

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

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERRI -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



**CARACTERISATION DES TOLES UTILISEES DANS LE PROCESS
REFRIGERATEUR ENIEM ET INFLUENCE DES TRAITEMENTS
SURFACIQUES SUR L'ADHERANCE DE LA PEINTURE**

Proposé par :

E N I E M

Dirigé par :

M-HAMOUR

Présenté par :

M-BELKADI Mohamed Ameziane
M-BENABDELLAH Mohand

Promotion 2012/2013



Remerciements

-Tout travail de recherche n'est jamais totalement l'œuvre d'une seule personne, car il met en jeu la participation et l'aide de plusieurs personnes et organismes que ne tenons à remercier

-Avant d'entamer la rédaction de notre mémoire de fin d'études, nous tenons à remercier le Bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

-Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux membres de nos familles, grâce à leur aide, que notre travail est terminé.

-Nous remercions notre promoteur Mr : HAMOUR.M qui nous a aidé et soutenu tout le long de notre travail.

-Nous remercions aussi tous les travailleurs de l'ENIEM, en particulier notre Co-promotrice M^{elle} AIT BACHIR. Chargée de projet qui a proposé ce thème. Elle nous a permis en collaboration de Mr HAMOUR de réaliser une expertise à l'échelle industrielle. Nous tenons à remercier également le chef de service de l'atelier de revêtement R1 Monsieur TOUATI et son groupe de travail pour l'aide qu'ils nous ont apporté, sans oublier les responsables du laboratoire S.D.M en particulier Mr S.AZEM et M^r MAMOU le responsable du laboratoire de génie civil ainsi que tous les travailleurs de la bibliothèque du département de Génie Mécanique et les responsables de la bibliothèque ENIEM.

-Nous remercions les membres du jury qui nous feront l'honneur d'examiner et de critiquer ce modeste travail.

- Nous remercions énormément tous nos enseignants.

-Nos remerciements vont également à tous ceux et celles de, près ou de loin, nous ont apporté aide et encouragements.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

-Mes très chers parents.

-Mon frère, mes sœurs et mon neveu Ismail.

*-Toute la famille Belkadi et Sizine et à la mémoire
de mes deux cousins trépassés Boussad et Hocine*

-Tous mes amis :

Moh.B, Amar.S,

Said.S, Hakim.S,

Mourad.M, Farhat.H,

-Tous les enseignants

et les élèves de 3FM

2007 du technicum DBK

*-Tous les enseignants et les étudiants de génie
mécanique en particulier les constructeurs*

Mohamed Ameziane



Je dédie ce modeste travail à :

- *Mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu tout au long de ma vie, qui m'ont orienté dans le bon chemin et qui ont tout fait pour que je réussisse, que Dieu vous bénisse et vous garde ;*
- *Mes très chers frères : Khelaf, Hacem, Farid, Mahiedine et Omar*
- *A la mémoire de mes grands parents paternels que leurs âmes reposent en paix ;*
- *Mes grands parents maternels à qui je souhaite une longue vie ;*
- *A toute ma famille ;*
- *A tous mes amis(es) et tous ceux que j'aime ;*
- *A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

Mohend

Sommaire

Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Sommaire.....	iv
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	xiv
Introduction générale.....	01
Chapitre Présentation de l'entreprise	
1-Historique	03
2. Situation géographique	03
3. Organisation de l'ENIEM	04
3.1. Unité froid	05
3.2-Unité cuisson.....	06
3.3. Unité climatisation	06
3.4. Unité de prestations techniques	06
Chapitre I Généralités Sur Les Aciers et Les Procèdes de Leur Mise en Forme	
I.1- Généralités sur les aciers.....	08
I.1.1-Introduction.....	08
I.1.2-Influence des éléments d'addition sur les caractéristiques mécaniques des aciers.....	08
I.1.3- Classification des aciers	09
I.1.3.1- Classification des aciers selon le diagramme d'équilibre.....	09
I.1.3.1.1-Aciers hypoeutectoïdes	10
I.1.3.1.2- Aciers eutectoïdes	11
I.1.3.1.3-Aciers hypereutectoïdes	11

I.1.3.2-Classification des aciers selon la norme NF EN 10025-1C10-NF EN 10027.....	11
I .1.3.2.1-Classification des aciers par emploi.....	11
I .3.2.2-Classification des aciers par composition chimique	12
I.2- Procédés de mise en forme des aciers.....	14
I.2.1-Laminage.....	14
I.2.1.1-Influences des conditions de laminage sur les caractéristiques mécaniques des aciers	16
I.2.1.2 -Défauts du laminage.....	17
I.2.1.2.1-Défauts géométriques	17
I.2.1.2.2-Défauts microstructuraux	18
I.2.1.2.3-Défauts superficiels	18
I.2.1.3-Avantages et inconvénients du laminage.....	18
I.2.2-Emboutissage	18
I.2.2.1-Intérêts de l'emboutissage	19
I.2.2.2-Principe de l'emboutissage	20
I.2.2.3-Emboutissage en température.....	21
I.2.2.3.1 -Emboutissage à froid	21
I.2.2.3.2- Emboutissage à chaud	21
I.3-Conclusion.....	21
Chapitre II Caractérisation Mécanique et Microstructurale des Aciers	
II.1- Introduction.....	23
II.2- Caractérisation des propriétés mécaniques	23
II.2.1- Essai de traction.....	24

II.2.1.1-	Principe de l'essai de traction.....	24
II.2.1.2-	Courbe de traction	24
II.2.1.3-	Forme et dimensions de l'éprouvette	25
II.2.1.4-	Caractéristiques de l'essai de traction.....	25
II.2.1.5-	Traction longitudinale.....	25
II.2.1.6-	Traction transversale.....	27
II.2.1.7-	Traction hors axe	28
II.2.1.8-	Mesure des coefficients de Lankford	29
II.2.2-	Essai de dureté	30
II.2.2.1-	Définition	30
II.2.2.2-	Principe de l'essai de dureté	30
II.2.2.3-	Types d'essai.....	31
III.2.2.3.1-	Essai Brinell.....	31
III.2.2.3.1.1-	Choix de la charge	31
III.2.2.3.2-	Essai Vickers	32
III.2.2.3.3-	Essai Rockwell	32
III.2.2.3.3.1-	Exécution de l'essai	33
II.2.3-	Examen métallographique	33
II.2.4-	Observation au microscope.....	35
II.2.4.1-	Microscope optique	35
II.2.4.2-	Microscope électronique à balayage	35
II.2.5-	Essai erichsen.....	36
II.2.6-	Les rayons X (RX).....	37
II.2.6.1-	Interaction des électrons avec la matière.....	37
II.2.6.2-	Emission électronique	38
II.2.6.3-	Analyse X	38
II.2.6.3.1-	Aspect pratique de la microanalyse.....	38
II.2.6.3.2-	Loi de BRAGG.....	38
II.3-	Essais sur l'adhérence de la peinture	39
II.3.1-	L'épaisseur de revêtement	39
II.3.2-	Essai de quadrillage.....	39
II.3.3-	Essai de choc	40
II.3.4-	Essai de pliage	40

II.3.5-Essai d'emboutissage.....	41
II.4-conclusion.....	41
Chapitre III	Traitement de Surface
III.1. Introduction.....	43
III.2. Différents processus de la corrosion.....	44
III.2.1-Corrosion chimique (sèche).....	44
III.2.2-Corrosion biochimique.....	45
III.3- Les facteurs de la corrosion	45
III.4-Formes de corrosion.....	46
III.4.1-La corrosion uniforme (généralise).....	46
III.4.2 Corrosion galvanique	46
III.4.3 .Corrosion caverneuse (par crevasses)	47
III.4.4 .La corrosion par piqures	47
III.5-Les traitements de surface.....	48
III.5.1-Définition d'un traitement de surface.....	48
III.5.2-Les différents types de traitements de surface	49
III.5. 2.1-Les traitements de surface par transformation structural d'origine mécanique ou thermique	49
III.5.2.1.1-Transformation structurale d'origine mécanique..	49
III .5.2.1.2-Transformation structurale d'origine thermique..	50
III.5.2.2-Traitement par diffusion	50
III.5.2.2.1-Traitement par diffusion de metalloïdes.....	50
III.5.2.2.2. Traitement par diffusion de métaux.....	50
IV 5.2.2.3.Traitement par implantation et mélange ionique.	51
III.5.2.3.Traitement de conversion (chimique).....	51
III.5.2.3.1. La chromatisation.....	51
III.5.2.3.2. L'oxalation	51
III.5.2.3.3. La phosphatation.....	51
III.5.3. Principe de traitement de phosphatation	52

III.6.conclusion.....	53
Chapitre IV	Etude Expérimentale
IV.1-Introduction.....	55
IV.2-.Tôles DC03 A et leur état de livraison.....	55
IV.2.1-Dimensions des bobines.....	55
IV.3-Essais de traction	56
IV.3.1-Eprouvette de traction utilisée.....	57
IV.3.2-.Equipements utilisés au cours des expériences	57
IV.3.2.1. Cisailles hydraulique	57
IV.3.2.2.Fraiseuse verticale	58
IV.3.2.3.Machine de traction	59
IV. 4. Examens microstructuraux.....	59
IV.4.1. Echantillons utilisés.....	59
IV.4.2.Equipement utilisé	60
IV.4.2.1. Scie mécanique horizontale	60
IV.4.2.2.Enrobeuse	60
IV.4.2.3. Les polisseuses.....	61
IV.4.2.4. Duromètre	62
IV.4.2.5.les Microscopes.....	63
IV.4.2.6. Micro Duromètre.....	64
IV.5.Essai d'emboutissage (ERICHSEN)	64
IV.5.1.Eprouvette d'emboutissage	64
IV.5.2.Equipement utilisé.....	65
IV.5.2.1.Machine d'emboutissage ERICHSEN	65
IV. 6. Mise en peinture des échantillons.....	65
IV.6.1. Equipements utilisés	66
IV.6.1. 1-Tunnel de prétraitement de surface.....	66
IV.6.1.2.Cabine de peinture.....	67
IV.6.1.3.Four de séchage	68
IV.7. Essai mécanique sur la peinture	68
IV.7.1- Mesure de profondeur du revêtement.....	68
IV.7.1.1. Le micro test	68

IV.7.1.2.Essai de pliage.....	68
IV.7.1.2.1.Eprouvette de pliage.....	68
IV.7.1.2.2. Appareil de pliage	69
IV.7.1.3.Essai de quadrillage (NFT 30-038)	69
IV.7.1.3.1- Appareil de quadrillage.....	69
IV.7.1.4. Essai d'emboutissage.....	70
IV.7.1.4.1.Machine d'emboutissage	70
IV.7.1.5. Essai de choc	70
IV.7.1.5.1.Appareil de choc.....	70
IV.8.conclusion.....	71

Chapitre V

Résultats Expérimentaux et Analyse

V.1-Introduction	72
V.2.Caractérisation de l'acier DC03 A.....	72
V.2.1.Composition chimique.....	72
V.2.2. Examen micrographiques.....	72
V.2.3.Résultats de traction	75
V.2.4.Résultat de l'essai de dureté	78
V.2.4.Résultat de l'essai de microdureté.....	79
V.2.5.Résultat de l'essai ERICHSEN (Emboutissage)	80
V.3.Influence des traitements sur l'adhérence de la peinture.	81
v.3.1.Résultat d'observation avec microscope optique.....	81
V.3.2.Résultats de la charge de la peinture	82
V.3.2.résultats de pliage	83
V.3.4.résultats de quadrillage	83
V.3.4.Résultats d'emboutissage.....	84
V.3.5.Résultats de choqe.....	85
V.3.6.Résultats de diffraction par les rayons (X)	85
V.4.conclusion.....	87
Conclusion générale.....	89

Liste des Figures

Figure	Nom	Page
Chapitre I Généralités Sur Les Aciers et Les Procèdes de Leur Mise en Forme		
Fig. I.1	Diagramme fer carbone	09
Fig. I.2	Principe du laminage	14
Fig. I.3	Laminage à chaud	15
Fig. I.4	Laminage à froid	15
Fig. I.5	Quelques formes de pièces embouties	18
Fig. I.6	Outil d'emboutissage	20
Chapitre II Caractérisation Mécanique et Microstructurale des Aciers		
Fig. II.1	Principe de l'essai de traction	23
Fig. II.2	Diagramme conventionnel d'un essai de traction	24
Fig. II.3	Forme générale de l'éprouvette de traction.	24
Fig. II.4	Traction longitudinale	26
Fig. II.5	Traction transversale	26
Fig.II.6	Traction hors axe	27
Fig.II.7	Orientation des éprouvettes de traction	28
Fig. II.8	Essai de dureté Brinell.	30
Fig.II.9	Principe de l'essai Vickers.	31
Fig.II.10	Principe de l'essai Rockwell (HRB, HRC)	32
Fig. II.11	Représentation schématique d'un microscope optique	34
Fig.III.12	Représentation schématique d'un microscope électronique à balayage	35
Fig. II.13	Contrôle de l'épaisseur de la couche de peinture sur une porte de réfrigérateur	37
Fig. II.14	Essai de quadrillage sur une plaque revêtue	37
Fig. II.15	Essai de choc	38

Fig. IV.14	Dimensions des éprouvettes d'emboutissage	62
Fig. IV.15	Machine d'emboutissage ERICHSEN	63
Fig. IV.16	Tunnel de prétraitement TOSHIBA utilisé	65
Fig. IV.17	Cabine de poudrage utilisé	65
Fig. IV.18	Micro teste utilisé	66
Fig. IV.19	Dimensions des éprouvettes de pliage selon la norme NF A 03-158	67
Fig. IV.20	Appareil de pliage	67
Fig. IV.21	Appareil utilisé pour essai de quadrillage	68
Fig. IV.22	Machine d'emboutissage utilisée	68
Fig. IV.23	Appareil de choc utilisé	69
Chapitre V Résultats Expérimentaux et Analyse		
Fig. V.1	Microstructure de l'acier DCO3 A (200)	71
Fig. V.2	Microstructure de l'acier DCO3 A (400)	71
Fig. V.3	Micrographie de l'acier DC03 A avec le MEB (×1000)	72
Fig. V.4	Micrographie de l'acier DC03 A avec le MEB (×5000)	72
Fig. V.5	Courbe contrainte déformation d'un essai de traction dans la direction du laminage (0°)	73
Fig. V.6	Courbe contrainte déformation d'un essai de traction à 45° par rapport à la direction du laminage	74
Fig. V.7	Courbe contrainte déformation d'un essai de traction dans la direction transversale 90°.	74
Fig. V.8	Superposition des trois courbes	75
Fig. V.9	Courbe de dureté pour l'acier DC03 A.	76
Fig. V.10	Essai de microdureté sur la structure hors défauts	77
Fig. V.11	Essai de microdureté sur les défauts.	77
Fig.V.12	Eprouvette emboutie	78

Fig. V.13	Répartition de phosphate sur la tôle DC03 ($\times 40$)	79
Fig. V.14	Répartition de phosphate sur la tôle DC03 ($\times 100$)	79
Fig.V.15	Couche de revêtement	80
Fig. V.16	Résultat obtenu aux cours de l'essai de pliage	81
Fig. V.17	Résultat d'essai de quadrillage ($\times 40$)	81
Fig.V.18	Résultat d'essai de quadrillage ($\times 100$)	82
Fig.V.19	Résultat d'essai d'emboutissage	82
Fig. V.20	Résultat d'essai de choque	83
Fig. V.21	Diffractogramme de l'Acier ordinaire à l'état brute	84
Fig. V.22	Diffractogramme de l'Acier ordinaire à l'état traité	84
Fig. V.23	Superposition des deux diffractogrammes	85

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
Chapitre I Généralités sur les aciers et les procédés de leur mise en forme		
Tab .I.1	Tableau récapitulatif de l'influence des éléments d'addition sur les propriétés des aciers	8
Tab .I. 2	Désignation des aciers selon leur emploi	11
Tab .I.3	Aciers d'usage général	12
Tab .I.4	Coefficients multiplicateurs	13
Tab .I.5	Aciers faiblement alliés usuels	13
Chapitre III Traitement de surface		
Tab .III.1	Principaux traitements chimiques des aciers et leurs applications	53
Chapitre IV Etude expérimentale		
Tab .IV.1	Papier verre utilisé et son objectif	62
Tab .IV.2	Les opérations de traitement de surface	66
Chapitre V Résultats expérimentaux et analyse		
Tab .V.1	Composition chimique de DC03 A	72
Tab .V.2	Valeurs moyennes des coefficients d'anisotropie.	77
Tab.VI.3	Valeur moyenne du module de Young selon les trois directions	78
Tab.VI.4	Valeur moyenne des résultats de microdureté	80
Tab.VI.5	Valeur d'IE pour chaque éprouvette	80
Tab.VI.6	Valeurs de la charge de la peinture	82
Tab.VI.7	Hauteurs de chaque essai de choque	85

Introduction Générale

Depuis plus d'un siècle, l'industrie de l'acier connaît un essor remarquable et ce, par l'amélioration de ses caractéristiques structurelles et mécaniques. Cette évolution trouve son origine dans la demande sans cesse grandissante des différents utilisateurs de cette matière (industrie automobile, fabrication mécanique, construction métallique). C'est ainsi, que la mise au point de nouvelles nuances d'aciers s'est avérée nécessaire voire même primordiale et ce, afin d'obtenir des pièces plus résistantes, de mieux, aux différentes sollicitations externes ainsi qu'aux attaques chimiques causées quotidiennement par les diverses formes de corrosion.

L'utilisation d'une nuance d'acier doit être nécessairement accompagnée d'une fiche technique dans laquelle il sera précisé :

- La composition chimique de l'acier ;
- Sa structure métallographique ;
- Ses caractéristiques mécaniques (dureté, résistance aux chocs, résistance mécanique ...)

L'absence de ces informations est un handicap pour le choix d'un produit répondant aux exigences requises.

L'acier tend à se dégrader superficiellement lorsqu'il est soumis à des milieux agressifs comme le sol, l'air l'humidité et le milieu marin. Cette agression se manifeste par le phénomène de corrosion qui est la dégradation d'un substrat métallique, sous l'action du milieu ambiant. Elle correspond au retour de la matière à son état le plus stable. Dans le cas du fer, par exemple, la forme stable dans la nature n'est pas le métal mais l'oxyde, c'est pourquoi une pièce en acier exposée sans protection à une atmosphère humide tend à se transformer en rouille (oxyde de fer hydraté). Il est possible de diminuer les risques de corrosion en donnant aux objets une forme adaptée aux conditions d'utilisation. Les traitements chimiques tels que la chromatisation et la phosphatation pour les aciers sont les plus utilisés pour l'amélioration de la résistance à la corrosion, la durabilité des liaisons peinture/métal.

Pour remédier à ce problème, de nos jours, les traitements de surface et les peintures sont les plus fréquemment utilisés pour combattre la corrosion.

Dans ce contexte, et dans le cadre de notre travail de mémoire de fin d'études, nous avons effectués un stage pratique au sein de l'entreprise ENIEM, implantée à la zone industrielle AISSAT IDIR de OUED AISSI.

De ce fait, notre travail consiste à établir quelques caractéristiques techniques concernant la nuance de la tôle DC03 A utilisées par ENIEM dans le process réfrigérateur et l'étude de l'influence des traitements surfaciques sur l'adhérence de la peinture. Pour atteindre notre objectif, des études expérimentales ont été conduites sur cette tôle DC03 A

Pour ce faire, nous avons investi dans deux grandes parties :

- **La partie théorique** : qui résume les fondements théoriques des aciers entre autres : la classification, la structure, les propriétés mécaniques et leurs domaines d'application aciers. Les généralités sur laminage, l'emboutissage ainsi que les différents processus de la corrosion et les traitements de surface ont été traités également dans cette partie.

- **La partie pratique** : qui consiste en la caractérisation de la tôle DC03 A et l'influence des traitements surfaciques sur l'adhérence de la peinture. Nous avons déterminé la dureté, la résistance à la traction, la structure métallographique Micro dureté ainsi que les essais mécanique sur la peinture.

Le travail ainsi effectué nous permet de tirer une conclusion générale.

PRESENTATION DE L'ENIEM

1-Historique

L'entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager (ENIEM) est issue de la restructuration organique de la SONELEC (Société Nationale de Fabrication et Montage du Matériel Electrique et Electronique). Elle a été créée par le décret N°83-19 du 02 janvier 1983.

L'ENIEM a été chargée de la production et de la commercialisation des produits en électroménagers et disposait à sa création de:

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

Le statut juridique de l'ENIEM est passé d'une Entreprise Publique et Economique (EPE) à celui d'une Société Par Action (SPA) ainsi ; elle est passée à l'autonomie le 8 octobre 1989 avec un capital social de 40.000.000 DA.

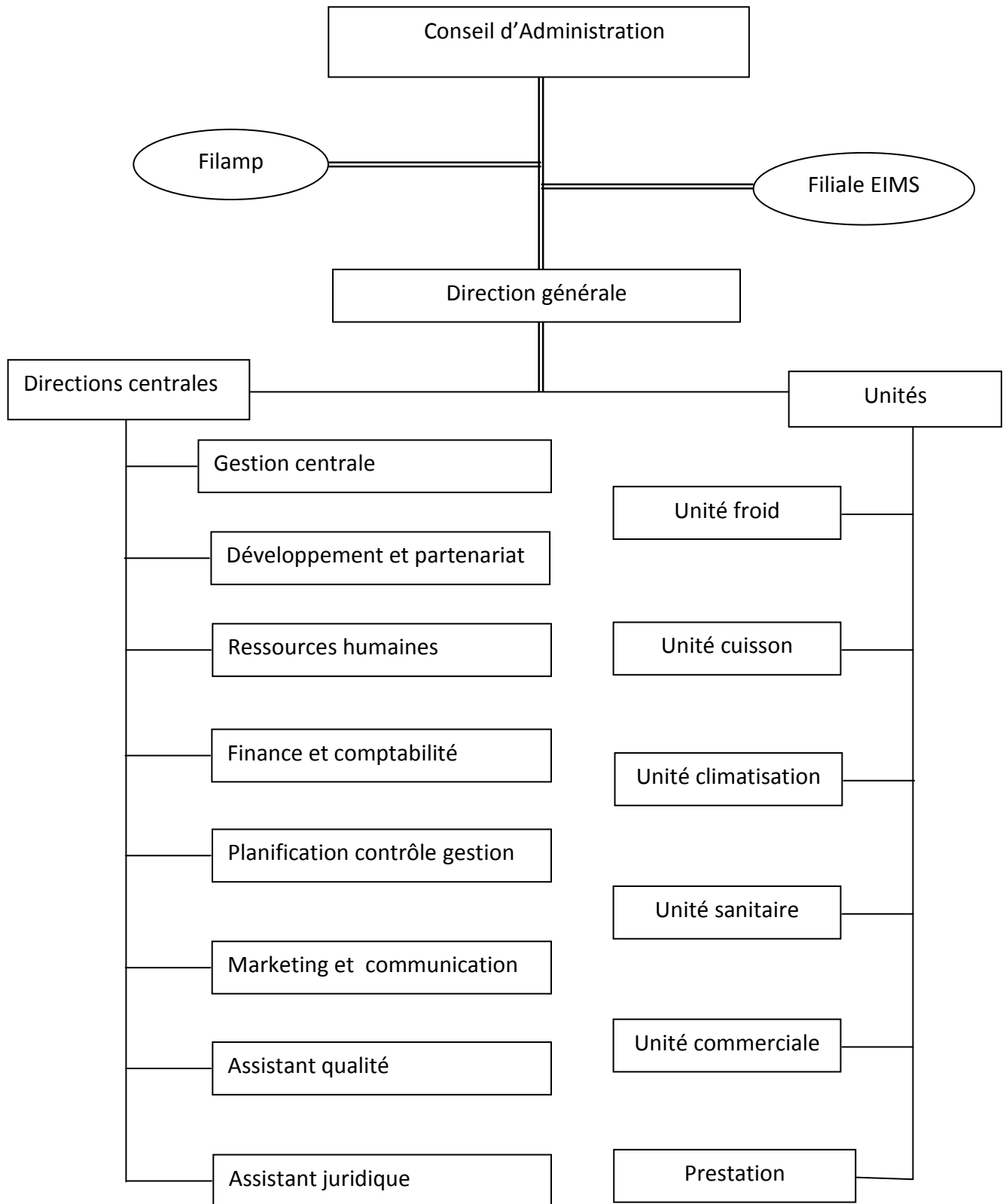
Depuis 1986 l'entreprise est organisée en unités, et à filiale, l'unité de lampe de Mohammedia.

