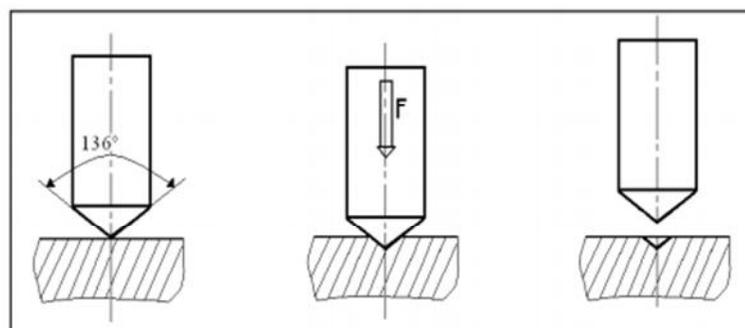


Figure I.5: Principe de l'essai Vickers.

La dureté Vickers est donnée par la relation suivante :

$$HV = F / S$$

La surface est calculée en fonction de la moyenne des deux diagonales d1 et d2

$$S = d^2 / 2 \cdot \sin (\gamma/2)$$

Avec :

$\gamma$ : angle de la pyramide = 136°

d : diagonale de l'empreinte (mm).

$$d = (d1 + d2) / 2$$

On en déduit:

$$HV = 0,18544 F / d^2$$

F : charge d'essai (N).

#### ***1.3.4.2.3- Essai Rockwell***

Il consiste à imprimer, en deux temps, dans la couche superficielle de la pièce à essayer, un pénétrateur de type normalisé (cône ou bille) et à mesurer l'accroissement rémanent h de la profondeur de pénétration.

- **Exécution de l'essai**

Le pénétrateur étant perpendiculaire à la surface à essayer. Il est soumis sans chocs à une charge initiale de pénétration  $F_0$ . Cette charge entraîne une pénétration du pénétrateur, qui sert d'origine à mesurer la dureté (Figure I.6).

On applique au pénétrateur, progressivement et sans chocs (en 2 à 8 seconde) une surcharge  $F_1$  qui entraîne un accroissement de pénétration b du pénétrateur. On enlève la surcharge  $F_1$  pour revenir à la charge initiale  $F_0$ .

La pénétration du pénétrateur est alors égale à c.

On mesure alors l'accroissement rémanent de la profondeur de pénétration h, c'est à dire la différence entre la pénétration c sous charge  $F_0$  à la fin de l'essai et la pénétration a sous charge  $F_0$  au début de l'essai.

A partir de la valeur h est déduit le nombre appelé « dureté Rockwell », selon la formule :

$$\text{Dureté Rockwell} = N - (h / 0.002)$$

N : dépend de l'échelle de dureté de l'essai Rockwell, exemple :

$$\text{HRB} = 130 - (h / 0.002)$$

$$\text{HRC} = 100 - (h / 0.002), \text{ avec } h=c-a$$

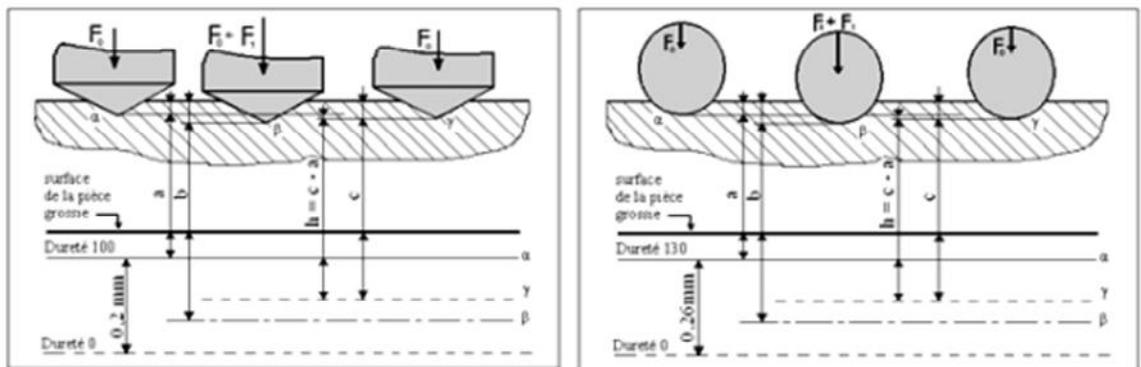


Figure I.6: Principe des essais Rockwell (HRB, HRC)

## I.4- Procédés de mise en forme des aciers

### I.4.1- Principe du laminage

Le laminage est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne différents matériaux, comme le métal ou tout autre matériau sous forme pâteuse, comme le papier ou les pâtes alimentaires. Cette déformation, est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres, tournant dans deux sens opposés appelés laminoirs, à l'aide des rouleaux d'amenée du lingot. Il existe aussi des opérations de laminage particulières utilisant plus de deux laminoirs.

Un laminoir est un outil industriel, ayant pour but la réduction d'épaisseur d'un matériau. Il permet également la production de barres profilées (produit longs). Il existe de nombreux types de laminoirs, on peut citer :

- Laminoir à produits plats
- Laminoirs industriels
- Laminoir à papiers
- Laminoir à verre, enfin de produire les verres imprimés, colorés ou non, utilisés dans l'aménagement intérieur, les vitrages et la décoration.
- Laminoir à produits longs [9].

On distingue le laminage à chaud et le laminage à froid

#### a- Laminage à chaud

Le laminage à chaud est une opération capitale pour les métaux et alliages. C'est au cours de cette étape que les précipités se déforment plus facilement.

Les brames ou les blooms sont réchauffés dans un four de réchauffage. Le laminage est effectué à l'état austénitique particulièrement malléable. Le dégrossissage a lieu entre 110°C

et 1200°C et la finition peut se faire à des températures allant jusqu'à 800°C. Les tôles minces et les fils sont enroulés en bobines ; les tôles fortes, les larges plats et les profilés sont débités en longueur [9].

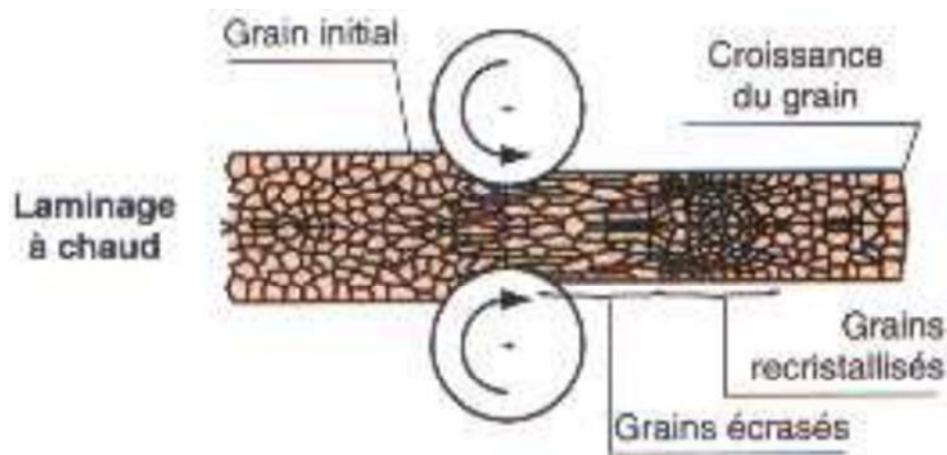


Figure I.7 : Laminage à chaud

#### b- Laminage à froid

La moitié environ des produits laminés est commercialisée à l'état laminé à chaud. Les produits minces sont obtenus par laminage à froid des produits laminés à chaud. Le laminage à froid augmente la dureté et la limite d'élasticité, améliore l'état de surface, mais réduit la formabilité. Il introduit des textures d'orientation cristalline de déformation plane. Si le produit doit subir des déformations ultérieures importantes, un recuit est nécessaire pour restaurer la formabilité [9]. Les tôles utilisées pour fabriquer les éléments de carrosse du réfrigérateur sont en acier laminé à froid.

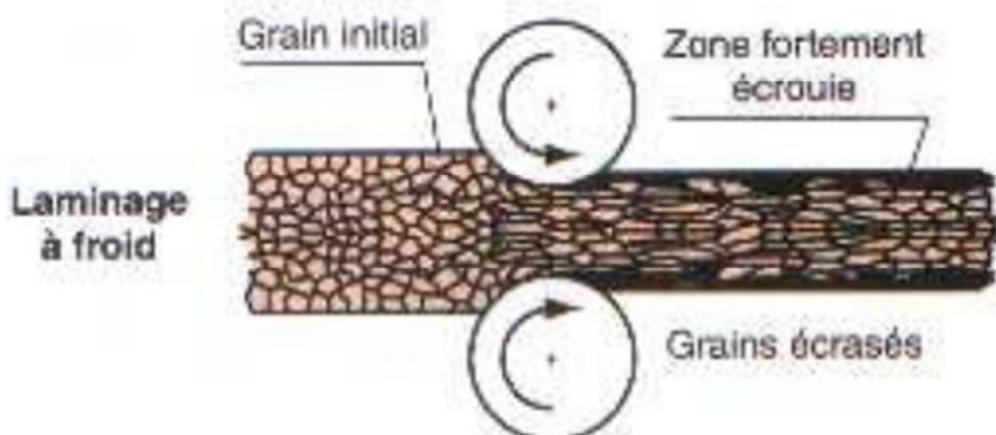


Figure I.8 : Laminage à froid

### ***1.4.1.1- Paramètres du laminage***

On distingue :

**a- Refroidissement et lubrification :** La lubrification du contact entre la bande et les cylindres de travail est indispensable pour réduire et contrôler le coefficient de frottement. La force du laminage croît très fortement quand le coefficient de frottement augmente, pour les épaisseurs faibles. La lubrification doit, en conséquence, être d'autant plus efficace que l'épaisseur est plus faible.

**b- Epaisseur :** La régularité de l'épaisseur est un facteur important de la qualité du laminage. On atteint des régularités d'épaisseurs de l'ordre de 1% de l'épaisseur visée.

**c- Propriété de surface :** La propriété de surface d'une bande d'acier à la sortie d'un laminoir à froid est caractérisée par le taux de fer et le taux de carbone résiduels, exprimés usuellement en  $\text{mg/m}^2$ . Ces deux taux sont souvent liés entre eux et dépendent des conditions de lubrification et de refroidissement et de la rugosité des cylindres de travail [9].

### ***1.4.1.2-Avantages et inconvénients du laminage***

#### **a- Avantages**

- La cadence de production est élevée.
- Bon état de surface pour les produits laminés à froid.

#### **b- Inconvénients**

- Ces produits finis de formes nécessitent ensuite un autre procédé d'élaboration pour la réalisation de pièces.
- Les tôles seront embouties, pliées, roulées, ect...
- Les profilés sont utilisés pour les structures en mécano soudées, en usinage [10].

### ***1.4.1.3-Différences entre les tôles laminées à chaud et les tôles laminées à froid***

- La tôle laminée à chaud est dotée d'une faible dureté, mais procure un traitement aisé et une bonne ductilité. A l'inverse, la tôle laminée à froid est dotée d'une haute dureté, mais est dure à déformer en raison de sa haute intensité
- La tôle laminée à chaud est dotée d'une intensité relativement faible et d'une qualité de surface plutôt faible. Tandis que la tôle laminée à froid est dotée d'une haute intensité et d'une surface brillante, et peut être utilisée pour l'emboutissage.
- La tôle d'acier laminée à froid est dotée d'un écrouissage et d'une faible résistance, mais peut atteindre un meilleur indice de rendement moyen. Aussi, elle peut être utilisée pour

des composants comme les ressorts laminés. Toutefois dans une application, des problèmes sont à craindre si l'indice de rendement moyen est proche de la résistance à la tension.

- Généralement, la tôle d'acier laminée à chaud est une plaque d'acier d'épaisseur moyenne, dont l'épaisseur est d'environ 2mm, tandis que la tôle d'acier laminée à froid est une fine plaque d'une épaisseur de 0,3mm à 3mm.

#### I.4.2- Emboutissage :

L'emboutissage consiste à fabriquer, à partir d'un flan plan de faible épaisseur, une pièce de forme complexe généralement non développable (Figure I.9).

Le flan étant plaqué contre la matrice avec une certaine force par l'intermédiaire d'un serre-flan, et mis en forme par avancée du poinçon à l'aide d'une presse.

Les principaux paramètres intervenant dans ce procédé peuvent être résumés comme suit :

Le processus d'emboutissage se décompose de la manière suivante :

- Définition de la direction de l'emboutissage,
- Définition du contour et de la position du flan initial,
- Descente du serre-flan pour plaquer la tôle sur la matrice,
- Mise en forme de la tôle par avancée du poinçon,
- Découpage des habillages de l'embouti afin d'obtenir la pièce finale.

Au cours de sa déformation, le métal est soumis simultanément à deux modes de sollicitations :

- Des déformations en expansion sur le nez du poinçon qui s'effectuent au détriment de l'épaisseur.
- Des déformations en retreint qui résultent d'un écoulement de matière sous serre-flan convergeant vers l'intérieur de la matrice et auxquelles s'associe un champ de contraintes compressives dans le plan de la tôle [11].

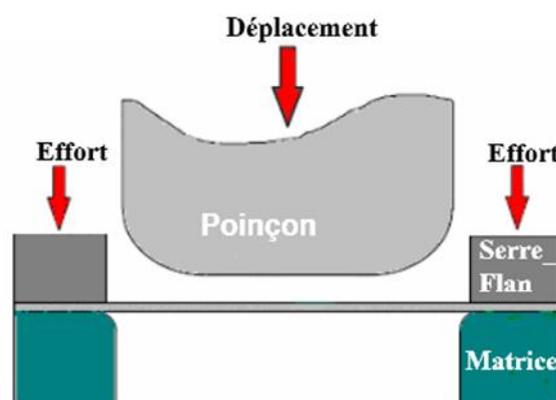


Figure I.9: Procédés d'emboutissage

### ***1.4.2.1- Emboutissage à chaud et l'emboutissage à froid :***

En fonction de la température de formage, il existe deux techniques d'emboutissage :

#### **a- L'emboutissage à froid**

Cette technique, consiste à former une pièce à température ambiante. Elle est principalement utilisée, sur un outillage avec serre-flan mais peut aussi l'être sur un outillage sans serre flan, dans le cas où les emboutis sont peu profonds, ou s'ils nécessitent peu d'effort de serrage.

Ce type de formage, permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les coûts et évite la formation d'oxyde [12].

#### **b- L'emboutissage à chaud**

Il est principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effets. Le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important dans le domaine d'application [12]. Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage de pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice). Les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont moins élevées que celles de l'emboutissage à froid du fait de l'inertie de chauffage. De plus, les pièces finies sont de moins bonnes qualités, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement

### ***1.4.2.2- Problèmes rencontrés dans les procédés de mise en forme particulièrement par emboutissage***

Les principaux problèmes rencontrés dans ce procédé sont :

- L'apparition des plis (figure **a**)
- Les déchirures dues à des conditions d'écroutissage trop importantes (figure **b**)
- Le retour élastique (figure **c**)
- L'apparition des cornes d'emboutissage (figure **d**) [11].

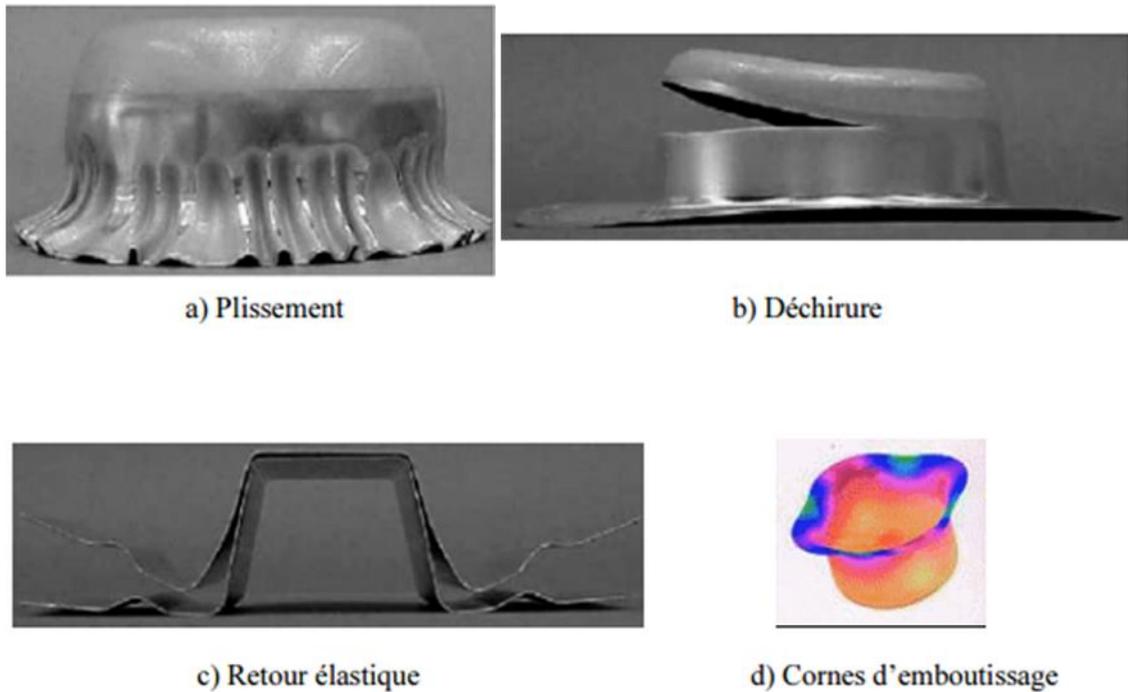
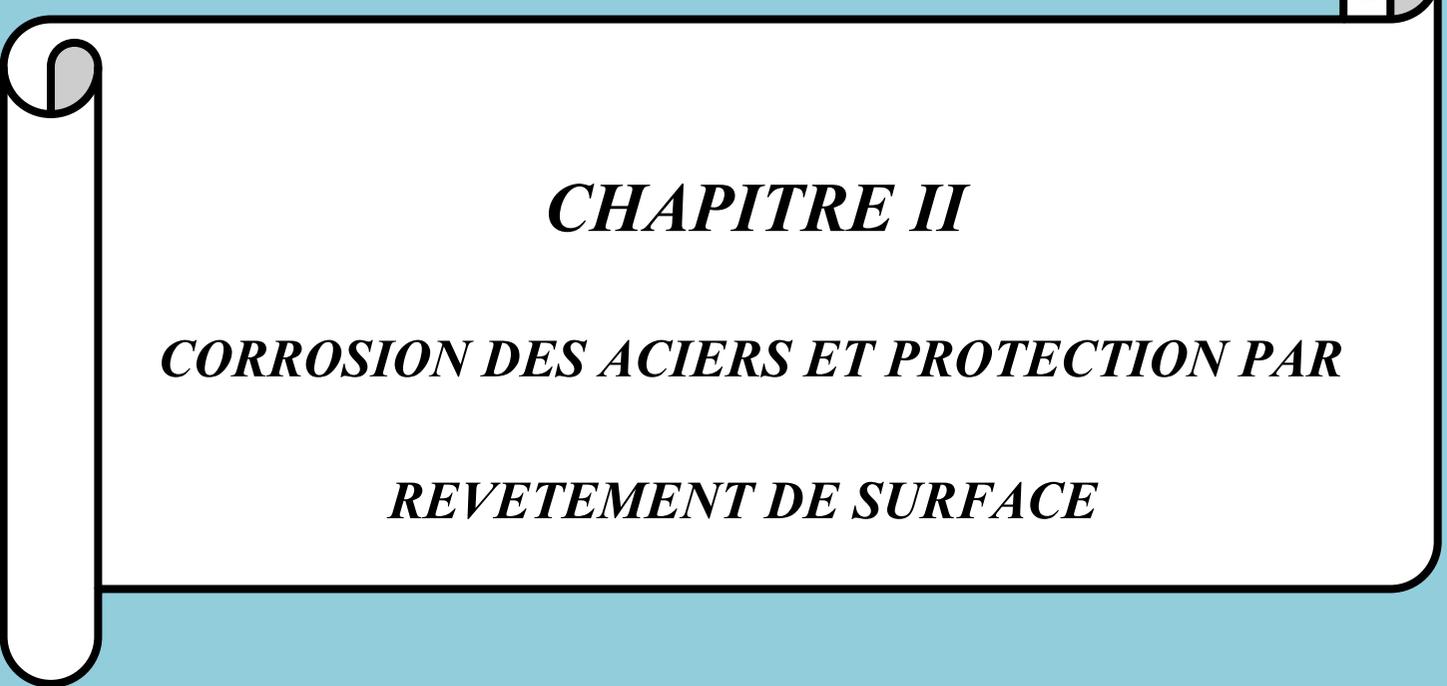


Figure I.10: *Problèmes rencontrés dans les procédés de mise en forme*

## I.5-Conclusion

Le matériau utilisé pour la réalisation des éléments muraux de la carcasse de réfrigérateur est à base d'acier. Nous nous sommes intéressées au cours de ce chapitre à la présentation générale de cette famille de matériaux et leurs principales caractéristiques. Il a été essentiellement question de leur composition chimique, les différents critères utilisés pour les classer ainsi que les méthodes de caractérisation mécanique utilisées pour les étudier. Nous avons enfin abordé les principaux modes de mise en forme des tôles qui constituent le matériau d'étude.



***CHAPITRE II***

***CORROSION DES ACIERS ET PROTECTION PAR***

***REVETEMENT DE SURFACE***

## **CORROSION DES ACIERS ET PROTECTION PAR REVETEMENT DE SURFACE**

### **II.1- Introduction**

La corrosion est la dégradation du matériau par réaction chimique ou électrochimique avec l'environnement. Le matériau subit en effet une perte de matière progressive aux points de contact avec le milieu environnant. Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible : elle détruit le matériau et réduit ses propriétés, ce qui le rend inutilisable pour une application prévue.

L'étude de la corrosion et la protection des matériaux englobe aussi les phénomènes de dégradation qui sont dus aux sollicitations mécaniques et chimiques combinées.

Parfois, selon l'utilisation, la corrosion est un phénomène souhaité. Elle réduit à leur état naturel un grand nombre de métaux et alliages abandonnés dans la nature. Certains procédés industriels font appel aussi à la corrosion. Par exemple l'anodisation de l'aluminium est une oxydation de la surface du métal pour former un film d'oxyde décoratif qui protège de la corrosion atmosphérique; le polissage chimique ou électrochimique des métaux permet par dissolution (corrosion) du métal d'obtenir une surface lisse et brillante; l'absorption de l'hydrogène par l'acier est aussi considérée comme une réaction de corrosion. C'est pourquoi, la corrosion est définie généralement comme une réaction interfaciale irréversible d'un matériau avec son environnement [13].

### **II.2- Facteurs influençant le taux de corrosion**

Puisque la corrosion résulte des interactions chimiques et/ou physiques entre le matériau et son environnement, il s'avère indispensable de mettre au point une méthodologie d'expertise des incidents de corrosion rencontrés et de prendre en compte en plus des facteurs métallurgiques du métal ou l'alliage mis en cause, les facteurs relatifs au milieu et ceux correspondants aux conditions locales d'exploitation (température, concentration en impuretés, etc.) et aussi du temps de fonctionnement puisque le temps limité des études ne permet pas toujours de bien prévoir l'attaque corrosive[13].

La résistance à la corrosion d'un matériau n'est pas une propriété intrinsèque. Elle dépend à la fois des caractéristiques du matériau et de celles du milieu. En plus de ces facteurs, les conditions d'emploi et la durée d'exploitation ont un rôle prépondérant sur les phénomènes de corrosion.

Les phénomènes de la corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs et ils peuvent être classés en quatre groupes principaux [14.]

**Le Tableau II.1 Principaux facteurs de corrosion**

Facteurs relatifs au milieu et définissant les modes d'attaque	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentration du réactif</li> <li>• Teneur en oxygène, en impuretés, en gaz dissous (CO, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S,)</li> <li>• Acidité (PH) du milieu, salinité, résistivité</li> <li>• Température, Pression</li> <li>• Présence de bactéries</li> </ul>
Facteurs métallurgiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composition de l'alliage, hétérogénéités cristallines</li> <li>• Procédés d'élaboration</li> <li>• Impuretés dans l'alliage, inclusions</li> <li>• Traitements thermiques, mécaniques</li> <li>• Additions protectrices</li> </ul>
Facteurs définissant les conditions d'emploi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etat de surface, défaut de fabrication</li> <li>• Forme de pièces</li> <li>• Sollicitations mécaniques</li> <li>• Emploi d'inhibiteurs</li> <li>• Procédés d'assemblage (couple galvaniques, soudures, ....)</li> <li>• Croûtes d'oxydes superficielles</li> <li>• Force électromotrice extérieure (électrolyse)</li> </ul>
Facteurs dépendant du temps	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vieillessement</li> <li>• Tensions mécaniques internes ou externes</li> <li>• Température- Modalité d'accès de l'oxygène ou autres gaz dissous</li> <li>• Modification des revêtements protecteurs</li> <li>• Apparition d'un dépôt (calcaire ou autre)</li> </ul>

**II.3- Processus de la corrosion**

La distinction peut être faite entre deux processus :

- **La corrosion en milieu humide ou corrosion aqueuse (électrochimique)**

Le milieu est constitué par un liquide ou par des vapeurs humides, due à l'apparition du courant électrique, résultant de l'interaction du métal avec l'électrolyte.

- **La corrosion par voie sèche (oxydation)**

Elle est généralement associée aux hautes températures, provoquées par la réaction du métal avec les gaz secs. Elle se produit sans formation du courant électrique [15].

## II.4- Formes de corrosion

La corrosion d'un matériau dépend d'une multitude de paramètres:

- De la composition chimique et microstructure du métal
- De la composition chimique de l'environnement,
- Des paramètres physiques (Température, convection, irradiation, etc.),
- Des sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottements, etc.) [13].

Il existe différents types de corrosion :

### II.4.1- La corrosion uniforme (généralisée)

Cette forme de corrosion est la plus courante. Elle résulte de l'exposition de l'acier au milieu acide provoqué par la présence d'agents agressifs. La perte de matière se produit de manière uniforme sur toute la surface.

Elle se manifeste avec la même vitesse en tous les points du métal entraînant une diminution régulière de l'épaisseur de celui-ci ou simplement un changement de coloration (ternissement) [16].



Fig. II.1: Exemple de corrosion généralisée

### II.4.2- Les corrosions localisées

Cette forme de corrosion inclut les piqûres de corrosion et l'aération différentielle. Contrairement à la corrosion généralisée, la corrosion localisée peut provoquer des dégâts catastrophiques bien que la perte de matière soit minime. De ce fait, cette forme de corrosion ne peut être convenablement évaluée par le calcul de son taux de corrosion. En effet, à la différence de la situation précédente ces formes de corrosion n'intéressent que certains sites de la surface [17].

### II.4.3- Corrosion galvanique

La corrosion galvanique survient lorsque deux métaux dont le potentiel de corrosion sont différents restent en contact en présence d'un électrolyte, alors se forme une pile de corrosion[16]. Le métal dont le potentiel de corrosion est le plus faible (anodique) va se consommer préférentiellement, protégeant ainsi le métal (cathodique)



Fig. II.2: Exemple de corrosion galvanique

### II.4.4- Corrosion par piqûres

La piqûration est une autre forme de corrosion très localisée qui se manifeste par de petites piqûres ou de petites cavités sur le métal. Elle s'amorce habituellement sur la partie supérieure d'une surface horizontale et se propage presque verticalement vers le bas. Cette forme de corrosion est extrêmement insidieuse puisqu'elle peut passer inaperçue et ne causer qu'une très faible perte de matériau avant que ne survienne la défaillance. Le mécanisme de la piqûration est probablement le même que celui de la corrosion caverneuse, car l'oxydation se produit dans la cavité elle-même et est assortie d'une réduction complémentaire à la surface. On suppose que la gravité favorise la croissance des piqûres vers le bas et que la solution à la pointe de la piqûre devient de plus en plus concentrée et dense à mesure que la piqûre s'étend. Celle-ci s'amorce souvent sur un défaut de surface localisé telle qu'une rayure ou une légère variation de composition. De fait, on a constaté que les échantillons à surface polie résistaient mieux à la piqûration. Les aciers inoxydables sont quelque peu sujets à cette forme de corrosion, mais l'ajout d'environ 2% de molybdène en accroît beaucoup la résistance. (Figure II-3) [3].



Fig. II.3- : Exemple de Corrosion par Piqûres

#### II.4.5- Corrosion caverneuse (par crevasses)

Cette forme de corrosion porte parfois le nom de corrosion interstitielle. Elle apparaît dans toutes les zones de confinement, les recoins de structure, les contacts entre pièces mal ajustées, sous joints. Elle se caractérise par la dissolution très rapide de la zone confinée, précédée d'un temps d'incubation plus ou moins long pendant lequel le métal ne subit aucun dommage.

Cette corrosion peut apparaître même pour des concentrations faibles en ions  $\text{Cl}^-$  et à la température ambiante. Elle est accélérée par l'élévation de la température et l'augmentation de la teneur en ions  $\text{Cl}^-$  [17].

Les trois étapes caractéristiques de la corrosion caverneuse sont :

- **La période d'incubation** : pendant laquelle aucune altération du matériau n'est observable.
- **La période d'amorçage** : pendant laquelle le matériau va se corroder rapidement à l'intérieur de la crevasse.
- **La période de propagation** : pendant laquelle la corrosion va se développer jusqu'à l'entrée de la caverne, elle est le signe d'une ruine prochaine du matériau et donc de l'appareil ou de l'installation (Figure 2-2)

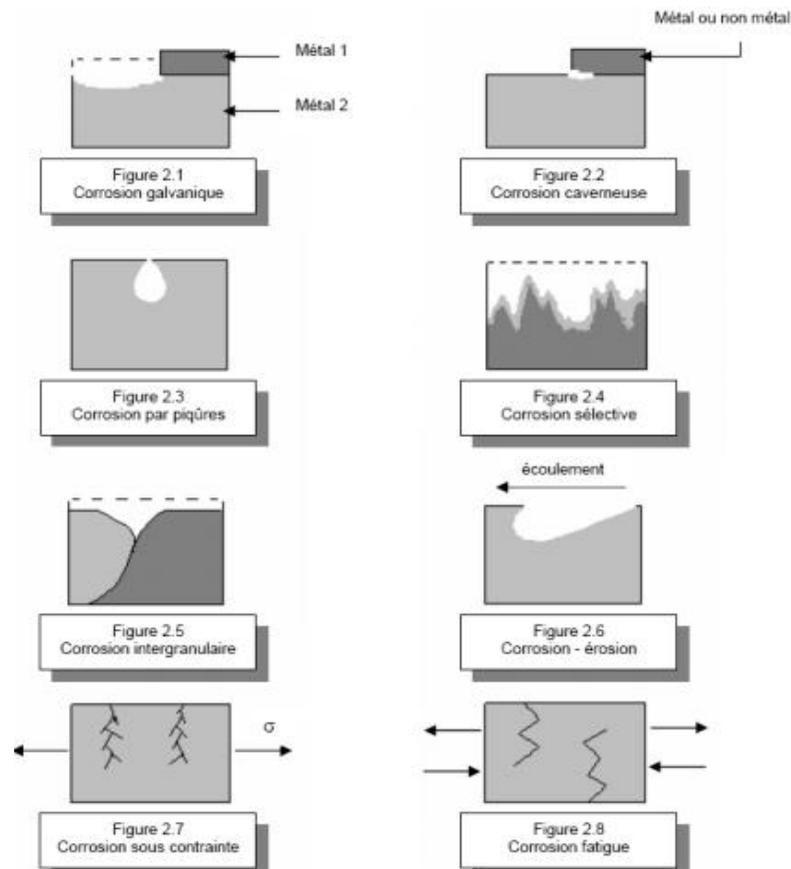


Figure II.4 : Différents types de corrosion localisée

#### II.4.6- Corrosion par fatigue

La corrosion par fatigue est observée lorsque l'effet est alterné, par conséquent l'attaque est en général transgranulaire (figure 2-8).

#### II.4.7- Corrosion intergranulaire

La structure métallurgique des métaux et de ses propriétés influent sur la corrosion. La corrosion intergranulaire, comme son nom l'indique, se manifeste par une attaque préférentielle aux joints de grains du métal. Elle est généralement liée à une modification locale de la composition (teneur différente en éléments d'alliage, précipités...). Cette forme d'attaque peut conduire à la ruine d'une installation avec une perte de métal relativement faible. De plus, sa mise en évidence par contrôle non destructif est parfois difficile (Figure 2-5)[18].

#### II.4.8- Corrosion fissurant sous contrainte

Ce type de corrosion conduit à une fissuration du métal résultant de l'action combinée d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. C'est la forme la plus grave de corrosion car le métal peut être soumis à une dégradation rapide sans manifestation extérieure visible, c'est-à-dire sans formation de produits de corrosion, ni de variation de poids. La corrosion fissurante sous contraintes se produit le plus souvent dans des milieux

fragilisant : fragilisation caustique (avec ou sans contrainte) ou fragilisation acide par l'hydrogène. (Figure 2-7)[17].

#### II.4.9- Corrosion sélective

Dans laquelle un ou plusieurs éléments d'alliages se dissolvent de façon préférentielle. Il en résulte la formation de couches poreuses constituées des éléments d'alliages non dissous. Cette corrosion ne se produit que si la teneur en éléments préférentiellement solubles dépasse un seuil. Le cas le plus connu est la dézincification des laitons (figure 2-4) [18].

#### II.4.10- Corrosion érosion

La corrosion érosion est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a souvent lieu sur des matériaux exposés à l'écoulement rapide d'un fluide. (Figure 2-6) [13].

#### II.4.11-Corrosion bactérienne

La corrosion bactérienne est causée par des organismes vivants déposés sur une surface métallique qui peuvent modifier localement les milieux et les rendre très agressifs.

### II.5- Méthodes d'étude de la corrosion

La corrosion dépend d'un système extrêmement complexe dont les effets se manifestent en pratique et sous une multitude d'aspects parfois inattendus. Dans tous les cas, pour connaître le type de corrosion auquel on se trouve confronté, il est nécessaire de faire appel en plus à des méthodes gravimétriques et électrochimiques, aux techniques d'analyse de surfaces tels que les techniques optiques (loupe, microscope optique, etc.), techniques de microscopie électronique (microscope électronique à balayage « MEB » ou à transmission « MET »), ESCA, Spectroscopie Auger, Spectroscopie des ions secondaires SIMS et aux techniques d'analyse de volume (diffraction des rayons X, Spectroscopie d'absorption atomique, Spectroscopie d'absorption X « EXAFS » ; etc.).[13]

### II.6- Lutte contre la corrosion

Pour lutter contre la corrosion, il ne suffit pas de choisir un matériau qui résiste bien à un certain milieu, il faut également penser à toutes les interactions électrochimiques, mécaniques et physiques prévisibles qui pourraient influencer le comportement du système métal/milieu. Ainsi, en plus des mesures de prévention permettant d'éviter de nombreux problèmes de corrosion (choix judicieux des matériaux et de la forme des pièces qu'on veut obtenir, etc.), il existe des méthodes de protection (revêtements, inhibiteurs, etc.) qui demandent en général des connaissances plus spécifiques et amènent des frais supplémentaires [13].

Les procédés utilisés pour éviter ou ralentir la corrosion sont les suivants :

**a- Actions sur le matériau**

- Ajuster la composition d'un matériau non seulement en termes d'éléments majeurs mais aussi d'éléments mineurs, par adjonction d'éléments d'alliage dans l'acier tels que chrome, nickel, aluminium, cuivre, etc. qui ont comme propriété de modifier les caractéristiques physico-chimiques de la surface de l'acier.
- Choisir les combinaisons de métaux aussi voisines que possible dans la série galvanique.
- Isoler les métaux différents partout où cela est réalisable, on utilise des rondelles de bakélite sous la tête du boulon et sous l'écrou.
- Dans les aciers inoxydables, on utilise le traitement par chauffage à haute température après soudure et l'abaissement de la teneur en carbone de l'alliage ( $< 0.03\%$ ).
- Utiliser le traitement thermique de relaxation des contraintes pour abaisser les tensions à des niveaux qui ne soient pas nuisibles. Pour les aciers au carbone, un chauffage variant entre  $600$  à  $650^{\circ}\text{C}$  réduira les tensions à de faibles valeurs.
- Protection par recouvrement de la surface à l'aide d'un revêtement afin de l'isoler du milieu extérieur agressif : revêtement organique (peinture, vernis, etc.) ou revêtements (galvanisation, zinc électrolytique, etc.), moyen utilisé pour nos tôles.
- Protection cathodique : elle consiste à abaisser la tension métal-milieu de manière à l'amener dans sa zone d'immunité. Deux possibilités sont pratiquement utilisées :
  - Protection cathodique par courant imposé utilisant un générateur extérieur de force électromotrice (f.e.m) réglable et une anode auxiliaire.
  - Protection cathodique par une anode sacrificielle : dans ce cas, la f.e.m nécessaire est obtenue à partir de la différence entre la tension moyenne du couple de corrosion et la tension (plus négative) d'une anode dite sacrificielle.
- Protection anodique : elle consiste à élever la tension métal-milieu et l'amener dans sa zone de passivation.

On distingue deux techniques :

- L'emploi de cathodes statiques convenablement réparties sur la structure à protéger qui est constituée par des métaux plus nobles.
- L'emploi d'un potentiostat qui amène la tension de la structure au dessus de la tension de flade.

**II.7- Traitements de surface**

La surface des matériaux peut posséder un ensemble de caractéristiques physiques (dureté, pouvoir réfléchissant, etc.), chimiques ou électriques (résistivité, potentiel, etc.).

Ces caractéristiques peuvent être modifiées par une opération dite traitement de surface, qui peut intervenir dans une phase intermédiaire (25% des cas) ou finale (75% des cas) de l'élaboration du produit.

### II.7.1- Définition d'un traitement de surface

Le traitement de surface a pour but de modifier, transformer la surface de la pièce dans l'optique et de lui conférer de nouvelles propriétés telles que, par exemples, résistance à la corrosion, à l'usure ou modification de l'aspect apparent. La figure(II.5) montre la part importante des traitements anticorrosion (45%) et anti-usure (24%). Cette activité ayant des applications très diversifiées. De nombreux industriels l'utilisent dans leur procédé de fabrication. Le traitement de surface intervient principalement dans les secteurs de l'automobile, des télécommunications, de l'électronique, articles ménagers (réfrigérateur, cuisinière...), de l'aérospatiale et de la bijouterie ou de la quincaillerie [20].

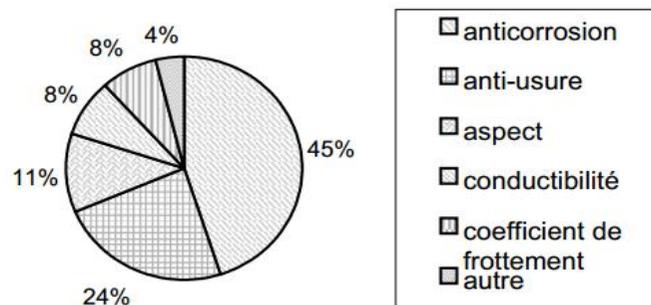


Figure II.5 : Répartition suivant la fonction d'utilisation

### II.7.2- Les objectifs du traitement de surface

Le traitement de surface peut être défini comme une opération ou plutôt comme un ensemble d'opérations sur un métal dans le but obtenir les trois finalités suivantes :

- Une surface propre : dite propre lorsque tout ou partie des contaminants indésirables comme les huiles, les graisses et encore les oxydes métalliques auront été éliminés en vue de satisfaire certaines exigences et rendre le matériau métallique apte à l'application et au traitement visé.
- Une surface protectrice vis-à-vis du milieu extérieur car les aciers en général, sont sujets aux phénomènes d'oxydation et de corrosion, il faut donc préserver le métal des altérations susceptibles de se produire à tout moment.
- Une surface homogène pour qu'elle reçoive le revêtement de finition qui lui est destiné (une peinture le plus souvent).

Très sommairement, nous pourrions résumer ces principes de base en disant que c'est la qualité du support qui fait la qualité de surface [21].

Avant la réalisation d'un traitement superficiel ou d'un revêtement, la surface d'un matériau métallique doit être préparée et conditionnée, car c'est la première étape essentielle pour l'obtention d'un traitement de qualité. Une mauvaise préparation de surface est en effet dans la plupart des cas à l'origine d'un traitement de surface défaillant.

### II.7.3- Principales opérations de préparation de surface

Les principaux procédés de traitements effectués au niveau des chaînes de traitement de surface dans les ateliers peuvent être classés en deux catégories.

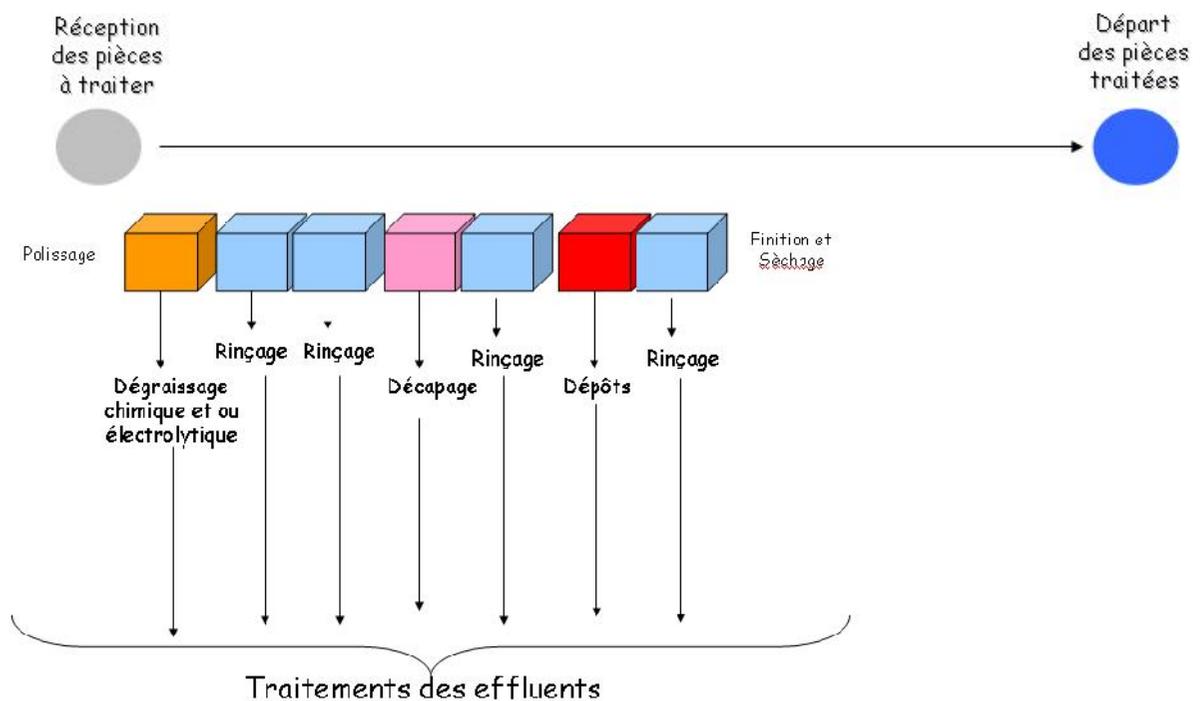


Figure II.6 Représentation du procédé de traitement de surface.

#### II.7.3.1-Différentes techniques de nettoyage et de mise à vif de la surface

##### - Le dégraissage :

Cette étape consiste à dégraisser le métal. Elle a pour but d'éliminer les graisses, les huiles superficielles et ainsi que les polluants solides tels que les fines métalliques et les poussières en évitant toute attaque du matériau métallique. Il s'agit d'un traitement chimique ou électrochimique qui doit rendre la surface physiquement propre afin d'assurer le bon déroulement des opérations ultérieures et de garantir la qualité du produit fini. Un mauvais dégraissage ne peut jamais être récupéré dans la suite du procédé quelque soient l'art et l'expérience que pourra avoir le manipulateur.

Dans la pratique, l'opération de dégraissage est subdivisée en deux grandes classes :

- Un pré-dégraissage aux solvants ou produits lessiviels, qui contribuent à éliminer l'essentiel des polluants organiques.
- Un dégraissage chimique réalisé en milieu aqueux avec une finition souvent électrolytique, qui contribue à la destruction des résidus de corps gras de faible épaisseur.

### - Le décapage

Ce procédé a pour but d'éliminer les produits adhérents au métal tels que les oxydes qui sont issus des traitements thermomécanique consécutifs à des phénomènes de corrosion et les incrustations de corps étrangers comme les particules de sable pour pièces fonderie et substances d'origine métallique, en évitant tout risque d'agression ou attaque de substrat. La diversité des métaux et de leurs oxydes, ainsi que la multiplicité des procédés de décapage, chimique ou mécaniques montrent qu'il existe non pas un procédé de décapage qui ont chacun leur spécificité selon le métal décapé et le moyen utilisé, les méthodes utilisées sont :

- Le décapage chimique visant à mettre en solution les substances à éliminer.
- Le décapage électrolytique ayant le même but, mais avec un effet supplémentaire mécanique lié au dégagement gazeux.
- Le décapage mécanique proprement dit par projection d'abrasifs secs, ou en milieu aqueux.
- Le décapage laser pour impulsions photoniques de très courtes durées et de très fortes puissances.
- Le décapage par plasma qui utilise essentiellement la fonction pulvérisation par bombardement d'ions.

### *II.7.3.2- Techniques qui améliorent l'aspect*

#### - Le polissage

Le polissage a pour but d'éliminer les imperfections géométriques. Il est difficile de l'intégrer en tant que tel dans le traitement de surface car il se fait plutôt en dérivation, il a généralement lieu après le décapage. Cette opération est conduite par abrasion fine, dissolution chimique ou électrochimique, sa finalité est d'apporter au métal un produit fini plus soigné en termes de brillant et d'adhérence. Très grossièrement, il est d'usage de considérer trois sortes de polissages : mécanique, chimique et électrolytique.

Toutes ces opérations sont suivies par :

#### a- Le lavage

Le lavage a pour but d'éliminer les éléments solubles ou les particules peu adhérentes de la surface, ainsi que les produits qui restent piégés par capillarité dans certaines zones

difficiles à atteindre (trous borgnes, pli de soudage). Cette opération évite le transfert de matière et les risques de corrosion lors des traitements ultérieurs et même en service. Cette opération doit être réalisée dans la mesure du possible en eau déminéralisée avec un séchage dans les délais les plus brefs, de préférence à l'air chaud.

#### **b- Le rinçage**

C'est une opération qui se fait pour minimiser l'apport de substances étrangères susceptibles de provoquer des gravités dans les stades ultérieurs et d'éviter les taches sur les pièces, évacuer le film liquide restant à la surface des pièces qui empêcherait leur traitement dans le bain actif suivant, après tout bain actif, il faut rincer et bien rincer.

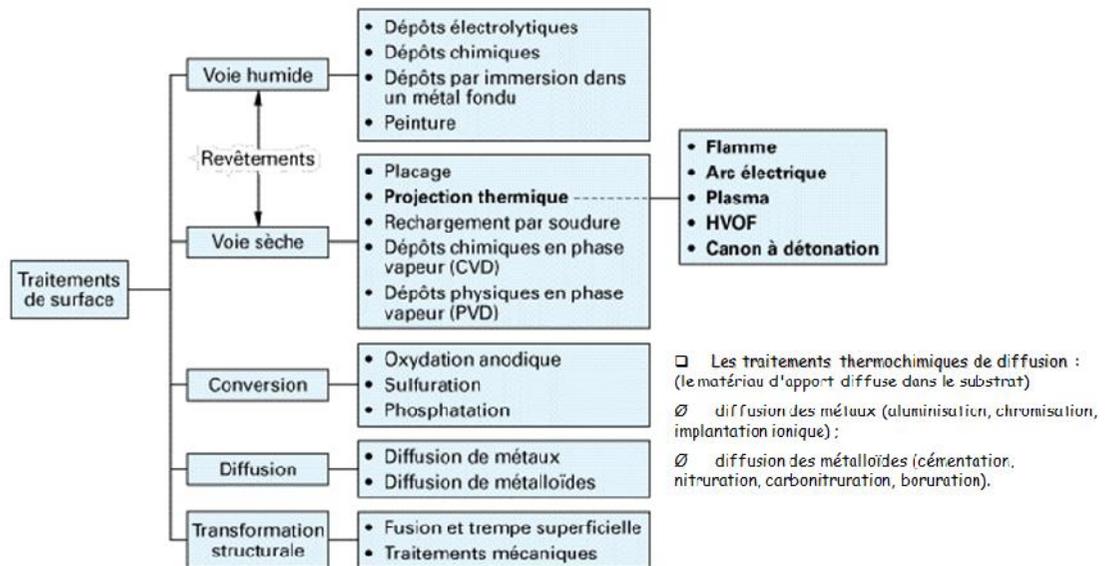
#### **c- Le dégazage**

Le dégazage a pour but d'éliminer les gaz absorbés ou dissous dans un matériau métallique, ainsi que les produits de distillation des contaminants organiques résiduels.

Ces gaz sont susceptibles de se dégager lors d'un traitement thermique sous pression réduite en provoquant des décollements de couches ou une diminution des caractéristiques de ductilité du substrat. Il s'agit en général d'opérations d'étuvage ou de traitement sous vide (en dessous de  $10^{-1}$ Pa) dont la température et la durée sont adoptées à la nature du matériau métallique [2].

### **II.7.4- Différents types de traitements de surface**

Il existe de nombreuses façons de classer les traitements de surface, soit par procédés (dépôts électrolytiques ou chimique, dépôts physiques, traitement de diffusion, de conversion ou de transformation structurale, projection thermique, rechargement.), soit par fonction (anticorrosion, décoration, anti usure, isolation thermique ...), soit éventuellement par le secteur d'application (transport, énergie, mécanique, bâtiment...). Comme tenu de la diversité des techniques, tout système de classification est nécessairement réducteur. La manière la plus traditionnelle de classe des traitements de surface, est de se placer du côté du substrat métallique et de différencier les mécanismes d'édification des couches selon le résultat métallurgique. On distingue ainsi selon ces critères quatre filières [2] :



- Les transformations structurales : (modification de la structure métallurgique du substrat).  
fusion et trempe superficielle (induction et chalumeau, laser, bombardement électronique) ;  
traitement mécanique (durcissement par choc : grenailage de précontrainte ou martelage).

Figure II.7 : Type des traitements de surface

### - Transformation structurale d'origine mécanique

Sont classés dans cette catégorie les traitements comme le grenailage, le galetage et le choc laser. L'érouissage obtenu par ces différents procédés entraîne une consolidation superficielle du matériau ou de transformation structurale de type martensitique, avec présence de contraintes résiduelles de compression. Il s'agit dans ce cas, d'améliorer les propriétés fonctionnelles de tenue à la fatigue dans la masse et à la fatigue superficielle (cas des aciers au carbone et des alliages de titane). Il peut s'agir aussi d'améliorer la tenue à la corrosion sous contraintes (cas des aciers inoxydables et des alliages de base de nickel ou cobalt).

Les applications sont essentiellement d'ordre mécanique, notamment dans l'industrie des transports pour les pièces fortement sollicitées dans la transmission de puissance (utilisation du galetage et du grenailage). On trouve également des applications de cette filière dans la production d'énergie et l'industrie chimique (acier inoxydable).

### - Transformation structurale d'origine thermique

Les traitements d'origine thermique sont le résultat d'un apport superficiel d'énergie avec différentes techniques comme le chalumeau oxyacétylénique, l'induction magnétique, le laser et le faisceau d'électrons. Ces traitements ont l'avantage de réduire les déformations induites par traitements thermiques dans la masse, de diminuer la consommation d'énergie et d'avoir un matériau tenace à cœur et aussi dur que possible en surface. Ces traitements

sont appliqués essentiellement sur les aciers au carbone par utilisation des capacités de durcissement de la trempe martensitique.

Les applications se situent au niveau de l'industrie automobile pour la transmission de puissance, de la métallurgie et de la mécanique pour les pièces d'usure.