L'ENIEM est la première entreprise de Maghreb à être certifiée « ISO9002 » en 1^{er} juillet 1998 par les experts de l'Association Française de l'Assurance de la Qualité (AFAQ), puis gratifiée, en 2003 de « L'ISO 9001 » version 2000. A noter que les produits de l'ENIEM sont à 0% de CFC et ce depuis 1997.

2. Situation géographique

Le siège social de l'entreprise est situé au chef- lieu de la Wilaya de Tizi ousou, l'unité froide, cuisson, climatisation, commercial et prestation technique sont implantés à la zone industrielle AISSAT Idir de OUED AISSI, distante de 7Km de chef lieu de la wilaya. L'unité sanitaire est installée à Miliana, wilaya d'Ain Defla, et la filiale lampe à Mohammedia, wilaya de Mascara.

3. Organisation de l'ENIEM



L'ENIEM s'est organisée par un centre d'activités stratégiques qui se compose de quatre unités de production (unité froid, unité cuisson, unité de climatisation et unité sanitaire),

d'une unité commerciale, d'une unité de prestation ainsi que une filiale dont le capital est à 100%. Les unités de production sont :

3.1. Unité froid

Elle possède des bâtiments industriels, de stockage et des moyens de soutien adéquats à son exploitation, elle est composée de trois lignes de production :

- Une ligne réfrigérateur Table Top comprenant :
 - Une presse à injection plastique de 2200 tonnes pour la fabrication des cuves et une presse de thermoformage de contre portes.
 - Une chaîne de fabrication de portes et parois en tôle.
 - Une installation de moussage de portes et armoires.
 - Une chaîne de montage finale avec des postes de préparation
- une ligne réfrigérateur grand modèle comprenant :
 - Un atelier de refendage muni de deux installations, l'une pour le refendage de bobines et l'autre pour la découpe en longueur.
 - Un atelier de fabrication de condenseurs, de clavettes et de formage de tubes
 - Un atelier de presses et soudures avec une chaîne automatique de fabrication d'armoires, de deux chaînes automatiques pour les portes et de presses pour la transformation de tôles.
 - Un atelier de peinture avec trois chaînes automatiques.
 - Un atelier de presses à injection plastique de force 25 à 850 tonnes.
 - Un atelier de montage final avec des chaînes de thermoformages de portes, une installation de moussage d'armoires et des postes de préparation d'ensembles.
 - Un laboratoire pour les essais de produits, matières et composants.
- Une ligne de congélateurs bahut et réfrigérateurs de 590L comprenant :

Un atelier d'assemblage avec des machines pour la fabrication des pièces en tôles en l'aluminium, la préparation des armoires, ainsi que d'une installation pour les portes et armoires.

3.2-Unité cuisson

Cette unité est implantée sur le même site que l'unité froid. Elle est équipée de moyens de production repartis en quatre ateliers :

- Un atelier mécanique pour la fabrication de composants d'alimentation en gaz.
- Un atelier de traitement de revêtement de surface.
- Un atelier d'assemblage.
- Un laboratoire d'essais.

3.3. Unité climatisation

Cette unité est implantée sur le même site que l'unité froid. Elle est équipée de moyens repartis en quatre ateliers :

- Un atelier de peinture à électrostatique.
- Un atelier de montage final avec deux chaînes d'assemblages de climatiseurs, une chaîne d'assemblage de chauffe-eau (bain) et des équipements pour la fabrication de pièces en tôle.
- Un atelier de montage de centrales autonomes de climatisation.
- Un atelier de montage de radiateur à gaz.

3.4. Unité de prestations techniques

Cette unité assure les fonctions de soutien aux unités de production dans les domaines de :

- Réparation des outils et moules.
- Fabrication de pièces de rechange mécanique.

- Conception et réalisation d'outillages.
- Gestion des énergies et fluides.
- Bureau d'étude et de conception.
- Gestion informatique.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES ACIERS ET LES PROCEDES DE LEUR MISE EN FORME

Chapitre I : Généralités sur les aciers et les procédés de leur mise en forme

I.1- Généralités sur les aciers

I.1.1-Introduction

L'acier est un alliage métallique utilisé dans les domaines de la construction métallique et de la construction mécanique. Il est constitué d'au moins deux éléments, le fer, très majoritaire, et le carbone, dans des proportions comprises entre 0,02 % et 2 % en masse.

C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ». Il existe d'autres métaux à base de fer qui ne sont pas des aciers comme les fontes et les ferronickels par exemple.[1]

I.1.2-Influence des éléments d'addition sur les caractéristiques mécaniques des aciers

Le tableau suivant regroupe les éléments d'addition qui influent sur les caractéristiques mécaniques des aciers.

Tableau I.1 :Tableau récapitulatif des éléments d'addition influant sur les propriétés des aciers[2]

	C	Mn	Si	Al	Ni	Cr	Mo	V	W	Co	Cu	S	P	Ti	Ta	Nb
Limite élastique	↗	↗	↗		↗	↗	↗	↗								
Résistance à la rupture R	↑	↑	↑		↗	↑	↗	↗	↗	↗	↗		↗	↗	↗	↗
Allongement	↓	↘	↘		↘	↘	↘			↘	↓		↘			
Résistance à la température	↗					↑	↑	↗		↗			↗			
Résistance au fluage	↗	↗	↗	↘	↗	↗	↑									
Résistance à la fatigue	↗					↗	↑	↑		↗				↑		
AC1		↓	↗	↗	↓	↑	↗	↗						↗	↗	↗
AC 3		↘	↗	↗	↘	↗	↗	↗		↘	↗		↗	↘	↘	↘
Plage austénitique	↗	↗	↘	↘	↗	↓	↘	↘		↗	↘		↘	↘		
Grosseur de grain	↗	↑	↗	↓	↘	↗		↓		↘			↗			

Tendance à la surchauffe		↗	↘		↘	↘		↑		↘			↗			
Résistance à l'oxydation			↑	↑		↑										
Fragilité à chaud					↑							↑				
Vitesse critique de trempe		↘	↘		↓	↘	↘	↘		↗						
Trempabilité	↑	↑	↑		↑	↑	↗	↗								
Dureté	↑	↗	↗		↗	↗	↗	↗		↗	↑		↗	↗	↗	↗
Stabilité au revenu	↘		↗		↗	↗	↑	↑		↑				↗	↗	↗
Formation de carbure	↑					↑	↗	↑						↑	↑	↑
Résistance aux chocs	↘	↗	↘		↗	↗	↘	↘		↘			↘			

- Augmentée ↗
- Fortement augmentée ↑
- Diminuée ↘
- Fortement diminuée ↓

I .1.3-Classification des aciers

I.1 .3.1- Classification des aciers selon le diagramme d'équilibre. [3]

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

Aciers hypoeutectoïdes, Aciers eutectoïdes, Aciers hypereutectoïdes.

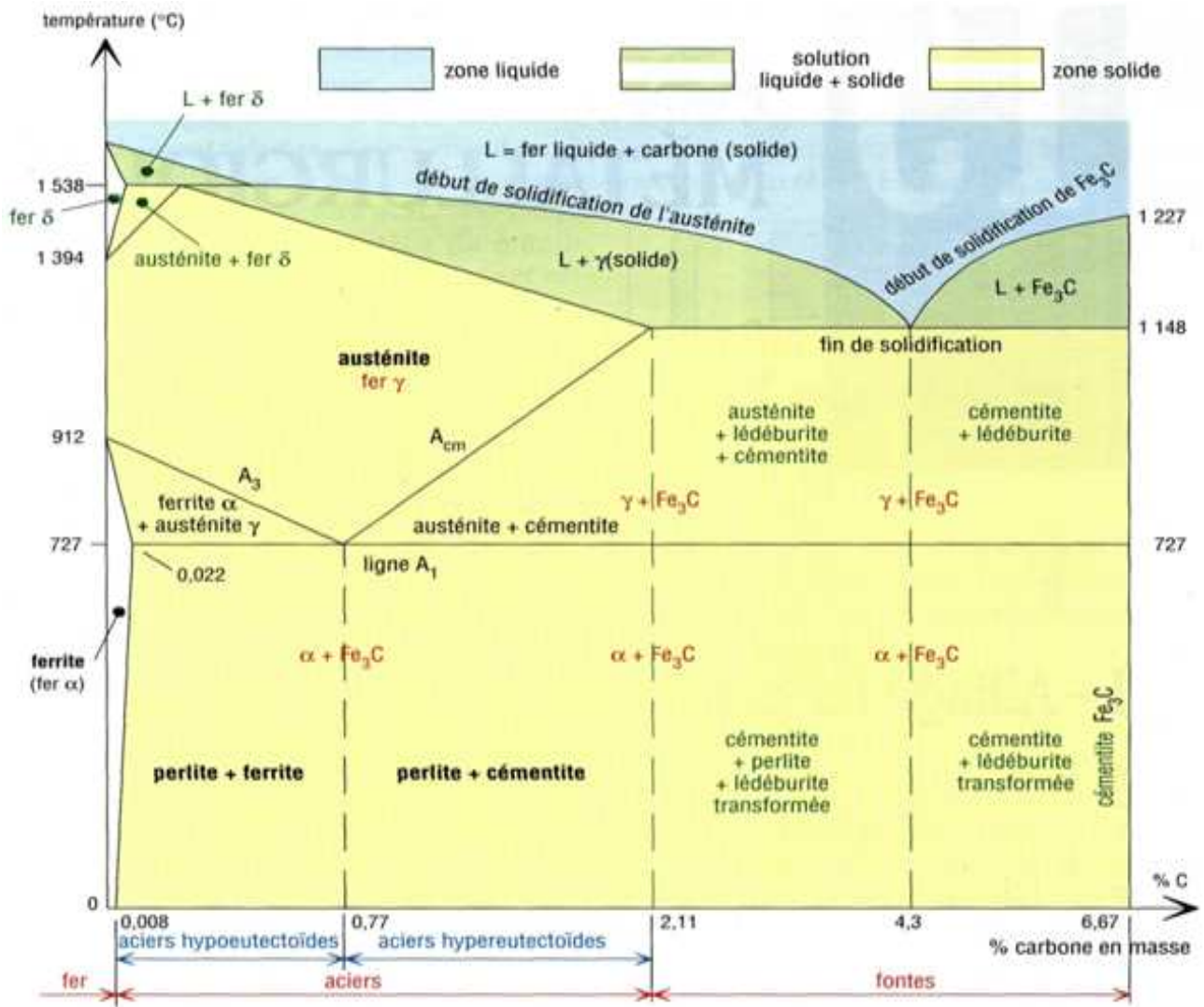


Fig.I.1 : diagramme fer carbone

I.1.3.1.1-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.

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%.

I.1.3.1.2- 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.à.d.100 % de perlite.

I .1.3.1.3 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.

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%.

I.1.3.2-Classification des aciers selon la norme NF EN 10025-1C10-NF EN 10027

La norme NF EN 10025-1C10-NF EN 10027 correspond à une désignation symbolique des aciers ou des produits en acier basée soit sur l'emploi et les caractéristiques mécaniques, soit sur la composition chimique.

I.1.3.2.1-Classification des aciers par emploi

La désignation commence par une ou plusieurs lettres, le nombre qui suit donne la valeur minimale de la limite d'élasticité ou de la résistance à la traction en Méga Pascal.

Le tableau ci-dessous donne la signification des principaux symboles. Si l'acier spécifie sous forme d'une pièce moulée, sa désignation doit être précédée de la lettre **G**. [4]

Tableau I. 2 : Désignation des aciers selon leur emploi

Lettre	Acier	Nombre
S	De construction	Re
P	Pour appareils sous pression	Re
L	Pour tubes de conduite	Re
E	De construction mécanique	Re
B	A béton	Rm
Y	Pour béton précontrainte	Rm
R	Pour ou sous forme de rails Laminé	Re

H ou HT	pour emboutissage à froid	Re ou Rm
DC, DD, DX	Laminé pour formage à froid	Re ou Rm

Tableau I .3 : Aciers d’usage général

Acier d’usage général			
Nuance	R min (Mpa)	Re min (Mpa)	Emploi
S185	290	185	Construction mécanique et métallique générale.
S235	340	235	Assemblées ou soudées.
S275	410	275	
S355	490	355	
E295	470	295	Ces aciers ne conviennent pas aux traitements chimiques
E335	570	335	
E360	670	360	
Moulage	GS235 - GS275 - GS355 GS295 - GE335 - GE360		

I.1.3.2.2-Classification des aciers par composition chimique

a - Aciers non alliés :(Teneur en Manganèse $\leq 1 \%$)

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

Principaux des aciers non alliés :

C22, C25 : aciers de construction mécanique

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

b- Aciers faiblement alliés [1]

- Teneur en manganèse $\geq 1\%$.

- La teneur de chaque élément d'alliage $\leq 5\%$.

- La désignation comprend dans l'ordre :

Un nombre entier égal à 100 fois le pourcentage de la teneur moyenne en carbone.

Un ou plusieurs groupes de lettre qui sont les symboles chimiques des éléments d'addition rangés dans l'ordre des teneurs décroissantes.

Tableau I. 4 : Coefficients multiplicateurs

Les teneurs sont multipliées par un coefficient multiplicateur variable en fonction des éléments d'alliage.

Coefficient multiplicateur			
Elément d'alliage	Coefficient.	Elément d'alliage	Coefficient.
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4	Ce, N, P, S	100
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr	10	B	1000

Tableau I. 5 : Aciers faiblement alliés usuels

Aciers faiblement alliés		
Nuances usuelles	Traitement de référence	
	R min	Re min
38 Cr 2	800	650
34 Cr 4	880	660
37 Cr 4	930	700
41 Cr 4	980	740
55 Cr 3	1100	900
25 Cr Mo 4	880	700
35 Cr Mo 4	980	770
42 Cr Mo 4	1 080	850
16 Cr Ni 6	800	650
17 Cr Ni Mo 61	1 130	880
30 Cr Ni Mo 81	1 030	850
51 Cr V 4	1 180	1 080
16 Mn Cr 5	1 080	835
20 Mn Cr 5	1 230	980

36 Ni Cr Mo 16	1 710	1 275
51 Si Cr 7	1 000	830
60 Si Cr 7	1 130	930

c- Aciers fortement alliés : Teneur d'au moins un élément d'alliage $\geq 5\%$.

La désignation commence par la lettre X, suivie de la même désignation que celle des aciers faiblement alliés à l'exception des valeurs des teneurs qui sont des pourcentages nominaux réels. [5]

I.2- Procédés de mise en forme des aciers

I.2.1-Laminage

Le métal destiné aux industries de transformation autre que la fonderie, se présente à l'origine sous la forme d'un lingot obtenu par coulée. Celui-ci n'est utilisable directement que pour façonner par forgeage de grosses pièces. Les besoins les plus courants de la construction mécanique et la construction métallique, nécessitent diverses transformations intermédiaires.

Le laminage est une opération de mise en forme par déformation plastique. Elle est destinée à réduire la section d'un produit de grande longueur par passage entre deux ou plusieurs outils axisymétriques tournant autour de leur axe.

Le produit est entraîné grâce à la rotation des outils dans l'emprise par l'intermédiaire des frottements.

Le principe de laminage est représenté par la figure ci-dessous.

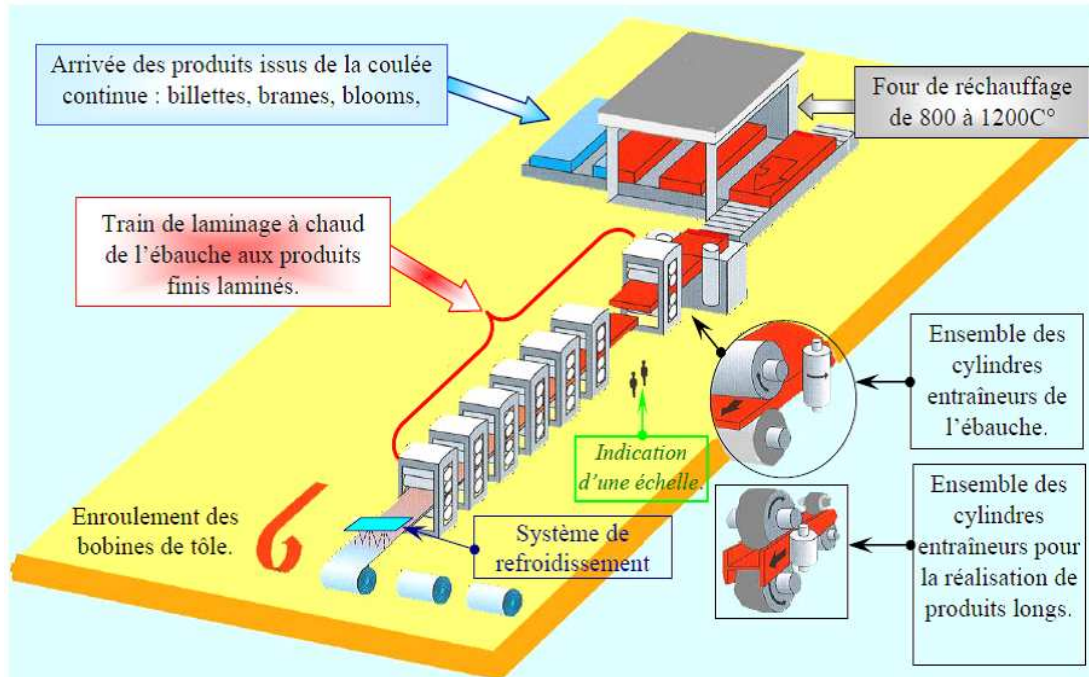


Fig. I.2 : principe du laminage

Le principe de cette opération permet la mise en forme d'un matériau, c'est lui conférer de manière contrôlée et reproductible trois types de propriétés :

- Une forme géométrique, avec des tolérances fixées, de plus en plus sévères.
- Des propriétés mécaniques, qui requièrent une microstructure (au sens large) adéquate.
- Des propriétés de surface, au premier rang dans lesquelles l'aspect visuel est lié à la rugosité.[6]

On distingue le laminage à froid et le laminage à chaud

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 et le métal acquiert une grande ductilité ainsi qu'une facilité de mise en forme. La température de recristallisation dynamique pour les aciers est comprise entre 900 et 1100°C. Cette température a une influence décisive sur la structure obtenue ainsi que sur la qualité de surface (Figure I.3). [7]

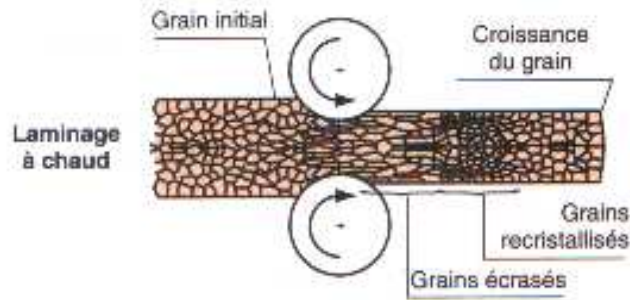


Fig. I.3 : laminage à chaud

b)-Laminage à froid

Ce type de laminage est réalisé à la température ambiante ou à basse température ou encore lorsque le métal n'est pas volontairement réchauffé.

Le laminage à froid engendre la modification des propriétés macroscopiques sous l'effet de l'écroutissage, ainsi que la modification de la structure cristalline par l'introduction d'un grand nombre de défauts (Figure II.4).[7]

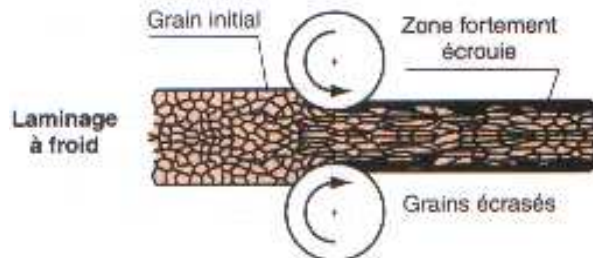


Fig. I.4:Laminage à froid

I.2.1.1-Influences des conditions de laminage sur les caractéristiques mécaniques des aciers

Les caractéristiques mécaniques dominantes de l'acier sont les caractéristiques de traction (la limite d'élasticité, la résistance à la traction et l'allongement) et la ténacité ou la résistance à la rupture. Ces deux propriétés sont influencées largement par les conditions de laminage dont dépendent la taille des grains et la microstructure (ferrite + perlite ou martensite revenue).

Les principaux paramètres qui influencent la microstructure sont :

- La température de fin de laminage associée avec le taux de déformation par passe, influence la taille de grains du produit fini : les grains fins résultent de la température de fin de laminage inférieure à la température de non recristallisation de l'austénite, des gros grains résultent d'un laminage conduit à des températures supérieures (laminage à chaud courant) ;
- Le gradient de refroidissement du produit fini, immédiatement en fin de laminage, influence la microstructure et la taille des grains.

Trois différents types de refroidissements sont possibles :

- Lent (à l'air ambiant) avec une vitesse de 1°C/s (dépend de l'épaisseur du produit) a peu d'influence sur les propriétés mécaniques. La taille de grains et la microstructure sont fixées par le laminage ;
- Accéléré (à l'eau) avec une vitesse supérieure à 1°C/s mais insuffisante pour tremper l'acier et développer de la martensite. Ce refroidissement provoque un affinement supplémentaire de la taille des grains de la structure ferrite + perlite améliorant à la fois la ténacité et la résistance ;
- Trempé et auto revenu produisant une martensite revenue en surface et une structure fine de bainite /ferrite/perlite au cœur du matériau. Ce procédé augmente de 120 à 150 MPa les caractéristiques de traction en comparaison avec les caractéristiques de l'acier non traité et améliore également sa ténacité.[8]

I.2.1.2 Défauts du laminage [9]

Lors de l'opération du laminage, on distingue des défauts géométriques, microstructuraux et superficiels.

I.2.1.2.1-Défauts géométriques

L'écoulement du métal n'est jamais totalement confiné car les outils souffriraient trop. On assiste ainsi à des compétitions de types différents d'écoulement, comme l'élargissement qui concurrence l'allongement du produit

C'est ainsi que les extrémités pour les produits longs, les extrémités et les rives pour les produits plats, sont toujours déformées et doivent être chutées (leur somme constitue la mise au mille).

Par ailleurs, les machines et les outils qui ne sont pas infiniment rigides, cèdent élastiquement sous les grandes charges qui leur sont appliquées et engendrent des problèmes de forme.

I.2.1.2.2-Défauts microstructuraux

Ils sont innombrables et très dépendants de l'alliage considéré, mais peu spécifiques du laminage. Ce sont des tailles de grains inappropriées ou hétérogènes, des textures (cristallographiques, morphologiques ou topologiques) mal orientées, ou excessives et insuffisantes ; des inclusions non métalliques trop grosses ou trop nombreuses, des porosités, des fissures ou des criques.

I.2.1.2.3-Défauts superficiels

On distingue des défauts de nature chimique (ségrégation et plus souvent pollution : taches carbonées en sortie de recuit de tôles, par craquage du lubrifiant...), et des rugosités inadéquates. Pour les tôles à emboutir, on requiert non plus seulement un certain niveau de rugosité, mais une morphologie précise des pics et des vallées.

I.2.1.3.Avantages et inconvénients du laminage [6]

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.

I.2.2- Emboutissage

L'emboutissage est une technique qui permet de transformer un métal, livré en feuilles ou en bobines en pièces de formes complexes utilisées dans les automobiles, les appareils électroménagers, l'emballage et les machines en général. Du fait de sa complexité et de la difficulté qu'il y a à quantifier, les facteurs influent leurs interactions. De part sa difficulté d'analyse, l'emboutissage est resté longtemps un art plutôt qu'une technique,

pour la pratique duquel l'expérience, l'observation, l'astuce étaient des qualités plus utiles qu'une connaissance approfondie de la physique. [10]



Fig. I.5: Quelques formes de pièces embouties

I.2.2.1-Intérêts de l'emboutissage

L'emboutissage sous presse présente de nombreux intérêts tant par son aspect économique que qualitatif.

Ce procédé de mise en œuvre offre un bas prix de revient et permet des cadences de production très élevées variables de 100 à 200 pièces par heure pour des pièces de grosse volumes (carrosserie automobile), et jusqu'à 3000 à 4000 pièces par heure pour des petites pièces.

L'érouissage résultant des déformations imposées par la tôle donne des caractéristiques supérieures à celle du flan. Ces fortes caractéristiques permettent un allègement des pièces.

La qualité de l'état de surface d'une pièce brute d'emboutissage est nettement supérieure à celle des pièces coulées. L'esthétique des pièces embouties est donc bien supérieure et les travaux de finition, tel que le polissage est moins lourd à gérer et surtout moins coûteux.

Les débouchés de ce procédé de mise en forme sont donc extrêmement larges. Nous noterons notamment la présence de l'emboutissage dans divers domaines tels que :

- des transports : que ce soit dans le domaine de l'automobile, des transports routiers ou des deux roues. L'emboutissage intervient pour de très nombreuses pièces extérieures (carrosserie) intérieures (renforts). ;
- de l'électroménager : radiateur, machine à laver, ballon d'eau chaude,.....
- du sanitaire : lavabos métallique, bac de couches....
- de l'emballage : boîte de boisson, conserve,
- des pièces mécaniques, des biens de consommation courante,... [11]

I.2.2.2. Principe de l'emboutissage

Le principe est fondé sur la déformation plastique du matériau (métal en général). La déformation consiste en allongement ou un retrait local de la tôle pour obtenir la forme désirée. Par suite, la conservation globale (au moins approximative) du volume du matériau, les zones d'étirement subissent un amincissement (qui doivent rester limitées pour éviter la rupture) et les zones de retrait (compression) subissent une combinaison d'épaississement et de plissement.

L'emboutissage se pratique à l'aide des presses à emboutir en appliquant de fortes puissances munies d'outillages spéciaux qui comportent dans le principe, trois pièces essentielles actives (Figure I.6)

- Une matrice, en creux qui épouse la forme extérieure de la pièce ;
- Un poinçon, en relief épouse sa forme intérieure en réservant l'épaisseur de la tôle ;
- Un serre-flan, entoure le poinçon qui s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon ;
- Des joncs sont parfois utilisés pour freiner le glissement de la tôle (retenue de l'acier).

L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal. Pour améliorer le comportement des zones de retrait, aucun angle ne doit être vif et un parfait état de surface est primordial. La mise au point de tels outils est une opération très spécialisée et très couteuse notamment sur les pièces d'apparence (design).

Selon la profondeur ou la forme de la pièce, plusieurs passes dans des outils différents peuvent être nécessaires.

Le choix du procédé dépend du type de presse disponible en atelier (effort de serrage, dimension), de la forme de la pièce, du matériau utilisé et du nombre total d'opérations à exécuter pour obtenir la pièce finie.

La formabilité de l'acier est améliorée en chauffant légèrement, tout en évitant de modifier la phase dans le but de préserver les propriétés mécaniques du matériau utilisé. En général, l'emboutissage est une opération de formage à froid. La matrice étant refroidie pour limiter l'échauffement lié au contact.

L'emboutissage ne plastifie pas entièrement la pièce, une étude de retour élastique est nécessaire pour assurer l'assemblage final. **[11]**

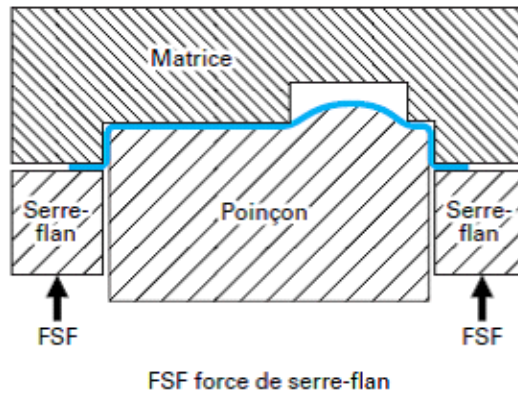


Fig. I.6 : Outil d'emboutissage

I.2.2.3 - Emboutissage en température [10]

I.2.2.3.1 - 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'efforts de serrage.

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

I.2.2.3.2- 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.

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.

I.3-Conclusion

Dans le cadre du marché unique et de la libre circulation des produits, la normalisation et la classification constituent un élément fondamental pour les échanges

mondiaux, non seulement au niveau de la définition du produit, mais aussi des méthodes d'évaluation des critères de qualité permettant de définir les produits.

Parmi les différentes opérations de réalisation de ces produits, les aciers en tôlerie à titre d'exemple, le laminage et l'emboutissage sont deux procédés de mise en forme des pièces mécaniques. Ils nous permettent d'obtenir des pièces de formes complexes non développables.

Pour l'obtention de ces pièces, plusieurs facteurs déterminent leur coût de production tels que : la composition de l'acier selon sa teneur en éléments nobles (chrome, nickel, manganèse, cobalt, etc.) ; les examens et essais effectués sur échantillons prélevés sur coulée ou directement sur le produit ; le choix d'option proposée par des normes ou des standards internationaux comme les aptitudes au pliage, à l'emboutissage et à l'usinage. L'impact de ces exigences peut avoir une incidence sur l'augmentation du prix de base de ce produit.

CHAPITRE II

**CARACTERISATION MECANIQUE
ET MICROSTRUCTURALE DES
ACIERS**

Chapitre II : Caractérisation Mécanique et Microstructurale des Aciers

II.1- Introduction

Le choix d'un métal pour un certain but d'utilisation, s'effectue sur la base de ses propriétés physico-chimiques, mécaniques et technologiques.

Les essais mécaniques font partie de la technique des métaux, leur but est de caractériser ou d'évaluer numériquement les propriétés du matériau.

La connaissance des grandeurs caractéristiques et leur détermination sont les conditions essentielles pour les calculs des dimensions des différents éléments de construction.

Les grandeurs caractéristiques sont mesurables et sont définies selon les différents procédés qui feront l'objet de cette partie.

Les essais mécaniques sont pratiqués soit :

- Directement sur les pièces brutes ou usinées
- Sur des éprouvettes -échantillons du matériau considéré.

Parmi ces essais, nous citerons:

- La traction et compression
- La torsion
- La flexion
- Le choc
- La fatigue
- La dureté

II.2- Caractérisation mécaniques

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.

II.2.1- Essai de traction

Les essais de traction permettent d'expliquer une partie des comportements mécaniques des matériaux. On distingue souvent deux groupes : ceux qui sont dits fragiles et ceux qui sont dits ductiles.

Un matériau est dit fragile lorsque la rupture survient avant même d'entrer dans le domaine plastique. Un matériau qui présente un domaine élastique et un domaine plastique est dit ductile.

II.2.1.1- Principe de l'essai de traction

L'essai consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction de façon progressive, généralement jusqu'à la rupture dans le but de définir une ou plusieurs caractéristiques mécaniques.

Un essai de traction est une expérience qui permet de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau quelconque.[12]



Fig.II.1 Principe de l'essai de traction

II.2.1.2- Courbe de traction

La courbe de traction est constituée de deux parties : une partie linéaire dite partie élastique et la deuxième est dite partie plastique.

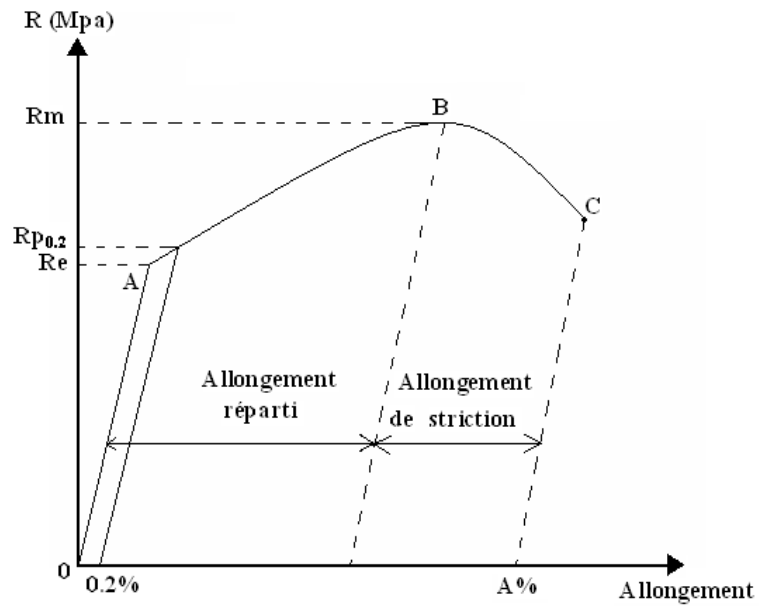


Fig. II. 2 : Diagramme conventionnel d'un essai de traction

II.2.1.3-Forme et dimensions de l'éprouvette

Les éprouvettes comportent généralement deux têtes d'amarrage et une partie calibrée de section constante comportant deux repères distants d'une longueur L_0 .

La section droite de l'éprouvette peut être circulaire, carrée, rectangulaire ou hexagonale.

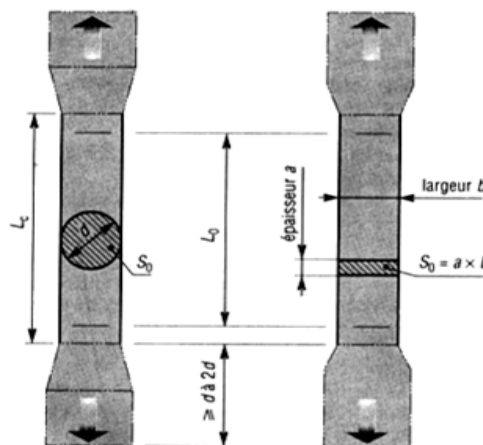


Fig. II.3 : Forme générale de l'éprouvette de traction.

II.2.1.4-Caractéristiques de l'essai de traction [13]

- Limite élastique R_e :

$$R_e = F_e / S_0 \text{ (Mpa).}$$

Avec :

R_e : limite d'élasticité apparente.

F_e : charge à la limite apparente d'élasticité (N).

S_0 : section initiale (mm^2).

- Résistance à la traction

Elle correspond à la charge la plus élevée du diagramme de traction, rapportée à la section initiale de l'éprouvette.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} (\text{Mpa}) ; F_m: \text{charge maximale}$$

- Allongement à la rupture

L'allongement à la rupture donne une valeur de l'aptitude du métal à la déformation plastique.

$$A\% = (L_u - L_0) / L_0 \times 100.$$

L_u : longueur de l'éprouvette reconstituée après rupture.

L_0 : longueur initiale de l'éprouvette.

- Striction

Le coefficient de striction : $Z = S_0 - S_u / S_0 \times 100$

L'allongement de striction : $Z_u = S_0 - S_u / S_u \times 100$

S_u : est la section minimale de l'éprouvette après rupture

II.2.1.5-Traction longitudinale [14]

La charge F est exercée suivant la direction de fibres (composite) ou bien suivant la direction de laminage (tôles) sur la section droite S_1 du matériau (Figure II. 4).

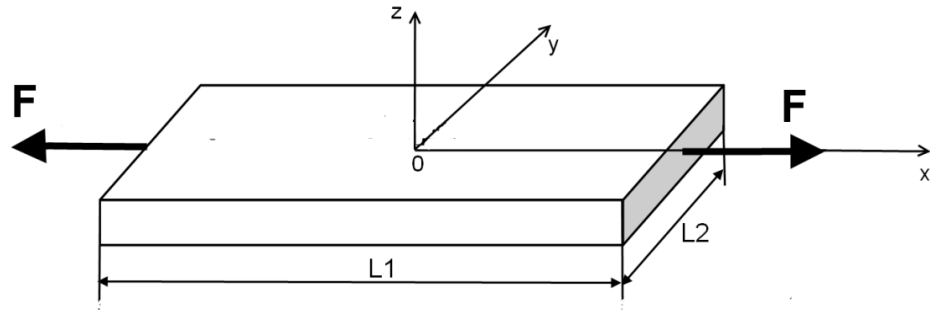


Fig. II.4 : Traction longitudinale

Ox : axe de laminage

Oy : axe perpendiculaire au sens du laminage

-Les contraintes normales σ_{xx} sont données par la relation suivante

—

- Les déformations longitudinales et transversales sont respectivement données par :

—

—

II.2.1.6-Traction transversale [14]

La charge F_2 est exercée suivant la direction transversale au sens de laminage (Figure. II. 5)

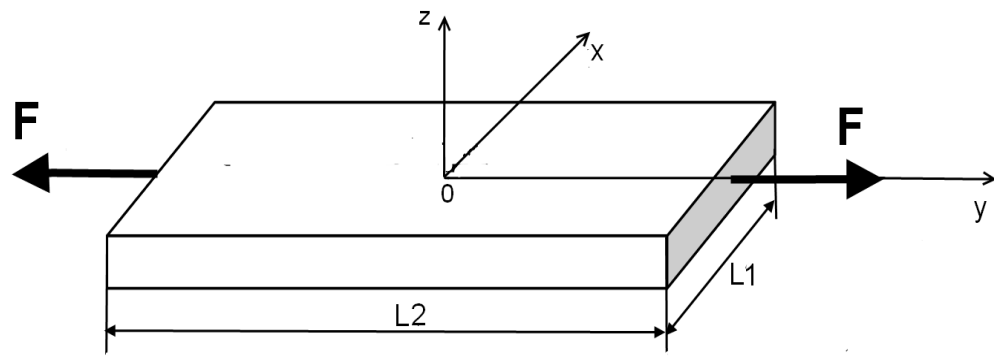


Fig. II.5: Traction transversale

Ox : axe de laminage

Oy : axe perpendiculaire au sens de laminage

- La contrainte normale σ_{yy} est donnée par la relation suivante:

—

: est la section droite sur laquelle s'exerce la charge F

II.2.1.7-Traction hors axe [14]

L'essai usuellement utilisé pour mesurer le module de cisaillement longitudinal G, est l'essai de traction orienté d'un angle de 45° par rapport à la direction de laminage. La charge F est exercée suivant la direction X' sur la section S comme la montre la (Figure. II.6)

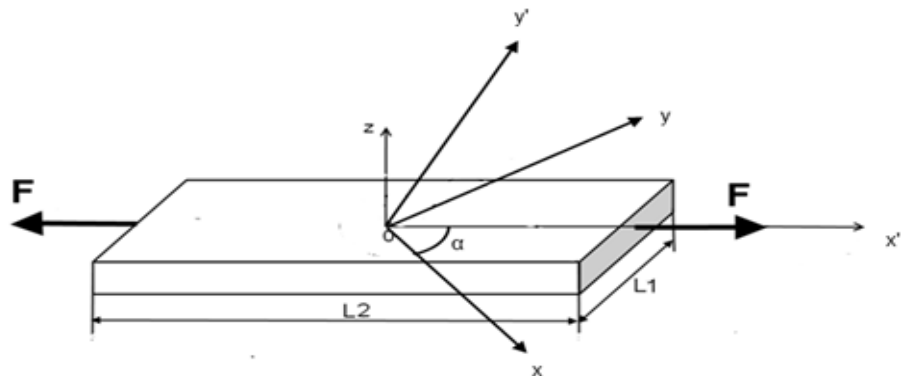


Fig. II. 6 : Traction hors axe

Ox : axe de laminage

Oy : axe perpendiculaire au sens du laminage

Ox' : axe d'application de la charge F

α : angle entre la direction de la charge F et l'axe du laminage (45°)

- Les contraintes normales $\sigma_{x'x'}$ sont données par la relation suivante :

—

: est la section droite sur laquelle exerce la charge F

- Le module de Young dans la direction x' s'exprime par :

$$E_{x'x'} = E_{45} = \frac{\sigma_{x'x'}}{\varepsilon_{x'x'}}$$

II.2.1.8-Mesure des coefficients de Lankford (anisotropie) [15]

Le comportement des tôles laminées varie souvent en fonction de la direction de sollicitation en raison de l'orientation préférentielle des grains imposés par le laminage. Dans ces conditions, elles sont dites anisotropes. Par ailleurs, cette anisotropie se caractérise généralement par trois plans de symétrie dont les intersections définissent les trois axes d'orthotropie (x, y, z) définis sur la Figure II.7. L'orthotropie est une anisotropie particulière des tôles. La mesure des déformations pendant l'essai de traction permet également de mesurer les coefficients de Lankford qui tiennent compte de l'anisotropie initiale de la tôle. L'idée de base pour caractériser cette anisotropie, est de réaliser des essais de traction dans plusieurs directions. On introduit classiquement le coefficient de Lankford r_α en fonction de l'orientation de découpage de l'éprouvette de traction notée α et défini par rapport à la direction de laminage (Figure II. 7). En pratique, il est courant d'identifier les coefficients de Lankford r_0 , r_{45} , r_{90} pour les trois orientations particulières 0° , 45° et 90° par rapport à la direction de laminage. Le coefficient de Lankford est le rapport entre la déformation latérale ε_{22} et la déformation dans l'épaisseur ε_{33} d'une éprouvette en traction uniaxiale.

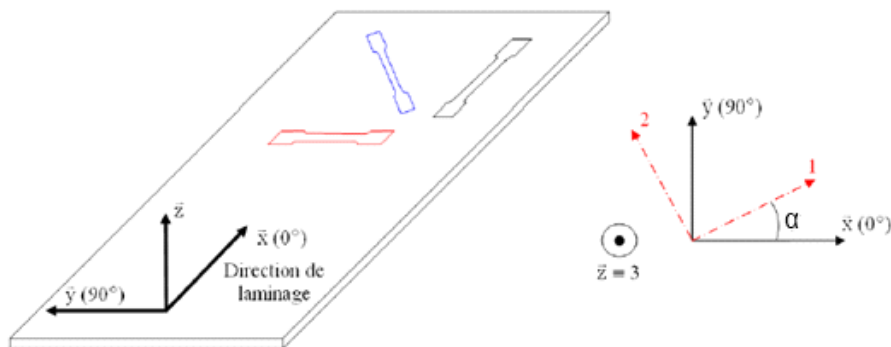


Fig. II. 7 : Orientation des éprouvettes de traction

Le coefficient de Lankford est donné par la relation suivante:

$$r_\alpha = \frac{\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{zz}}$$

ε_{yy} : déformation latérale

ε_{zz} : déformation suivant l'épaisseur

ε_{zz} : est calculée grâce à l'hypothèse d'incompressibilité plastique du matériau :

$$\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = 0$$

Ce qui donne :

$$\varepsilon_{zz} = -(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy})$$

Donc r_α peut s'écrire sous la forme suivante:

$$r_\alpha = -\frac{\varepsilon_{yy}}{(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy})}$$

ε_{yy} : est calculé à partir du coefficient de Poisson.

Remarque

Les coefficients de Lankford sont généralement inférieurs à 1 pour les alliages d'aluminium, et supérieurs à 1 pour les aciers.

II.2.2-Essais de dureté [13]

II.2.2.1-Définition

La dureté est la mesure de la 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, la géométrie de pénétrateur, ses propriétés mécaniques et la charge qui lui y est appliquée.

II.2.2.2-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^2).

II.2.2.3-Types d'essai

III.2.2.3.1-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.

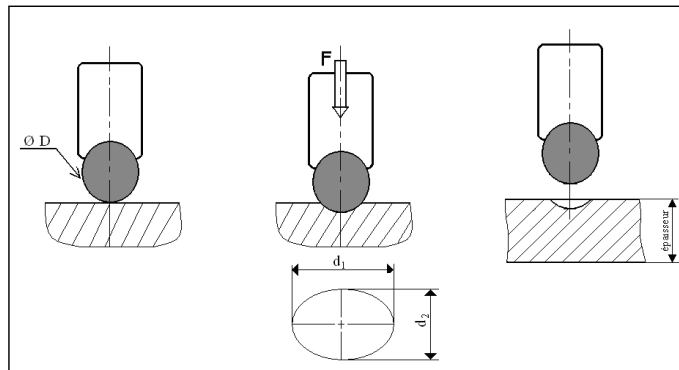


Fig. II. 8: Essai de dureté Brinell.

La dureté Brinell est donnée par la relation suivante:

$$HB = F / S$$

F : charge de l'essai (N)

S : aire de l'empreinte (mm^2)

$$S = \frac{D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \quad (\text{mm}^2)$$

D : diamètre de la bille (mm)

d : diamètre de l'empreinte (mm).

$$d = \frac{(d1 + d2)}{2}$$

III.2.2.3.1.1- 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.

II.2.2.3.2- 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° , sous une charge F , et à mesurer la diagonale d de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge. (Figure II.9)

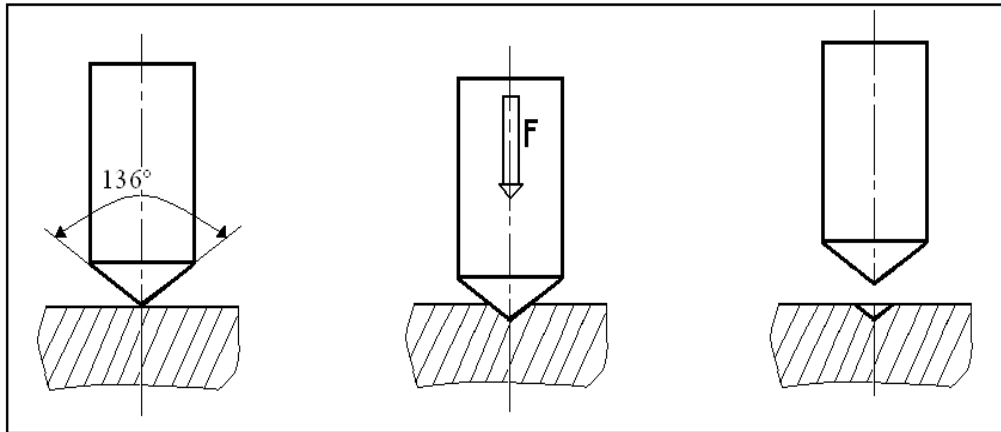


Fig.II .9 : Principe de l'essai Vickers.

La dureté Vickers est donnée par la relation suivante:

$$HV = F / S$$

La surface est calculée en fonction de la moyenne des deux diagonales d_1 et d_2 .

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

Avec :

γ : angle de la pyramide = 136°

d : diagonale de l'empreinte (mm).

$$d = (d_1 + d_2) / 2$$

On en déduit:

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

F : charge d'essai (N).

II.2.2.3.3-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.

II.2.2.3.3.1-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 II.10)

On applique au pénétrateur, progressivement et sans chocs (en 2 à 8 secondes), 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 :

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

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

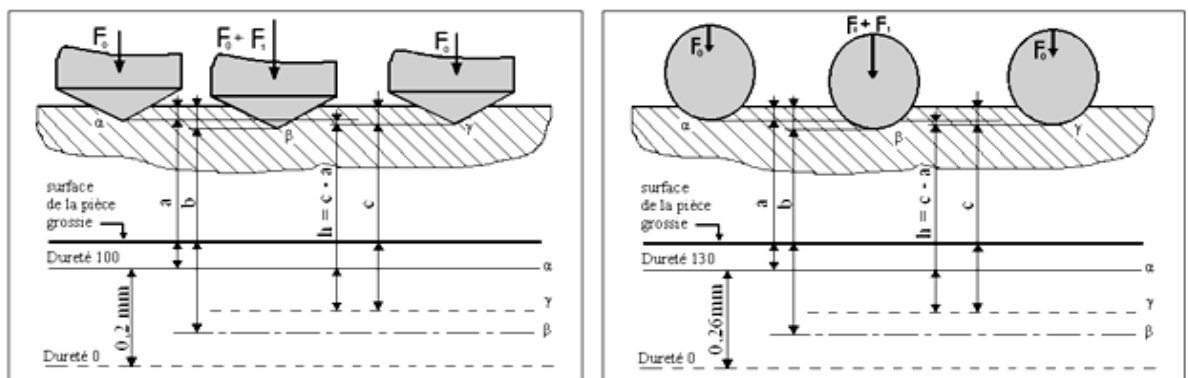


Fig.II.10 : Principe des essais Rockwell (HRB, HRC)

II.2.3- Examen métallographique [16]

En microscopie, on utilise couramment les microscopes optiques et les microscopes électroniques. Ces instruments sont d'une grande utilité dans l'étude de la microstructure des matériaux.