### **- Traitement par diffusion**

Dans cette filière, le matériau d'apport est un metalloïde ou un métal avec comme finalité dans le premier cas, d'améliorer une tenue à la fatigue et éventuellement la résistance à l'usure. Dans le second cas, c'est d'améliorer la résistance à la corrosion ou à l'oxydation. On trouvera également dans cette filière, les traitements d'implantation et de mélange ionique qui sont résultats d'un procédé physique de diffusion.

### **- Traitement par diffusion de metalloïdes**

On regroupe dans ce domaine tous les procédés de traitement thermochimique tels que cémentation, nitruration, oxydation et les procédés mixtes tels que carbonituration et oxynitruration. Ces derniers sont actuellement en plein essor notamment dans la mécanique et l'industrie automobile. Le domaine des traitements thermochimiques est largement utilisé dans l'industrie de la mécanique et notamment l'industrie des transports pour les pièces fortement sollicitées dans la transmission de puissance, ainsi que dans le domaine de l'outillage sollicité également sur le plan mécanique avec les facteurs thermique et physicochimique. Il s'agit dans tous les cas d'améliorer les propriétés fonctionnelles de tenue à la fatigue sous toutes ces formes (dans la masse, thermique, superficielle).

### **- Traitement par diffusion de métaux**

On regroupe dans ce domaine, les traitements de diffusion des métaux chrome ou l'aluminium pour améliorer la résistance à la corrosion et à l'oxydation des aciers et des alliages à base de nickel (cas de l'aluminisation) ou la résistance à l'action conjointe de la corrosion et de l'usure (cas de chromisation). Il existe aussi des traitements mixtes de chromaluminisation pour améliorer encore la résistance à l'oxydation notamment des alliages à base nickel. Ces traitements sont déjà relativement anciens, car ils utilisent des techniques d'apport métallique par emploi de ciments solides. Ils sont d'une large diffusion dans l'industrie aéronautique et la mécanique.

### **- Traitement par implantation et mélange ionique**

On regroupe dans ce domaine, les traitements par faisceaux d'énergie selon lesquels des ions sélectionnés sont accélérés sous très basse pression résiduelle à des niveaux d'énergie de l'ordre de centaine de KV. Ils s'implantent au sens strict du terme dans la surface des métaux avec modification de certaines propriétés fonctionnelles, comme la résistance aux frottements ou la tenue à la corrosion, selon la nature des espèces implantées. Utilisées depuis des décennies dans le domaine des semi-conducteurs, les applications en

métallurgie se sont développées dans les années 80 avec comme principaux domaines de la mécanique des biomatériaux, la transmission de puissance (roulement) et l'outillage (moule pour plasturgie).

### - Traitement de conversion (chimique)

Il s'agit d'une filière de traitement pour laquelle le métal d'apport réagit superficiellement avec le substrat pour conduire à une modification structurale. Ces traitements sont le résultat d'une attaque chimique sur la surface du métal d'apport [2,3].

- **La chromatisation**

Elle consiste à former sur une surface métallique une couche protectrice de chromates complexes par attaque d'une solution acide contenant des dichromates et des activateurs minéraux. Ce traitement s'applique aux aciers, alliage d'aluminium et de zinc.

- **L'oxalation**

L'oxalation est utilisée sur les aciers inoxydables et acier réfractaires pour améliorer la mouillabilité des liquides et donc l'adhérence des lubrifiants afin de faciliter la mise en forme à froid de ces matériaux.

- **La phosphatation**

Sous l'appellation « parkérisation », la phosphatation vit ses premières appellations industrielles en France en 1927 pour la protection contre la corrosion dans l'industrie (automobiles, électroménager, machines agricoles, mobilier métallique, etc.). La décennie d'après vit d'autres applications industrielles, notamment en Allemagne pour faciliter la déformation à froid des aciers. C'est vers 1950, qu'apparut la phosphatation au fer dite « amorphe » pour faciliter l'accrochage des traitements de surface revêtements organiques, et reste très utilisée de par sa simplicité de mise en œuvre (dégraissage-phosphatation par aspersion en tunnel à trois étages) et son faible prix de revient. Les perfectionnements apportés depuis, ont permis de réduire les temps de traitement et d'élargir l'éventail des couples proposés. Les aciers aptes à la phosphatation sont les aciers d'usage général, et de construction mécanique. L'élément le plus gênant est le chrome et les aciers contenant plus de 4% de ces éléments qui sont très difficiles à phosphater. C'est le cas des aciers de nitruration de type 30CrMoV12 ou des aciers pour moules et outils contenant 5% Cr et bien entendu des aciers inoxydables martensitiques. Elle ne conduit qu'à des couches très minces (de 0,3 à 1 g/m<sup>2</sup>), de teinte irisée par effets d'interférences de la lumière (bleutée violacée à grisâtre), mais elle n'a sa pleine efficacité que dans la technique de l'aspersion. Dans le cas de l'immersion, il faut généralement procéder à un dégraissage préalable [3,4].

- **La passivité**

La passivité constitue la base du mécanisme de résistance à la corrosion des aciers inoxydables. Elle se caractérise par la présence d'un film appelé passif ou couche passive, dont l'épaisseur est en général de l'ordre de quelques nanomètres (1 à 3nm), constitué

d'oxydes et/ ou d'hydroxydes métalliques d'aspect semi- conducteur. Leur structure et leur composition sont souvent mal connues car leur faible épaisseur rend leur analyse difficile. De plus, elles dépendent souvent de façon très importante des conditions de passivation et de l'état de surface du matériau. Le film passif, fortement adhérent au substrat métallique, empêche ou rend insignifiant le contact entre l'alliage et les agents plus ou moins agressifs du milieu.

La stabilité d'un film passif traduit les propriétés de résistance à la corrosion d'un alliage. La capacité de résistance est liée à la structure et à la composition de ce film [18].

### II.7.5-Procédé de phosphatation

La phosphatation est un procédé de conversion chimique qui consiste à transformer la surface de certains métaux (acier, fonte, zinc, aluminium, titane) en phosphate métallique stable et insoluble. Cette couche est encreée dans le métal et confère à celui-ci différentes caractéristiques. Les propriétés des couches de phosphate sont améliorées par :

- L'utilisation de peinture anticorrosion
- L'utilisation de passivation chromique ou alcaline

### II.7.6- Objectifs d'utilisation de la phosphatation

- Protection contre la corrosion, dans ce cas un huilage des pièces est nécessaire (phosphatation grasse) ;
- Protection temporaire: stockage longue durée ou intermédiaire entre 2 opérations ;
- Base d'adhérence : peintures, colles ;
- Diminuer ou augmenter la résistance électrique superficielle ;
- Diminuer le coefficient de frottement sous lubrification ;
- Propriétés optiques: antireflet.

## Tableau II.2. Principaux traitements chimiques et leurs applications [16]

<b>Chromatations:</b> Mordançage	Zinc et cadmium, cuivre et alliages, aluminium, magnésium et alliages	Sans finition, verni ou peint, anticorrosion
Conversion, activation.	Titane	Base de dépôt électrochimique ou lubrifié pour antigrippale
<b>Phosphatations</b> Au fer (amorphe, alcaline) Au zinc, Zn/Mn, Zn/Ca, Zn/Ni	Fer, zinc, aluminium	Sans finition en base d'adhérence et isolement électrique au zinc, Zn/Mn, Zn/Ca, Zn/Ni Huilé, verni, peint en anticorrosion
Au manganèse	Fer	Lubrifié pour frottement et déformation à froid
Au calcium	Fer	Isolement électrique
Au chrome	Aluminium	Décoration, base de peinture
<b>Oxalatation</b>	Acier inoxydable	Lubrifié pour frottement et déformation à froid
<b>Dépôts par déplacement</b> Cuivrage	Cu/Fe	Sans finition en tréfilage, base de traçage en chaudronnerie
Nickel DIP	Ni/Fe Sn/Cu	Sans finition, base d'émaillage Décoration

## II.7.7- Description d'un atelier de traitement de surface

### II.7.7.1- Structure d'un atelier de traitement de surface

Les ateliers de traitement de surface sont composés de suites de cuves formant des chaînes de production (Figure II.8). Les cuves correspondent soit à des bains de traitement soit à des bains de rinçage. Les pièces subissent donc une succession de trempages dans des bains de traitement et des bains de rinçage afin de subir le traitement désiré. L'enchaînement nécessaire au traitement complet d'une pièce constitue une gamme de production [20].

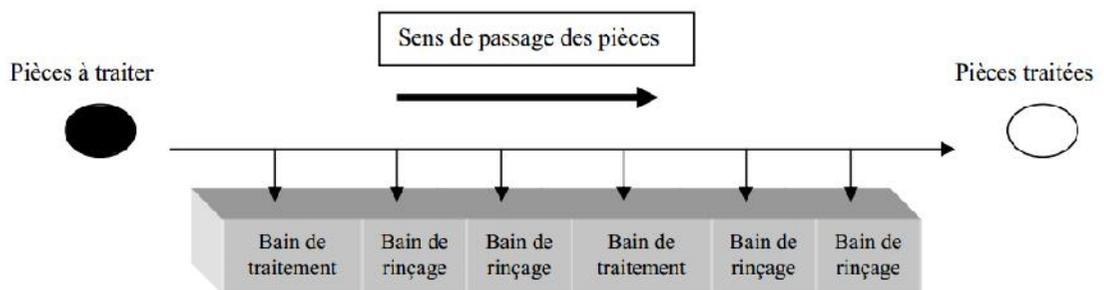


Figure II .8 : Structure générale d'une chaîne de traitement de surface

Le passage d'un bain à un autre s'effectue à l'aide de différents systèmes de manipulation :

- Le cadre, support sur lequel les pièces sont suspendues. Il est surtout utilisé pour les pièces volumineuses et/ou fragiles.
- Le tonneau, récipient souvent octogonal fermé est mis en rotation. Il est surtout utilisé pour des pièces de petite ou de moyenne taille supportant les frottements dus aux brassages.
- Le panier, récipient clos qui passe d'un bain à un autre sans rotation. Il est utilisé pour des pièces de petite ou de moyenne taille supportant les frottements (mouvement possible).

Ces systèmes sont manipulés soit manuellement, soit à l'aide de portants guidés automatiquement qui descendent et remontent les pièces des bains puis les font passer d'un bain à un autre.

### II.7.7.2- Bains de traitement

Les bains de traitement permettent de modifier l'état de surface de la pièce par action de différents réactifs en phase aqueuse. Un atelier de traitement de surface est souvent composé de plusieurs types de bains de traitements qui permettent une transformation complète de la pièce. Nous distinguons les opérations éliminant les éléments gênants et des opérations ajoutant des éléments spécifiques, les premières précédant généralement les secondes, constituent des opérations de préparation de surface, les deuxièmes sont essentiellement des opérations de dépôts ou de conversion dans le but de communiquer à la pièce des fonctions qu'elle ne possède pas spontanément.

Les différents procédés de traitement regroupent les activités synthétisées dans le tableau II.3 :

**Tableau II.3 : Récapitulatif des différents bains de traitement**

Classe de traitement	Type de traitement	Propriétés-Description
Prétraitements et intertraitements (comprennent toutes les activités d'enlèvements chimiques,	Dégraissage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de nettoyer la pièce de toutes traces de graisse ou d'huile afin de la préparer au revêtement suivant</li> <li>• Agit à l'aide de solvants organiques ou aqueux</li> <li>• Dégraissage électrolytique, chimique ou par ultrasons</li> </ul>
	Décapage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agit par dissolution chimique de la surface de la pièce métallique</li> </ul>

électrochimiques ou mécaniques de la matière)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agit à l'aide d'acides chlorhydrique, sulfurique, nitrique, phosphorique ou fluorhydrique</li> </ul>
	Démetallisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet d'éliminer la couche superficielle de métal sur la pièce</li> <li>• Traitement chimique ou électrolytique</li> </ul>
	Neutralisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de stopper la réaction chimique après traitement</li> <li>• S'effectue en milieu acide ou basique</li> </ul>
Revêtements de surface	Argenture, dorure, cadmiage, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtements chimiques par utilisation de solutions métalliques acides ou basiques</li> <li>• Revêtement électrolytiques par réactions de réduction d'un cation métallique <math>M^{2+} + Z e^{-} \rightarrow M</math></li> </ul>
Traitement de conversion	Anodisation, phosphatation, cémentation, nitruration, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agit sur la modification physico-chimique de la couche superficielle de la pièce</li> <li>• Traitements électrolytique, chimique thermochimique ou thermique</li> </ul>

### II.7.7.3- Bains de rinçage

Les bains de rinçage ont différents objectifs:

- Rendre la surface de la pièce propre et apte à être traitée par les produits chimiques de l'opération suivante,
- Diluer le film de liquide polluant entourant la pièce après un bain de traitement afin de limiter la pollution du bain suivant par des produits incompatibles en provenance du bain précédent,
- Arrêter l'effet chimique des produits sur la surface de la pièce afin de rendre la pièce manipulable [20].

Les différents types de rinçage et ses propriétés sont récapitulés dans le Tableau II.4 :

Tableau II.4 : Récapitulatif des différents types de rinçage

Classes de rinçage	Types de rinçage	Propriétés
Rinçage par immersion	Rinçage statique ou rinçage mort	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuve sans alimentation continue en eau propre</li> <li>• Vidanges périodiques</li> <li>• Permet de réduire les pertes par entraînement</li> </ul>
	Rinçage éco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Généralement jamais vidangé</li> <li>• Utilisé avant et après le bain de traitement</li> <li>• Permet de stabiliser la concentration dans les bains de rinçage et de diminuer fortement les entraînements de polluants</li> </ul>
	Rinçage statique de compensation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Placé à la suite d'un bain de traitement chaud, il permet de compenser les pertes par évaporation de ce dernier</li> </ul>
	Rinçage courant simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuve alimentée en continu en eau propre</li> </ul>
	Rinçage courant parallèle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Association de plusieurs rinçages courant simples</li> <li>• Alimentation en eau individuelle</li> </ul>
	Rinçage cascade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circulation de la pièce à contre courant par rapport à l'eau</li> </ul>
Rinçage par aspersion		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Type douchette ou spray</li> <li>• Utilisé seul ou combiné à un autre type de rinçage</li> </ul>

## II.8- Les revêtements

### II.8.1- Définition d'un revêtement de surface

Les revêtements utilisables pour protéger les surfaces métalliques contre la corrosion sont de plus en plus nombreux, notamment du fait du développement de nombreuses méthodes physiques et chimiques de dépôt. Les principaux types de revêtements sont les suivants :

- Des couches de conversion,
- Les revêtements métalliques,
- Les revêtements minéraux tels que l'émail et les dépôts de céramique,

- Les revêtements organiques parmi lesquels on trouve les peintures qui feront l'objet de notre travail.

### II.8.2- Couches de conversion

Ce sont des couches superficielles protectrices obtenues par modification superficielle de la structure du matériau :

- La phosphatation des aciers est obtenue par immersion dans des solutions de phosphate de zinc ou de manganèse. Des couches de phosphatation minces (quelques  $\text{g/m}^2$ ) sont utilisées en sous couches pour la protection de la surface et l'accrochage des peintures ; des couches épaisses ( $\approx 10$  à  $40 \text{ g/m}^2$ ) peuvent assurer la protection contre la rouille ;
- La chromatisation est obtenue par immersion dans une solution de bichromates avec ou sans passage de courant. Elle forme une couche protectrice contenant des oxydes de chrome et du métal de base. Elle s'applique parfois après une phosphatation. La chromatisation est utilisée avant peinture sur les tôles automobiles ou avant étamage sur le fer blanc. Son champ d'application principal est constitué par le zinc, l'aluminium et le cadmium ;
- L'anodisation, principalement des alliages d'aluminium, mais aussi de titane consiste à faire croître une couche d'oxyde épaisse et adhérente, par application d'un potentiel anodique élevé (jusqu'à plusieurs dizaines de volts), en milieu aqueux, par exemple sulfurique. Des épaisseurs d'oxyde de plusieurs microns ou dizaines de microns sont ainsi obtenues. La couche d'oxyde est composée d'une couche barrière compacte et d'une couche externe poreuse. La croissance de la couche barrière se fait par diffusion ionique à travers l'oxyde et son épaisseur augmente de façon linéaire avec le potentiel appliqué. Un traitement de colmatage des couches externes poreuses, par exemple par chromatisation, améliore l'efficacité de l'anodisation et /ou permet de colorations à usage décoratifs [22].

### II.8.3- Les revêtements métalliques

Les revêtements métalliques ont deux fonctions que le métal utilisé est le plus ou moins noble que le matériau à protéger :

- Revêtements anodiques : si le revêtement est moins noble que le substrat. Il assure une protection par effet barrière et, en cas de défaut local, il protège le substrat du fait d'un couplage galvanique favorable. Par contre, le revêtement est progressivement consommé par corrosion. C'est une forme de protection cathodique. Les revêtements de zinc appliqués sur l'acier fonctionnent ainsi.
- Revêtements cathodiques : si le revêtement est plus noble que le substrat, il n'assure qu'un effet barrière. En effet, en cas défaut, le substrat devient une anode et peut subir une corrosion locale très accélérée en raison des rapports de surface très

défavorable. Les revêtements de nickel ou de chrome appliqués à l'acier sont des revêtements cathodiques. La qualité de ces revêtements réside donc dans l'absence de porosité ouverte et de défauts.

#### II.8.4- Les revêtements minéraux

L'émail, les dépôts de céramiques sont utilisés dans des situations difficiles où les conditions thermiques et chimiques rendent impossibles l'utilisation d'autres revêtements. Ces revêtements n'autorisent aucune mise en forme et exigent des précautions de manipulation.

Les techniques modernes de dépôts permettent le développement d'un nombre croissant de revêtement minéraux à base d'oxydes, de carbures, de nitrures, etc. dont certains ont des propriétés protectrices vis-à-vis de la corrosion aqueuse [22].

#### II.8.5- Les revêtements organiques

Il existe une grande variété de revêtements organiques parmi lesquels on trouve les polymères et les peintures.

Ces revêtements limitent ou empêchent l'accès du milieu du substrat. Ainsi, les peintures constituent une membrane semi- perméable qui limite la diffusion de l'eau et de l'oxygène et empêche la migration d'ions nocifs comme les chlorures vers le substrat. Ces revêtements, notamment les peintures, sont souvent appliquées sur des surfaces déjà protégées par un traitement de conversion ou d'anodisation. De plus, ils peuvent contenir des charges d'inhibiteurs ou parfois de poudres assurant une protection cathodique (peintures au zinc).

Les revêtements organiques présentent l'avantage d'une bonne plasticité qui autorise parfois leur application avant la mise en œuvre finale des matériaux (tôles prélaquées pour le bâtiment) et sont souvent relativement facile à appliquer et à réparer sur site [22].

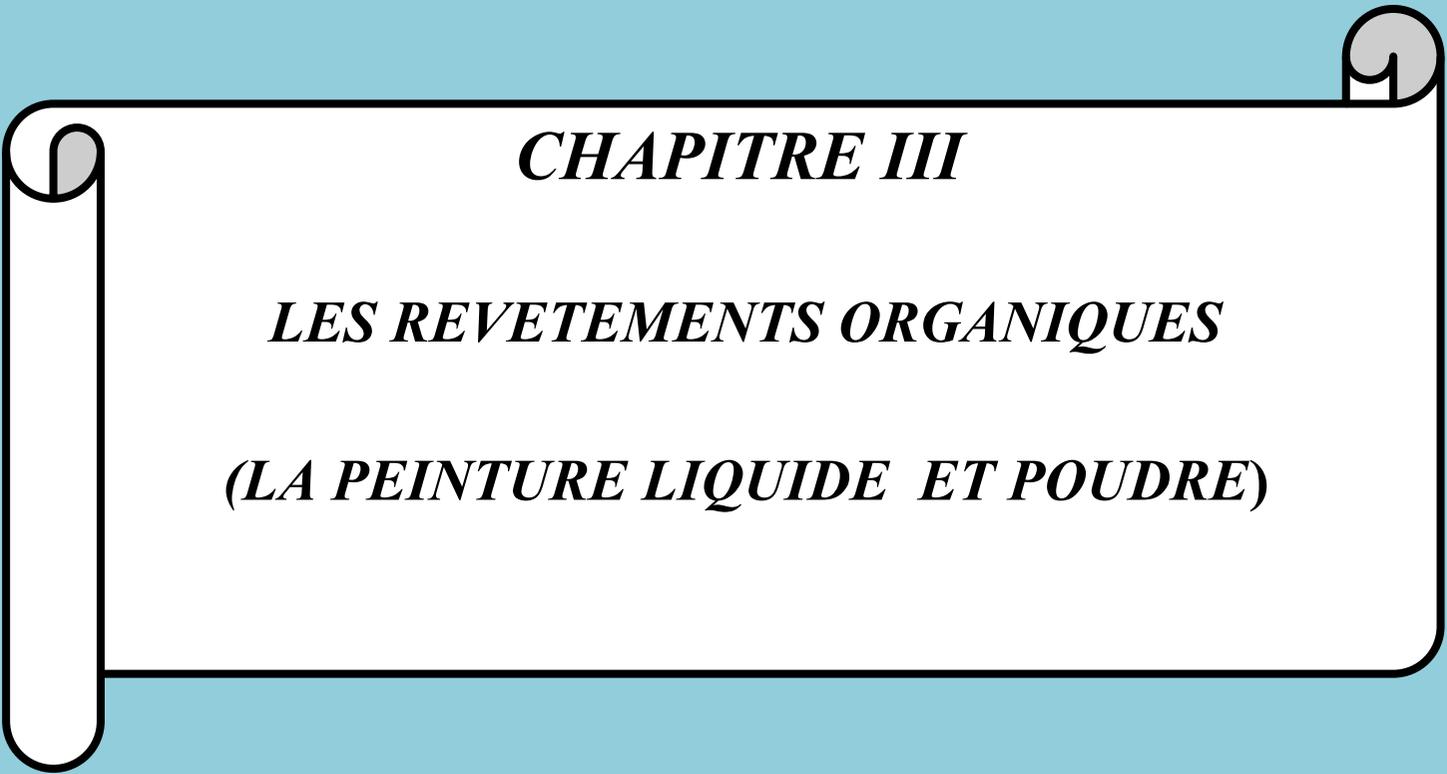
### II.9-Conclusion

On constate que la corrosion des métaux et alliages est un phénomène complexe du fait que de nombreux paramètres et facteurs y sont actifs. Ils conditionnent les modes et les formes de la corrosion ainsi que la cinétique de dégradation. Ces paramètres sont liés à l'ensemble du système matériau/surface/milieu, ce qui suggère en pratique, que la prévention et lutte contre la corrosion peut se faire par action sur l'un des trois partenaires de ce système.

Pour poser un problème de traitement de surface, quatre points essentiels doivent être développés :

- Description minutieuse du matériau à traiter : matière, état métallurgique, rugosité...

- Description des fonctions superficielles recherchées : cette description sera à la fois qualitative et quantitative ; les méthodes de caractérisation retenues seront précisées en détail
- Description de la solution retenue
- La qualité du dialogue entre concepteur et applicateur qui est une condition déterminante du succès.



***CHAPITRE III***

***LES REVETEMENTS ORGANIQUES***

***(LA PEINTURE LIQUIDE ET POUDRE)***

# LES REVETEMENTS ORGANIQUES

## PEINTURE LIQUIDE ET POUDRE

### III.1- Introduction

Les peintures en poudre développées comme alternatives à la peinture liquide dans les années 1960 sont produites sans utilisation de solvant organique. Cette particularité lui assure une très importante utilité écologique.

La peinture en poudre est une peinture fonctionnelle, parfois appelées poudre de revêtement ou revêtements pulvérulents appliquée à l'état du fluide sec et coulant et utilisée comme décorative.

La plus grande différence entre la peinture liquide traditionnelle et la peinture en poudre est que la peinture en poudre ne nécessite pas de solvant pour embrasser la résine. Le produit de remplissage et les pigments (absence totale de solvants), sont les plus respectueuses de l'environnement. La peinture en poudre est généralement appliquée de façon électrostatique et elle est enfournée plus tard à une température variable entre 120 à 240° C et dans une durée déterminée pour obtenir une surface dure et lisse. La surface obtenue est plus dure par rapport aux peintures traditionnelles. Ses domaines d'utilisation sont en général des surfaces métalliques telles que produits blancs, réfrigérateur, meubles de bureau, menuiseries en aluminium, portes en acier, pièces d'automobile, équipements industriels, matériel d'éclairage. Les nouvelles technologies ont également rendu possible l'application de la peinture en poudre sur les différentes surfaces.

La peinture en poudre se divise en deux groupes principaux, sont les Poudres thermoplastiques et thermodurcissables [24].

### III.2- Définition de la peinture

Une peinture est un produit liquide, pâteux ou en poudre, contenant des pigments, destinée à être appliquée sur une surface pour former un feuil opaque doté entre autres de qualités protectrices ou décoratives[23].

### III.3- Constitution général d'une peinture liquide

Il existe de nombreuses peintures présentes sur le marché. La tendance actuelle est au développement de « peintures écologiques ». Cela se traduit par un développement massif des peintures en poudre ou à Haut Extrait Sec (HES) dans le but de réduire les émissions des produits solvants (Composés Organiques Volatils = COV) lors de l'application des peintures. Ainsi, selon leur nature, les constituants qui entrent dans la formulation d'une peinture peuvent être classés en deux catégories, volatils ou non volatils:

**a- La partie volatile**

C'est la partie de la peinture qui s'évapore. Son rôle est de maintenir la peinture sous forme liquide pour en faciliter l'application. Une fois la peinture appliquée sur la surface du substrat, la partie volatile s'évapore et laisse une pellicule uniforme qui sèche pour former une couche consistante[23].

Dans cette partie, on trouve les solvants organiques qui ont la propriété de dissoudre totalement les liants même à forte concentration, l'eau pour le cas des peintures au latex (polymère en émulsion) et les diluants qui sont incorporés en cours de fabrication ou ajoutés au moment de l'emploi pour obtenir les caractéristiques d'application requises sans entraîner de perturbations.

**b- La partie non volatile**

C'est la partie de la peinture qui demeure sur le substrat après séchage et qui détermine alors la résistance de la couche de peinture formée.

Cette partie est constituée essentiellement d'un liant ou d'un mélange de liants. Ce sont des produits macromoléculaires, d'une masse molaire comprise entre 500 et 30000 daltons, qui donnent la consistance et la transparence au revêtement, par exemple : les résines alkydes, les polyacrylates, les résines phénoxy et les résines époxy.

Dans cette partie non volatile, on trouve également :

- **Les pigments:** substances généralement présentes sous forme de fines particules, pratiquement insolubles dans les milieux de suspensions usuels, utilisées en raison de certaines de leurs propriétés optiques, protectrices, décoratives (couleur) ou pour assurer d'autres caractéristiques de surface comme la lavabilité, le lustre . C'est le constituant responsable de l'opacité d'une peinture.
- **Les charges:** substances en poudre, pratiquement insolubles dans les milieux de suspension, souvent blanchâtres ou faiblement colorées, dont l'indice de réfraction est généralement inférieur à 1,7. Elles sont employées en raison de certaines de leurs propriétés chimiques ou physiques.
- **Les additifs:** substances ajoutées en faible quantité pour apporter des propriétés particulières au revêtement.
- **Les colorants:** ce sont des substances colorées, solubles ou non dans les milieux de suspension et qui, à la différence des pigments, ont un pouvoir opacifiant faible ou nul.

Un vernis, à la différence d'une peinture, est un produit non pigmenté qui est appliqué sur une surface, forme un feuil transparent.

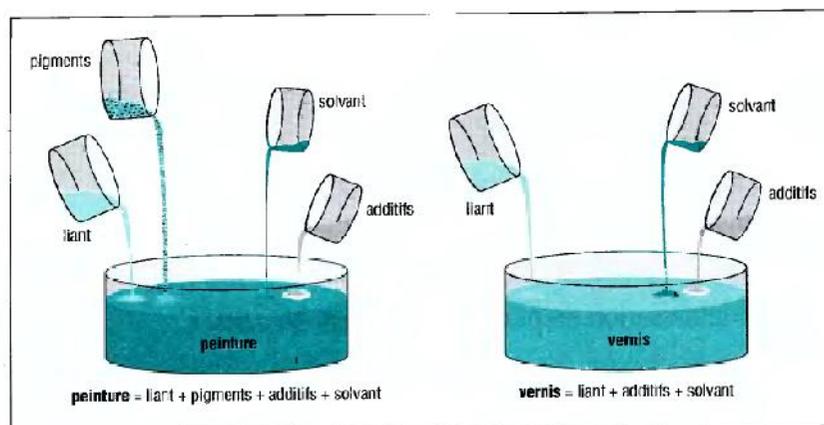


Figure III.1 : Principaux constituants des peintures et des vernis

### III.4- Séchage et formation du film de peinture après dépôt

Après application, au cours du séchage, un film solide est formé. Les propriétés de ce film dépendent du substrat (propreté, dégraissage..) ainsi que de la composition de la peinture et de la méthode d'application utilisée.

Le séchage d'une peinture sur le substrat se fait selon deux voies: physique ou chimique

#### III.4.1- Séchage physique

Dans ce processus, aucune réaction chimique ne se produit. On le trouve dans le cas des peintures avec des liants à masses molaires élevées tels que les nitrates et les esters de cellulose, les polyacrylates, les polyesters thermoplastiques et les copolymères de styrène.

Avec ces polymères, la formation du film peut se faire à partir de solvants (organiques ou de dispersions dans des solvants organiques ou dans l'eau) qui s'évaporent en laissant le polymère sur le substrat.

Ces liants confèrent au revêtement une bonne flexibilité et une bonne stabilité en raison de leur masse molaire élevée. Leur température de transition vitreuse doit être au dessus de la température ambiante pour assurer une bonne dureté et une bonne résistance à la rayure du film formé.

#### III.4.2- Séchage chimique

Ce type de processus concerne les peintures contenant les constituants du liant qui ont une masse molaire relativement faible, et qui réagissent entre eux au cours du séchage pour former des macromolécules réticulées par polymérisation: polyaddition ou polycondensation.

Pour le séchage par polyaddition (résines époxy par exemple), la réaction peut se faire à température ambiante sans ajout de catalyseurs (autocatalytique) d'où la nécessité de mélanger rapidement les constituants du liant avant l'application de la peinture. Le temps au bout duquel la peinture est utilisable après réalisation du mélange est limité et connu comme étant " la vie du pot".

Le séchage par polycondensation quand à lui, nécessite soit l'ajout de catalyseurs soit de travailler à température plus élevée.

Dans la plupart des cas, les deux phénomènes, physique et chimique, interviennent lors du séchage d'une peinture[23].

### **III.5- Définition et intérêt de la peinture en poudre**

Les revêtements poudre sont des systèmes sans solvant, donc constitués à 100% de matière utilisable à l'état solide. Les avantages économiques et environnementaux des revêtements poudre assurent leur grandissante utilisation depuis leur entrée sur le marché des revêtements. Ils représentent en effet, une alternative aux revêtements avec solvant et leur expansion peut s'expliquer par:

- l'absence d'émission de COV et de composés toxiques,
- la quasi-absence de perte de matière : plus de 95% des pertes de poudre,
- une mise en œuvre facile,
- une épaisseur des couches obtenues de plus en plus fine,
- des revêtements de hautes performance et qualité de finition [25].

### **III.6- Composition des poudres**

Dans les peintures en poudres il ya deux types de **liants** importants : les thermoplastiques et les thermodurcissables :

#### **III.6.1- Les poudres thermoplastiques**

Les poudres thermoplastiques sont des polymères qui fondent sous l'action de la chaleur mais conservent la même composition chimique quand ils se solidifient par refroidissement. Ces poudres sont à base de résines de poids moléculaire élevé. Très résistantes et difficiles à broyer en particules fines, il faut recourir à un broyage cryogénique très coûteux pour alimenter les systèmes de peinture par projection électrostatique. C'est pourquoi, les poudres thermoplastiques sont généralement appliquées par la technique du bain fluidisé. Ces poudres donnent des revêtements épais (150-450  $\mu$  m), ayant une excellente résistance à l'abrasion, à l'usure et aux chocs. Toutefois, et en dépit de ces

qualités, leur application est limitée à des usages très particuliers en raison d'une température de cuisson très élevée. Les principaux revêtements poudre thermoplastiques présents sur le marché et utilisés pour revêtir des supports sensibles à la chaleur sont des polyamides. Les poudres dites thermoplastiques sont minoritaires et regroupent-les [25] :

- Acryliques
- Nylon
- Vinyles
- Fluorocarbones, etc. ...

### III.6.2- Les poudres thermodurcissables

Elles sont à base de résines de masse molaire moins élevée. Sous l'effet de la chaleur, elles fondent et réticulent entre elles formant un revêtement stable qui ne ramollira pas lors d'une nouvelle augmentation de la température. Elles permettent de réaliser des revêtements semblables à ceux obtenus avec les peintures traditionnelles de propriétés équivalentes, voire meilleures. Ce sont des concurrentes directes des peintures liquides. Les poudres thermodurcissables répondent aux principaux besoins des professionnels de la peinture: excellente protection contre la corrosion, amélioration de la durabilité, absence de pollution par COV (composé organique volatil), rendement élevé, réduction des coûts. De ce fait, la part de marché des peintures en poudre est en constante et très forte augmentation.

Les revêtements poudre thermodurcissables les plus fréquemment utilisés sont :

- a- les époxydes** : pour leur bonne résistance chimique et diélectrique en forte épaisseur et leur bonne tenue à la corrosion,
- b - les polyesters** : grâce à leurs très bonnes propriétés de protection et de résistance aux intempéries, ces poudres ont longtemps dominé le marché des revêtements extérieurs et architecturaux,
- c- les hybrides ou époxy-polyesters** : ils résistent mieux à la chaleur et aux rayons UV que les époxydes et, de ce fait, sont employés dans de nombreuses applications industrielles.
- d- les polyuréthanes** : très peu utilisés (prix élevé), très bonne tension du film, bonne tenue aux UV, bonne stabilité à la chaleur, tenue à certains agents chimiques [25].
- e- Durcisseur** : le durcisseur est un des ingrédients les plus importants dans la formule de poudre. Le durcisseur est responsable du durcissement thermique de la poudre et détermine en commun avec la résine les caractéristiques spécifiques: résistance chimique, stabilité thermique, caractéristiques physiques et mécaniques[26- 27].

**f- Pigment :** Les pigments donnent la teinte. Il y a des pigments organiques ainsi qu'inorganiques. Aussi en fonction de l'application, on choisit entre des pigments à durabilité UV ou sans danger pour les aliments ou encore des pigments stables en température. Ces pigments ont une grande force colorante, leur mélange permet d'obtenir la couleur que demande le client (on en incorpore généralement 3 à 5).

Exemples :

- Oxydes de Titane,
  
- Oxydes de Fer, noir de carbone
  
- Oxydes de Fer, organique, titanates ...
  
- Organique, complexes métalliques, cobalt ...
  
- Oxydes de Fer, organique

Toutes les formules sont exemptes de plomb, chrome, et molybdène depuis 2002 afin de respecter la santé des utilisateurs.

**g- Matières de charge :** les matières de charge utilisées dans les revêtements de poudres contribuent techniquement au système. Elles rentrent de 0 à 35% dans les formules.

Ce sont des matières pulvérulentes qui n'ont pas d'effet sur la teinte.

Leur rôle est de rendre la peinture garnissante, elles permettent aussi de renforcer les propriétés mécaniques des liants et les propriétés anticorrosion des pigments notamment par exemple pour :

- combattre la sédimentation du film.
- améliorer la résistance à l'abrasion et à l'humidité [27,26]

**h- Additifs :** ce nom collectif indique le groupe de substances adjuvantes influençant les propriétés finales du revêtement. Ce sont des produits chimiques élaborés qui permettent de renforcer certaines caractéristiques de la peinture.

Ils sont présent de 0.01% à quelques pour cents.

Il existe 5 catégories :

- Accélérateurs (la réaction du système sera accélérée),
  
- agent de dégazage (les pores du revêtement restent ouvertes laissant les gaz enfermés s'échapper),
  
- agent de thixotropie (règle la viscosité),
  
- agent d'étalement (améliore l'étalement à la surface, supprime la peau d'orange),

- mattant (règle la brillance des poudres) [26,27].

**Tableau III.1: Exemples de polymères (poudres) thermoplastiques et thermodurcissable**

Polymères (poudres)		
Thermoplastiques		Thermodurcissables
Amorphes	Semi-cristallins	Epoxy, Polyester insaturé, vinylester, phénoliques, Polyuréthanes
Polycarbonate, Polystyrène, Polyméthacrylate de méthyle, Acrylonitrile/Butadiène/Styrène	Polyéthylène, Polypropylène, Nylon, Polyoxyméthylène (polyacetal), Poly(étheréthercétone), Polyétrafluoroéthylène	

**Tableau III.2 : Caractéristiques de la peinture en poudre en fonction des résines utilisées**

Caractéristiques	Epoxy	Mixtes polyester/époxy	Polyester	Polyuréthane	Acrylique
Résistance chimique	5	3 - 4	3 - 4	4	3 - 4
Flexibilité	5	5	5	5	2 - 3
Dureté de surface	5	4	4	4	3 - 4
Adhérence	5	4	4	4	4
Résistance aux UV	1	1- 2	4 - 5	4 - 5	5
Résistance corrosion	5	3	3	3 - 4	3
Résistance sur cuisson	1	3	5	3	5
Cotation: 1=mouvais -2=acceptable -3= bon - 4=très bon - 5=excellent					

## III.7- Comparaison de la peinture liquide et poudre

### III.7.1- Produit

#### *a- Liquide*

La peinture liquide est à base de solvant pour le séchage. Le mélange est peu constant puisqu'il est fait par l'opérateur.

- Le solvant est nocif pour l'opérateur et l'environnement.
- Conditionnement par bidons, transvasements fréquents, donc pollution et nettoyage par solvant avec produit polluant à détruire.
- Peinture bi-composants pour obtenir un résultat identique à la poudre, travail avec durcisseur (isocyanate délicat par son dosage et sa tenue, cristallise à l'humidité et à la chaleur) dosage précis base durcisseur.
- Séchage par évacuation des solvants.

#### *b- Poudre*

- Produit prêt à l'emploi, extrait sec, nettoyage par soufflage. Sans solvant.
- Transvasement simple sans pollution.
- Caractéristiques techniques identiques à un bi-composant.
- Cuisson et polymérisation au four.
- Simplicité de manipulation.

### III.7.2- Applications

#### *a- Liquide*

- Par application manuelle ou automatique avec ou sans électrostatique.
- Nettoyage contraignant du matériel avec le solvant.
- Entretien difficile.
- Rendement de 25 à 30%, 70 à 75% de perte de produit qui est traité par la cabine.
- Pollution de la cabine, entretien de la cabine contraignant.
- Obligation de cabine filtre sec ou à rideau d'eau avec un entretien difficile, consommable et coûteux.
- Suivi délicat pour obtenir un bon résultat (risques de coulures, revêtements des arêtes, plusieurs passages pour couvrir la pièce).

#### *b- Poudre*

- Par pistolage manuel ou automatique avec électrostatique.

- Nettoyage et entretien simple par soufflage.
- Rendement de 98% avec récupération de la poudre.
- Nettoyage de la cabine aisé par raclage et soufflage.
- Pas de pollution, cabine simple, pas de coulures.
- Personnel non-qualifié pour un bon résultat.

### **III.7.3- Résultats**

#### ***a- Liquide***

- Epaisseur moyenne de 20 à 25  $\mu\text{m}$  avec risques de rayures, écaillage aux chocs.
- Pour un bon accrochage de la peinture, obligation d'une peinture primaire plus une peinture de finition, son aspect est suivant la peinture et l'application.

#### ***b- Poudre***

- Pas de peinture primaire, bon accrochage.
- Epaisseur de 30 à 80  $\mu\text{m}$  donnant un aspect riche et souple.
- Revêtement souple résistant aux chocs, agressions chimiques, rayures.
- Cuisson au four donnant des caractéristiques mécaniques de haute qualité [28].

### **III.8- Mode d'application des poudres**

La formulation d'un revêtement doit prendre en compte le support sur lequel il sera déposé et cela, quelque soit le mode de séchage choisi. Dans ce domaine, les supports utilisés sont nombreux et variés. On distingue :

- les supports métalliques pour lesquels les revêtements servant à les protéger et peuvent avoir des températures de mise en œuvre élevées sans que le support ne soit endommagé,
- les supports sensibles à la chaleur (matières plastiques, bois et ses dérivés (contreplaqué, panneaux de particules, de fibres...)), supports minéraux (béton, béton armé, cellulaire, plâtre...). Les revêtements poudre servant à les protéger doivent avoir des températures de mise en œuvre adaptées pour éviter de perdre certaines qualités du support ou d'obtenir une moins bonne qualité du revêtement.

Tous ces supports doivent être nettoyés de toutes les impuretés présentes à la surface avant de commencer l'application. Dans le cas contraire, les propriétés du revêtement pourraient être altérées.

**Le choix du matériel se fait en fonction de :**

- La nature des pièces à peindre (isolantes ou conductrices)
- De la forme et de la complexité des pièces
- De l'épaisseur à déposer
- Du nombre de teintes à appliquer
- Des cadences de production
- Du budget. [26]

Les poudres sont appliquées sur les supports selon deux procédés: bain( lit ) fluidisé ou pulvérisation et électrostatique.

**III.8.1- Bain (lit) fluidisé**

Ce procédé consiste à chauffer au préalable les pièces à recouvrir au-dessus de la température de fluidification ou de fusion de la poudre. Ces pièces sont immergées ensuite dans une cuve où la poudre est mise en suspension par insufflation d'air comprimé rempli de fluide (il faut un contrôle de la pression de l'air pour éviter l'émanation de poussières). Il permet de déposer des épaisseurs importantes et de recouvrir des pièces de dimensions variables telles que des armatures métalliques ou encore du mobilier de jardin[25].

**III.8.1.1- Avantages**

- Système simple, pas nécessité de recuire la poudre dans certains cas
- Pas de problèmes électrostatiques, pas de cage de Faraday
- Dépôt de fortes épaisseurs (plusieurs centaines de  $\mu\text{m}$ )
- Adapté à la protection anticorrosion de pièces massives [26].

**III.8.1.2- Inconvénients**

- Nécessité de préchauffage
- Maîtrise des épaisseurs pas aisées entre le haut et le bas des pièces
- Besoin de contrôler la granulométrie du bain et d'ajouter de la poudre neuve
- Pas utilisable pour les pièces de grandes dimensions
- Beaucoup de coulures et gouttes de peintures [26].

### III.8.2- Pulvérisation électrostatique

C'est la méthode la plus utilisée pour l'application des peintures en poudre. Dans ce procédé, la poudre est tout d'abord fluidisée par de l'air comprimé et amenée dans un pistolet où elle reçoit une décharge électrique. Les particules chargées sont ensuite propulsées dans un champ électrique par air comprimé sous forme de nuage et suivent les lignes de champ pour arriver jusqu'à la pièce à revêtir.

On rencontre des cabines manuelles ou automatiques, en poudre perdue, ou à recyclage, à changement rapide de couleur mais aussi des cabines automatiques équipées de différents types de robots [25-26].

Deux méthodes sont utilisées pour charger les particules de poudre :

#### a- Le procédé corona :

Ce procédé consiste à charger les particules par un processus d'ionisation.

- L'électrode de charge fixée au niveau de la buse est reliée au négatif du générateur haute tension.
- Le positif du générateur est à la masse ainsi que la pièce à peindre.
- L'air à proximité de l'électrode va être ionisé par la HT (haute tension)
- Les particules de poudres, propulsées par l'air comprimé, en traversant cette zone vont se charger négativement.
- La poudre chargée négativement va être attirée par la pièce chargée positivement

On obtient un effet de contournement et la poudre adhère à la pièce. Ce système génère de la contre-émission (ionisation de l'air contenu dans la couche de poudre) ce qui empêche de déposer plus d'une certaine épaisseur de poudre sans risque de décrochage. La contre-émission génère de la « peau d'orange », aspect chargé du film de peinture. Au début de l'application, les électrons sont attirés par la pièce. Au bout d'un certain temps, les particules de poudre font barrière à la surface de la pièce, cette surface devient chargée négativement, ce qui a tendance à repousser le nuage de poudre, lui toujours chargé négativement. Ce phénomène provoque de la peau d'orange

Le système Corona avoue ses limites dans les « **cages de Faraday** » : les corps creux et angles rentrants ont du mal à être recouverts de peinture et pour limiter ces deux phénomènes, il a fallu développer :

- La limitation automatique du courant

- L'utilisation de contre-électrodes pour diminuer les lignes de champs et augmenter la pénétration de la poudre dans la cavité [26].

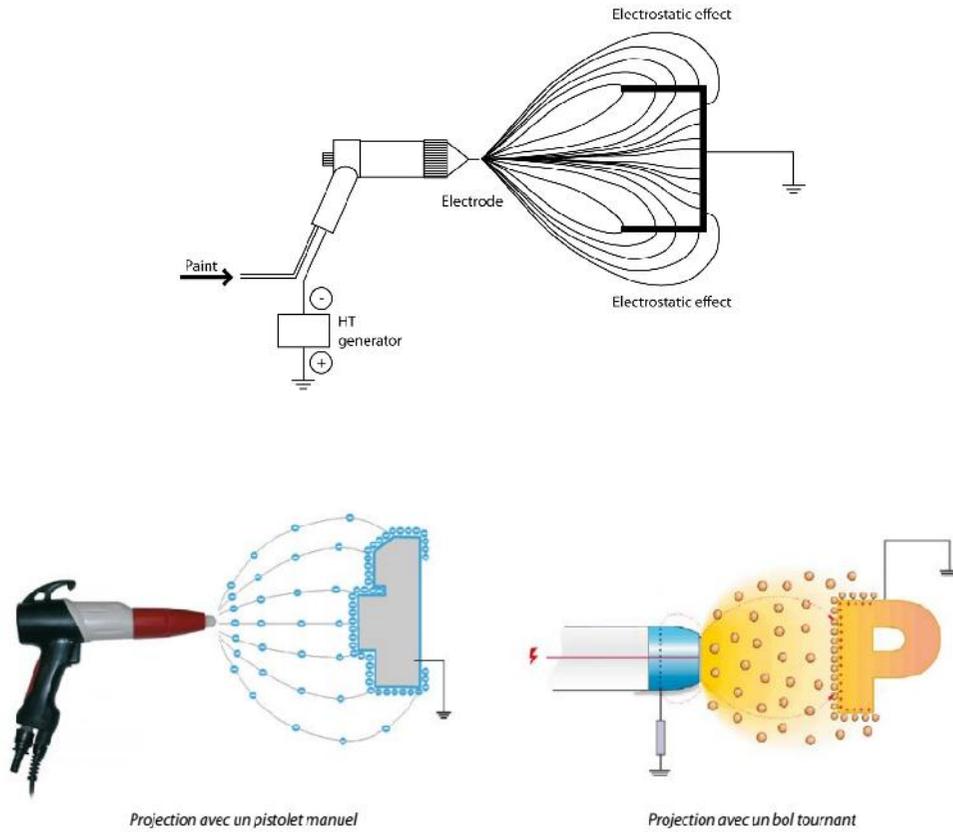


Figure III.2: Principe de la charge par effet CORONA (ou bombardement ionique)

**b- Le procédé tribo-électrique :**

Le principe « tribo » n'utilise pas de générateur pour charger la poudre, mais crée des charges positives par frottement lors du passage en régime turbulent de particules à l'intérieur du pistolet. Ce procédé permet d'éviter la formation de la cage de Faraday. En effet, il en résulte qu'il n'y a pas de champ électrique entre le pistolet et la pièce à recouvrir, c'est pourquoi la poudre pénètre efficacement dans les cavités de la pièce. Ainsi, il est possible de recouvrir des pièces de géométries variées. Les débits de poudre sont plus faibles, d'où nécessité d'avoir un plus grand nombre de pistolets (cabine automatique)[26].

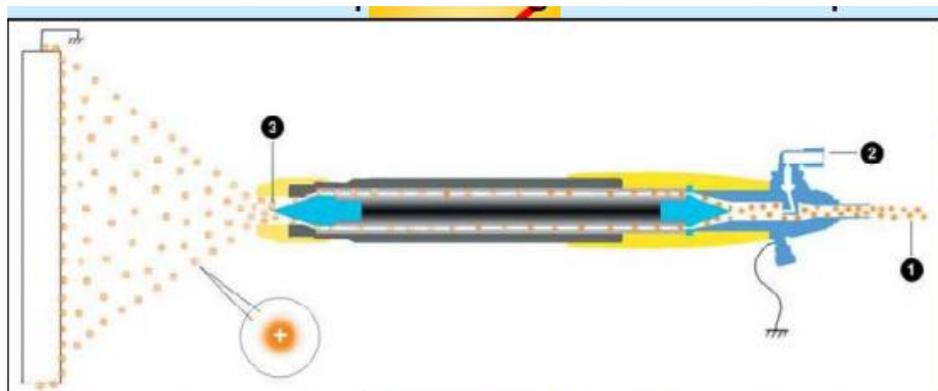


Figure III.3: Principe de la charge par effet « Tribo- électrique »

Tableau III.3 : Avantages et inconvénients des systèmes corona et tribo

	Avantages	Inconvénients
<b>Système « CORONA »</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Facilité d'emploi</li> <li>-Contournement des pièces aisé</li> <li>-Grande débits de poudre (200g/pistolet/min environ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mauvaise pénétration dans les cages de Faraday</li> <li>- Génère de la contre- émission (ionisation de l'air contenu dans la couche de poudre entre le pistolet et la pièce : provoque des défauts d'aspect</li> </ul>
<b>Système « TRIBO»</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mis au point pour combattre les inconvénients du corona pas de champ électrique intense donc pas de contre-émission</li> <li>-Bonne pénétration dans les cages de Faraday</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Faible débits de poudre : nécessité d'installer beaucoup de pulvérisateurs --Réglages délicats</li> <li>-Sensible à l'hygrométrie</li> <li>-De par le principe (frottements) : usure des pistolets par le frottement</li> <li>Dans certains cas, formulation spécifique pour que la poudre soit utilisable par Tribo.</li> </ul>

### III.9- Consommation de poudre théorique

La consommation de poudre dépend de la surface à peindre, de la densité de la poudre et de l'épaisseur déposée, en incluant un coefficient relatif à l'application, au matériel utilisé et au type de pièce à peindre (complexité de la surface) [26] :

**Conso (en g) = densité\* surface (m<sup>2</sup>)\*épaisseur (µm)\* coefficient**

#### Exemple

- Densité poudre : 1.7

- Surface à peindre 1m<sup>2</sup>

- Epaisseur déposée 50 µ m

Consommation hors coefficient de rendement : 1.7\*1\*50 = 85 g

Il faut ajouter des pertes qui peuvent aller de 5 à 50% selon le type de pièces, du chargement des balancelles et du matériel d'application.

### III.10- Calcul du rendement théorique des peintures poudres

Rendement théorique des peintures poudres [27] :

$$\rho \text{ (m}^2/\text{kg)} = 1000 / (\text{P.S} * \text{Epaisseur})$$

-P.S (poids spécifique) = 1.5

-Epaisseur = 70  $\mu$

$$\rho = 1000 / (1.5 * 70) = 9.52 \text{ m}^2/\text{kg}$$

Ce rendement n'est que théorique et ne tient pas compte de la perte de poudre à la pulvérisation ou du recyclage. Le rendement théorique de la poudre est de 9.52 m<sup>2</sup>/kg, en tenant compte d'une perte de 10% le résultat devient 8.52 m<sup>2</sup>/kg. Le pourcentage de perte dépend du système de recyclage et de l'installation [27].

### III.11- Contrôle du revêtement de peinture

#### III.11.1- Epreuves

Les épreuves déjà pourvues de peinture doivent être prélevées sur le lot de production. Une tolérance de  $\pm 20\%$  du système de revêtement spécifié est d'application en ce qui concerne l'épaisseur de couche des épreuves.