La micrographie nécessite une préparation de l'échantillon à observer, cette préparation passe par plusieurs étapes à savoir :

- Le prélèvement

L'échantillon à prélever doit être représentatif des caractéristiques du produit à étudier (composition chimique, état métallurgique...)

Ce prélèvement se pratique le plus souvent à la meule tronçonneuse ou à l'aide d'une scie en utilisant l'eau pour la lubrification. Cette lubrification est nécessaire afin d'éviter l'échauffement du matériau.

- L'enrobage

Pour faciliter la manipulation et permettre une meilleure conservation de l'échantillon, on procède à l'enrobage qui se fait à froid ou à chaud.

Dans le premier cas, l'échantillon est placé dans un moule rempli d'une solution polymérisable se solidifiant à température ambiante. Ce type d'enrobage est recommandé pour des matériaux sensibles à l'élévation de température.

Dans le second cas, la matière d'enrobage est sous forme de poudre se solidifiant sous pression et permettant ainsi la fixation de l'échantillon.

- Polissage

Le but du polissage est l'obtention d'une surface plane, brillante et exempte de toutes rayures. Il se fait par voie mécanique, chimique ou électrolytique. Le polissage mécanique s'effectue en trois étapes :

a- Dressage

Exécuté à l'aide d'un papier abrasif lequel est : soit de l'émeri, soit du carbure de silicium. Cette étape permet l'élimination des rayures et des défauts les plus grossiers.

b- Dégrossissage

Il se fait à l'aide des papiers de granulométrie de plus en plus fine. Le polissage se fait habituellement avec arrosage pour éliminer tout risque d'échauffement de l'échantillon.

c- Polissage de finition

Trois principaux modes de polissage de finition sont généralement utilisés :

- Polissage électrolytique.
- Polissage à l'alumine.
- Polissage à la pâte diamantée.

d-Attaque chimique

L'attaque des échantillons polis a pour but de révéler les joints des cristaux et de différencier les constituants (les précipités, les inclusions, les pores, les phases...etc.) de l'alliage. Il y a attaqué préférentielle ou coloration de certains constituants par rapport à d'autres, ce qui donne des différences de coloration entre les différents constituants ou entre les cristaux d'une même phase. Le tableau 2.représente les réactifs d'attaque métallographique de l'acier.

II.2.4- Observation au microscope [13]

II.2.4.1- Microscope optique

En science des matériaux, ceux dont la microstructure est le plus souvent observée sont les matériaux métalliques, les céramiques et les matériaux opaques. L'examen et l'étude de leur microstructure doivent se faire par réflexion de la lumière sur une surface préparée.

Pour être observables au microscope optique, les échantillons doivent être spécialement préparés.

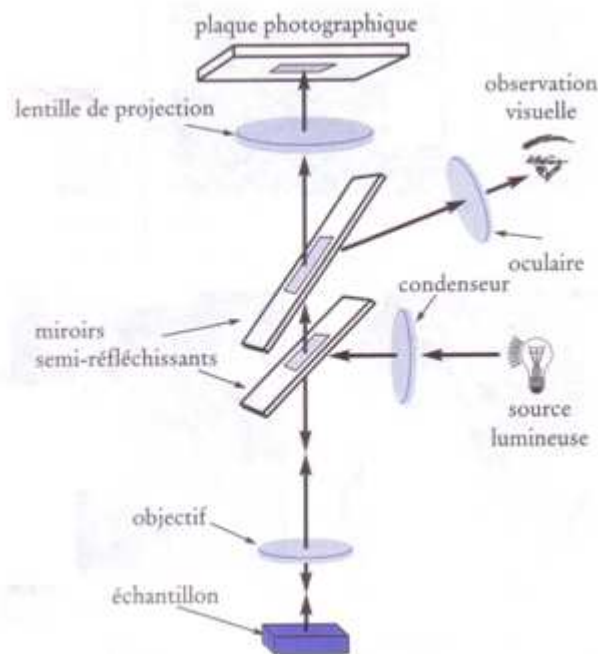


Fig. II.11 : Représentation schématique d'un microscope optique

II.2.4.2-Microscope électronique à balayage

Un faisceau d'électrons primaires, d'un diamètre peuvent varier de un micro mètre environ, est focalisé sur l'échantillon à l'aide de lentilles électromagnétiques. L'intensité des électrons réémis par la surface dépend de l'orientation et de la composition de celle-ci. Les électrons réémis (rétrodiffusés ou secondaires) sont collectés par un détecteur approprié, et le signal électrique ainsi obtenu est amplifié et sert de module d'intensité du faisceau d'électrons (spot) d'un écran cathodique. Des bobines de balayage permettent au faisceau incident de couvrir ligne par ligne la région à étudier. Le faisceau d'électron de l'écran cathodique se déplace de façon synchrone, ligne par ligne ; à chaque position du faisceau incident sur l'échantillon, correspond une position homologue du spot sur l'écran cathodique. La brillance du spot est proportionnelle à l'intensité du signal d'électron émis

par la pointe de l'échantillon obtenu. Ainsi, sur l'écran cathodique, une image (en noir et blanc) reconstituée de la surface de l'échantillon à partir du signal détecté provenant de chaque point de la surface balayée par les électrons primaires. (Figure II.12).

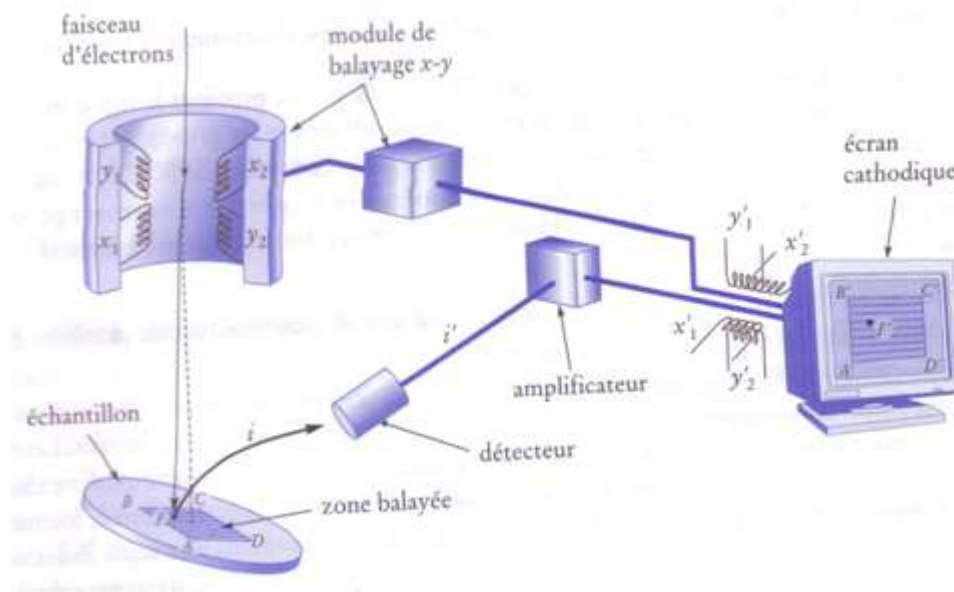


Fig.II.12 : Représentation schématique d'un microscope électronique à balayage

II.2.5-Essai Erichsen (Emboutissage)

Les essais à dominante expansion sont les plus anciens. On trouve, l'essai Persoz (1903), l'essai Erichsen (1910), l'essai Olsen (1930) plus particulièrement utilisé aux États-Unis, qui se font sur un poinçon rigide hémisphérique et les essais utilisant une pression hydraulique : Jovignot (1930) et les « bulge tests » en général. Le plus connu dans la première catégorie, l'essai Erichsen à flan bloqué, figure 15, a longtemps fait partie de la batterie de tests prévus pour la réception des tôles minces pour emboutissage.

L'indice Erichsen ou indice d'emboutissage (IE) correspond à la profondeur en (mm) de l'embouti lors de l'apparition d'une fissure. Comme il dépend de l'épaisseur du métal, des abaques définis dans les normes de produit permettaient de s'assurer de leur conformité. Le test est très sensible à la lubrification, qui modifie le lieu de rupture et il est donc important de bien la contrôler.

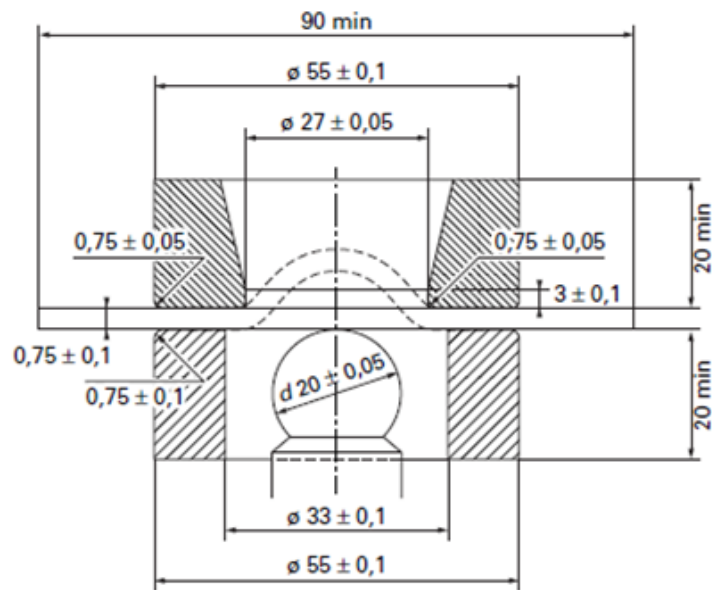


Fig.II.13 : essai Erichsen

II.2.6-Les rayons X (RX) [17]

En 1912, la nature électromagnétique de rayon X a été établie par le physicien LAUE. On peut définir les rayons X comme étant les radiations électromagnétiques dont la longueur d'onde varie de 0,1 à 10Å. Les rayons X utilisés en métallurgie ont des longueurs d'onde situées dans la gamme 0,02 à 0,3 μm

II.2.6.1- Interaction des électrons avec la matière

Les méthodes physiques d'analyse des matériaux solides sont nombreuses. Schématiquement, leur principe consiste à exciter le matériau étudié par une source donnée et analyser la réponse. Plusieurs types de sources d'excitation sont généralement utilisés.

On peut citer à titre d'exemple, celles utilisant les ondes électromagnétiques et des faisceaux de particules chargées

Parmi toutes ces techniques, celles mettant à profit le bombardement de l'échantillon par un faisceau électronique qui ont connu un développement remarquable ces dernières années.

Plusieurs facteurs justifiant le grand intérêt porté à ce type de techniques. Il est donc possible d'effectuer plusieurs types d'analyses sur le même appareil. Il suffit au constructeur d'utiliser de manière bien étudiée, l'espace disponible pour pouvoir doter l'appareil des différents accessoires destinés à l'analyse des divers signaux constituant la réponse de l'échantillon.

II.2.6.2-Emission électronique

On distingue deux catégories d'électrons émis par l'échantillon :

Les électrons rétrodiffusés : ce sont des électrons du faisceau incident qui, suite à des collisions avec les noyaux, les atomes de la matrice sont divisés et finissent par atteindre la face de l'échantillon et la quitter. Compte tenu de la faiblesse des pertes d'énergies au cours de la diffusion élastique, l'énergie des électrons rétrodiffusés est très voisine de celle des électrons incidents.

Les électrons secondaires : on définit les électrons secondaires comme étant des électrons émis par la cible et dont l'énergie est inférieure à 50 eV. Il est important de noter que, vu leur faible énergie, seuls les électrons secondaires émis au voisinage de la surface de l'échantillon réussissent à émerger. A titre indicatif, la profondeur d'émission des électrons secondaires est de l'ordre de quelques centaines d'angströms. Une des propriétés essentielles de l'émission secondaire est la sensibilité de son intensité au relief de l'échantillon. Cette propriété est à l'origine des contrastes de topographie utilisée en M.E.B pour l'observation des surfaces.

II.2.6.3-Analyse X

II.2.6.3.1-Aspect pratique de la microanalyse

La microanalyse avait été développée dans le but essentiel de fournir une information quantitative ponctuelle, son aspect a pris une importance de plus en plus grande. De plus, depuis quelques années, l'intérêt pour l'image numérique croît au détriment de l'imagerie analogique classique. Le couplage du microscope électronique à balayage, analyseur d'image est devenu désormais chose courante, pour ne pas dire indispensable.

II.2.6.3.2-Loi de BRAGG

La méthode du choix pour l'étude des systèmes cristallins est la diffraction par les rayons X. La diffraction par les neutrons et même par les électrons ont été aussi utilisées. En effet, la longueur d'onde λ des radiations X est du même ordre de grandeur que les distances entre motifs dans un cristal.

-La LOI DE BRAGG est donnée par la formule suivante :

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

d : est la distance réticulaire (caractéristique des plans)

θ : angle de Bragg

n est l'ordre de l'interférence (nombre entier)

λ : longueur d'onde

II.3-Essais sur l'adhérence de la peinture

II.3. 1-L'épaisseur de revêtement

Généralement, le contrôle de l'épaisseur du revêtement se fait plusieurs fois. On choisit cinq points répartis sur la surface de la pièce à examiner (Figure II.14). A l'aide d'un testeur (micro teste) de couche de peinture, on relève la valeur pour chaque point choisit. La valeur moyenne ainsi trouvée de ces cinq points sera comparée ensuite à la valeur normalisée. [18]

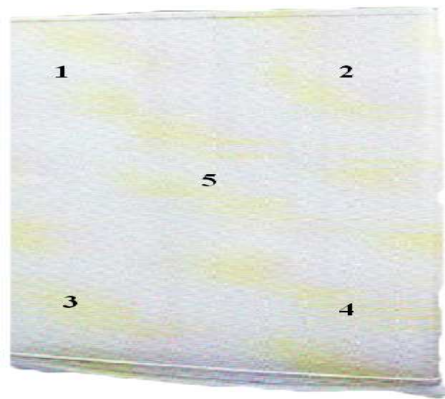


Fig. II.14 : Contrôle de l'épaisseur de la couche de Peinture sur une porte de réfrigérateur

II.3. 2-Essai de quadrillage (NFT 30-038)

L'essai consiste à inciser la couche de peinture jusqu'au substrat au moyen d'un instrument tranchant en réalisant un quadrillage, puis on examine l'aspect de l'incision et le comportement des carrés formés par le quadrillage (leur arrachement ou leur adhérence).

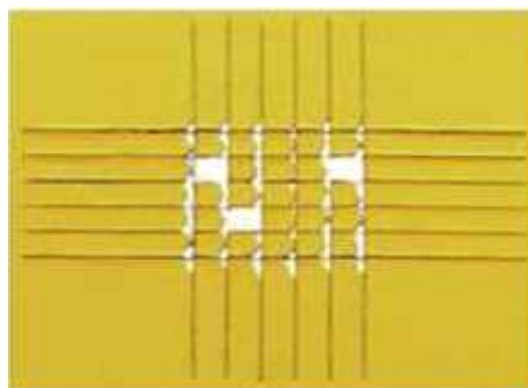


Fig. II.15: Essai de quadrillage sur une plaque revêtue

II.3.3-Essai de choc

On fait tomber verticalement à différentes hauteurs, une masse sur le poinçon afin d'obtenir une empreinte avec une déformation plastique de la peinture et en même temps de la tôle. Après l'essai, on observe l'aspect de l'empreinte, les endroits de décollement et la présence de fissuration de la peinture, c'est ce qui nous permettra de déterminer l'élasticité de la peinture. [18]



Fig. II.16: Essai de choc

II.3.4- Essai de pliage (la norme NF A 03-158)

L'essai consiste à soumettre une éprouvette de forme rectangulaire à une déformation plastique par pliage sans inversion du sens de flexion.



Fig. II.17 : Eprouvette pliée

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.

II.3.5-Essai d'emboutissage

Le principe est fondé sur la déformation plastique de la tôle peinte. La déformation consiste en un allongement ou un retreint local de la tôle pour obtenir une empreinte.

Lors de l'opération de l'emboutissage, certaines mesures doivent être respectées :

- Positionner l'éprouvette sur la matrice ;
- Une fois que le serre flan est bien ajusté (remettre à 0), on applique une pression bien déterminée pour maintenir la tôle afin de lui permettre de fluer ;
- Avec un serrage manuel, on déforme la tôle peinte plastiquement avec le poinçon ;
- Le poinçon et le serre flan se relèvent, l'éprouvette conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée).

L'observation et l'interprétation se font sur la partie externe de l'empreinte de la tôle emboutie. [18]

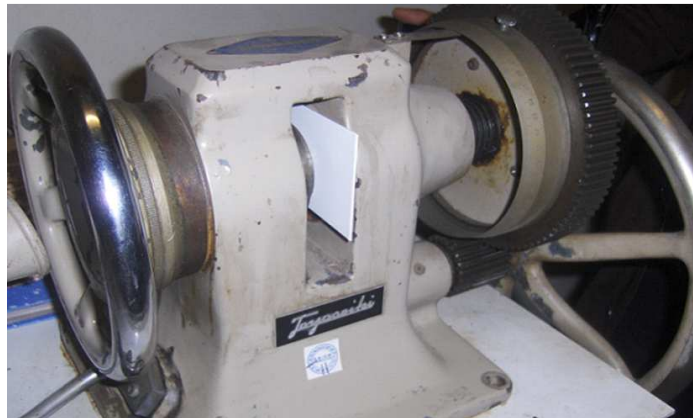


Fig. II.18 : Essai d'emboutissage sur une tôle revêtue

II.4-Conclusion

L'ingénieur mécanicien a besoin de connaître le comportement mécanique des matériaux utilisés pour fabriquer diverses structures. Ce sont les essais mécaniques qui peuvent lui fournir ces données nécessaires. Elles sont indispensables pour la mise au point des procédés de mise en forme.

Le choix du procédé de l'emboutissage dépend du type de presse disponible en atelier (effort de serrage, dimension), de la forme de la pièce, du matériau (acier standard, acier à haute résistance, aluminium, etc.), du nombre total d'opérations pour obtenir la pièce finie, etc.

L'emboutissage ne plastifie pas entièrement la pièce, une étude de retour élastique est nécessaire pour assurer l'assemblage final.

En général, l'emboutissage est une opération de formage à froid, la matrice étant généralement refroidie pour limiter l'échauffement lié au contact.

CHAPITRE III
TRAITEMENT DE SURFACE

Chapitre III: Traitement de Surface

III.1-Introduction

La corrosion signifie : ronger, attaquer. C'est une destruction non voulue des métaux sous l'action de milieux corrosifs (agents atmosphériques ou réactifs chimiques).

Après une attaque chimique, les métaux ont tendance à retourner à leur état primitif d'oxyde, sulfure, carbonate etc., plus stable par rapport au milieu considéré et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés.

En service, les matériaux métalliques sont souvent en contact avec un milieu agressif liquide ou gazeux. Le phénomène de corrosion est un problème de surface ou plus précisément d'interface entre un métal et un milieu agressif liquide ou gazeux ; comme il a été déjà mentionné ci-dessus, le processus de la corrosion entraîne une destruction des matériaux métalliques. Ce phénomène a pris de nos jours une importance considérable, étant donné que l'utilisation des métaux et alliages dans la vie moderne est de plus en plus demandée.

Les métaux se distinguent des autres matériaux par un ensemble de propriétés avantageuses tels que bonne ductilité, résistance élevée à la traction, résistance aux hautes températures, bonne conductibilité électrique et thermique, grande facilité de mise en œuvre etc. Leurs inconvénients sont liés à leur instabilité au contact de l'air et de l'eau, ce qui diminue leur résistance à la corrosion et à l'usure, c'est à dire leur durabilité. Mais pour mieux remplir leur fonction pendant la durée de vie prévue, on emploie des techniques de protection adéquates contre la corrosion. L'emploi de nouveaux matériaux résistants à la corrosion ont fait l'objet d'un grand nombre de recherches ces dernières années.

Du point de vue économique, la corrosion est d'une importance primordiale. On estime par exemple que chaque année le quart de la production d'acier est détruit par la corrosion, ce qui correspond environ à 150 millions de tonnes/an ou encore 5 tonnes/seconde. Ces pertes pouvaient être supérieures s'il n'y avait pas la protection contre la corrosion.

Le remplacement des équipements et matériel corrodés constitue pour l'industrie une charge financière très élevée à laquelle il faut ajouter le manque à gagner correspondant à l'arrêt des installations nécessaires pour effectuer les réparations.

L'évaluation des pertes dues à la corrosion doit prendre en considération

- Les pertes directes : remplacement des matériaux et équipements corrodés.
- Les pertes indirectes : réparation, pertes de production.
- Les mesures de protection : utilisation de matériaux plus résistants à la corrosion et plus chers, de revêtement et de protection cathodique
- Les mesures de préventions, surdimensionnement des structures porteuses inspection, entretien.

Les pertes directes ne représentent donc qu'une partie des coûts de la corrosion. Elles sont souvent inférieures aux pertes indirectes.

Par exemple, si l'on doit arrêter une machine ou un équipement dont l'un des éléments constituant est corrodé, le prix de ce dernier est dérisoire par rapport aux pertes de gain dues au manque de production.

L'emploi des matériaux plastiques ou composites dans les différentes branches d'industrie ont trouvé une grande importance chez les utilisateurs, car ces matériaux résistent bien à la corrosion et n'exigent aucun revêtement de protection. [19]

III.2-Différents processus de la corrosion

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes. Elles résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement. La corrosion jusqu'à ce jour, n'est pas complètement éclairée et cela est expliqué par les essais de laboratoire qui ne permettent pas de prévoir avec certitude le comportement d'un métal ou d'un alliage donné lorsqu'il est exposé à la corrosion. D'une manière générale, un métal résiste à la corrosion dans des conditions bien déterminées.

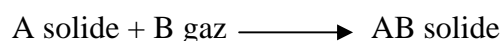
On peut résumer les différents processus de la corrosion comme ci-dessous :

- Corrosion chimique (sèche).
- Corrosion électrochimique (humide).
- Corrosion biochimique.
- Corrosion accompagnée d'érosion (mécanique).

III.2.1-Corrosion chimique (sèche) [20]

Il s'agit d'une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase gazeuse. Le processus d'oxydoréduction de la corrosion chimique se déroule dans le domaine atomique avec le milieu ambiant sans présence d'électrolyte. La corrosion purement chimique ne fait pas donc intervenir le passage d'un courant électrique, un flux électronique cesse, car l'échange d'électrons entre les différents partenaires de réactions s'effectue directement. L'air renferme l'oxygène, de la vapeur d'eau et des vapeurs acides (anhydride carbonique CO_2 et sulfureux SO_2 , hydrogène sulfureux SH_2 etc.). Ce sont les agents corrosifs mais le plus souvent c'est le CO_2 . On admet que la formation de la rouille est alors la résultante de l'action de tous ces corps, mais il faut qu'un acide soit présent, même en protection faible pour que l'attaque puisse se produire.

L'attaque du métal par une réaction chimique avec le milieu ambiant sans intervention du courant électrique, nécessite généralement des températures élevées. La réaction qui se produit est de la forme :

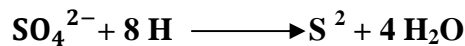


III.2.2-Corrosion biochimique [20]

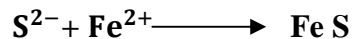
C'est l'attaque bactérienne des métaux en particulier dans les canalisations enterrées. Le mécanisme de ce mode de corrosion peut être de plusieurs types.

a- Chimique par production de substances corrosives telles que CO_2 , H_2S , H_2SO_4 , NH_3 ou d'un acide organique. Le cas le plus répandu, est celui rencontré dans les canalisations enterrées et il est déterminé par la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal.

b- Certaines bactéries peuvent réduire les sulfates par l'intermédiaire d'hydrogène.



L'hydrogène provient par exemple des régions cathodiques, il y a donc dépoliarisation des cathodes et formation accélérée de Fe^{2+} aux anodes



c- Dans certains cas, on peut observer sur les canalisations des dépôts adhérents résultant de l'attaque, non pas du métal lui-même, mais ceux de certains constituants du milieu ambiant par des bactéries. Il en résulte, la formation de piqûres sur le métal à l'endroit où s'est produit le dépôt, suivant un processus de corrosion par différence de concentration en oxygène.