#### III.11.2. Essais

Les essais mentionnés ci-après doivent être effectués lors de l'enlèvement des pièces, sauf accord contraire entre le maître d'œuvre et l'apporteur.

##### III.11.2.1- Epaisseur de la couche

Pour tous les types de revêtements, l'épaisseur de la couche sèche doit correspondre aux spécifications du fournisseur du revêtement, sauf accord contraire. L'épaisseur de la couche est donnée par la moyenne du revêtement organique qui se mesure avec un testeur – jauge qui permet de contrôler l'épaisseur du feuillet de peinture (après cuisson) sur matériaux ferreux (mesure électromagnétique) ou non ferreux (mesures par les courants de Foucault)

Il est indispensable d'étalonner l'appareil régulièrement (cales d'épaisseur connue fournie avec le mesureur) et de faire le « zéro ».



Figure III.4 : Appareil portable à induction magnétique.

### III.11.2.2- Contrôle de la brillance

La brillance est l'aptitude d'une surface à refléter la lumière incidente. Il peut parfois être difficile de juger à l'œil nu le degré de brillance.

Un brillance mètre (ou réflectomètre) est un appareil qui permet cette mesure : sur surface plane, sans reliefs.

Par usage, on utilise un brillance mètre avec une incidence d'éclairage à  $20^\circ$  pour les revêtements très brillants et  $60^\circ$  pour les revêtements courants et l'angle  $85^\circ$  devrait être utilisé pour les revêtements très mats.

Avant d'utiliser un brillance mètre, il faut l'étalonner sur sa cale (parfaitement propre).

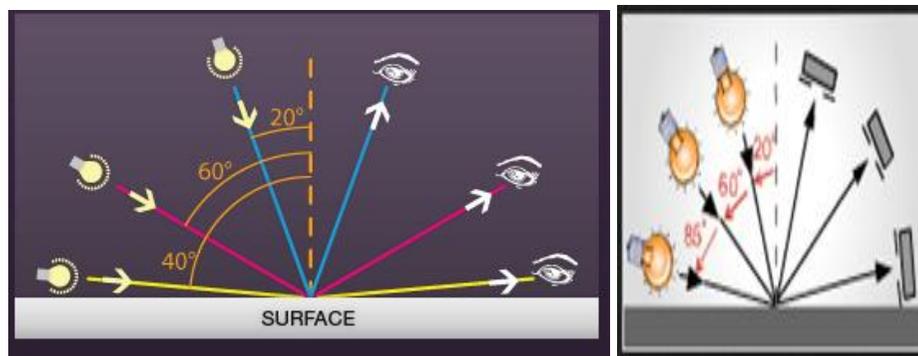


Figure III.5: Brillance mètre

### III.11.2.3- Adhérence (quadrillage)

L'adhérence du revêtement doit être déterminée après durcissement complet de la peinture selon la NBN EN ISO 2409:1995 (quadrillage).

- Griffer (avec le peigne adapté à l'épaisseur du revêtement) le revêtement jusqu'au support.
- Griffer à la perpendiculaire

- Brosser 5 fois avec la brosse en nylon dans un sens, puis dans l'autre.
- Analyser l'aspect final (avec loupe si nécessaire)



Figure III.6: Outils utilisé pour essai de quadrillage

D'autres types d'appareils existent :

- Peigne de 1mm (entre dents) : épaisseur de 0 à 60 µm
- Peigne de 2mm : épaisseur de 61 à 120 µm
- Peigne de 3mm : épaisseur de 121 à 250 µm

Tableau III.4 : Présentation schématique de quadrillage

Présentation schématique de quadrillage	Description	Valeur caractéristique
	Bords découpés complètement lisses, sans éclats. Un quadrillage qui se présente complètement propre sans aucune perte de revêtement.	0
	Ecaillage peu important aux points d'intersection, avec une perte de revêtement pas beaucoup plus de 5 % sur la surface totale sacrifiée au quadrillage	1
	Ecailllements le long des bords découpés et/ou aux points d'intersection du quadrillage de nettement plus de 5% jusqu'à un peu plus de 15 % de la surface totale sacrifiée	2
	Ecailllements le long des bords découpés et/ou des carrés (total + partiel), avec une perte de revêtement de nettement plus de 15 % jusqu'à un peu plus de 35 % de la surface totale sacrifiée	3
	Comme pour la valeur caractéristique "3", mais avec une perte de revêtement de nettement plus de 35 % jusqu'à un peu plus de 65 % de la surface totale sacrifiée.	4
	Ecailllements dont la perte de revêtement est nettement plus de 65 % de la surface totale sacrifiée au quadrillage et qui donc ne peuvent plus être évalués selon la valeur caractéristique « 4 ».	5

#### **III.11.2.4- Aspect extérieur**

Un contrôle visuel des faces visibles doit être effectué à une distance de 3 mètres, sauf accord contraire. A cette distance, le revêtement ne peut présenter de rides, de coulées, d'ondulations ni d'inclusions de particules ou d'autres irrégularités de la surface.

#### **III.11.2.5- Couleur**

La couleur peut être contrôlée soit par comparaison visuelle selon la NBN EN ISO 3668:2001 soit mesuré selon ISO 7724:1984. L'appareil utilisé et les conditions de mesure doivent être déterminés préalablement entre les parties, ainsi que les critères de refus et d'acceptation.

#### **III.11.2.6-Porosité**

Lors d'un contrôle visuel, aucune porosité gênante ne peut être détectée. Pour les épaisseurs de couche jusqu'à 500 $\mu$ m, on peut contrôler la porosité du revêtement à l'aide d'un générateur basse tension avec éponge. Il y a lieu de se référer à l'ASTM D5162-01. Le degré de porosité dépend de l'utilisation des pièces et est déterminé par le maître d'œuvre.

#### **III.11.2.7- Adhérence au choc direct et indirect**

Selon norme ISO 6272 NFT 306039, cette norme est inadaptée aux tôles épaisses.

L'appareil comporte un tube vertical gradué dans lequel coulisse une masse équipée d'une bille.

Le choc sur la plaque peinte peut être direct (la bille chute sur la surface peinte) ou indirect.

L'analyse de la surface de la tôle ainsi emboutie détermine si le revêtement est résistant ou non aux chocs, pour une masse donnée et une hauteur de choc donnée : le film de peinture ne doit pas être rompu ni écaillé. [30]



**Figure III.7 : Impacteur (test de résistance aux chocs)**

### III.12- Cabine d'application de poudrage

Les applications électrostatiques peuvent être réalisées en manuel ou en automatique.

En manuel, l'opérateur, situé à l'extérieur ou à l'intérieur de la cabine, réalise des gestes de balayage pour poudrer uniformément les subjectiles.

En automatique, les pistolets sont généralement montés sur un ou plusieurs robots qui décrivent un mouvement de va-et-vient vertical alors que les subjectiles se déplacent horizontalement. Des dispositifs équipés de pistolets fixes existent également.

Dans les deux cas, le poudrage est réalisé dans une cabine pour éviter la dispersion dans l'atelier. La ventilation dans la cabine vise aussi à récupérer la poudre afin d'éviter les accumulations pouvant conduire à un risque d'explosion ou rendre le nettoyage plus long et difficile.

Pour tous les types de cabines, pendant la phase d'application de poudres, il est nécessaire d'asservir le fonctionnement des pistolets de pulvérisation au fonctionnement de la ventilation[29].

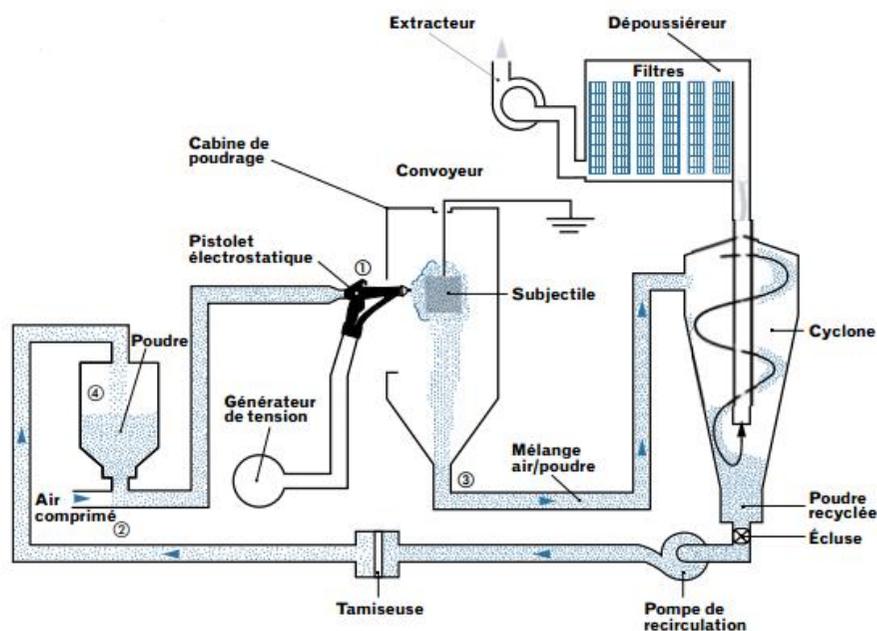


Figure III.8 : Présentation schématique d'une installation de ventilation et de récupération de la peinture en poudre dans une cabine de poudrage manoteinte.

#### 1. Pistolet de poudrage

Le champ électrostatique est le phénomène de base de l'application pour les peintures en poudre. En effet, les particules de poudres sèches n'adhèrent sur l'objet que par la charge électrostatique qu'elles portent.

**Procédé Corona** : Les particules de poudre se chargent au contact d'une électrode à haute tension, placée à la sortie du mélange air-poudre (à l'extrémité du pistolet). Les pistolets de nouvelle génération permettent de réaliser une charge progressive de la poudre avec un courant d'air ionisé réduit.

**Procédé triboélectrique** : cette technique repose sur le processus de charge de la poudre par frottement sur les parois intérieures du pistolet. Ce procédé présente l'avantage de ne pas nécessiter la présence d'un générateur à haute tension.

## 2. Pompe

La pompe à effet « venturi » aspire, à l'aide d'air comprimé, la poudre fluidisée en suspension dans le réservoir pour la propulser dans le circuit de poudrage.

## 3. Récupérateur de poudre

Suivant la morphologie de la pièce à peindre (grillage, tôle...), l'excédent de poudre non retenue sur la pièce est de 25% à 45% d'où la nécessité d'un récupérateur de poudre. L'excédent est éliminé par extraction de l'air de la cabine de la cabine. L'air extrait est épuré (cyclone, filtre,...).

## 4. Réservoir de poudre

La poudre est fluidisée dans un réservoir qui sert à bac d'alimentation.

Le fond de ce réservoir est constitué d'une plaque poreuse au travers de laquelle l'air comprimé est diffusé uniformément ce qui permet de mettre la poudre en suspension dans l'air (fluidisation). Il existe également des systèmes à pot sous pression ou des systèmes à canne plongeante.



Figure III.9- Cabine de poudrage

### III.13- Consignes générales de sécurité

Explosion, incendie :

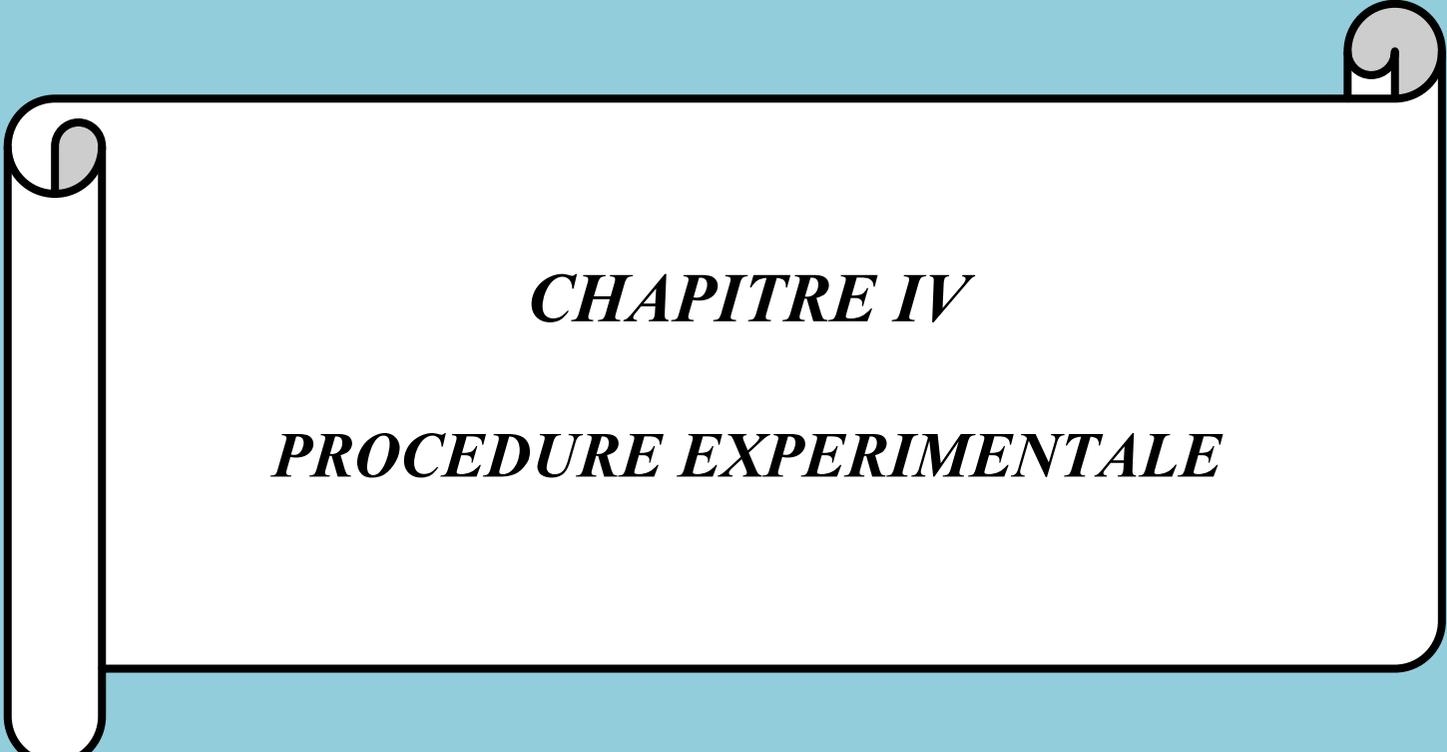
- Les peintures en poudre ne contenant pas de solvants, leur inflammation est plus difficile qu'une peinture solvantée
- Toutefois, leur concentration dans la cabine est réglementée car un nuage de poudre s'il dépasse la concentration limite dans l'atmosphère peut s'enflammer ou exploser.
- Cette concentration s'appelle la L.I.E (limite inférieure d'explosivité)
- Cette valeur dépend de la formule et de sa granulométrie.
- Si elle n'est pas connue (de l'ordre de 30 à 90g/M<sup>3</sup> d'air), la valeur à prendre en considération est de 10g/M<sup>3</sup>
- C'est pourquoi une installation ne peut être modifiée dans l'autorisation de constructeur (ajout de pistolets, modification des ouvertures,..)
- La vitesse d'air aux ouvertures ne doit pas descendre en dessous de 0.4m/s
- Les installations doivent être en sur pression
- Tous les matériels doivent être conformes à l'utilisation et l'installation préconisée par le constructeur.
- Tous les éléments doivent être à la masse : la vérification périodique des tresses de masse est fortement recommandée la mise à la terre des pièces à peindre doit être contrôlée fréquemment, les crochets décapés
- L'utilisation des matériels électriques, de flashes,... est interdite dans une cabine.
- Le risque d'explosion et d'incendie existe dans une cabine de par la concentration de poussière inflammables et la présence de source d'inflammation (matériel haute tension)
- Il ne faut pas dépasser 50% de la L.I.E dans la cabine et les matériels de récupération des poudres
- Les opérateurs doivent porter de semelles conductrices ou des gants conducteurs pour éviter les arcs
- Il faut couper les générateurs de haute tension lorsque l'installation n'est pas en production
- Les installations devront comporter des éléments de sécurité et de lutte contre l'incendie : Halon, CO<sub>2</sub>, eau pulvérisée et être contrôlés fréquemment
- De même, les fours de cuisson ne devront pas voir leur atmosphère saturée en poudre : un nettoyage périodique s'impose

- La poudre tient sur les pièces par la force électrostatique jusqu'à sa fusion en début du four. Elle devra résister aux turbulences créées par les souffleries aux silhouettes d'entrée dans les ouvrages (environ 2m/s).

Il est ainsi recommandé d'avoir un brassage suffisant dans le four, équivalent à  $10M^3$  d'air par Kg de poudre introduit dans le four pour éviter l'explosion [26].

### **III.14-Conclusion**

De nos jours, prendre en considération les facteurs environnementaux est devenu la responsabilité commune des organismes de l'Etat, de l'industrie et des individus. La peinture en poudre assure des utilités à la fois environnementales et économiques par rapport aux peintures liquides traditionnelles. Les peintures liquides traditionnelles contiennent environ 50 % de solvants pour dissoudre la résine et les pigments. Les solvants qui s'évaporent dans l'atmosphère causent beaucoup de dommages à l'environnement. Les peintures en poudre est l'ami de l'environnement en raison du fait qu'elles contiennent zéro composé organique volatil (VOC).



*CHAPITRE IV*

*PROCEDURE EXPERIMENTALE*

## CHAPITRE IV : PROCEDURE EXPERIMENTALE

### IV.1-Introduction

Du point de vue économique, la corrosion pose un problème très contraignant pour l'industrie. Les dépenses dans la recherche de moyens efficaces de lutte contre la corrosion afin de prolonger la durée de vie des appareils augmentent annuellement. De nos jours, les traitements de surface et les peintures par revêtements organiques sont les plus fréquemment utilisés, notamment dans le cas de l'industrie des appareils électroménagers. C'est dans ce chapitre que s'inscrit notre travail de projet de fin d'études. Il s'agit d'améliorer le système de revêtement par peinture des portes et tôles des réfrigérateurs fabriqués à l'entreprise ENIEM de Oued-Aissi. L'objectif étant de réduire la quantité de peinture utilisée tout en maintenant le pouvoir protecteur contre la corrosion ainsi que l'aspect de cette peinture.

Sachant que le système utilisé pour la réalisation des revêtements est une chaîne constituée de bains de traitement de surface (préparations avant peinture) et d'un système de suspension et d'exposition des surfaces au jet de peinture (convoyeurs et système de balancelles), notre objectif est d'apporter des modifications à ce système. Ce dernier doit assurer la conductivité électrique durant le poudrage électrostatique, on a basé nos recherches sur les éléments de suspensions et on a réussi à trouver un autre modèle de balancelle qui est présenté par l'entreprise Labomat Essor qui est l'un des leaders français de la distribution de matériels scientifique et spécialités pour la recherche, le contrôle industriel et la production .

En suite, l'accord est donné pas l'entreprise ENIEM pour la réalisation de ce nouveau système de balancelle avec des dimensions précises : largeur de 30mm, longueur 600mm et épaisseur de 4mm,

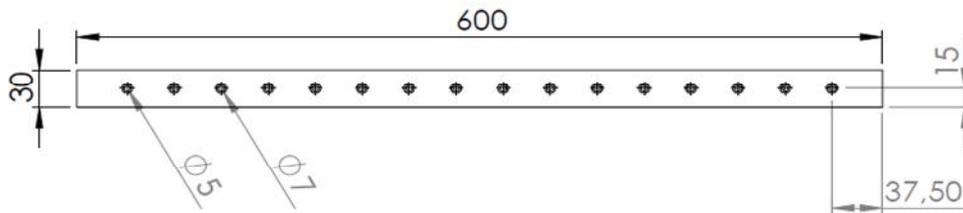
### IV.2-L'usinage de ce nouveau modèle de balancelle :

Après découpage de l'acier ordinaire sous forme de barre de dimensions suivantes : largeur de 30 mm, longueur 600 mm et épaisseur de 4mm, une fraiseuse verticale est utilisée pour l'usiner.



Figure IV.1 : Fraiseuse verticale utilisée

A l'aide d'un foret, on perce le premier trou de diamètre 5mm à une distance de 37.5 mm et on refait la même expérience à chaque distance de 35mm jusqu'à l'obtention de 16 trous. En utilisant un foret de diamètre 7, on réalise des chanfreins 1.5\*45° des deux cotés de la barre.



**Figure IV.2 : Balancelle réalisée**

Après cette réalisation, on l'a mise en place à la chaîne porte de l'atelier peinture qui a les caractéristiques suivantes :

Longueur de chaîne porte BB	429 m
Vitesse (fonctionnement normal)	3.1 m/min (variable de 1 à 4m/min)
Temps de cycle	19.7 sec
Intervalle entre perches (porte)	1.021 m

Dans ce chapitre, nous allons présenter les techniques et les équipements expérimentaux employés dans notre expérience. Pour minimiser l'épaisseur de la couche de peinture d'une porte d'un réfrigérateur, un récapitulatif de la tôle DC03 A est représentée ci-dessous.

- D : produit plat pour formage ;
- C : pour les produits laminés à froid ;
- 03 : emboutissage ;
- A : aspect de surface

Selon le diagramme fer carbone on peut classer notre acier comme un acier extra doux.

### IV.3-Tôles DC03 A et leur état de livraison

Les tôles sont des produits les plus utilisés à l'entreprise l'ENIEM. Elles sont livrées sous forme de bobines laminées à froid, généralement importées d'Allemagne ou de la Turquie. Ces bobines doivent être fournies huilées des deux faces avec une couche d'huile neutre non siccatrice, exempte de corps étrangers et réparties de façon uniforme, de manière que dans des conditions normales d'emballage, de transport, de manipulation et de stockage, les produits ne présentent pas de corrosion. Les bobines sont emballées avec

châssis en bois, papier imperméable protégées par deux flasques pour éviter d'abîmer les flancs de la bobine. L'emballage doit protéger la qualité du produit qui ne doit en aucun cas se détériorer lors du transport, la manutention et le stockage, et une à température qui varie de  $-5^{\circ}\text{C}$  à  $+55^{\circ}\text{C}$ . En outre, chaque bobine devra porter le numéro de coulée et le poids.

Le fournisseur est tenu de joindre les documents de contrôle des matériaux dans lesquels on pourra lire la composition chimique sur l'échantillon de coulée, les caractéristiques mécaniques et le numéro de la coulée.

#### IV.3.1-Dimensions des bobines

La tôle devra être livrée en bobine de 6 à 10 tonnes

- Diamètre intérieur minimal : 470 mm
- Diamètre intérieur maximal : 520 mm
- Diamètre extérieur maximal : 1800 mm
- Largeur : 681 mm



Figure IV.3 : Bobines de tôle

#### IV.4- Dimensions de la tôle d'acier DC03 A :

Tôle d'acier laminée à froid utilisée pour réalisation de pièce en tôlerie des réfrigérateurs électriques.

N° CODE	EPAISSEUR (mm)	LARGEUR (mm)	TOLERANCE (mm)
100271	0.6	681	+2 -0

## IV.5- Caractéristiques de la DC03 A :

Conforme à la norme NF EN 10 130-DC 03 A

### IV.5.1- Composition chimique

Le tableau ci-dessous nous donne la composition chimique de la tôle DC03 A.

**Tableau IV.1 : Composition chimique de la DC03 A**

COMPOSITION CHIMIQUE EN %				
C	P	S	Mn	Ti
0.10	0.035	0.035	0.45	-

### IV.5.2- Caractéristiques mécaniques :

Le tableau ci-dessous nous donne les caractéristiques mécaniques de la DC03 A.

**Tableau IV.2 : Caractéristiques mécanique de la DC03 A**

Re (N/mm <sup>2</sup> )	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	A % (% min)
140/240	270/370	34

## IV.6- Caractéristiques techniques de la peinture poudre époxy polyester Blanc bleuté utilisée

La peinture en poudre thermodurcissable à base de résine époxy polyester, est utilisée pour le revêtement des pièces en acier.

### IV.6.1- Caractéristiques de la poudre

Le Tableau IV.3 représente les caractéristiques de la poudre.

**Tableau IV.3 : Caractéristiques de la poudre époxy polyester blanc bleuté**

Caractéristiques	Critères
Densité	1.5 ± 0.2
Taille des particules	30 à 35 µm
Date limite d'utilisation	Minimum 12 mois à 35°
Rendement théorique	10 à 12 m <sup>2</sup> /kg

### IV.6.2- Caractéristiques de la couche de peinture :

Le Tableau IV.4 représente les caractéristiques de la couche de peinture.

**Tableau IV.4 : Caractéristiques de la couche de peinture**

Caractéristiques	Critères
Epaisseur du feuil	60 à 70 µm

Couleur	Blanc bleuté ENIEM
Brillance (60°)	88 à 99 (ISO 2813)
Pliage (mandrin conique)	Ø 4 (ISO 1519)
Emboutissage Erichsen	≥ 7mm (ISO 1520)
Adhérence	Classe 0 (ISO 2813)
Résistance au choc	> 2.5 N/m (ISO 6272)
Résistance à l'humidité	1000h
Résistance au solvant	Sans altération de couleur et de brillance

#### IV.7- Paramètres d'application de cette peinture :

Notre étude est faite en chaine portes et condenseurs (BB).  
Elle se compose de :

- Installation de prétraitement
- Four de séchage
- Une cabine de peinture manuelle
- Une cabine de peinture électrostatique
- Four de cuisson
- La peinture est appliquée par injection électrostatique corona.
- La peinture est appliquée sur acier prétraité, phosphatation au zinc ou fer avec une passivation
- La cuisson de la peinture se fait de 160° à 180°C pendant 10 à 20 mn.

#### IV.8 - Mise en peinture de l'échantillon :

En premier lieu, on prend une porte d'un réfrigérateur qui va subir une succession d'opérations appropriées (la phosphatation et la passivation chromique) dite traitement de Surface qui est accrochée à la nouvelle balancelle qui est faite par nous même.

Le Tableau IV.5 représente les différentes opérations de traitement de surface. Après les traitements de surface, on obtient des surfaces aptes à la mise en peinture.

Dans la Préparation de notre échantillon, on utilise un procédé qui consiste à charger électriquement les particules de la peinture et de les diriger sous un champ électrique vers la tôle à peindre.

**Tableau IV.5 : Les opérations de traitement de surface**

Opération	Rôle	Temps de l'opération	Température	Quantité de pulvérisation	Capacité du bain
Pré dégraissage	Installation destinée au lavage des pièces (préalable)	(29 à 41 sec) 33 sec	60°C	800 L/min	2000 L
Dégraissage	Installation destinée à enlever les saletés persistantes	(55 à 77 sec) 85 sec	60°C	1500 L/min	4000 L
1 <sup>er</sup> rinçage	Ces rinçages sont prévus dans le but d'enlever toutes les traces des produits de dégraissage	(29 à 41 sec) 33 sec	--	900 L/min	2500 L
2 <sup>ème</sup> rinçage					
Traitement par phosphate de Zinc	contre la corrosion des pièces traitées et améliorer l'adhérence de la peinture	(80 à 120 sec) 91 sec	60°C	3400 L/min	7500 L
3 <sup>ème</sup> rinçage	ces rinçages sont prévus pour laver les pièces du phosphate de zinc	(29 à 41 sec) 33 sec	--	900 L/min	2500 L
4 <sup>ème</sup> rinçage					
1 <sup>er</sup> rinçage à l'eau pure	ce dispositif est destiné à enlever les impuretés adhérant aux pièces	(15 à 22 sec) 17 sec	--	60 L/min	1400 L
Traitement complémentaire	ce procédé de traitement par chromatation est prévu pour améliorer l'anticorrosivité des pièces	(29 à 41 sec) 33 sec	40°C	900 L/min	2500 L
5 <sup>ème</sup> rinçage	Ce rinçage est prévu pour le lavage après traitement complémentaire	(29 à 41 sec) 33 sec	--	900 L/min	2500 L
2 <sup>ème</sup> rinçage à l'eau pure	Installation prévue pour éliminer les ions dissous dans l'eau en vue d'améliorer la qualité de la pièce après peinture	(15 à 22 sec) 17 sec	--	--	--

**Tableau IV.6 : Paramètres de contrôle**

N°	Procédé	Produit utilisé	Caractéristiques	Valeur limite	Valeur de consigne	concentration	Capacité
1	Prédégraissage	Dégraissant alcalin	Alcalinité	> 13 ml	15 à 17 ml	10 Kg/m <sup>3</sup> d'eau	2,7 m <sup>3</sup>
			Température	40 à 60 °C	45 à 55 °C		
			pression de pulvérisation	1 à 1,5 Kg/cm <sup>2</sup>	1,0 à 1,4 Kg/cm <sup>2</sup>		
2	Dégraissage	Dégraissant alcalin	Alcalinité	> 13 ml	15 à 17 ml	10 Kg/m <sup>3</sup> d'eau	5,4 m <sup>3</sup>
			Température	40 à 60 °C	45 à 55 °C		
			pression de pulvérisation	1 à 1,5 Kg/cm <sup>2</sup>	1,0 à 1,4 Kg/cm <sup>2</sup>		
3	1 <sup>er</sup> Rinçage	Eau	Température	Ambiante	/		2,7 m <sup>3</sup>
			pression de pulvérisation	0,8 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>	0,85 à 1,05 Kg/cm <sup>2</sup>		
4	2 <sup>ème</sup> rinçage	Eau	Température	Ambiante	/		2,7 m <sup>3</sup>
			pression de pulvérisation	0,8 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>	0,85 à 1,05 Kg/cm <sup>2</sup>		
5	Formation de couche (phosphatation)	Agent filmogène (phosphate de zinc)	Acidité totale	14,5 à 25,5 ml	15 à 25 ml	40 Kg/m <sup>3</sup>	8,9 m <sup>3</sup>
			Acidité en suspension	0,8 à 1,4 ml	0,9 à 1,4 ml		
		Accélérateur	Valeur accéléré	1,0 à 3,5 ml	1,5 à 3 ml	4 L/m <sup>3</sup>	
		Solution d'hydroxyde de sodium (25%)	Température	30 à 45 °C	33 à 35 °C	1,6 Kg/m <sup>3</sup>	
pression de pulvérisation	0,5 à 1,0 Kg/cm <sup>2</sup>		0,85 à 1,05 Kg/cm <sup>2</sup>				
6	3 <sup>ème</sup> rinçage	Eau	Température	Ambiante	/		2,7 m <sup>3</sup>
			pression de pulvérisation	0,8 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>	0,85 à 1,05 Kg/cm <sup>2</sup>		
7	4 <sup>ème</sup> rinçage	Eau	Température	Ambiante	/		2,7 m <sup>3</sup>
			pression de pulvérisation	0,8 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>	0,7 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>		
8	1 <sup>er</sup> Rinçage à	Eau pure	Résistivité	>100,000 Ω/cm	> à 100,000 Ω/cm		1,4 m <sup>3</sup>
			pression de pulvérisation	0,7 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>	0,8 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>		
9	Traitement postérieur	Agent de la famille de l'hexachrome	Teneur en Cr	2 à 4 ml	3,8 à 5,2	125 ml/m <sup>3</sup>	2,7 m <sup>3</sup>
			PH	2,5 à 3,5	4 à 5		
			Température	Ambiante	/		
			pression de pulvérisation	0,8 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>	0,85 à 1,05 Kg/cm <sup>2</sup>		
10	5 <sup>ème</sup> rinçage	Eau	Température	Ambiante	/		2,7 m <sup>3</sup>
			pression de pulvérisation	0,8 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>	0,85 à 1,05 Kg/cm <sup>2</sup>		
11	2 <sup>ème</sup> rinçage à l'eau pure	Eau pure	Température	Ambiante	/		
			pression de pulvérisation	0,8 à 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>	0,85 à 1,05 Kg/cm <sup>2</sup>		

## IV.9-Equipements utilisés

### IV.9.1- Tunnel de prétraitement de surface

Pour cette étape, on utilise un tunnel de prétraitement TOSHIBA, qui est programmé de faire en chaine plusieurs opérations (pré dégraissage, dégraissage, phosphatation, ect...). Chaque étape est suivie d'une opération de rinçage pour éviter

- La transformation de produit d'un bain à l'autre
- La variation de la concentration
- La contamination entre les bains



Figure IV.4 : Tunnel de prétraitement TOSHIBA utilisé.

### IV.9.2- Cabine de peinture électrostatique

C'est une cabine de poudrage de marque WAGNER ITEP pour application automatique de la couche de peinture. Cette cabine fonctionne en récupération de poudre.

Tableau IV.7 : Caractéristiques de la cabine de peinture électrostatique utilisée

Désignation	Spécification
Dimensions intérieures	1800 R x 4250 H x 5140 L
Vitesse du vent (sens latéral)	0,11 m/s
Quantité d'air aspiré	70 m <sup>3</sup> /min
Eclairage	200 lux
Dimensions de la pièce à peindre	600 x 1700 x 700
superficie à peindre	1315 m <sup>2</sup> /h
peinture utilisée	Peinture en poudre
Nombre de cabine par chaine	01 cabine
Constructeur/Origine	Toshiba/Japon



Figure IV.5: Cabine de poudrage utilisée

#### IV.9.2.1-Mise en marche de la cabine de peinture

Avant le démarrage, la cabine de poudrage doit être nettoyée soigneusement pour enlever tous les restes de saletés et de production.

- **Mode opératoire**

- Allumer le sécheur d'air
- Mettre en marche la boîte de commande
- Réarmer l'alarme
- Activer la commande
- Appuyer sur le bouton « Références »
- Mettre en marche le filtre
- Activer la commande des EPG SPRINT
- Mettre en marche la lumière et le conteneur
- Choisir le programme

- Positionner les réciprocaturs
- Passer au mode AUTOMATIQUE
- Mettre en marche le convoyeur

#### ***IV.9.2.2 –Programme de revêtement***

Les programmes servent à éviter des longs travaux de réglage.

Tous les paramètres importants pour le revêtement d'une pièce sont résumés et mémorisés sur un numéro de programme.

Un programme EPG-SPRINT comprend les paramètres suivants :

- Haute tension [KV]
- Limitation de courant [ $\mu$ A]
- Débit d'air total [ $m^3/h$ ] (fixé à  $3.7 m^3/h$ )
- Air de pulvérisation [ $m^3/h$ ] (fixé à  $0.10 m^3/h$ )
- Régulateur rotatif universel
- Quantité de poudre en %

L'opérateur peut sauvegarder autant de programmes qu'il ya de pièces.

##### ***IV.9.2.2.1 – Programmation de notre pièce***

- **Mode opératoire**

- positionner la pièce entre les deux réciprocaturs et arrêter le convoyeur.
- Aller à
- Appuyer sur 3
- Appuyer sur le réciprocatcur 1 puis 2 pour faire descendre les pistolets au plus bas niveau
- Positionner les pistolets entre 15 et 20 cm de la pièce
- Revenir au menu principal
- Aller à programme
- Appuyer sur le numéro déjà affiché et choisir le numéro du programme sur le clavier et valider
- Appuyer sur l'icône > devant le texte : pour renommer le programme..., toucher la barre des noms et saisir le nom de la pièce à programmer sur le clavier et valider.

- Appuyer sur ok
- Appuyer sur l'icône réciprocatrice et régler la course des pistolets selon la hauteur de la pièce
- La course doit être  $\geq 1$  m
- Régler la vitesse des va et vient des pistolets de sorte que le temps de course soit de 6.7 s. Ok
- Le message « voulez-vous modifier les paramètres... » apparaît.
- Appuyer sur SI pour mettre les distances, avant et après la pièce, qui conditionnent le déclenchement et l'arrêt des pistolets. Ok
- Régler les paramètres : Voltage (KV), Ampérage ( $\mu$ A), débit d'air ( $m^3/h$ ) et le pourcentage (%) de poudre sur l'EPG SPRINT pour chaque pistolet.
- Passer au mode AUTOMATIQUE et remettre en marche le convoyeur.



Figure IV.6 : Programme de revêtement utilisé pour notre pièce

### IV.9.3- Cabine de peinture manuelle

C'est la cabine dans laquelle on effectue manuellement la retouche de peinture

Tableau IV.8 : Caractéristiques de la cabine de peinture manuelle utilisée

Désignation	Spécification
Dimension	3200 x 3790 x 6870 (l x h x L)
Vitesse du vent (sens latéral)	0,41 m/s
Quantité d'air aspiré	550 m <sup>3</sup> /min
Débit d'eau (alimentation)	80l/h

Eclairage	> 700 lux
Nombre d'opérateurs	01
Dimensions de la pièce à peindre	600 x 1700 x 700
superficie à peindre	1315 m <sup>2</sup> /h
peinture utilisée	Peinture en poudre
Nombre de cabine par chaine	01 cabine
Origine	Japon
Constructeur	Toshiba

**IV.9.4- Four de séchage**

C'est un four de marque THOSHIBA réglé à une température de 150°. La durée de séchage dans notre four est de 10 min. Ceci permet de sécher l'eau adhérente sur la surface des pièces après le prétraitement.



**Figure IV.7 : Four de séchage utilisé**

**Tableau IV.9 : Caractéristique du four de séchage utilisé**

CARACTERISTIQUES	
Brûleur	400 000 Kcal/h (max)
Ventilateur de circulation d'air chaud	500 m <sup>3</sup> /kcal/min
Ventilateur de soufflant du Brûleur	30 m <sup>3</sup> /min
Ventilateur d'évacuation d'air	100 m <sup>3</sup> /min
Température de l'étuve	150°C
Longueur du transporteur à l'intérieur de l'étuve	30 m
Temps de séjour dans l'étuve	10min avec V=3m/min

#### IV.9.5- Four de cuisson

C'est un four de marque THOSHIBA réglé à une température de 180°. La durée de séchage dans notre four est de 20 min. Ceci permet de fixer les particules de la poudre de peinture sur nos échantillons

**Tableau IV.10 : Caractéristique du four de cuisson utilisé**

CARACTERISTIQUES	
Brûleur	700 000 Kcal/h (max)
Ventilateur de circulation d'air chaud	700 m <sup>3</sup> /kcal/min
Ventilateur de soufflant du Brûleur	30 m <sup>3</sup> /min
Ventilateur d'évacuation d'air	100 m <sup>3</sup> /min
Température de l'étuve	180°C en fonctionnement normal (max 230°C)
Longueur du transporteur à l'intérieur de l'étuve	60 m
Temps de séjour dans l'étuve	20min avec V=3m/min



**Figure IV.8 : Etuve de séchage**

## IV.10- Essais mécaniques sur la couche de peinture obtenue avec la nouvelle balancelle

Les essais sur la couche peinture sont effectués après deux heures de temps de sortie de nos échantillons du four de séchage

### IV.10.1- Mesure de l'épaisseur de revêtement

#### IV.10.1.1. Le micro test

Méthode magnétique EN ISO 2178. Cet appareil de marque FD est utilisé pour mesurer la profondeur de revêtement sur 5 point différents d'une porte d'un frigidaire



Figure IV.9 : Micro teste utilisé

L'ensemble de l'appareil se compose de :

- Un écran avec affichage numérique
- Une sonde de mesure à pression constante
- Un échantillon de mesure (plaquette en acier poli)

#### Mode opératoire

- Effectuer la mise à **zéro** de l'appareil avec la mollette zéro en posant la sonde de mesure sur la plaquette d'acier
- Avec l'appareil ainsi étalonné, placer la sonde sur le point de mesure
- Lire la valeur de l'épaisseur ( $e_1$ ) indiquée par l'appareil
- Refaire le prélèvement sur cinq (05) points différents et relever ainsi « 5 » valeurs de l'épaisseur de la couche de peinture ( $e_1, e_2, e_3, e_4$  et  $e_5$ )

-Faire la moyenne des valeurs obtenues : 
$$Z = \frac{(e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_5)}{5}$$

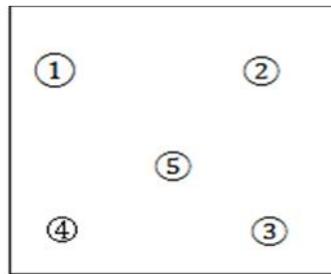


Figure IV.10: Contrôle de l'épaisseur de la couche de peinture sur une porte de réfrigérateur

#### IV.10.2- Essai de pliage

L'essai consiste à soumettre une éprouvette de forme rectangulaire 150mm de longueur, 50mm de largeur et d'une épaisseur 0.6mm, à une déformation plastique par pliage sans inversion du sens de flexion.

L'essai nous permettra de contrôler à la fois l'adhérence du revêtement et l'élasticité de la peinture, après l'essai de pliage le revêtement ne doit pas présenter aucun écaillage visible à l'œil nu.

-L'essai ne doit être exécuté qu'après un stockage des éprouvettes d'au moins trois (03) heures à T° ambiante

-Dimensions minimales de l'éprouvette (150 mm x 50 mm).

-L'ensemble de l'appareil se compose de :

- Du corps
- Des tiges de diamètres différentes.

-Le choix de « Ø » (diamètres de la tige) et de « E » (épaisseur de la plaque) est donné par le tableau suivant :

**Tableau IV.11 : Diamètre de la tige et l'épaisseur de la plaque équivalente**

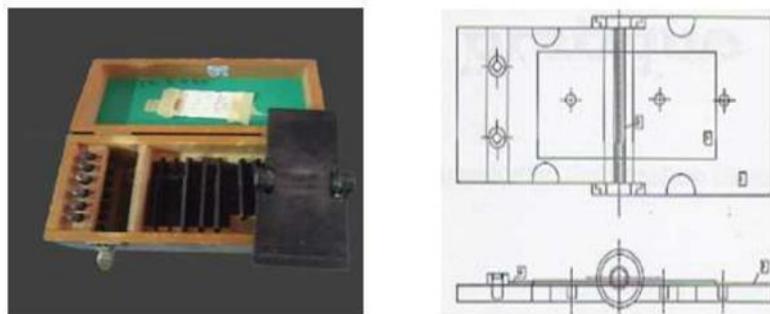
Tige	Ø (mm)	2	4	8	3	6	10
Plaque	E (mm)	4	3	1	3.5	2	0.5



**Figure IV.11: Dimension des éprouvettes de pliage selon la norme NF A 03-158**

### MODE OPERATOIRE

- Insérer l'éprouvette entre la tige et la plaque de support de sorte que la surface peinte soit du côté de la plaque pour qu'après l'essai, le côté revêtu soit à l'extérieur.
- Fermer l'appareil régulièrement sans secousse à 180° en une (01) seconde environ et examiner l'éprouvette à l'œil nu.
- Commencer par la tige de plus grand  $\varnothing$  et continuer les essais avec les tiges de plus en plus fines jusqu'à ce que la feuille se craquelle ou décolle de son support.
- Noter les paramètres ( $\varnothing$  et « E ») pour lesquels apparaissent les craquelures ou les décollements.



**Figure IV.12: Dispositif de l'essai de pliage**

Pour notre expérience, on utilise :

- Tige :  $\varnothing 6$  —————> Plaque : 02 (maximum)
- Tige :  $\varnothing 4$  —————> Plaque : 03 (minimum)

#### IV.10.3- Essai de quadrillage

-L'essai ne doit être exécuté qu'après un stockage des éprouvettes d'au moins trois (03) heures à T° ambiante.

-L'arête coupante de l'instrument doit être rectifiée à chaque fois que son usure dépasse 0.1 mm.

-L' appareil de quadrillage est constitué de deux parties, la première partie est le support et la deuxième est la partie coupante qui est composée de plusieurs arêtes tranchantes

### MODE OPERATOIRE

- Tracer une bande à six (06) coupes dans le revêtement de peinture.
- Les incisions doivent être faites de manière uniforme et pénétrer jusqu'au support (tôle) sans toutefois couper celui-ci trop profondément.
- Perpendiculairement à ces incisions parallèles, exécuter de la même façon et avec le même écart, le même nombre d'incisions parallèles pour former un quadrillage.
- Retourner l'éprouvette, et à l'aide de la brosse douce, aider les carrées n'adhérant plus au support à s'en séparer complètement.
- Examiner à l'œil nu la surface quadrillée du revêtement de peinture et classement suivant le tableau pour comparaison avec les descriptions et à l'aide des illustrations.
- Faire l'essai en trois (03) endroits différents de la pièce. Il faut qu'il y ait une concordance entre les trois résultats. Sinon refaire l'essai.

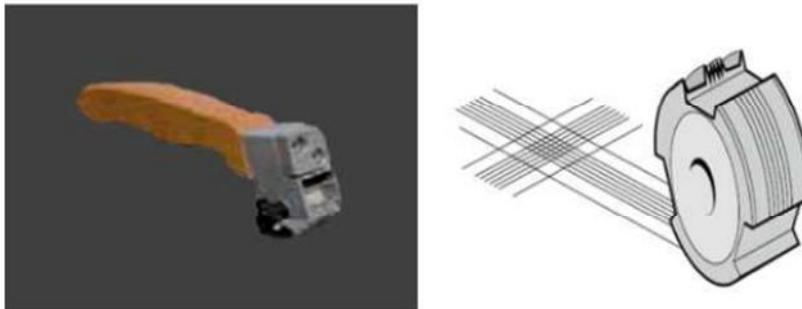


Fig. IV.13 : Appareil utilisé pour essai de quadrillage

#### IV.10.4- Essai d'emboutissage

-L'essai doit être exécuté après un stockage des **pièces** d'au moins trois (03) heures à température ambiante.

-Les dimensions de l'éprouvette utilisée (150 mm x50 mm).

-L'appareil se compose de :

- Un volant de fixation d'éprouvette.
- Une partie de fixation d'éprouvette.
- Un miroir de vérification.
- Un volant d'extrusion

### MODE OPERATOIRE

- Tourner à gauche le volant de fixation pour que la pièce puisse s'introduire entre la matrice et le poinçon.
- Tourner à gauche le volant d'extrusion jusqu'à ce que la graduation d'extrusion soit inférieure à zéro.

- Poser l'éprouvette de manière que la face à observer soit orientée vers la matrice et fixer l'éprouvette en tournant le volant de fixation à droite.
- Brancher la lampe et orienter le miroir convenablement.
- Tourner le volant d'extrusion à droite pour enfoncer le poinçon (la vitesse d'enfoncement doit être constante).
- Continuer à enfoncer le poinçon jusqu'à l'apparition de la première craquelure ou décollement de la feuille de son support.
- Indiquer la distance parcourue par le poinçon à partir de sa position zéro. Tourner à gauche le volant d'extrusion de manière à enlever l'éprouvette.
- Répéter ces opérations en trois endroits.

#### **IV.10.4.1- Machine d'emboutissage**

C'est une machine simple d'utilisation qui est destinée à faire des essais pour peintures. Elle permet de tester l'élasticité et l'adhérence des peintures et autres revêtements de protection par la méthode d'essai d'emboutissage.



**Fig. IV.14 : Machine d'emboutissage utilisée**

#### **IV.10.5- Essai de résistance au choc par chute de masse**

##### **IV.10.5.1- Appareil de choc**

Cet appareil est destiné aux essais de fissuration des revêtements et ainsi qu'aux essais d'adhérence et d'élasticité. A partir d'une hauteur de chute réglable, on fait tomber une masse à billes hémisphériques. Le choc de cette masse nous permet de mesurer la déformation de la tôle peinte.

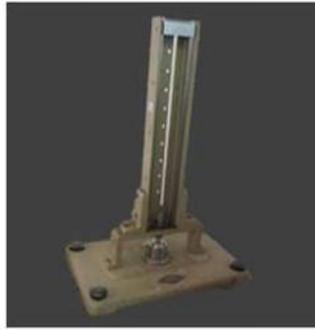
-L'ensemble de l'appareil se compose de :

- une hauteur de chute
- des pièces de coupe
- des masses

Les paramètres de travail sont :

- Charge 500

-Hauteurs de la charge : 300 mm, 400mm, 500mm



**Figure IV.15 : Appareil de choc utilisé**

#### **MODE OPERATOIRE**

- placer l'éprouvette sur la plaque de base, le côté à examiner étant tourné vers le haut.
- Laisser tomber la masse la plus légère sur l'éprouvette en commençant par la hauteur la moins importante.
- Augmenter successivement la hauteur de chute et recommencer l'opération sur des endroits différents de la pièce d'essai.
- Renouveler ces opérations avec des masses plus importantes jusqu'à déterminer la hauteur de chute et la masse altérant le revêtement.

#### **IV.10.6- Contrôle de l'aspect des pièces peintes**

S'assurer que :

- La peinture est suffisamment couvrante.
- Le degré de brillance est homogène sur toute la surface.
- Les surfaces des pièces peintes sont propres et lisse.
- Les traces de polissage n'apparaissent pas.
- Les surfaces des pièces peintes ne sont pas rugueuses, par suite d'impuretés telle que poussières saletés...etc.
- Les surfaces peintes sont régulières :
  - Pas de cicatrices
  - Pas de bulles
  - Pas d'écoulement de peinture
- Les contrôles doivent se faire à moins d'un mètre (1 m), à la lumière du jour cette distance aucun défaut d'aspect de surface ne doit apparaître.

### IV.11-Examens micrographiques :

Dans la plupart des cas, il faut préparer avec le plus grand soin la surface de l'échantillon (une surface polie) à observer pour que les détails importants de la micrographie ressortent bien. Les échantillons utilisés pour ces examens doivent passer par les étapes suivantes :

#### a- Préparations des échantillons :

La préparation des échantillons à observer au microscope optique se fait en différentes étapes :

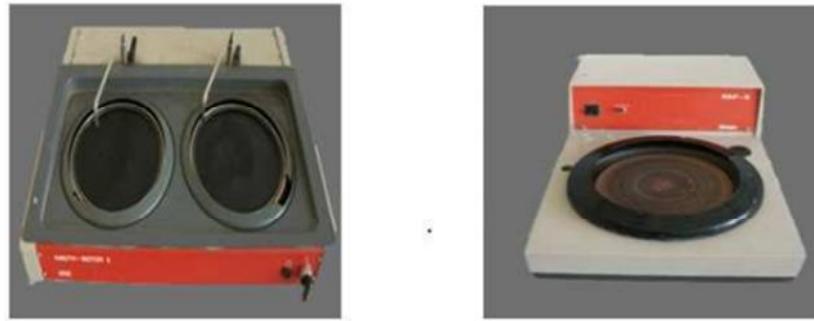
- **Prélèvement** : le prélèvement se fait généralement à la scie, le mode de prélèvement ne doit pas provoquer une surchauffe afin d'éviter la modification de la structure.
- **Enrobage** : l'enrobage est une opération qui consiste à incruster l'échantillon dans la résine, on utilise cette technique lorsque les échantillons sont de petites dimensions. Elle facilite la manipulation et la conservation lors de polissage des échantillons.



Figure IV.16 : Enrobeuse utilisée

- **Dégrossissage** : cette phase qui est plus délicate, permet d'arriver à une surface lisse ne comportant que de très fines rayures, invisibles à l'œil nu, qui disparaîtront dans la dernière phase, il se fait à l'aide de papier verre, à différentes granulométries p240, p400, p800, p1000, p 1200, p2000, p4000 disposés respectivement sur une polisseuse à arrosage abondant pour éviter tout risque d'échauffement.
  - **Finissage** : son objectif est d'obtenir une surface comparable à celle d'un miroir permettant ainsi de réfléchir la lumière
- b- Les polisseuses** : polisseuse à deux disques de type « Struers » alimentée sous une tension de 220 V et munie d'un dispositif d'arrosage.

Polisseuse à un disque de type « Struers » alimentée sous une tension de 220 V.  
La vitesse de rotation du disque varie de (150 tr/mn à 300tr/mn),



**Figure IV.17 : Polisseuses utilisées**

**c-Microscope optique** : Pour procéder à l'observation de nos échantillons étudiés, après leur polissage on a utilisé le microscope optique suivant :



**Figure IV.18 : Microscope optique**

C'est un microscope universel de type HUND WETZLAR, alimenté sous une tension de 220V, avec une fréquence de 50HZ et une puissance de 100 W. Il est muni d'un ordinateur et d'un appareil photo automatique ayant un pouvoir de résolution allant de 40 à 400 fois.