III.3-Facteurs de la corrosion [21]

Les phénomènes de corrosion dépendent de plusieurs facteurs qui peuvent être classés en quatre groupes principaux tels que :

- Les facteurs définissant les modes d'attaque,
- Les facteurs métallurgiques,
- Les facteurs définissant les conditions d'emploi,
- Les facteurs dépendant du temps.

III.4-Formes de corrosion

La corrosion métallique est répartie en plusieurs catégories :

III.4.1-La corrosion uniforme (généralisée)

La corrosion uniforme se caractérise normalement par une réaction électrochimique qui se poursuit uniformément sur toute la surface exposée. Cette attaque se trouve généralement sur les métaux exposés au milieu acide.[22]



Fig. III.1 : Représentation schématique du mécanisme de la corrosion uniforme

III.4.2-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. Le métal dont le potentiel de corrosion est le plus faible (anodique) va se consommer préférentiellement, protégeant ainsi le métal (cathodique). [23]

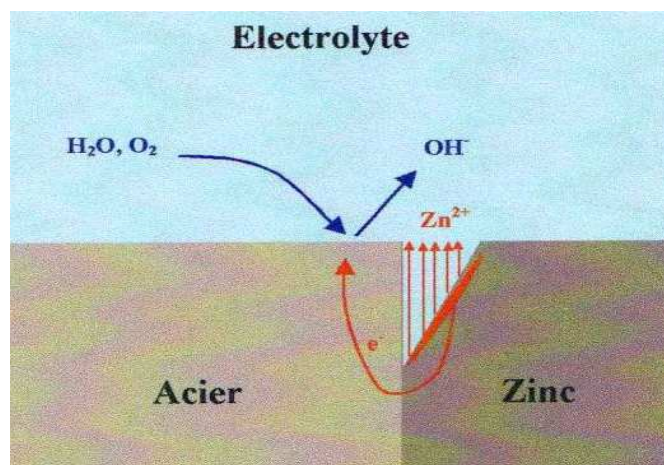


Fig. III.2 : Cas de corrosion galvanique d'un revêtement de zinc sur acier

III.4.3 -Corrosion caverneuse (par crevasses) [24]

La corrosion caverneuse est le type de corrosion le plus dommageable pour un véhicule. C'est une corrosion localisée qui passe habituellement inaperçue durant les premiers stades car elle s'initie à l'intérieur des creux : l'attaque est souvent rapide et peut aller jusqu'à la perforation des pièces.

La corrosion caverneuse peut provenir des petits volumes d'électrolyte piégés dans des trous des interstices ou des joints d'étanchéité. Elle est due à un gradient de concentration d'oxygène dissous entre les parties des mêmes pièces de métal, créant une pile de concentration électrochimique. La corrosion apparaît aux endroits où la concentration en oxygène est la plus faible. Les étapes de la corrosion par crevasse sont illustrées dans la (Figure III.3).

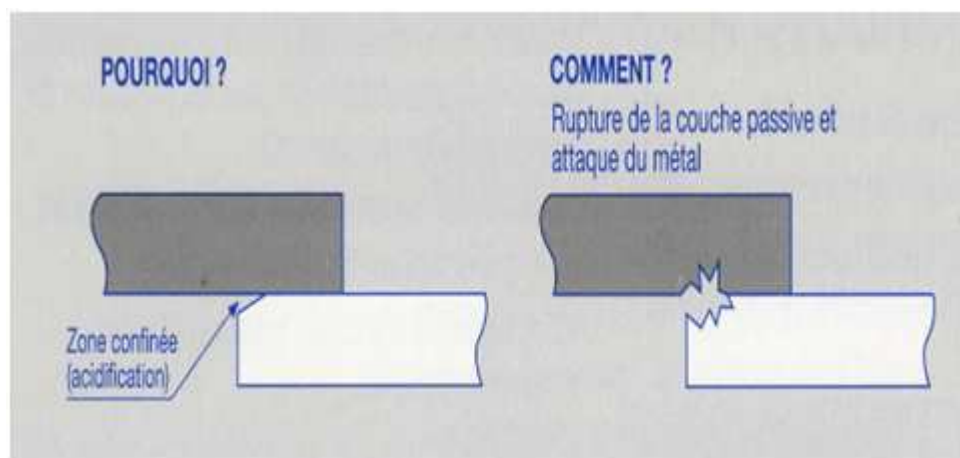


Fig. III.3. : Étapes de la corrosion caverneuse

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'intérieure de la crevasse ;
- **La période de propagation** : pendant laquelle la corrosion va se développer jusqu'à l'entrée de la caverne. Elle est signe d'une ruine prochaine du matériau et donc de l'appareil ou de l'installation

III.4.4-La corrosion par piqures

Elle se localise en certain point de la surface du métal. Ce type de corrosion trouve son origine en particulier dans l'existence d'une solution de continuité dans une couche

recouvrant le métal dans les points d'une pièce métallique ou encore suite à une allosion, caractéristique de la corrosion par courant vagabond.

Bien que la quantité du métal attaqué soit très faible, cette forme de corrosion est l'une des plus dangereuses car elle se produit en profondeur (Figure III.4) et peut conduire rapidement à la perforation des tôles épaisses. Les piqures touchent plus particulièrement les aciers inoxydables, les aciers les alliages d'aluminium.[25]

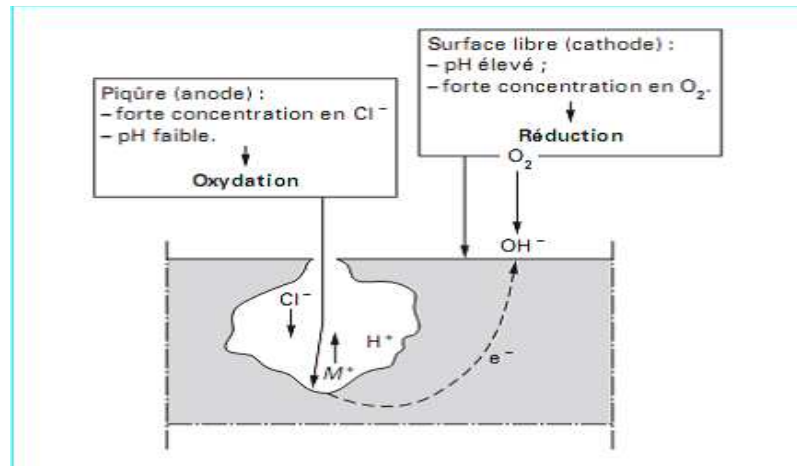


Fig. III.4 : propagation d'une piqure dans un milieu chlorure

III.5-Les traitements de surface

III.5.1-Définition d'un traitement de surface

Un traitement de surface est une opération mécanique, chimique, électrochimique ou physique, généralement de l'ordre de quelques microns qui a pour conséquence de modifier l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données.[26]

Il existe de nombreuses façons de classer les traitements de surface, soit par procédés (dépôts électrolytique 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 et l'approche est complexe.

La manière la plus traditionnelle de classer les 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 :

- Les traitements de surface par transformation structurale d'origine mécanique ou thermique
- Les traitements par diffusion
- Les traitements de conversion
- Les revêtements. [27]

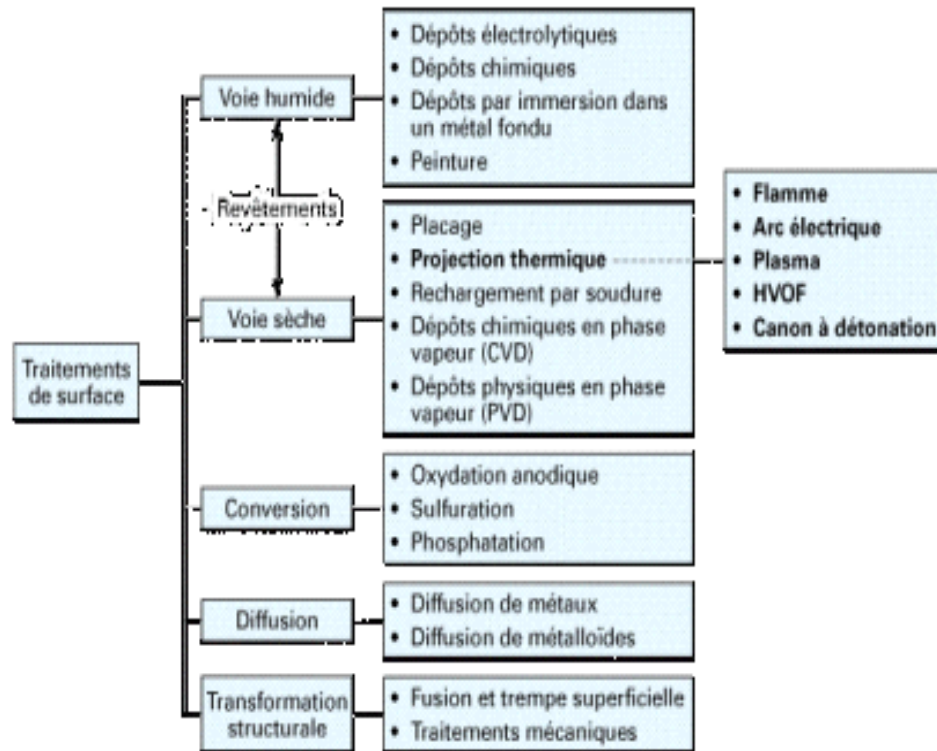


Fig. III.5: Type des traitements de surface

III.5.2-Différents types de traitements de surface [27]

III.5. 2.1- Traitements de surface par transformation structurale d'origine mécanique ou thermique

Dans cette filière, il n'y a pas de matériau d'apport, seule la surface de la pièce est modifiée, soit par action mécanique, soit par apport thermique. La finalité de cette filière, est d'assurer une augmentation de la résistance mécanique de la surface avec une introduction de contraintes résiduelles de compression.

III 5.2.1.1-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)

III .5.2.1.2-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 .Cet 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.

III.5.2.2-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.

III.5.2.2.1-Traitement par diffusion de metalloïdes

On regroupe dans ce domaine tous les procédés de traitement thermo-chimique tels que cémentation, nitruration, oxydation et les procédés mixtes tels que carbonitruration et oxynitruration. Ces derniers sont actuellement en plein essor notamment dans la mécanique et l'industrie automobile.

Le domaine des traitements thermo-chimiques 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 physico-chimique. 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).

III.5.2.2.2-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

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.

III.5.2.2.3-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 Kev. 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).

III.5.2.3-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.

III.5.2.3.1-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.

III.5.2.3.2-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

III.5.2.3.3-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 automobile et dans l'armement. 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

revêtements organiques. 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, de construction métallique 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.

III.5.3-Principe de traitement de phosphatation [27]

Le traitement de phosphatation est réalisé en milieu dilué d'acide phosphorique PO_4H_3 avec des phosphates métalliques primaires (PO_4H_2), Me étant Zn, Ni, Mn, Ca et des accélérateurs, produits organiques ou minéraux oxydants à une température comprise entre 55 à 95°C sous un pH compris entre 2.5 à 5. Il se développe dans ces conditions sur la surface métallique une couche de phosphate suivant la réaction globale :



Cette réaction globale est la résultante des phénomènes d'oxydoréduction avec, dans les zones anodiques, dissolution du substrat métallique et, dans les zones cathodiques, dégagement d'hydrogène (Figure III. 6). Le rôle des accélérateurs (mélange de nitrates et de nitrites) est dans les zones anodiques de limiter l'attaque chimique, et dans les zones cathodiques de limiter le dégagement d'hydrogène et de dépolariiser la réaction pour permettre à l'attaque de se poursuivre. En solution, ces accélérateurs oxydent les ions Me^{x+} en $\text{Me}^{(x+1)+}$ et provoquent la formation de phosphate insolubles qui précipitent sous forme de boues.

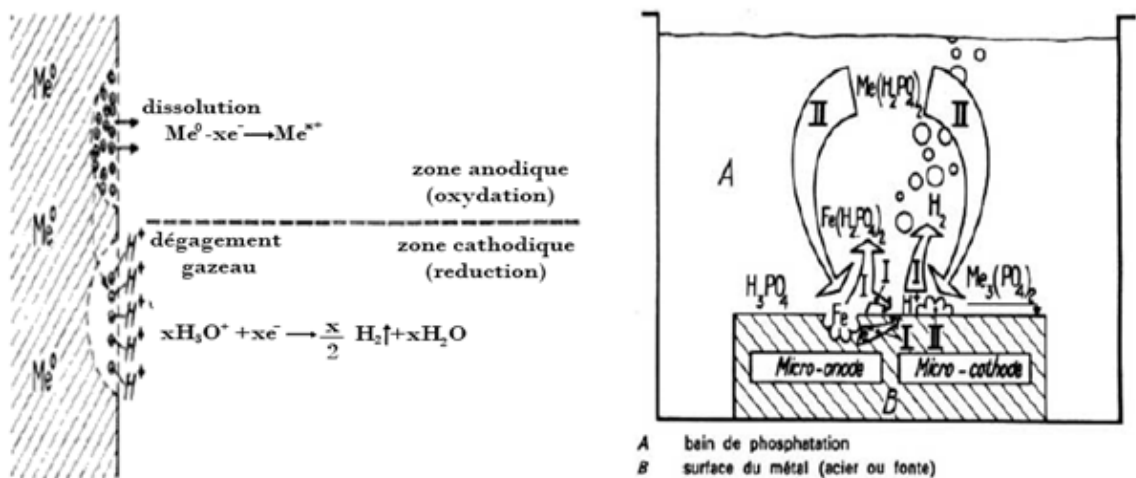


Fig. III.6: principe de la phosphatation avec réactions d'oxydoréduction.

Traitement	Métal	Applications
Passivations: Nitrique		
Chromique	Aciers inoxydables	Sans finition, protection
Phosphochromique	Métaux cuivreux, argent	Temporaire
	Fer	Conservation d'un état de surface

Tableau III.1. Principaux traitements chimiques et leurs applications [28]

Chromatations: 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
Phosphatations 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
Oxalation	Acier inoxydable	Lubrifié pour frottement et déformation à froid
Dépôts par déplacement Cuivrage	Cu/Fe	Sans finition en tréfilage, base de traçage en chaudronnerie
Nickel DIP	Ni/Fe Sn/Cu	Sans finition, base d'émaillage Décoration

III.6-Conclusion

Les traitements de surface permettent d'améliorer l'aspect externe (rugosité, couleur, brillance, ...), de maîtriser les performances d'une pièce (résistance à la corrosion), d'améliorer ou de modifier les propriétés mécaniques et physiques (conductibilité électrique, usure, frottement, ...)

Les traitements de surface sont des opérations mécanique, chimique, électrochimique ou physique qui ont pour but de modifier l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données. Ils jouent un rôle éminent dans le domaine de la tribologie afin d'augmenter la durée de vie et la fiabilité du produit à utiliser.

CHAPITRE IV

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre IV : Etude Expérimentale

IV.1-Introduction

La caractérisation des propriétés mécaniques d'un matériau ou d'un assemblage est essentielle pour les concepteurs de produits ou systèmes. Elle apporte des informations sur la résistance, le seuil de déformation élastique, les capacités de déformation avant rupture ou encore la rigidité.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les techniques et les équipements expérimentaux employés dans notre expérience. Pour identifier la tôle DC03 A, un récapitulatif est représenté 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.2-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° C à +55° 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.2.1-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



Fig. IV.1 : Bobines de tôle

Certains objets manufacturés comme ce type de tôle, doivent avoir un minimum de solidité pour pouvoir supporter les charges, le poids et bien d'autres efforts. L'essai de traction permet de caractériser ces matériaux, indépendamment de la forme de l'objet sollicité, ou la performance d'un assemblage mécanique. Comme tout essai mécanique, l'essai de traction reproduit une sollicitation simple, donc éloignée des sollicitations réelles, mais facilement maîtrisables et reproductibles.

IV.3-Essai de traction

Un essai de traction est une expérience de physique qui permet de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau quelconque.

Cet essai ou expérience consiste à placer une petite barre du matériau à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture. On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit ensuite en déformation et contrainte.

L'essai de traction nous permet de déterminer expérimentalement les caractéristiques du matériau étudié, telles que :

- Le module de Young, E , ou module d'élasticité longitudinale, exprimé en méga Pascal (MPa) ou en gigaPascal (GPa) ;
- La limite d'élasticité (lorsqu'elle existe), R_e , σ_e ou σ_y (*yield stress*), qui sert à caractériser un domaine conventionnel de réversibilité ;
- La résistance à la traction R_m ou σ_m , qui définit la limite à la rupture ;
- L'allongement à la rupture A , qui mesure la capacité d'un matériau à s'allonger sous charge avant sa rupture, propriété intéressante dans certaines applications ;

- Le coefficient de Poisson, qui chiffre la variation de volume induite par la déformation des matériaux dans le domaine élastique.

IV.3.1-Eprouvette de traction utilisée

La norme utilisée est celle de NF A03 160 qui a pour but de d'écrire l'essai de traction pour les produits plats, minces en acier. Elle s'applique aux tôles et feuillards d'épaisseur minimale variables de 0.5 à 3mm.

Lors du prélèvement des éprouvettes, des précautions devront être prises pour éviter toutes modifications de la structure du métal, résultant soit à un échauffement, soit d'une déformation du métal, entraînant un écrouissage.

On doit tenir compte du sens du prélèvement dans des éprouvettes qui présentent une anisotropie (sens de laminage ou bien le sens transversal).

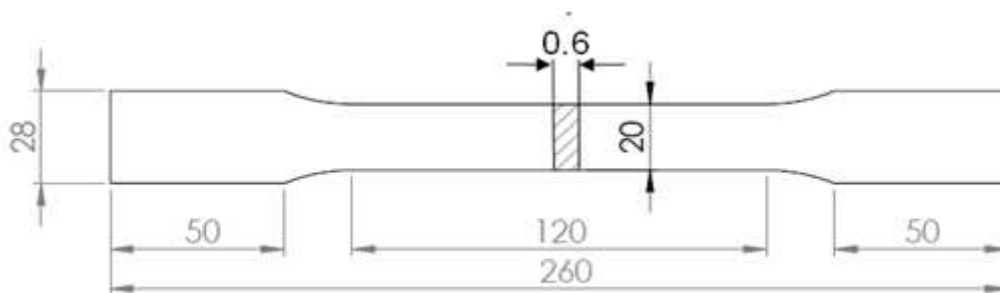


Fig.IV.2 : Dimensions de l'éprouvette de traction utilisée

IV.3.2-Equipements utilisés au cours des expériences

Les différents dispositifs utilisés pour la réalisation des éprouvettes de traction sont :

IV.3.2.1-Cisaille hydraulique

Après la révision des moyens et équipements qui sont mis à notre disposition soit par l'entreprise ENIEM, soit par le hall technologie de l'Université de Tizi-Ouzou (UMMTO), nous avons pris une décision de découper des échantillons de tôle en forme de carrés de dimensions 450*450 mm. Le découpage de ces échantillons s'est effectué à l'aide d'une cisaille à guillotine à actionnement hydraulique COMETAL de caractéristiques suivantes:

- 1- Capacité : 1050 x 12 mm
- 2-. Butée arrière électrique montée sur vis trapézoïdales, course : 1000 mm
- 3-. Positionneur de côte programmable



Fig. IV.3 : Cisaille hydraulique utilisée.

IV.3.2.2-Fraiseuse verticale

Après découpage de la tôle, une fraiseuse verticale de type ALMO a été utilisée pour usiner ces éprouvettes de traction. Différentes éprouvettes ont été réalisées pour chaque direction ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$).

Lors de l'usinage de ces éprouvettes sur la fraiseuse, des brides ont été utilisées pour fixer les échantillons sur la machine, montage entre brides.

Les conditions de coupes choisies sont représentées ci-dessous :

- Vitesse de coupe : 180 tr/min
- Vitesse de déplacement : 16mm/min
- Lubrification



Fig. IV.4 : Fraiseuse verticale utilisée.

IV.3.2.3-Machine de traction

Une machine de traction de type S.K.F a été utilisée pour réaliser les essais de traction. Elle est alimentée d'une tension de 220V et supportant une charge maximale de 200KN. La vitesse de déplacement choisie pendant le long des essais est de 0.5KN/min.



Fig. IV.5 : Machine de traction utilisée

IV. 4. Examens microstructuraux utilisés

La connaissance de la microstructure d'un matériau permet bien souvent de comprendre le procédé d'élaboration ou de traitement de la pièce observée. Sa qualité peut également être appréciée, comme par exemple la porosité résiduelle d'une céramique ou la quantité d'inclusions non métalliques dans un alliage métallique. De plus, les propriétés mécaniques de la pièce, par exemple sa dureté ou sa résistance à la corrosion dépendent fortement de la microstructure.

IV.4.1. Echantillons utilisés

L'examen de la microstructure constitue donc un aspect important dans la compréhension des caractéristiques d'une pièce. Citons par exemple la mise au point d'un processus d'élaboration, le contrôle d'un procédé de fabrication ou encore l'analyse d'une défaillance.

Ce contrôle est réalisé généralement en microscopie optique ou électronique, après préparation spécifique. L'analyse d'image associée permet de quantifier le pourcentage d'une seconde phase ou de la porosité.

Pour avoir des informations sur la microstructure, il faut généralement une préparation soignée qui comporte plusieurs étapes.

L'échantillon doit être découpé, afin que l'on puisse le mettre en place sur le microscope, mais aussi pour observer la structure en un endroit voulu. Ces échantillons ont été préparés en utilisant plusieurs machines et instruments.

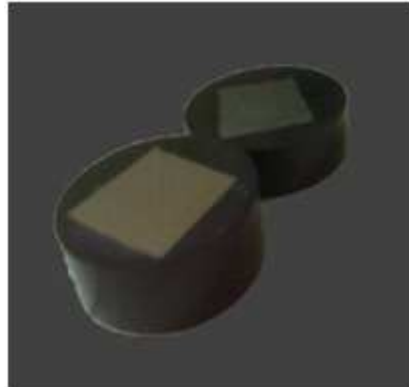


Fig. IV.6 : Echantillons utilisés pour la microstructure, dureté et microdureté

IV.4.2. Equipement utilisé

IV.4.2.1. Scie mécanique horizontale

Pour les essais de mesure de la dureté, microstructure et microdureté, une scie mécanique nous a servit pour le découpage des échantillons. (Figure I.7).



Fig. IV.7 : Scie mécanique utilisée

IV.4.2.2. Enrobeuse

L'enrobage est un procédé industriel consistant à appliquer une couche de liquide ou de poudre sur la surface d'un produit de base de forme quelconque afin de lui conférer des propriétés particulières.

L'enrobage est notamment utilisé dans les secteurs métallurgique, chimique.

L'épaisseur de nos échantillons est très faible, elle est de 0.6 mm. Un enrobage est nécessaire. Une enrobeuse de marque SRUERS qui a une capacité de chauffage jusqu'à 180°C et ayant une capacité de fournir une force de pression de 20 KN a été utilisée.



Fig. IV.8 : Enrobeuse utilisée

IV.4.2.3. Les polisseuses

Polisseuse à deux disques de type « Struers » alimentée sous une tension de 220 V et munie d'un dispositif d'arrosage (Figure IV.9.a).

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.9.b). Pour l'opération de polissage, nous avons utilisé un papier verre de différentes numérotations.



Fig. IV.9.a : Polisseuse à deux disques utilisée pour le dégrossissage



Fig. IV.9.b : Polisseuse à un disque utilisée pour la finition

Les paramètres du travail sont regroupés dans le tableau ci-dessous:

Tableau IV.1 : Papier verre utilisé et son objectif

Papier	Motif
800	Opération d'ébauche
1200	
1500	Opération demi- finition
Polisseuse à un disque	Finition

IV.4.2.4. Duromètre

Un duromètre de type WOPERT DIA TESTOR RC est utilisé pour la mesure de la dureté. Il est constitué de deux parties :

- La première est la partie d'essai qui nous permet d'effectuer les trois types d'essai : Rockwell, Vickers, et Brinell. Il est muni d'un sélectionneur de charge et d'un plateau ou table sur laquelle les éprouvettes sont posées (figure IV.10)

-Deuxième partie (figure IV.9.b) : elle nous permet de mesurer l'empreinte des billes ou des pyramides pour un grossissement de 70 fois sur l'écran de verre dépoli. Ce duromètre est alimenté sous une tension de 220V et une fréquence de 50 Hz.