#### **d-Attaque chimique**

L'attaque a pour but de révéler les joints des cristaux et de différencier les constituants de l'alliage. La méthode la plus répandue consiste à tremper la face à attaquer dans le réactif choisi qui est le Nital pendant un temps convenable ; généralement à la température ambiante, puis on lave l'échantillon sous un jet d'eau.

#### **c-Micro Duromètre**

Comme son nom l'indique, cet appareil a pour le but de calculer la micro dureté à l'échelle microscopique. Dans notre expérience, on utilise une machine de marque Zwick/Roel lndentec.

Les paramètres du travail sont :

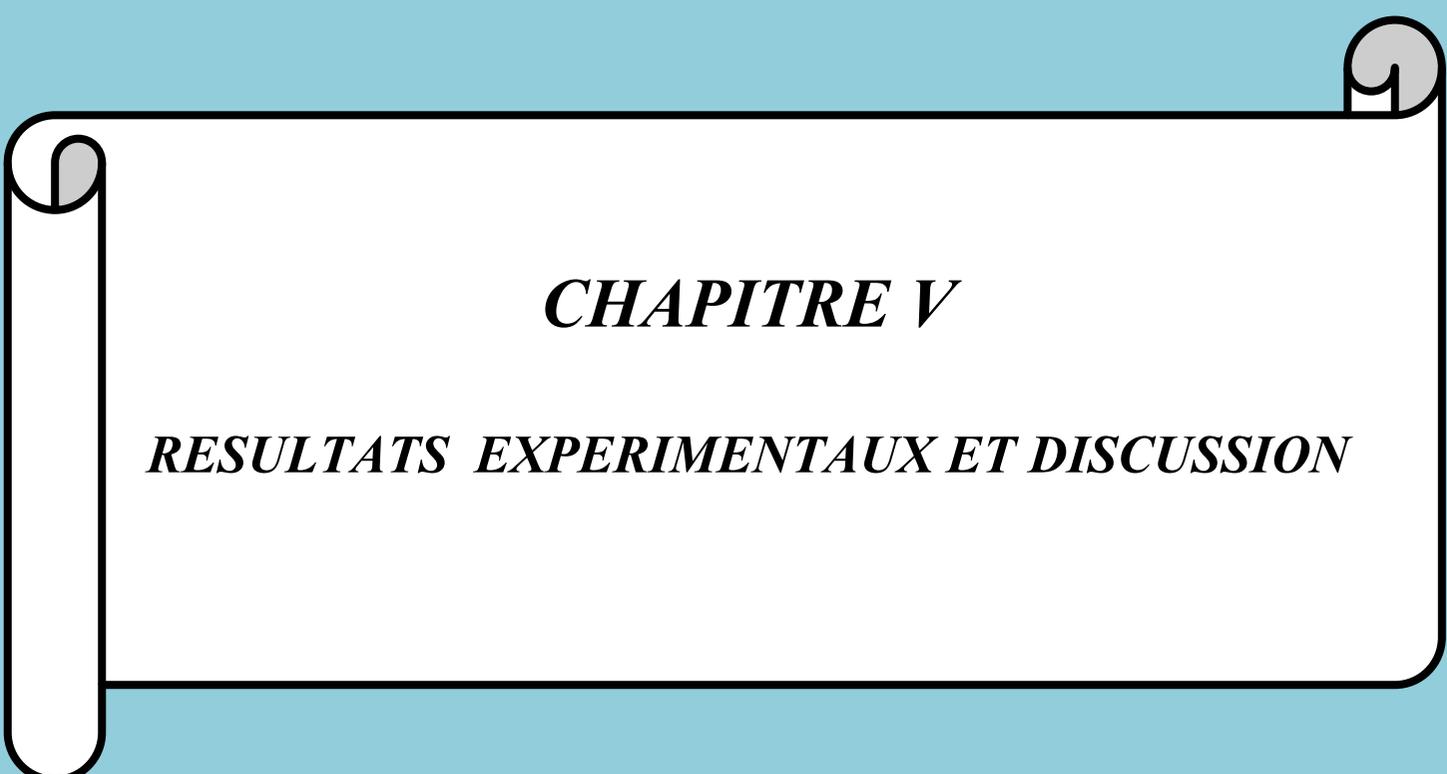
- Charge :  $F=0.025\text{Kgf}$ , Durée 20 s



**Figure. IV.19 : Micro Duromètre**

### **IV.12-Conclusion**

Ce chapitre récapitule les différents matériels et norme utilisés dont le but de minimiser l'épaisseur de la couche de peinture en poudre de la porte d'un réfrigérateur ENIEM ainsi que les résultats de l'adhérence de la peinture sur cette tôle. Les résultats que nous obtiendrons feront l'objectif du prochain chapitre.



*CHAPITRE V*

*RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION*

## CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION

### V.1-Introduction

L'application des peintures en poudre est l'opération qui permet le revêtement, d'un support prétraité, par un film de peinture. Bien que simple dans sa mise en œuvre, la qualité du résultat final est liée au système de projection et au professionnalisme de l'opérateur.

Le choix du système d'application, principalement lié à l'encombrement, à la géométrie et à la qualité des pièces à peindre, nécessite l'utilisation de poudres adaptées. Les résultats d'application seront optimisés par la mise en place d'installations de poudrage le mieux adaptées aux pièces à revêtir et à l'emplacement disponible.

Notre étude a pour objectif de minimiser l'épaisseur de la couche de peinture (poudre) de la porte d'un réfrigérateur utilisé au sein de l'entreprise ENIEM en utilisant le nouveau système de balancelle qui vise à maîtriser et à comprendre le phénomène de l'adhérence des peintures poudres.

### V.2- Caractéristiques de la tôle DC03 A

#### V.2.1-Composition chimique

Le tableau ci-dessous nous donne la composition chimique de la tôle utilisée.

**Tableau V. 1 : Composition chimique de la DC03 A**

COMPOSITION CHIMIQUE EN %				
C	P	S	Mn	Ti
0.10	0.035	0.035	0.45	-

A partir du tableau ci-dessus, on remarque que la tôle de l'acier DC03 A a une teneur en carbone très faible, elle varie entre 0.05 à 0.10, c'est ce qui nous permet de dire que l'acier DC O3 A est un acier extra doux.

Le pourcentage des additifs de notre acier est aussi faible

#### V.2.2-Microstructure de la tôle DC03 A

L'observation au microscope optique près polissage mécanique et attaque chimique au Nital, nous a permis de mettre en évidence la microstructure de l'acier constituant la tôle utilisée.

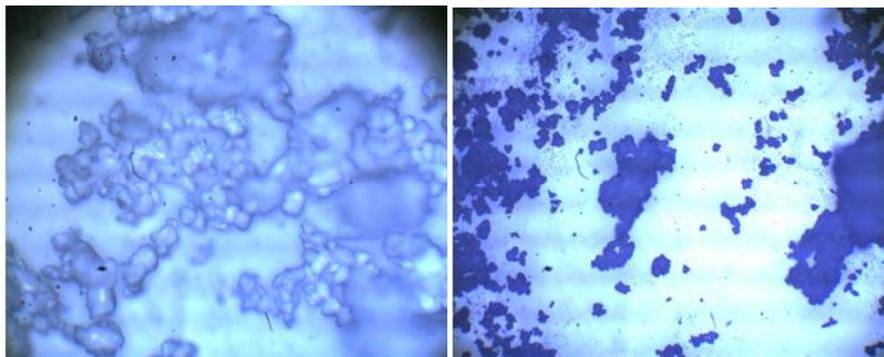


**Figure V.1 : Microstructure de l'acier DC03 A**

Cette micrographie montre que l'acier utilisé, de référence DC03 A, est un acier ferritique. Nous observons, en effet, des grains de couleur claire qui représentent la ferrite. Cet acier contenant 0.1 % de carbone est un acier hypoeutectoïde d'une structure ferritique.

### V.3-Caractéristiques de la peinture

La peinture utilisée au cours de ce travail se présente sous forme de poudre d'époxy-polyester dont les principales caractéristiques sont rapportées dans le tableau V.2. Dans le but d'observer l'aspect des grains de peinture, celle-ci a été dispersée sur une lame de verre et observée au microscope optique. La figure V.2 montre des micrographies des particules de peinture. Nous constatons que les grains ont des tailles très voisines. Leur couleur semble indiquer qu'elles ont un caractère homogène à cette échelle (le mélange époxy-polyester est apparemment très intime).



**Figure V.2 : Micrographies de la poudre époxy polyester utilisée**

La peinture en poudre thermodurcissable à base de résine époxy polyester, est utilisée pour le revêtement des pièces en acier.

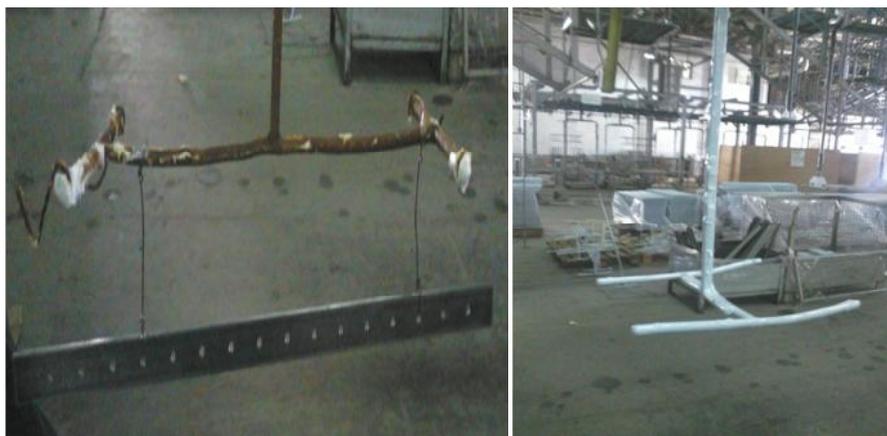
**Tableau V.2 : Caractéristiques de la poudre époxy polyester blanc bleuté**

Caractéristiques	Critères
Densité	1.5 ± 0.2
Taille des particules	30 à 35 µm
Date limite d'utilisation	Minimum 12 mois à 35°
Rendement théorique	10 à 12 m <sup>2</sup> /kg

#### V.4-Balancelle obtenue après l'usinage

Le poudrage électrostatique nécessite une bonne conduction électrique entre la masse du générateur de poudrage et le subjectile. La pièce est donc maintenue à la masse par l'intermédiaire de cette balancelle et du convoyeur. Ce support est poudré lors de l'application de la poudre diminue considérablement la conduction et ce qui influe négativement sur la couche de peinture appliquée. Il est donc nécessaire de changer le support pour garder une résistance entre la masse du générateur et la pièce.

D'après nous recherche, on a proposé à l'entreprise ce nouveau modèle de balancelle qui est fabriquée sur mesures pour bien assurer cette conduction qui va faire l'objet de notre étude.

**Figure V.3 : Nouveau modèle de balancelle réalisé****a : Nouvelle balancelle****b : Actuelle balancelle****Figure V.4 : Actuel système de balancelle et le nouveau proposé**

L'étude d'un système de réalisation du revêtement doit prendre en compte la balancelle utilisée et cela quelque soit le mode de séchage choisi. On remarque que l'actuel système de balancelle de l'entreprise ENIEM est complètement recouvert d'une épaisseur de peinture qui agira comme coupe-circuit et représentera un risque de feu. Ce qui influe négativement sur l'épaisseur de la couche de peinture appliquée. Pour éviter que ce problème surgisse, un groupe d'ouvrier est constamment présent sur place pour une opération de décapage qui est faite manuellement.

### V.5-Traitement de surface des deux échantillons



**Figure V.5 : Traitement de surface des échantillons avant peinture**

La préparation de ces deux surfaces a une grande importance dans l'augmentation de la performance totale de la peinture. On doit s'assurer de la propreté des surfaces, quelle que soit la variété de peinture

Dans ce cas, les types de phosphates utilisés sont généralement microcristallins à base de zinc ou de zinc aluminium, les épaisseurs sont inférieures à  $5\mu$ . En raison de la finesse des cristaux, ces couches sont caractérisées par leur excellente adhérence sur le support : la tenue à la corrosion temporaire est renforcée par l'utilisation de finition chromique qui améliore également l'adhérence de la peinture et sa résistance à la sollicitation mécanique. Cette préparation peut être réalisée dans les tunnels de traitements aux jets avec des phases successives :

- Dégraissage alcalin ou acide avec tensioactif
- Rinçage
- Phosphatation
- Rinçage
- Passivation chromique ou similaire
- Rinçage + rinçage eau déminéralisée

## V.6-La pulvérisation électrostatique par le procédé corona avec la nouvelle balancelle :



**Figure V.6 : La pulvérisation électrostatique**

La pulvérisation électrostatique C'est la technique qu'on a utilisé à l'entreprise ENIEM car elle s'adapte à la géométrie de nombreux supports et permet de bien maîtriser les épaisseurs déposées.

Ce processus peut être expliqué comme suit : les grains de peinture sèche en poudre sont envoyés au pistolet à peinture à l'aide de l'air comprimé et pulvérisés, chargés d'électricité, sur la porte déjà mise à la terre. Le transport des particules de peinture en poudre à la surface où la peinture sera appliquée à partir du pistolet se fait par l'union des puissances électriques et mécaniques. Ces puissances électriques sont formées à la suite de l'interaction du champ électrique entre les grains de peinture en poudre chargés d'électricité et la surface à peindre avec le pistolet. Quand aux puissances mécaniques, elles sont formées grâce à l'air qui propulse les grains de peinture en poudre vers le pistolet. Les grains de peinture en poudre qui sont isolants se tiennent, tout en gardant leur charge, à la surface métal de la porte où sera appliquée la peinture.

L'attraction des particules de peinture vers la pièce à peindre dépend de la conductivité du dispositif d'accrochage (balancelle) qui doit assurer le retour des charges électriques à la terre. Il faut établir une liaison ininterrompue de la pièce jusqu'à la prise de terre et dans ce circuit, ce nouveau dispositif d'accrochage (balancelles) constituent un élément important. Il vérifie fréquemment la présence d'une conduction électrique suffisante entre la pièce, le système d'accrochage et le convoyage. En effet, la peinture ne recouvre pas les points d'accrochages ce qui nous permet de minimiser et de favoriser l'économie de la couche de peinture. Le résultat de cette expérience sera confirmé par la mesure de cette épaisseur.

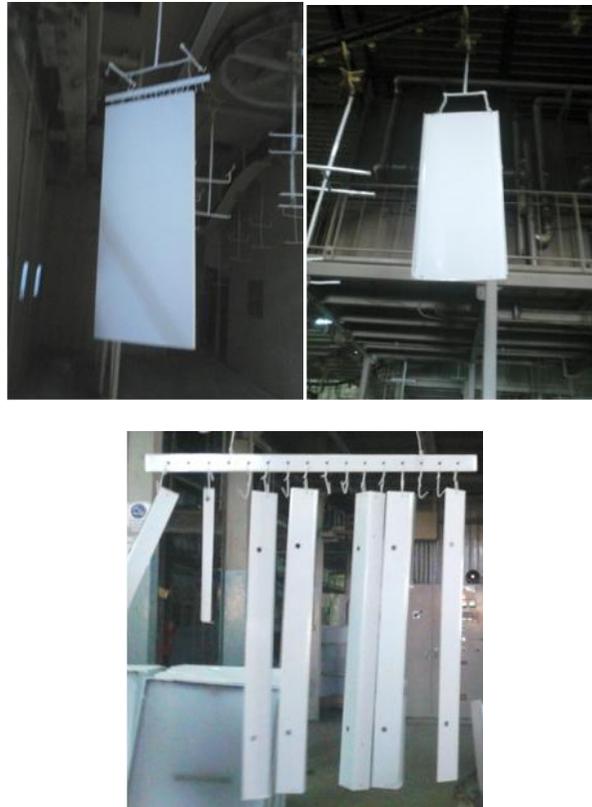


Figure V.7 : résultats obtenus de la pulvérisation électrostatique

## V.7-Résultats des essais d'adhérence et d'élasticité de la peinture

### V.7.1- Résultats de l'épaisseur de la couche de peinture



Figure V.8 : Couche de revêtement

**Tableau V.3 : Valeurs de l'épaisseur de la couche de peinture obtenue avec la nouvelle balancelle**

le point de contrôle	valeur de la charge [ $\mu$ ]
e <sub>1</sub>	53
e <sub>2</sub>	54
e <sub>3</sub>	44
e <sub>4</sub>	49
e <sub>5</sub>	46
Moyenne = (e <sub>1</sub> +e <sub>2</sub> +e <sub>3</sub> +e <sub>4</sub> +e <sub>5</sub> )/5	49

**Tableau V.4 : Valeurs de l'épaisseur de la couche de peinture obtenue avec l'ancienne balancelle**

Le point de contrôle	Valeur de la charge [ $\mu$ ]
e <sub>1</sub>	60
e <sub>2</sub>	46
e <sub>3</sub>	72
e <sub>4</sub>	89
e <sub>5</sub>	48
Moyenne = (e <sub>1</sub> +e <sub>2</sub> +e <sub>3</sub> +e <sub>4</sub> +e <sub>5</sub> )/5	63

On remarque que l'épaisseur de la couche de peinture obtenue avec la nouvelle balancelle est de 49 $\mu$ m et celle de l'ENIEM est de 63  $\mu$ m. Cette diminution de l'épaisseur est due à l'augmentation de la conductivité électrique suite à la modification du système d'accrochage qui permet d'éviter des pertes de peinture. Notons que ce nouveau système permet aussi une meilleure répartition de la peinture sur la tôle.

### V.7.2-Contrôle de l'aspect de la porte

**Figure V.9 : L'aspect de la porte**

La qualité de la peinture est évaluée en examinant la surface revêtue. Le revêtement ne comporte aucune rayure, aucune rugosité, aucune bulle, ni tâche ou piqûre ou autres défauts. La peinture est suffisamment couvrante et sans écoulement de peinture.

### V.7.3- Résultats du pliage maximum et minimum

Les figures V.10 et V.11 présentent les photographies des échantillons de tôles peintes en utilisant le modèle proposé et pliées en mode pliage maximum et pliage minimum.

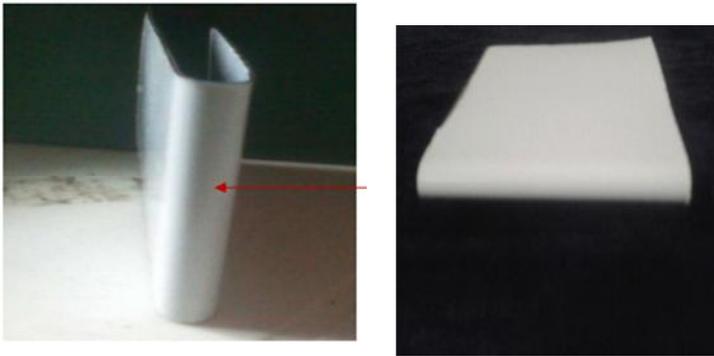


Figure V.10 : Résultats obtenus au cours de l'essai du pliage maximum



Figure V.11 : Résultats obtenus au cours de l'essai du pliage minimum

Les résultats des essais d'adhérence de la peinture obtenus sur les produits traités, ayant subis un essai de pliage, au maximum et minimum, examinés à l'œil nu ne présentent aucune fissuration sur la surface externe de la partie pliée. Ce qui nous permet de déduire que notre revêtement résiste au pliage et que son adhérence est suffisante.

## V.7.4-Résultats du quadrillage

### V.7.4.1-Essai de quadrillage

La figure V.12 montre les photographies des tôles peintes après essai de quadrillage. L'examen à l'œil nu présente l'absence de tout arrachement des carrés du quadrillage. La surface de la pièce est restée lisse et ne présente aucun décollement de la couche de revêtement.

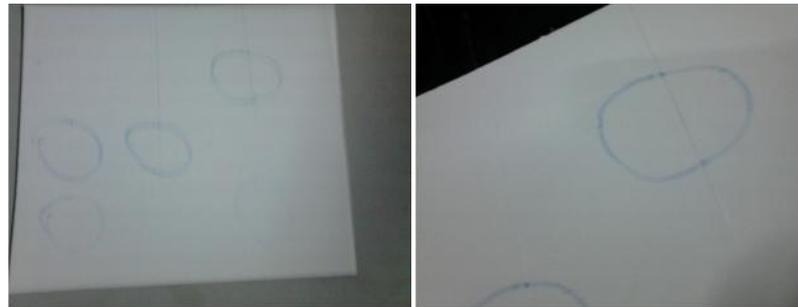


Figure V.12 : Résultats d'essai de quadrillage

### V.7.4.2-Micrographie de l'essai de quadrillage

La figure V.13 représente une micrographie de la surface de la tôle peinte en utilisant le nouveau modèle de balancelle après l'essai de quadrillage. Nous observons des lignes croisées représentant les saillies provoquées par les pointes de l'outil de quadrillage. Nous constatons l'absence d'arrachements de la peinture dans les zones d'intersection. L'observation montre des saillies en forme de droites claires et continues. Ce que signifie que l'outil a provoqué des saillies dont la profondeur est au niveau du métal constituant la tôle. Ceci met en évidence le fait que la peinture a été coupée par la pointe de l'outil sans provoquer des décollements

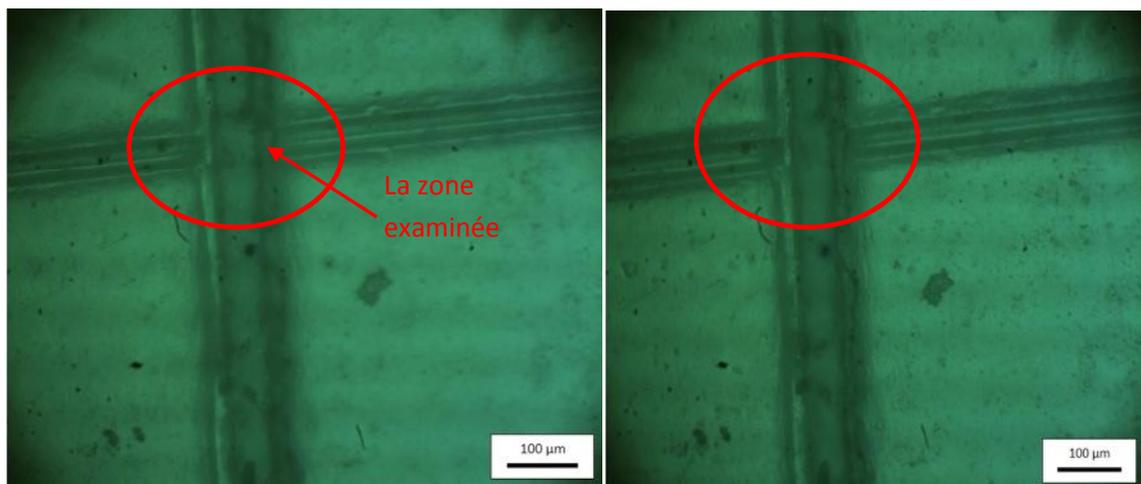


Figure V.13 : Micrographie du quadrillage (x100)

### V.7.5-Résultats d'emboutissage

La figure V.14 montre les photographies des tôles peintes après l'essai d'emboutissage. Cet essai nous a permis de tester l'élasticité du revêtement. L'examen à l'œil nu montre l'absence de fissure, ni aucun arrachement n'a été remarqué sur la surface extérieure de l'échantillon. On peut dire que la résistance élastique du revêtement est suffisante.

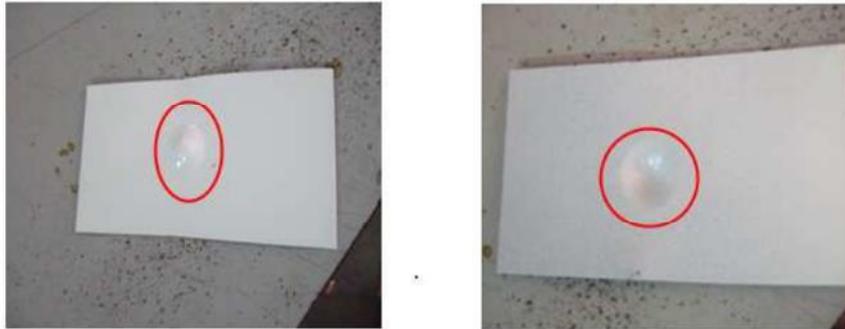


Figure V.14 : Résultat d'essai d'emboutissage

### V.7.6-Résultats de résistance au choc par chute de masses

La figure V.15 montre les photographies des tôles peintes après essai de résistance au choc par chute de masses selon les hauteurs indiquées dans le tableau V.5. L'énergie potentielle créée par la masse en fonction de la hauteur (H) n'a pas pu provoquer la détérioration du revêtement de l'échantillon. Par l'examen visuel, le revêtement ne présente ni fissuration, ni décollement ou tout autre défaut visible au niveau de l'empreinte. Ceci signifie que la résistance au choc du revêtement est acceptable.