Les paramètres du travail sont :

- Diamètre de la bille 2.5 mm

- La charge 588 N

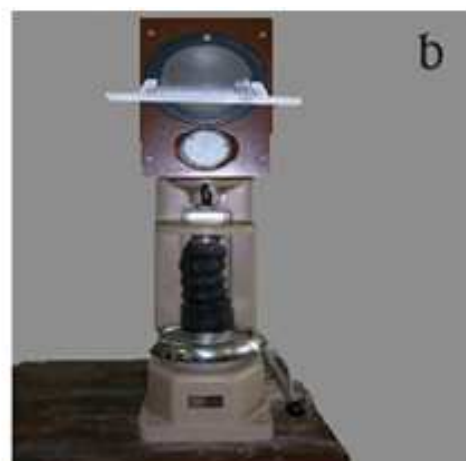


Fig. IV.10 : Duromètre de wopert dia testor RC

IV.4.2.5. Microscope

Pour procéder à l'observation de nos échantillons étudiés, après leur polissage et attaque chimique avec du Nital de composition chimique 4% HNO_3 + 96% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, on a utilisé les microscopes suivants :

a- 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



Fig. IV.11 : Microscope optique

b- Microscope électronique à balayage (MEB)

C'est un microscope à balayage de marque ESEM PHILIPS XL30, son grossissement peut atteindre 50 000 fois



Fig. IV.12 : Microscope électronique à balayage

IV.4.2.6. Micro Duromètre

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

Les paramètres du travail sont :

- Charge : $F=100g$

- Durée 20 s



Fig. IV.13 : Micro Duromètre de type Zwick/Roel Indentec

IV.5-Essais d'emboutissage (ERICHSEN)

IV.5.1.Eprouvette d'emboutissage

Pour la réalisation de l'essai ERICHSEN sur la tôle de 0.6 mm d'épaisseur, nous avons utilisé la norme ISO R149.

Les dimensions des éprouvettes sont données sur la Figure IV.14.

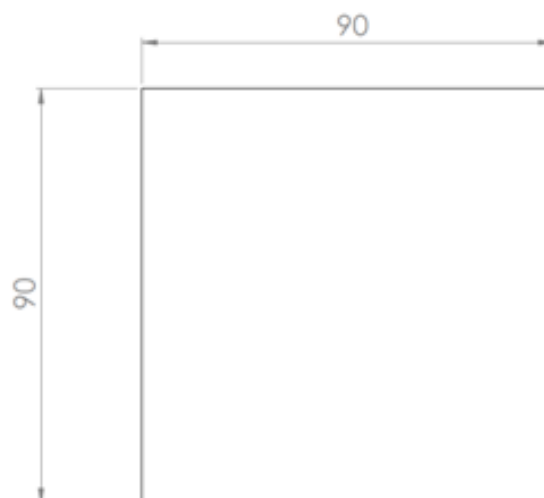


Fig. IV.14 : Dimensions des éprouvettes d'emboutissage

IV.5.2. Equipement utilisé

L'équipement utilisé pour la réalisation des éprouvettes d'emboutissage est le même que celui utilisé précédemment pour les éprouvettes de traction. Des brides ont été utilisées pour le montage sur la fraiseuse verticale.

IV.5.2.1. Machine d'emboutissage ERICHSEN

Pour calculer la profondeur d'emboutissage, nous avons utilisé une machine d'emboutissage de type ERICHSEN, alimentée sous une tension de 380V.

Les paramètres du travail sont :

- Pression de serrage du flan = 1000kgf
- Vitesse du déplacement de la calotte sphérique 5 à 20 mm /min.



Fig. IV.15 : Machine d'emboutissage ERICHSEN

IV. 6-Mise en peinture des échantillons

Une tôle a été découpée en premier lieu pour lui faire subir une succession d'opérations appropriées, la phosphatation et la passivation chromique dite traitement de surface. Le Tableau IV.2 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.

La peinture se dépose par la suite d'une façon régulière au centre du disque de pulvérisation qui fait des rotations rapides à une tension élevée sous l'action des forces centrifugeuses et des champs électriques. On trouve aussi des fines gouttelettes chargées qui suivent les lignes de champ électrique vers la pièce à peindre entraînant avec elle les pigments et les additifs, ce qui conduit à la formation d'une couche adhérente et uniforme.

Tableau IV.2. Les opérations de traitement de surface

Les paramètres Les opérations	Volume des bains ^{m³}	Solution utilisée	Le pH	La température
Pré dégraissage Dégraissage	2.7 5.4	Sels alcalins (basique)	9.5-13 9.5-13	50-60°C 50-60°C
1 ^{er} rinçage	2.7	Eau du robinet	Neutre	Ambiante
2 ^{eme} rinçage	2.7	Eau du robinet	Neutre	Ambiante
Phosphatation	8.1	Acide H ₃ PO ₄	4 a 5	50°-60° C
Passivation chromique	2.7	Acide chromique H ₂ C _r O ₄	3.5	Ambiante
Rinçage final	2.7	Eau démminéralisée	neutre	Ambiante
Séchage	---	----	----	150°C

IV.6.1. Equipements utilisés

IV.6.1. 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



Fig. IV.16 : Tunnel de prétraitement TOSHIBA utilisé.

IV.6.1.2. Cabine de peinture

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



Fig. IV.17: Cabine de poudrage utilisée

IV.6.1.3. Four de séchage

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 (oxyplaste) sur nos échantillons.

IV.7. Essai mécanique sur la peinture

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

IV.7.1. Mesure de profondeur du revêtement

IV.7.1.1. 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



Fig. IV.18 : Micro teste utilisé

IV.7.1.2. Essai de pliage

IV.7.1.2.1. Epreuve de pliage

La norme NF A 03-158 décrit l'essai de pliage sur une éprouvette peinte, les dimensions de l'éprouvette sont aussi données par la même norme (figure IV.19)



Fig. IV.19: Dimension des éprouvettes de pliage selon la norme NF A 03-158

IV.7.1.2.2. Appareil de pliage

L'appareil comprend 06 tiges cylindriques en acier inoxydable et 08 plaques interchangeables pour chaque épaisseur de la tôle (Figure IV.20).

Pour notre expérience, on utilise :

- Tige : $\varnothing 6$
- Plaque : 02

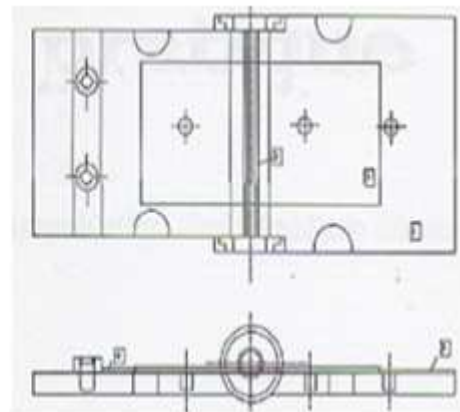


Fig. IV.20 : Appareil de pliage

IV.7.1.3-Essai de quadrillage (NFT 30-038)

IV.7.1.3.1-Appareil de quadrillage

Cet appareil 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

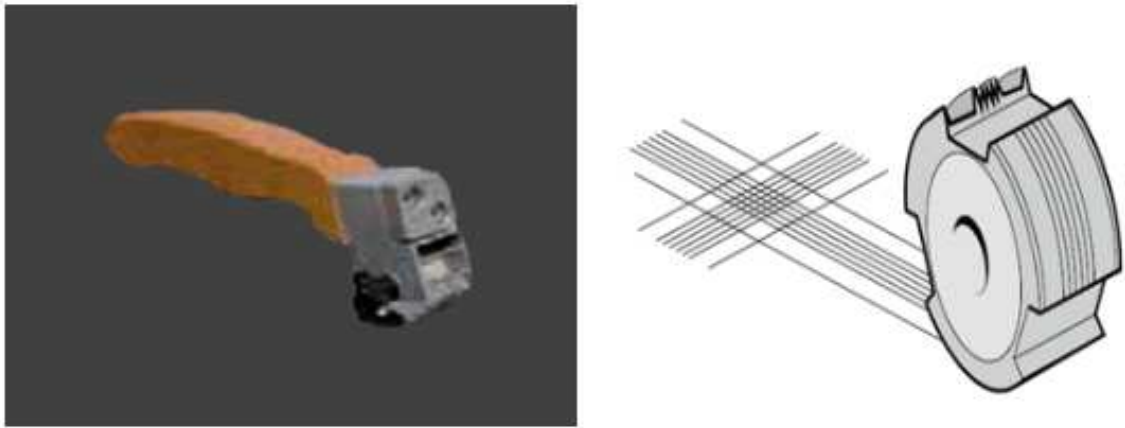


Fig. IV.21 : Appareil utilisé pour essai de quadrillage

IV.7.1.4. Essai d'emboutissage

IV.7.1.4.1. Machine d'emboutissage

C'est une machine simple d'utilisation qui est destinée à faire des essais pour peintures et laques. Elle permet de tester l'élasticité et l'adhérence des peintures et autres revêtements de protection par la méthode d'essai d'emboutissage (Figure IV.22).



Fig. IV.22 : Machine d'emboutissage utilisée

IV.7.1.5. Essai de choc

IV.7.1.5.1. 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.

Les paramètres de travail sont :

- Charge 500 g
- Hauteurs de la charge : 300 Mm, 400Mm, 500Mm.

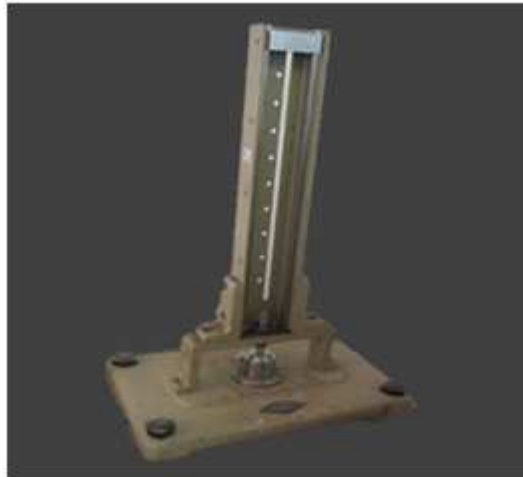


Fig. IV.23 : Appareil de choc utilisé

IV.8-Conclusion

Pour qu'une tôle passe de son état brut à un produit fini, elle devra passer par plusieurs étapes d'usinage. Au cours de ces étapes, l'ingénieur doit intervenir avant l'usinage pour les essais de caractérisation et après pour la vérification.

Ce chapitre récapitule les différents matériels et normes utilisés dont le but est de chercher les caractéristiques mécaniques de l'acier DC03 A 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 ANALYSE

Chapitre V : Résultats Expérimentaux et Analyse

V.1-Introduction

La structure et les caractéristiques mécaniques d'un l'acier sont indispensables en industrie. En effet, seuls les matériaux identifiés peuvent subir les différentes transformations industrielles (usinage, traitements thermiques, traitements thermo-chimiques, formage, laminage,...) après leur élaboration et ce, afin d'obtenir des produits répondant aux exigences quotidiennes. Notre étude a pour objectif de caractériser l'acier DC03 A utilisé au sein de l'entreprise ENIEM pour la fabrication des appareils électroménagers notamment, pour les réfrigérateurs. Ce matériau doit subir des traitements surfaciques avant son utilisation. Parmi ces traitements, nous citerons le laminage et l'influence des traitements surfacique sur l'adhérence de la peinture qui feront l'objet de notre travail.

V.2- Caractérisation de l'acier DC03 A

V.2.1- Composition chimique

Le tableau ci-dessous nous donne les compositions chimiques des tôles étudiées.

Tableau V. 1 : Composition chimique de 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 DC O3 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- Examen micrographiques

L'observation de la microstructure (figures V.1 et V.2) de l'acier utilisé est effectuée sur un microscope optique, après polissage mécanique et attaque chimique au Nital

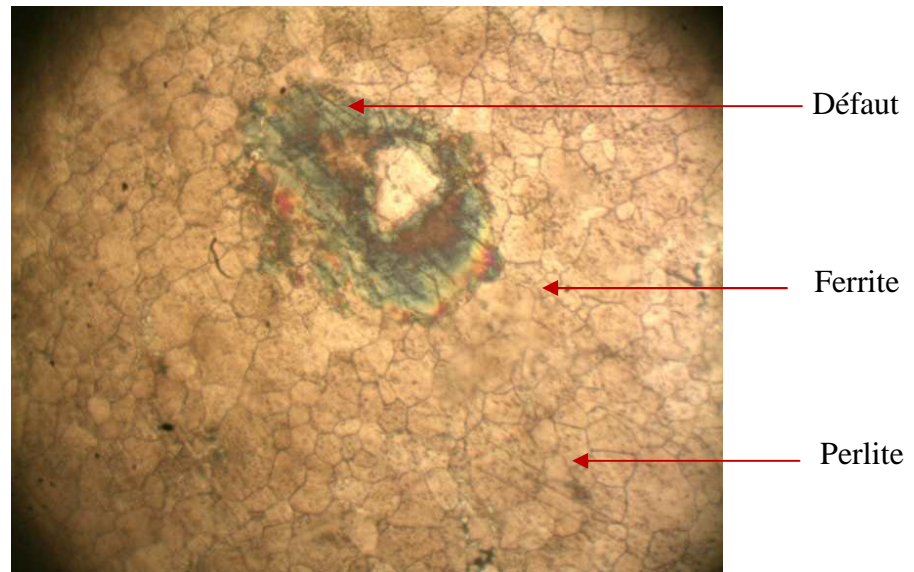


Fig. V.1: Microstructure de l'acier DCO3 A (x200).

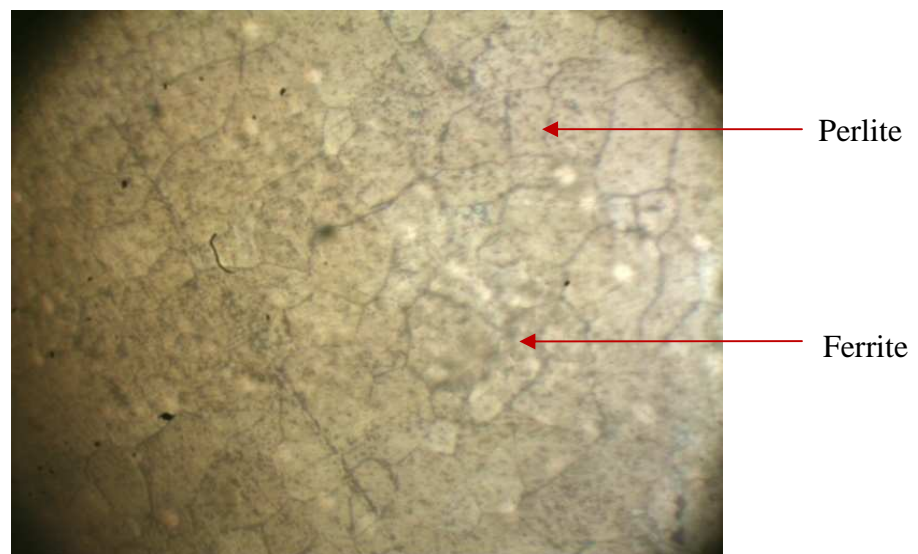


Fig.V.2. : Microstructure de l'acier DCO3 A (x400).

L'utilisation du MEB nous a permis d'observer le matériau puis d'analyser sa structure. En effet, les figures V.3 et V.4 nous permettent de mettre en évidence les résultats obtenus.

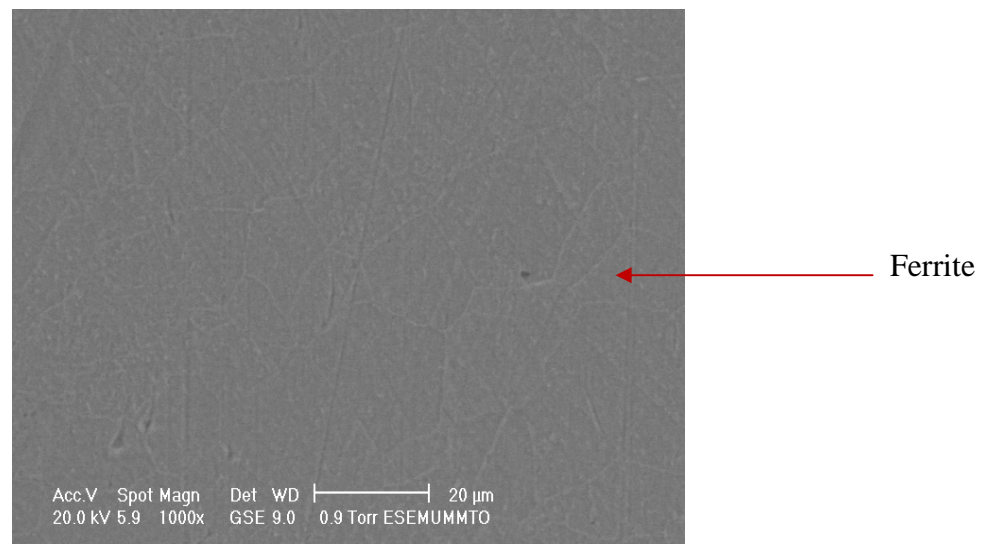


Fig. V.3 : Micrographie de l'acier DC03 A avec le MEB (x1000)

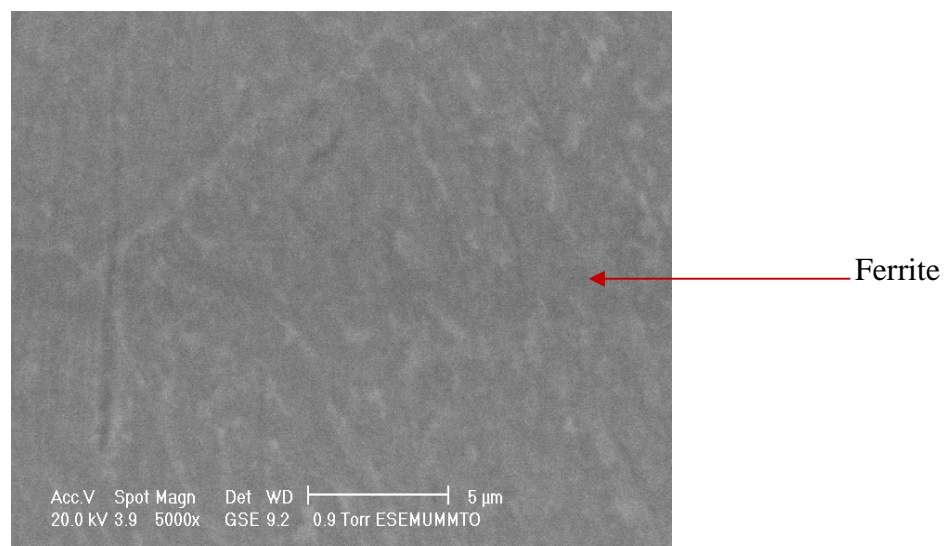


Fig. V.4. : Micrographie de l'acier DC03 A avec le MEB (x5000)

Les figures ci-dessus représentent la micrographie de la tôle d'acier utilisée au sein de l'entreprise ENIEM, après une attaque chimique au Nital.

Le DC03 A à 0.1 % de carbone, est un acier hypoeutectoïdes d'une structure composée de ferrite et perlite à faible quantité.

Les grains qui composent notre structure sont hétérogènes avec une répartition irrégulière. Leurs joints sont de taille large. Cette différence dépend fortement du taux de déformation

par passe au cours de laminage. On remarque aussi la présence de défauts (Figure V.1) qui sont dus au procédé de laminage de notre tôle.

V.2.3- Résultats des essais de traction

Les résultats obtenus lors des essais de traction sur les trois directions ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$) sont donnés par les courbes ci-dessous :

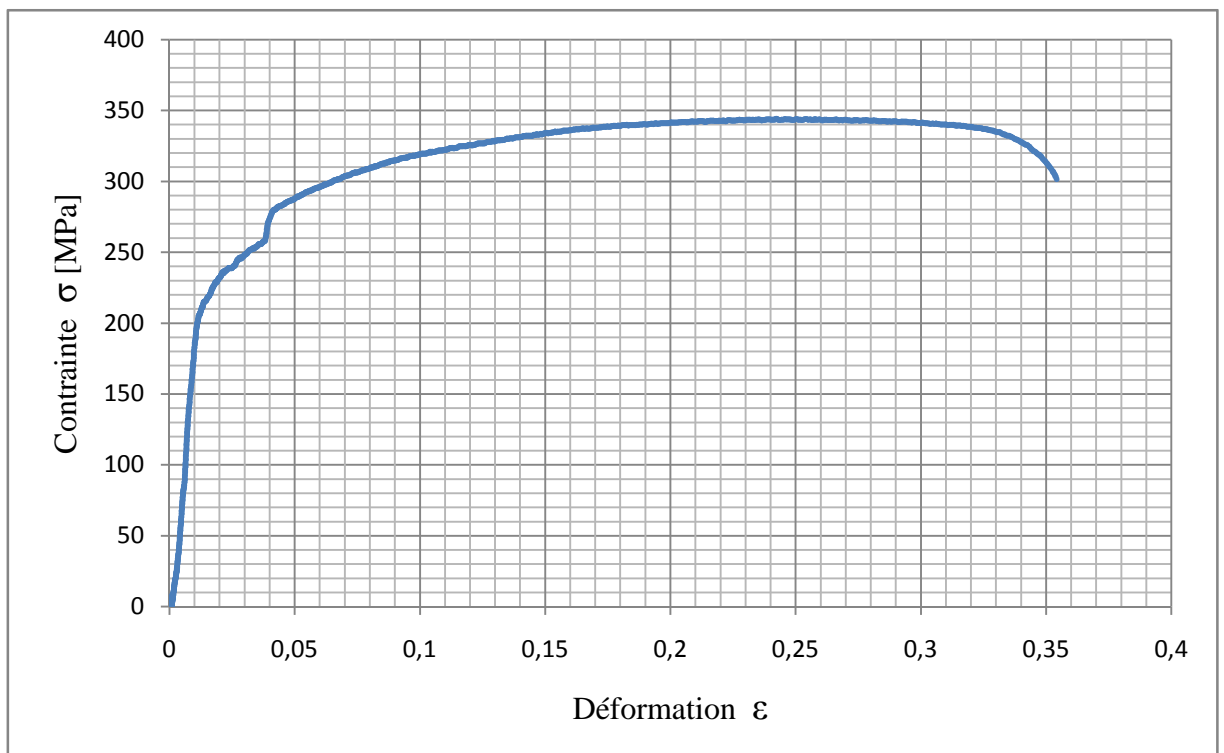


Fig.V.5 : Courbe contrainte déformation d'un essai de traction dans la direction du laminage (0°)