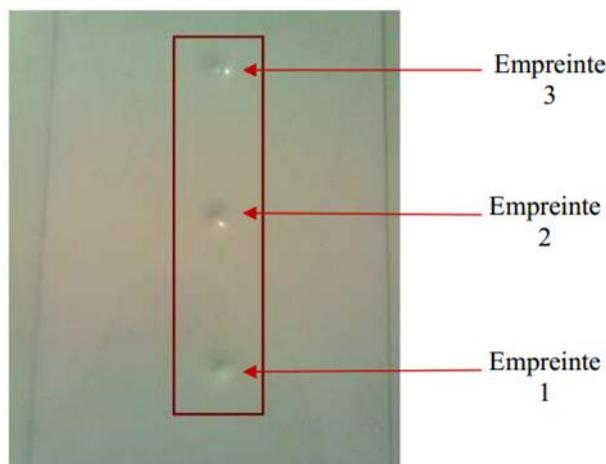


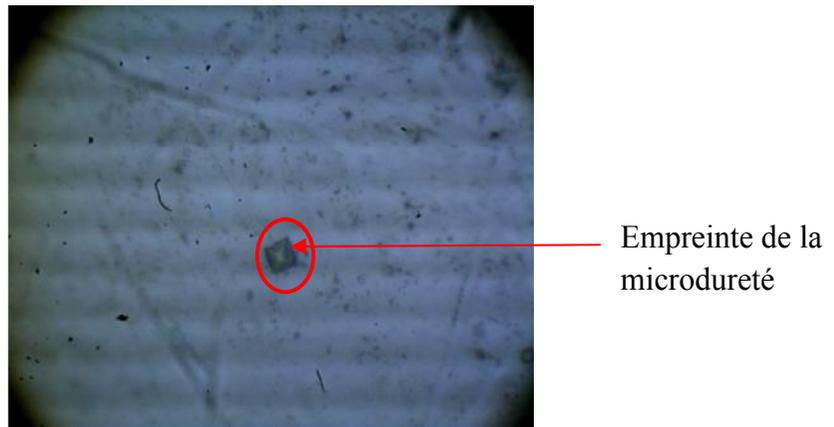
Figure V.15: Résultats sur l'essai de choc

**Tableau V.5: Hauteurs de chaque essai de choc**

Empreinte	Hauteur d'essai (H)
1	300
2	400
3	500

### V.7.7- Résultats de l'essai de microdureté

Les valeurs de microdureté de cet acier, rapportées dans le tableau V.6, montrent qu'il est de la catégorie des aciers extra doux. En effet, à l'état de livraison, la valeur de la dureté est de 144 tandis qu'elle prend la valeur 163 dans une zone pliée selon le mode maximum. Dans cette zone pliée, l'augmentation de la dureté de l'acier s'explique par l'apparition de zones plastifiées dans la partie pliée.

**Figure V.16 : Empreinte de l'essai de microdureté****Tableau V.6 : Valeurs moyenne des résultats de microdureté**

Echantillon	HV
AcierDC03 A avant pliage	144
Acier DC03 A avec pliage	163

### V.7.8-Résultats de l'essai d'attaque corrosive

Pour évaluer le comportement de la peinture à une attaque corrosive provoquée par le contact avec un acide, les deux tôles peintes ont été soumises à un contact avec l'acide nitrique HNO<sub>3</sub> concentré à 60% en volume. Le choix de l'acide et de sa concentration est motivé par le caractère acide de certains aliments et produits ménagers tels que les détergents. Ainsi, des gouttes de l'acide ont été déposées sur la tôles à des temps espacés de 5 mn. Au cours de l'expérience nous avons noté l'absence de toute réaction apparente (à

l'œil nu) entre les tôles peintes et l'acide au bout de 25 mn. Après 30 mn d'exposition, la goûte d'acide acquiert une couleur jaunâtre. Cette couleur est due au produit de réaction entre l'acide et la tôle en acier. En effet, après perforation de la couche de peinture, l'acier se retrouve exposé à l'attaque corrosive de l'acide. La corrosion de l'acier produit des oxydes de fer –la rouille, l'hématite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et probablement la magnétite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ – de couleur sombre tirant vers l'orange-rouge brique-marron. Ces oxydes, dilués dans une solution aqueuse apparaissent jaunâtre. Notons toutefois que la peinture réalisée en utilisant l'ancien modèle de balancelle a tenu relativement longtemps (à la 30<sup>ème</sup> mn environ) à l'attaque corrosive. Ce qui paraît logique puisque son épaisseur est plus importante que celle réalisée par notre modèle de balancelle.

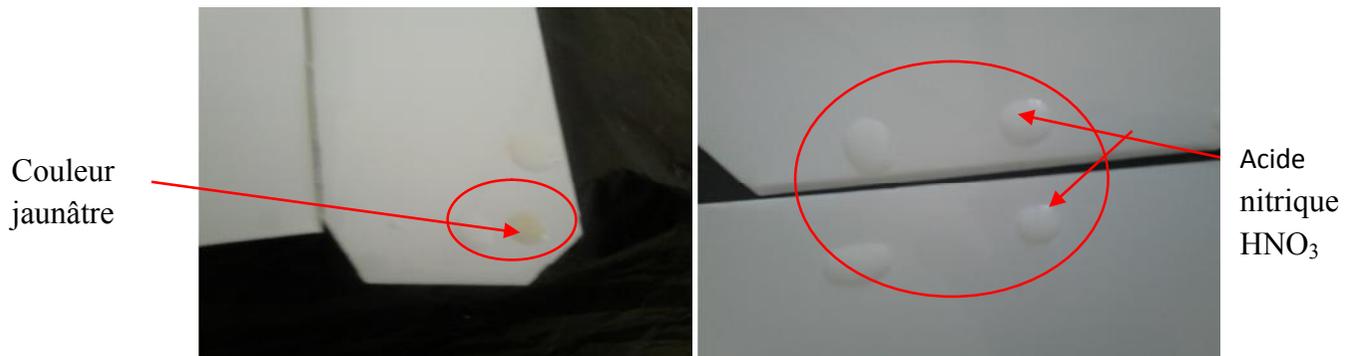


Figure V.17 : L'attaque corrosive

#### V.7.9-Analyse micrographique de l'attaque corrosive

La zone attaquée par l'acide nitrique concentré a été rincée par jet d'eau, séchée et observée au microscope optique. La figure V.18 présente la micrographie obtenue. Nous constatons que les zones d'attaque se présentent sous forme de zone de forme circulaire en couleur plus sombre (zone A). Une telle zone présente à sa périphérie une bande très fine de couleur claire. Ce qui laisse penser que l'attaque par l'acide peut avoir un caractère d'attaque par piqure.

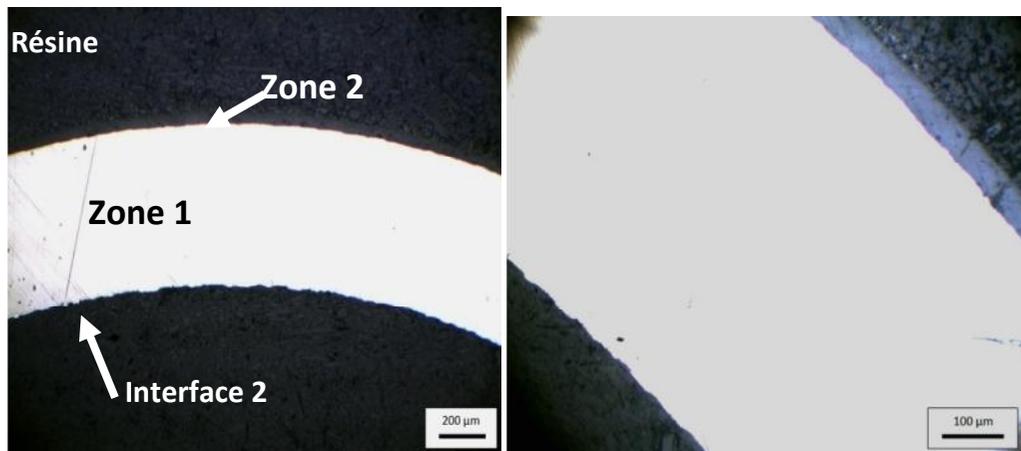


Figure V.18 : Résultat de l'attaque corrosive

## V.8-Examens micrographiques

### V.8.1-Résultats observés au microscope optique de la couche de peinture de 60 $\mu\text{m}$

Des échantillons ont été découpés, au niveau des zones pliées, à partir des tôles revêtues suivant les deux modes. Ces échantillons ont été enrobés dans une résine puis polis mécaniquement pour pouvoir observer, au microscope optique, une coupe de la tôle et de son revêtement. Les micrographies obtenues sont présentées sur les figures V.19 et V.20.



a) Vue avec grandissement 40

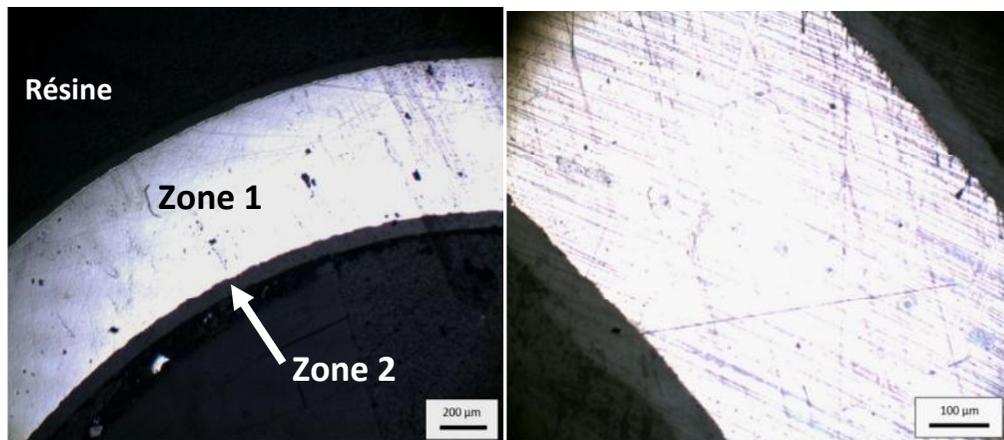
b) vue avec grandissement 100

**Figure V.19 : Micrographie de l'échantillon en coupe d'une couche de 60  $\mu\text{m}$**

Ces micrographies représentent une vue en coupe de la tôle peinte en utilisant l'actuel système d'accrochage de l'entreprise ENIEM et pliée en mode maximum. Ces micrographies montrent une seule couche de peinture. Cette observation microscopique nous permet de voir que la surface non-peinte présente des aspérités (interface 2) non couvertes de peinture. Ces aspérités peuvent être le siège d'attaques corrosives. De l'autre côté de la plaque, la couche de peinture (zone 2) se présente sous forme de bande d'une épaisseur moyenne de 60  $\mu\text{m}$   $\pm$  5% (mesures effectuées avec ImageJ). L'interface entre les zones 1 et 2 présente un aspect continu et la surface extérieure de la peinture est lisse.

### V.8.2-Résultats observés au microscope optique de la couche de peinture de 50 $\mu\text{m}$

La figure V.20 présente une micrographie optique d'un échantillon en coupe de la tôle peinte en utilisant le nouveau modèle de la balancelle et pliée en mode maximum.



a) Vue avec grandissement 40

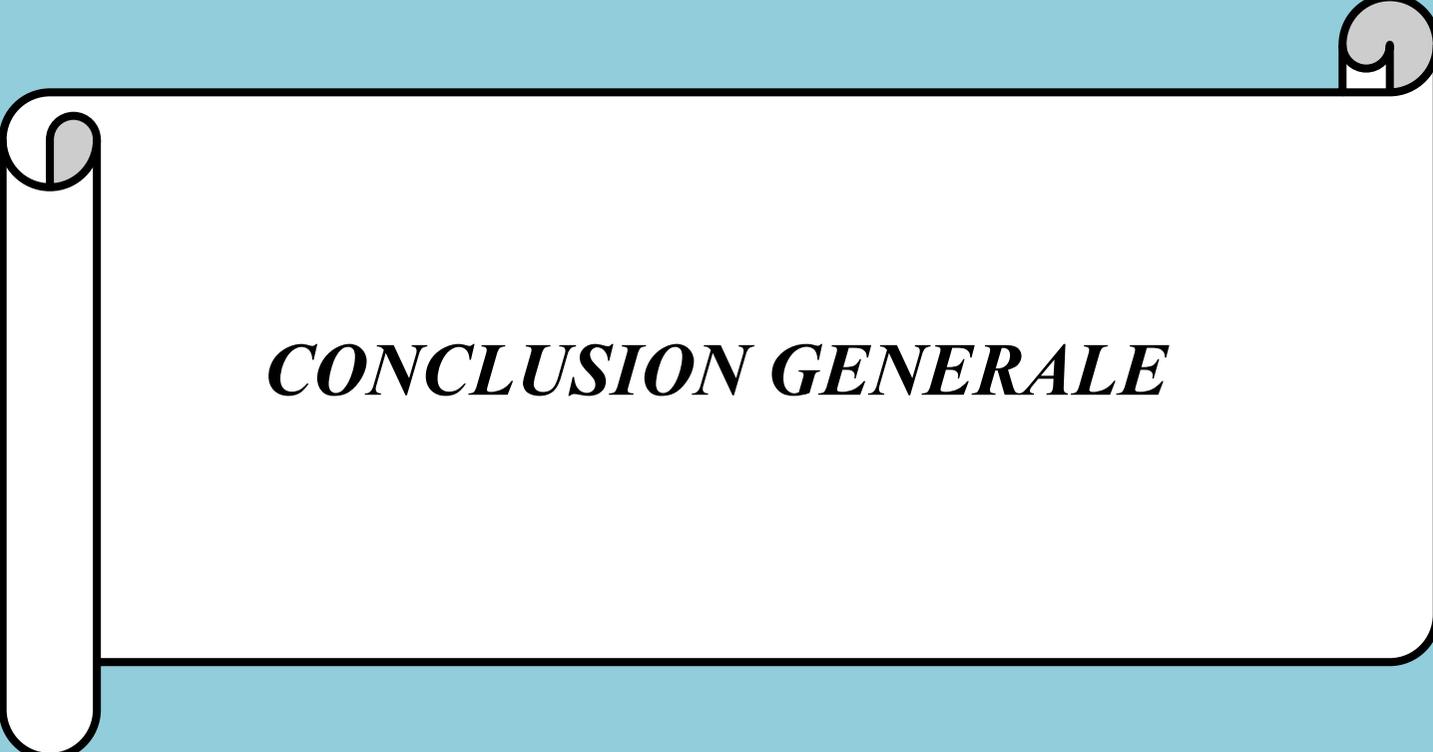
b) vue avec grandissement 100

**Figure V.20 : Micrographie de la couche de peinture 50 µm**

Nous observons une zone claire (Zone 1) d'une épaisseur de l'ordre de 600 µm (0,6 mm) et qui représente la tôle pliée vue en coupe. De part et d'autre de la tôle, nous observons une bande grise collée à la surface (Zone 2). Des mesures de l'épaisseur de la couche de peinture ont été réalisées sur cette micrographie en utilisant le logiciel ImageJ. Nous constatons que l'épaisseur moyenne de la couche de peinture dans ce cas est de l'ordre de 50 µm +/- 5%. A cette échelle, il apparaît que l'interface entre la tôle (zone 1) et la couche de peinture (zone 2) présente un aspect ondulé tandis que la surface extérieure de la peinture (interface entre la zone 2 et la résine) est plane. La micrographie (b) obtenue à plus fort grandissement (x100) met en évidence cette différence de l'aspect des interfaces des côtés tiré et comprimé de la tôle. Ce qui est significatif d'une bonne adhérence entre la peinture et la tôle et un aspect lisse de surface externe de la peinture. Nous constatons l'absence de fissures du film de peinture suite au pliage de la tôle. Ce qui traduit un comportement mécanique adéquat suite à la déformation de la tôle.

## V.9-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une nouvelle balancelle pour remplacer le système de peinture utilisé actuellement à l'ENIEM. Après tests et réalisation de revêtements sur des plaques d'acier préparées, nous avons soumis le revêtement à des essais d'adhérence et d'élasticité de la peinture poudre. Ensuite nous avons comparé les résultats obtenus avec ceux enregistrés sur des tôles peintes en utilisant l'actuelle balancelle de l'ENIEM. Nous avons constaté que l'utilisation de la nouvelle balancelle permet une diminution de l'épaisseur de la couche de peinture de 63 µm à 49 µm. La comparaison par des essais de pliage, de quadrillage et par observations au microscope optique pour les peintures réalisées selon les deux modes montre que le système proposé est bien adéquat et permet une économie de peinture sans trop altérer la tenue de la couche de peinture à l'attaque par l'acide nitrique.



***CONCLUSION GENERALE***

## **Conclusion Générale**

Le stage que nous avons effectué au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries Electroménagères (ENIEM) à Oued Aissi, Tizi Ouzou nous a permis de nous initier au milieu industriel, d'une part, et d'autre part, de confronter nos connaissances théoriques aux applications pratiques.

L'objectif de ce travail était de proposer une solution pour minimiser l'épaisseur de la couche de peinture (poudre) de la porte d'un réfrigérateur. Pour cela, nous avons réalisé un nouveau modèle de balancelle qui assure la conductivité électrique durant la pulvérisation électrostatique et qui influe sur l'épaisseur de la couche de peinture réalisée.

Après les traitements de phosphatation et de passivation chromique, les aciers auront une plus grande résistance à la corrosion et en plus vont favoriser une surface rugueuse qui améliore à son tour l'adhérence des revêtements organiques (peinture poudre).

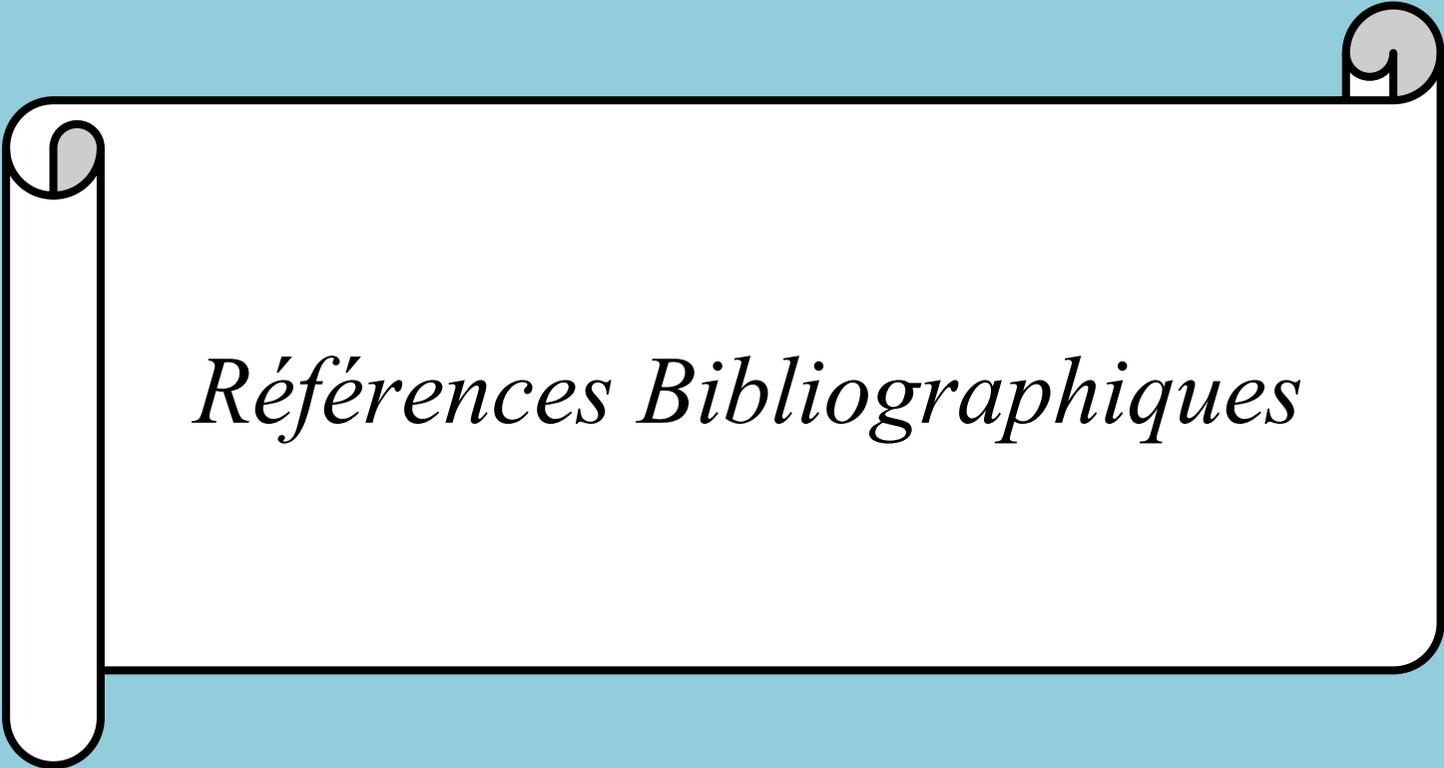
Après avoir réalisé des revêtements en utilisant les deux modèles, nous avons constaté que notre modèle de balancelle permet de réaliser une économie de peinture puisque l'épaisseur de la couche est moins importante (de 10  $\mu\text{m}$ ) que celle du cas de l'ancienne balancelle. Les essais effectués sur l'élasticité et l'adhérence de la peinture ont montré que le comportement des deux couches de peinture est quasiment similaire. La décohésion et l'arrachement du revêtement n'ont pas eu lieu dans les deux cas. Ceci montre que notre modèle de balancelle permet d'obtenir une couche de peinture d'assez bonne qualité.

Pour avoir un bon système d'application il faut respecter ces paramétrées :

- Le courant électrique
- L'air comprimé
- Le débit de peinture
- Fiche technique du fournisseur

L'influence de l'environnement et les conditions de stockage car il y'a toujours la présence de l'humidité.

Au terme de ce travail, nous estimons que ce nouveau modèle de balancelle réalisé va apporter un plus pour l'entreprise du coté économique de la peinture et aussi de la productivité.



*Références Bibliographiques*

## *Références Bibliographiques*

- [1] : BELGOCHLOR, Livre blanc du chlore. BelgoChlor c/o Fedichem ed. 2004, Jules Houtmeyers: Bruxelles.
- [2] : G. Beranger, G. Henry, G. Sanz." livre de l'acier", Ed. SOLLAC, 1996.
- [3] : Science et génie des matériaux modulo Editeur, 2001,233AV Dunbar Mont Royal Québec, Canada
- [4] : BENSAADA SAID, BOUZIANE M.T, livre « SCIENCE DES MATERIAUX », Office des publications universitaires.
- [5] : N. Bouaoudja« Matériaux métallique» édition OPU Alger.
- [6] : AIDE-MÉMOIRE SCIENCE DES MATÉRIAUX. Michel Dupeux Professeur à l'Université Joseph Fourier de Grenoble, © Dunod, Paris, 2004 ISBN 2 10 005458 9
- [7] : PDF IN2P3 : Institut national de physique nucléaire et de physique des particules, centre national de la recherche scientifique.
- [8] : JEAN PAUL BAÏLLON, JEAN MARIE DORLOT, « Des Matériaux », 3ème édition, Polytechnique Montréal 2000
- [9] : Thèse Stiti Meziane, Modélisation et optimisation de la mise en forme des matériaux application au laminage, 2012/2013.
- [10] : J-HIBOUT, M-ROGER « usinage sans coupeaux»,édition Delagrave
- [11] : Thèse CHAMEKH ABDESSALEM « OPTIMISATION DES PROCÉDÉS DE MISE EN FORME PAR LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS »/2007
- [12] : ALAIN COL: « Emboutissage des tôles », techniques de l'ingénieur M3180
- [13] : Thèse Hicham EL BAKOURI « ETUDE DE L'INHIBITION DE LA CORROSION DE L'ACIER DOUX AU CARBONE EN MILIEU ACIDE ORTHOPHOSPHORIQUE PAR UN ANTIBIOTIQUE ORGANIQUE » /2000 *Faculté des Sciences d'Oujda*.
- [14] : Thèse Laidi BABOURI, Mémoire de Magister« ETUDE DE LA RESISTANCE A LA CORROSION DES ALLIAGES DE CUIVRE EN MILIEU SALIN » /2008, Univ Skikda.
- [15] : Natacha P. MALOU, PROJET DE FIN D'ETUDE, « Etude de la corrosion et maintenance des installations pétrolières de Shell Sénégal : Cas du dépôt de Jetée Nord/2003 »
- [16] : M-BELKADI/M-BENABDELLAH, Mémoire de fin d'étude Master, « CARACTERISATION DES TOLES UTILISEES DANS LE PROCESS REFRIGERATEUR ENIEM ET INFLUENCE DES TRAITEMENTS »/2013 SURFACIQUES SUR L'ADHERANCE DE LA PEINTURE

- [16] : Olivier LISS, PROJET DE FIN D'ETUDE, « CAPTEURS CHIMIQUES A FIBRE OPTIQUE »/2010 Strasbourg.
- [17] : M-Maouchi /Ben chabane, Mémoire de fin d'études « Etude comparative et contrôle de la résistance à la corrosion de deux tôles en aciers (A33 et E24) traitées superficiellement du réfrigérateur 300D »/2010 Tizi-Ouzou
- [18] :N.Mazeghrane/B.Korichi, Mémoire de fin d'études « Etude de la résistance à la corrosion des couches d'oxyde thermiques formées sur un acier inoxydable (AISI 304L) »/2007
- [19] : PDF institut canadien de conservation notes de l'ICC 9/1.
- [20] : Thèse de doctorat VALERIE LAFOREST « Technologies propres : Méthodes de minimisation des rejets et de choix des procédés de valorisation des effluents. Application aux ateliers de traitement de surface »/1999/LYON.
- [21] : Aide mémoire Traitement de surface des aciers
- [22] : Métallurgie du minerai au matériau, Jean Philibert, Alain vignes, Yves Bréchet, Pierre Combrade, Masson, Paris, 1998
- [23] : Thèse de doctorat Yassine MALAJATI « Etude des mécanismes de photovieillissement de revêtements organiques anti-corrosion pour application comme peintures marines. Influence de l'eau » 2009/ UNIVERSITE BLAISE PASCAL.
- [24] : Catalogue de la firme et de la peinture en poudre/1977
- [25] : Thèse de doctorat Mlle Marion Nadia N'NEGUE MINTSA « ELABORATION D'UN REVETEMENT « POUDRE UV » À BASE DE POLYAMIDE »/ INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN (2008).
- [26] : B.MIKALEFF « Bienvenue aux poudres, Guide pratique de la peinture en poudre »INVER/France.
- [27] :L'univers des poudres OXYPLAST/MAROC/DOC 2-084 version 1 (09/97)
- [28] : Document de CORELEC « Le constructeur de matériel de galvanoplastique, de traitement de surface, de traitement de l'eau et de l'aire ».
- [29] : PDF Institut national de recherche et de sécurité /Edition INRS ED 928 / 2004 Paris.
- [30] : PDF Directive belge duplex DBD 1197: Critères de qualité pour l'application industrielle de revêtements organiques sur l'acier galvanisé à chaud de manière discontinue 3<sup>ème</sup> édition revue et corrigée - septembre 20