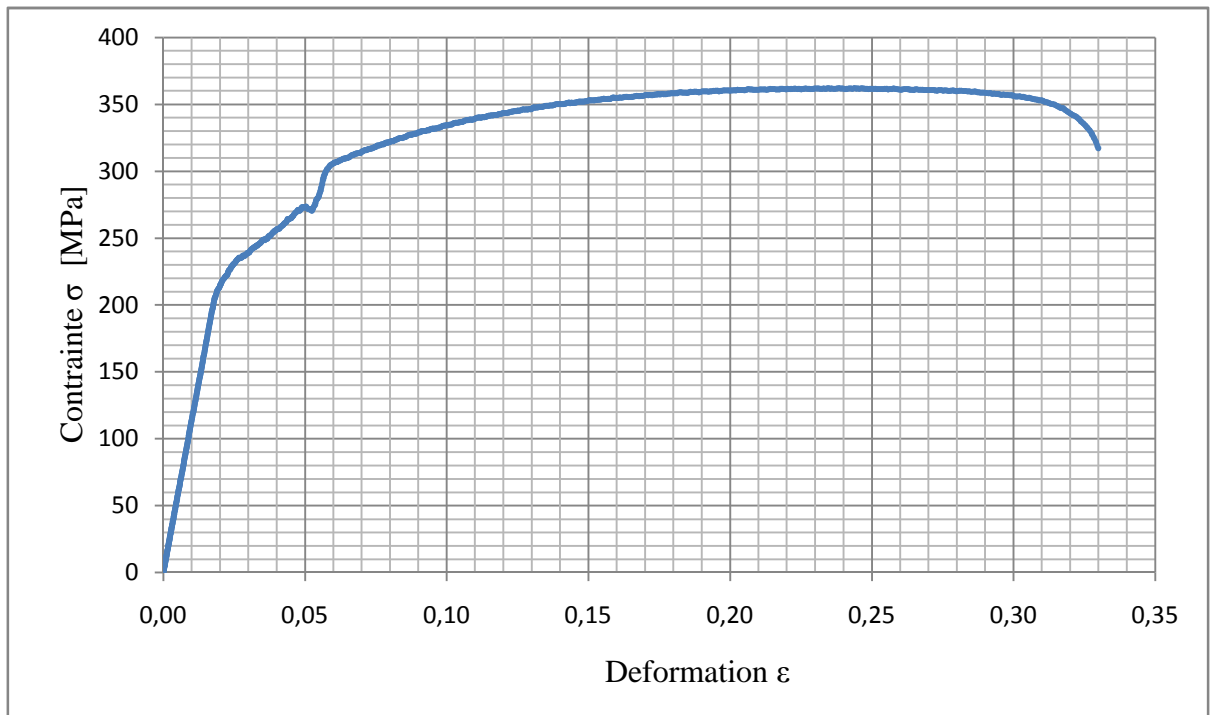


Fig. V.6: Courbe contrainte déformation d'un essai de traction à 45° par rapport à la direction du laminage

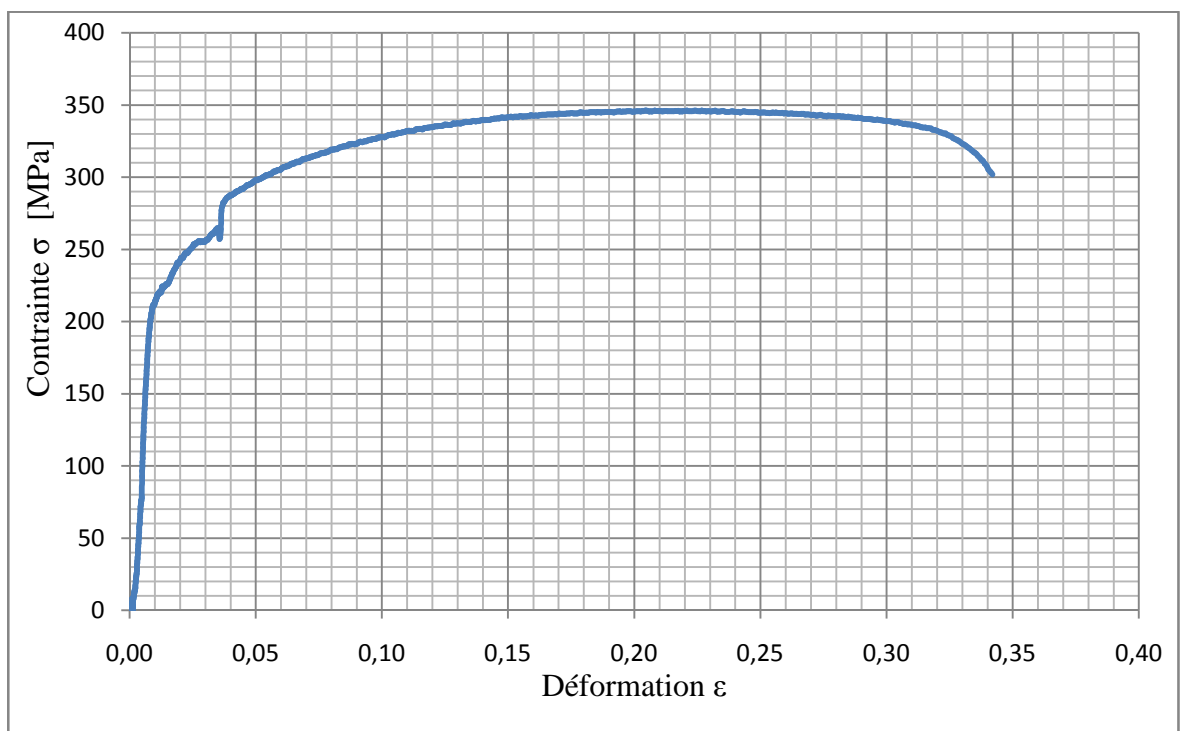


Fig. V.7: Courbe contrainte déformation d'un essai de traction dans la direction transversale 90°.

Pour faire une comparaison entre les résultats, une superposition des trois courbes est représentée sur la figure V.8.

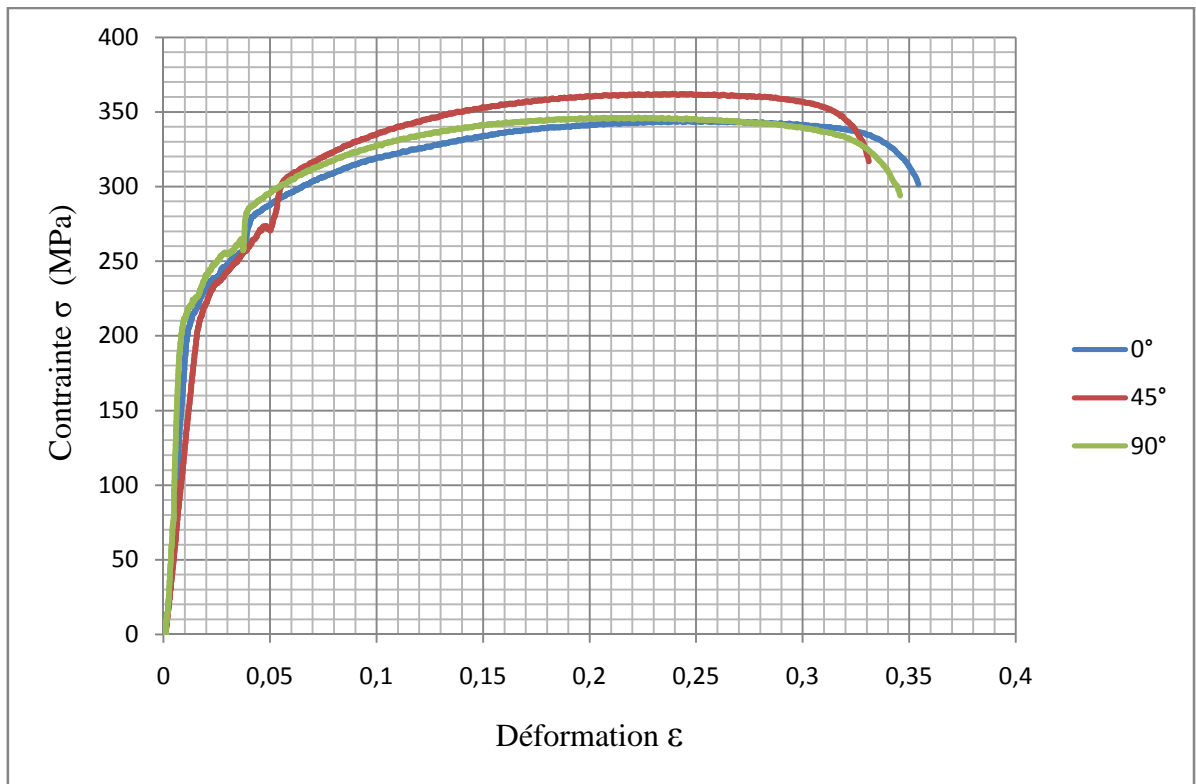


Fig. V.8 : Superposition des trois courbes.

Nous constatons que dans le domaine élastique, la courbe en bleu (0°) et la courbe verte (90°) sont confondues, par contre, la courbe en rouge est décalée légèrement vers la droite. Dans le domaine plastique, un élargissement perpendiculaire dans la direction (45°) par rapport à la direction du laminage est observé. Cet élargissement est important dans la direction du laminage (0°). Nous expliquons cette variation par le comportement anisotrope de notre matériau.

Tableau V.2 : Valeurs moyennes des coefficients d'anisotropie.

θ	00°	45°	90°
r_θ	1.24	1.08	1.34
\bar{r}	1.185		

De part la constitution anisotrope du matériau, étroitement reliée à l'hétérogénéité de sa microstructure, son comportement mécanique est anisotrope (dépendance de la réponse vis-à-vis de la direction de sollicitation). Cette anisotropie évoluera avec la déformation qui modifie l'organisation de la microstructure. Cependant, lorsque la microstructure présente

certaines éléments de symétrie, la loi de comportement correspondante doit respecter ces éléments de symétrie.

Tableau V.3 : Valeur moyenne du module de Young selon les trois directions

Direction	0°	45°	90°
Module de Young (MPa)	20 000	11 000	21 000

V.2.4-Résultats de l'essai de dureté

Les résultats obtenus lors des essais de dureté sur l'échantillon sont donnés par la courbe ci-dessous :

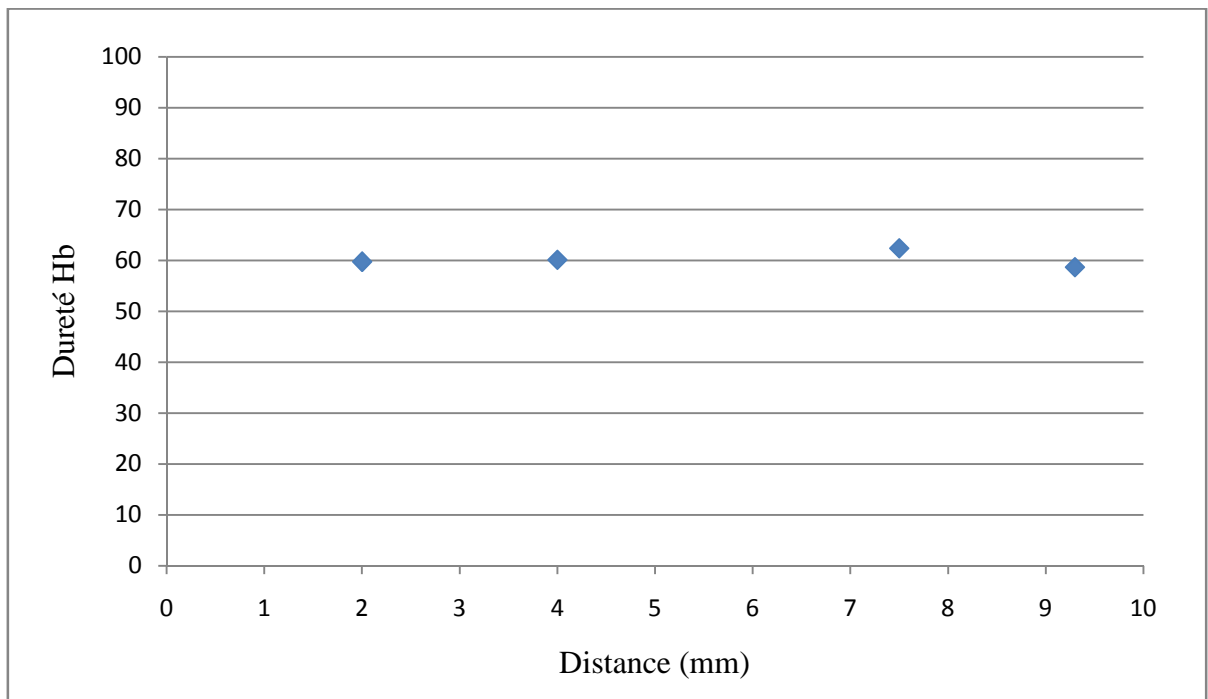


Fig. V.9 : Courbe de dureté pour l'acier DC03 A.

Après plusieurs essais de dureté sur notre échantillon, nous avons constaté que l'acier DC03A est d'une dureté faible (ductile et tenace) en raison de son faible pourcentage de carbone.

Une différence entre les valeurs de dureté est remarquable sur la courbe. Cette différence est due probablement aux :

- Mauvais étalonnage du duromètre
- Erreur de lecture et de manipulation
- Défauts Structuraux

Les résultats de la microstructure et la dureté obtenus nous ont poussés à faire un autre essai qui est la microdureté

V.2.5- Résultats de l'essai de microdureté

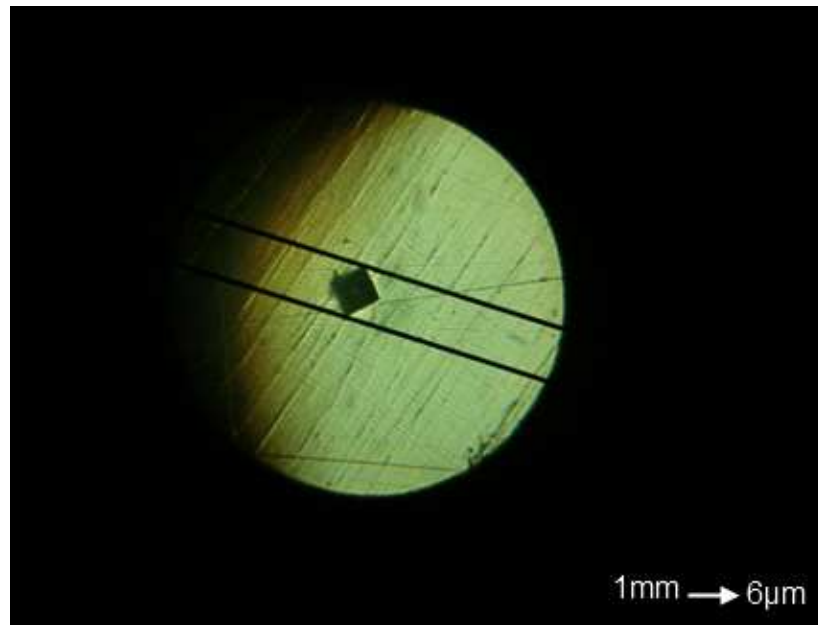


Fig. V.10 : Essai de microdureté sur la structure hors défauts.

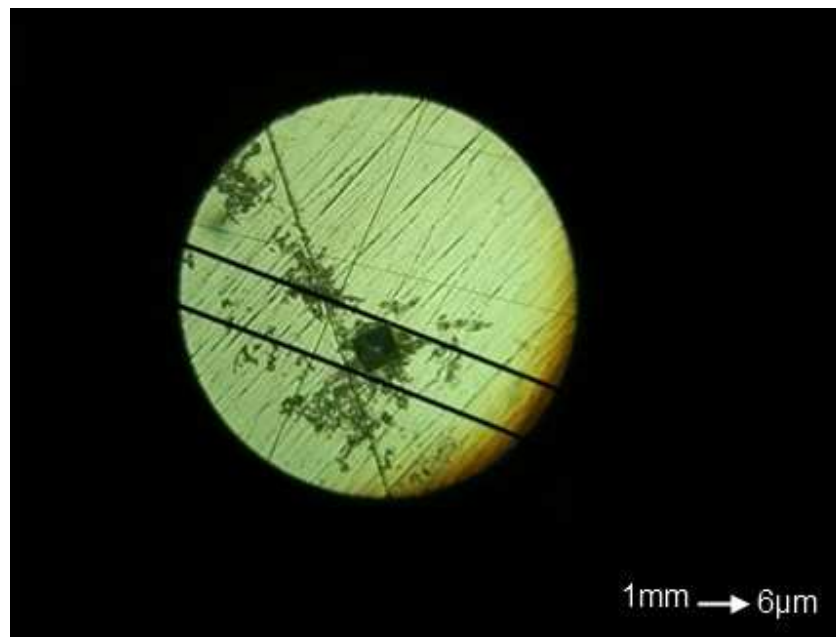


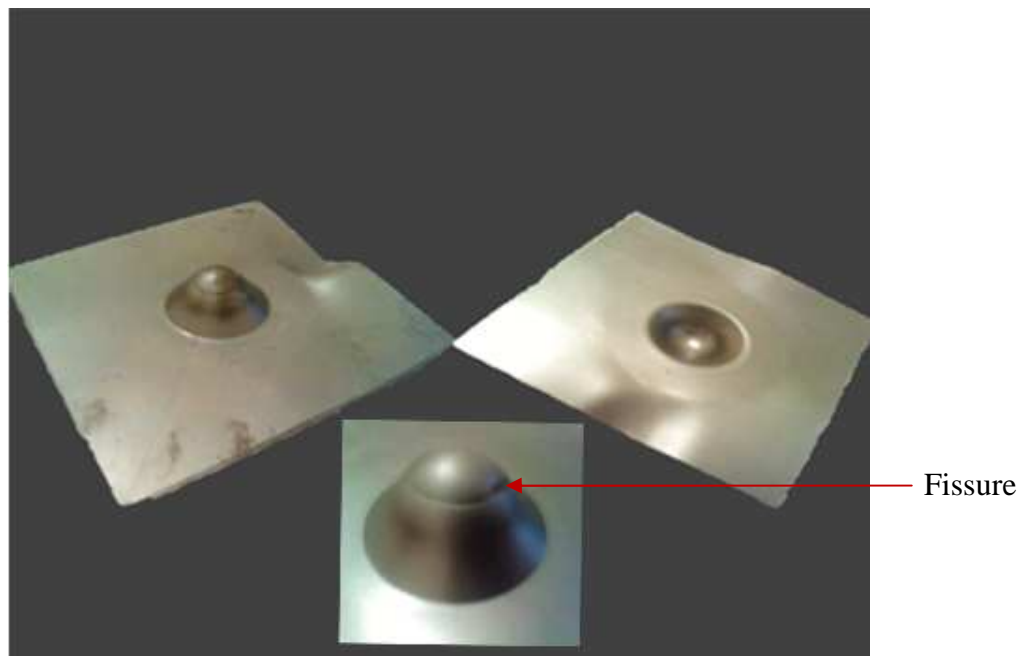
Fig. V.11 : Essai de microdureté sur les défauts.

Tableau V.4 : Valeur moyenne des résultats de microdureté

zone	Hv
Jaune (hors défauts)	107
Marron (dont les défauts)	128

L'opération de laminage ne donne pas une surface idéale. Il existe toujours des défauts que l'ingénieur doit prendre en considération. Dans notre cas, la différence entre les résultats de dureté HV obtenus est due aux défauts de laminage influant directement sur l'opération de l'emboutissage.

V.2.5- Résultat de l'essai ERICHSEN (Emboutissage)

**Fig. V.12 :** Epreuve emboutie**Tableau V.5 :** Valeur d'IE pour chaque éprouvette

Eprouvette	Indice Erichsen IE [Mm]
1	9.9
2	9.95
3	9.95
4	9.94

$IE_{\text{moyenne}} = 9.93 \text{ mm}$

A partir des résultats de l'essai d'emboutissage ERICHSEN obtenus, nous pouvons dire que l'acier DC03A peut subir un emboutissage pour une tôle d'épaisseur de 0.6 mm. La figure (V.12) nous montre une éprouvette emboutie jusqu'à l'apparition d'une fissure.

V.3- Influence des traitements sur l'adhérence de la peinture

V.3.1- Résultats observés au microscope optique

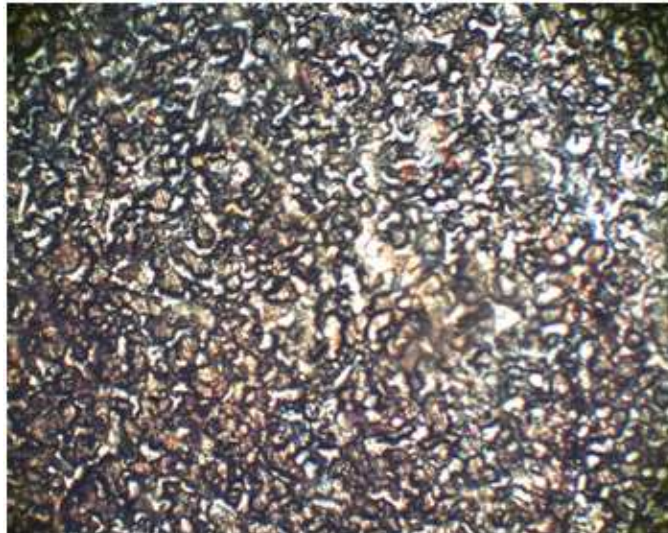


Fig. V.13 : Répartition du phosphate sur la tôle (x40)

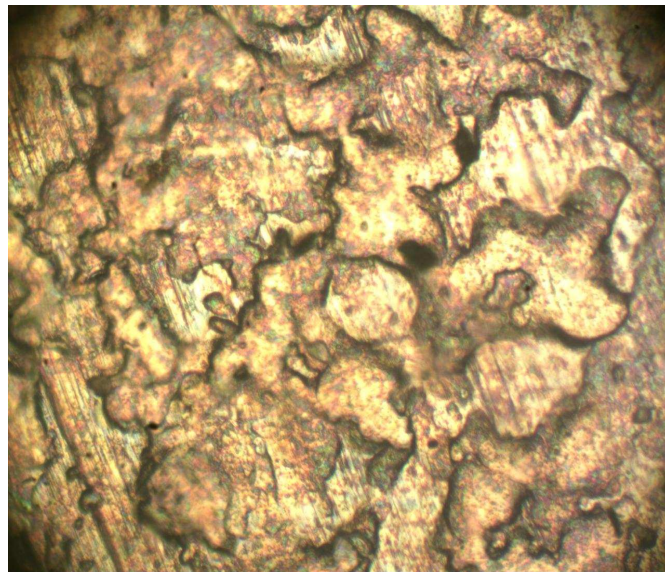


Fig. V.14 : Répartition de phosphate sur la tôle DC03 A (x100)

La création de couche de phosphate a changé la structure de la surface, les grains de notre acier sont recouverts par cette couche, c'est ce qui a causé l'augmentation de la résistance à la corrosion.

V.3.2- Résultats de la charge de la peinture

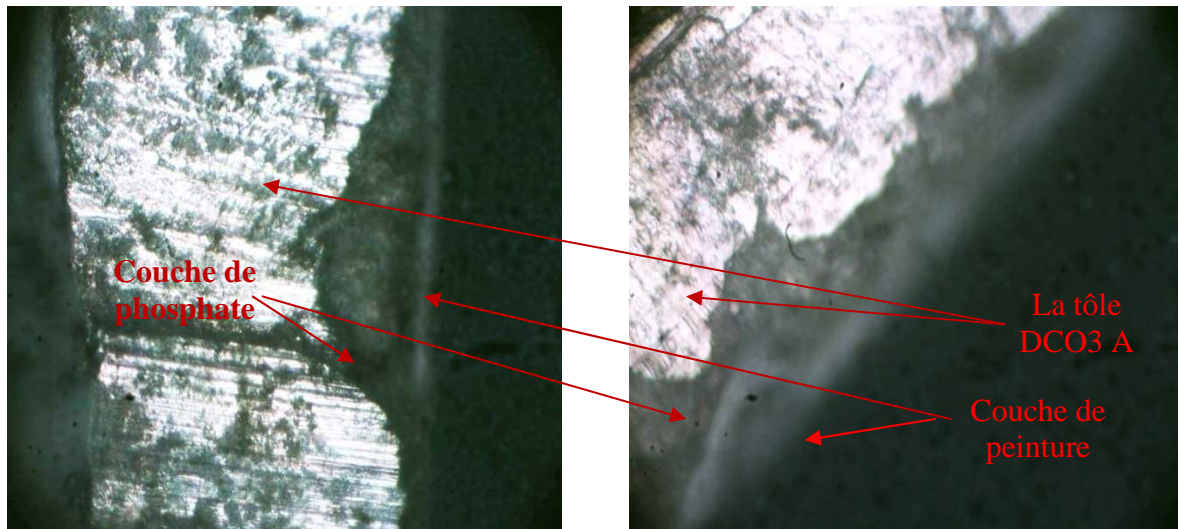


Fig. V.15 : Couche de revêtement

Tableau V.6 : Valeurs de la charge de la peinture

le point de contrôle	valeur de la charge[μ]
1	56
2	61
3	60
4	59
5	53
moyenne	58.7

La charge de revêtement est acceptable, la valeur moyenne est comprise entre 55 μ et 65 μ , ce qui ne nécessite pas une autre couche de revêtement en plus.

V.3.3- Résultats du pliage

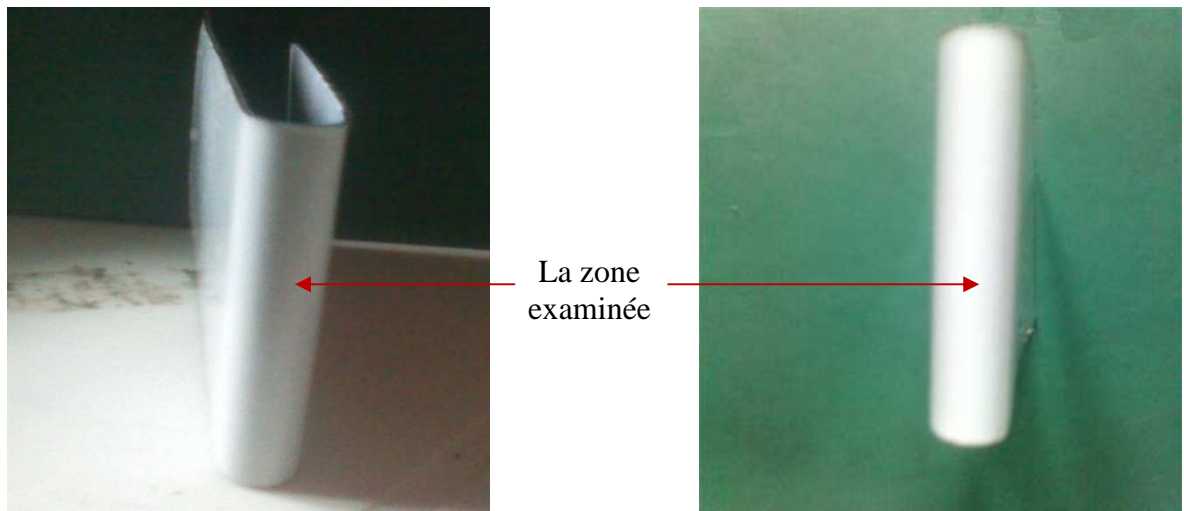


Fig. V.16 : Résultats obtenus au cours de l'essai du pliage

Les résultats des essais d'adhérence de la peinture obtenus sur les produits traités, ayant subi un essai de pliage et 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, son adhérence est importante.

V.3.4- Résultats du quadrillage



Fig. V.17 : Résultats d'essai de quadrillage (x40)

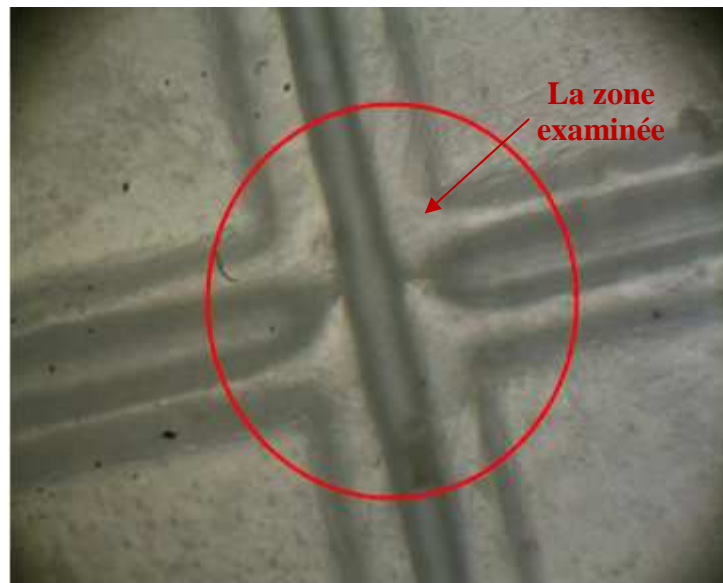


Fig. V.18 : Résultats d'essai de quadrillage (x100)

D'après les résultats obtenus sur l'essai de quadrillage, aucun des carrés du quadrillage des échantillons traités ne s'est détaché. La surface de la pièce est restée parfaitement lisse, aucun décollement de la couche de revêtement n'est observé.

V.3.5-Résultats d'emboutissage

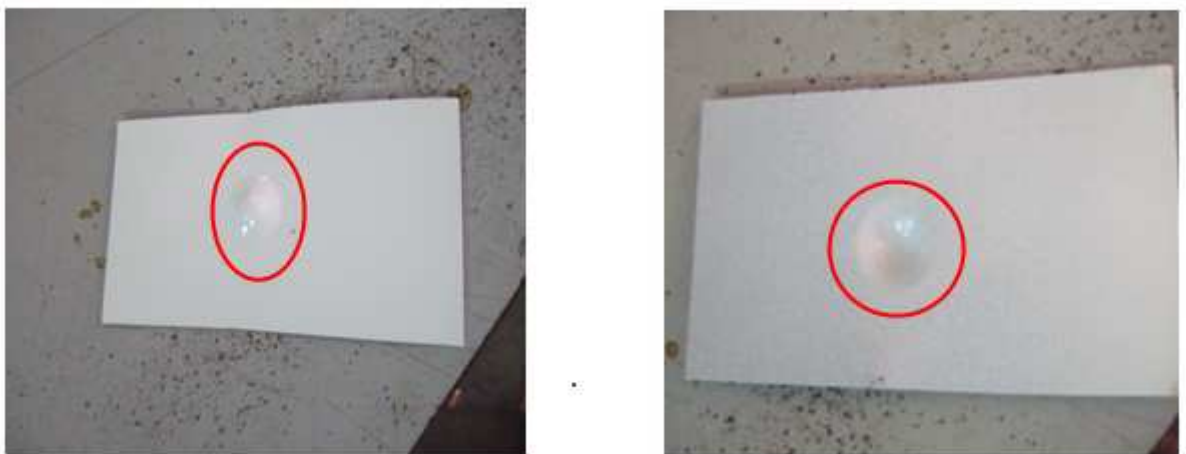


Fig. V.19 : Résultat d'essai d'emboutissage

L'essai d'emboutissage nous a permis de tester l'élasticité du revêtement. A la fin de notre essai, aucune fissure ni aucun arrachement n'a été remarqué sur la surface extérieure de l'échantillon, la résistance élastique du revêtement est remarquable.

V.3.5-Résultats de choc

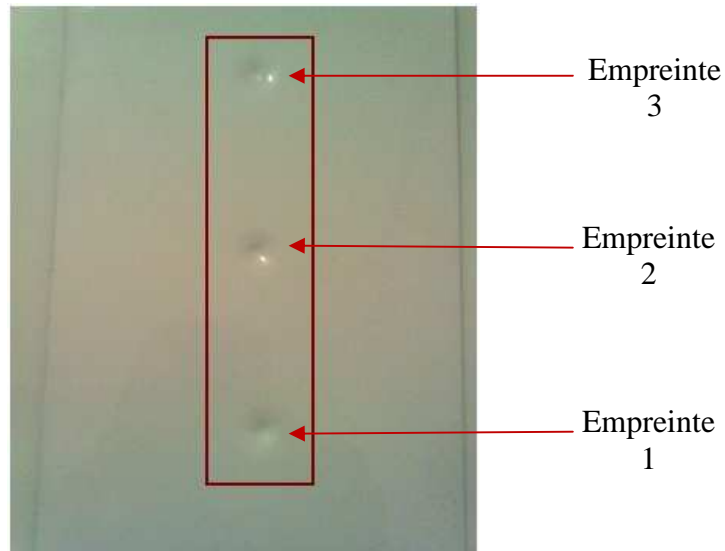


Fig. V.20 : Résultats sur l'essai de choc

Tableau V.7 : hauteurs de chaque essai de choc

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

L'énergie potentielle créée par la masse en fonction de la hauteur (H) n'a pas pu arriver à 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, ce qui signifie que la résistance au choc du revêtement est acceptable.

V.3.6-Résultats de diffraction par les rayons (X)

Après une analyse des résultats obtenus avec le logiciel ASTEM, les figures V.18 et V.19, regroupent les résultats obtenus de la diffraction des rayons X de l'acier étudié, et cela respectivement pour l'état reçu et traité superficiellement.

Effectivement, nous avons observé les 5 raies ou positions de la matrice Fe- α d'une structure cubique centre

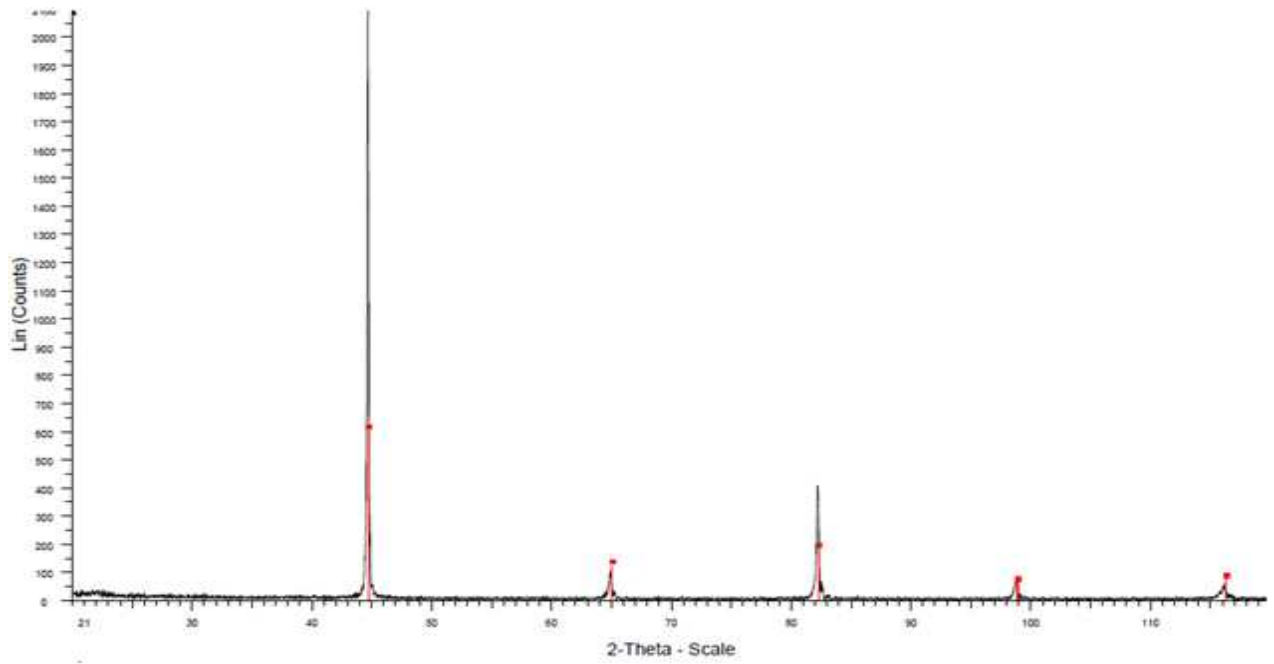


Fig. VI.21 : Diffractogramme de l'Acier ordinaire à l'état brut

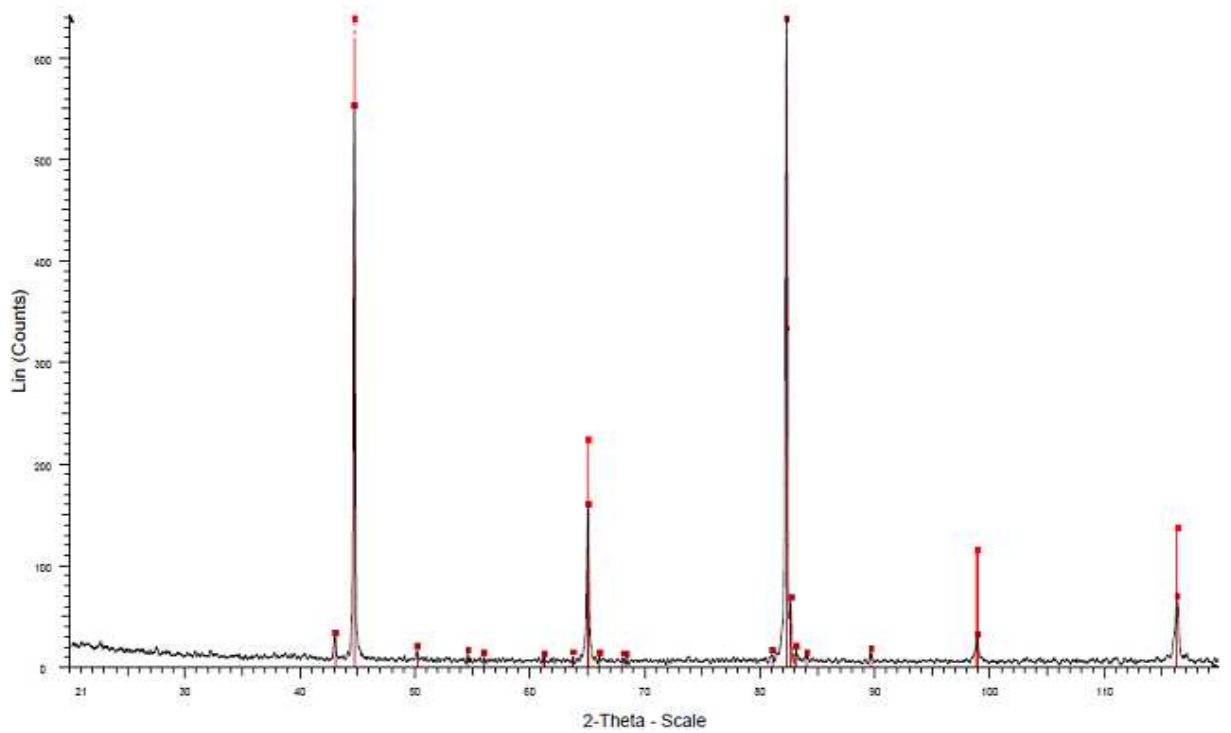


Fig. V.22 :.Diffractogramme de l'Acier ordinaire à l'état traité

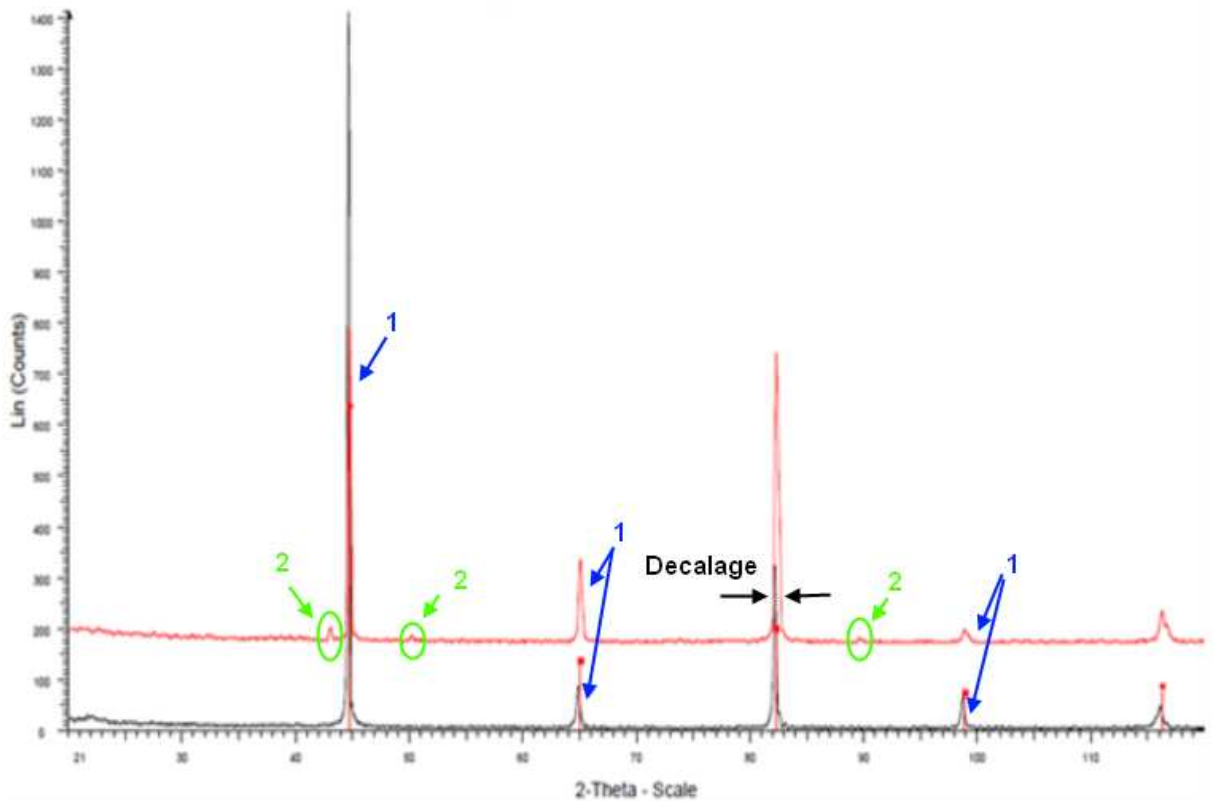


Fig. V.23. superposition des deux diffractogrammes

Les pics (1) présentent les atomes de fer qui constituent notre acier. Ces pics sont présentés dans les deux diffractogrammes

Une apparition des nouveaux pics (2) se produit après traitement de phosphatation. Ces pics présentent des atomes de phosphate de fer qui sont entrés dans la maille.

L'analyse des résultats nous permet de faire une comparaison de l'acier entre l'état reçu et l'état traité superficiellement. Un décalage (à droite) des pics après la phosphatation est remarqué sur le diffractogramme de l'acier traité, ce décalage est dû aux atomes de phosphate qui sont rentrés dans la maille.

D'après la loi de Bragg, l'angle 2θ augmente après la phosphatation, ce qui provoque la diminution de d qui est égal à $d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$, donc la maille se rétrécit.

V.4- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé le modèle présenté pour décrire les essais mécaniques, soit sur la tôle, soit sur la peinture. Nous avons présenté en premier lieu les résultats de caractérisation des tôles DC03, ensuite les résultats de l'adhérence de la peinture. Pour terminer ce chapitre, une comparaison entre deux échantillons, l'un à l'état

brut et l'autre à l'état phosphaté a été faite par la méthode des rayons X dans le but de déterminer l'effet du traitement.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

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

Le stage a été bénéfique, nous avons découvert un monde industriel très complexe qui fait appel à différentes disciplines, allant des matériaux à l'électronique, tout en passant par la mécanique, l'électrotechnique, la pneumatique, l'hydraulique,...etc.

Dans le cadre de la présente étude, nous avons recherché les caractéristiques mécaniques de l'acier DC03A et l'effet de l'adhérence de la peinture sur ce matériau.

A travers les résultats des essais de caractérisation obtenus, la composition chimique et la micrographie de la tôle étudiée, on peut dire que la tôle Allemande DC03 A répond aux besoins de la mise en forme soit au niveau de l'entreprise ENIEM ou dans le milieu industriel.

Après les traitements de phosphatation, nous avons déduit que les aciers auront une plus grande résistance à la corrosion et en plus vont favoriser une surface rugueuse qui servira à l'amélioration à son tour l'adhérence des revêtements organiques (peinture).

Cependant, les essais effectués sur l'élasticité et l'adhérence de la peinture n'ont aucune influence sur la décohésion et l'arrachement du revêtement, par conséquent, ces traitements donnent une meilleure adhésion au substrat par la formation de la couche de phosphatée.

Les principaux résultats des tests mécaniques obtenus de l'adhérence, ont permis d'optimiser les conditions de mise en peinture.

Ainsi, la perte d'adhérence diminue dans le temps soit :

- En présence des défauts de peinture telle que les bulles d'air. On trouve généralement une épaisseur importante dans les parties inférieures qui est due au système d'application ou aux retouches effectuées.

- La présence de la corrosion est très remarquée dans les zones les plus sensibles : au niveau des points de soudure et au niveau des assemblages de différents matériaux qui présentent des différences de potentiels qui accompagnent généralement la corrosion galvanique.

- Le vieillissement et la détérioration de la peinture par des agents agressifs lors de leur usage.

- En présence d'humidité, l'environnement influe sur les conditions de stockage, c'est ce qui provoque la détérioration du matériau.

L'analyse des phases par DRX, nous a permis de comparer notre acier entre l'état brut et après les différents traitements de surfaces et de déterminer le comportement de la maille cubique centré après ces traitements.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] : Science et génie des matériaux modulo Editeur, 2001,233AV Dunbar Mont Royal Québec, Canada
- [2] : Métaux Corrosion ENSPM, formation-industrie édition 2005
- [3] : N. Bouaoudja« Matériaux métallique» édition OPU Alger
- [4] : Guide de Dessinateur Industriel « Chevalier » édition 2004
- [5] : H.LAPLANCHE, R. THIRON. « Du choix et d'emplois des principaux aciers Fontes et alliage ferreux ». Paris 1973
- [6] : J-HIBOUT ,M-ROGER « usinage sanscoupeaux»,édition Delagrave.
- [7] : A. HALLOUMI ; Thèse doctorat ;«Modélisation mécanique et thermique du procédé de laminage asymétrique»,Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne
- [8] : GROUPE DE TRAVAILSEDEP«Les procédés de fabrication et de laminage des aciers»
- [9] : P.MONTMITONNET «Laminage Objectifs et modélisation» ; techniques de l'ingénieur M3065
- [10] : ALAIN COL : « Emboutissage des tôles », techniques de l'ingénieur M3180
- [11]: BENALIA Kamel, REZGUI Karima : Thèse d'ingénieur « étude comparative de l'aptitude à l'emboutissage profond des tolesen acier inoxydables austénitique X5CrNi18-10 et ferritique X6Cr17 » » Université Mouloud Mammeri - TIZI OUZOU promotion 2012.
- [12] : SAHLI RABAH,thèse de master «Etude de la Rupture et de la Formabilité des tôles en Acier A60.Propriétés et Microstructure» Université Mouloud Mammeri - TIZI OUZOU promotion 2012
- [13] : JEAN PAUL BAÏLLON, JEAN MARIE DORLOT, « Des Matériaux », 3^{ème} édition, Polytechnique Montréal 2000
- [14] : Dominique-F, « Essai mécanique et loi de comportement», germe science
- [15] : J-CARBONNIERE, thèse de doctorat «Contribution a l'analyse du retour élastique en emboutissage»L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.2009
- [16] : « Technique Métallographique ». Préparation des surfaces métalliques pour micrographie et macrographie. Dunod Paris 1960.

- [17] :J. P. Eberhart, «Analyse structurale et chimie des matériaux : diffraction des rayons X, électrons et neutrons, microscopie électronique, spectrométrie des rayons X», Dunod, Paris, 1989
- [18] :N. Maouchi,N.Benchabanethèse d'Ingénieur«Etude comparative et contrôle de la résistance à la corrosion de deux tôles en acier (A33 et E24) traitées superficiellement du réfrigérateur 300D (ENIEM) »
- [19] :«Matériaux et Corrosion», Edition Masson Paris, 1989.
- [20] : DiterLandolt, « Corrosion et chimie de surface des métaux», édition presses Polytechniques et universitaires romandes.
- [21] :H.Uhlig ,Corrosion et protection , édition Dunod Paris, 1970.
- [22] :JOSEPH F ,BOSICH, «prévention de corrosion »2^{ème} édition mise a jour, Entreprise moderne-technique et documentation 1977
- [23] :B.LEFEVRE thèse de doctorat «Corrosion des aciers revêtus de zinc dans les zones confinées des carrossiers»métallurgie et matériaux, Laboratoire de physico-chimique des surface. ENSCP. Paris VI, 2004.
- [24] :www.idinox.com
- [25] :LEKADIR.Smail, thèse Master «Revêtement d'un acier par le Procédé de calorisation», Université TIZI OUZOU
- [26] : GROUPE DE TRAVAIL ASSOCIANT «Traitement de surface, substituer ou à défaut, réduire et maîtriser l'exposition au chrome hexavalent»
- [27] : R. LEVEQUE «Traitement et revêtement de surface des métaux»,DUNOD
- [28] : JACQUES DERUELLE : « Traitements par voie chimique », techniques de l'ingénieur M1551