

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

**CARACTÉRISATION DES TÔLES EN ACIER
INOXYDABLE ET EN ACIER DOUX POUR
EMBOUTISSAGE**

Proposé et dirigé par

M^{me} ABERKANE.T

M^{me} SADOUDI.T

Présenté et réalisé par

METMER MOUNIR

HAMMOUDI BRAHIM

Promotion : 2020 / 2021

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 que nous tenons à remercier

Avant tout, nous remercions 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. C'est grâce à leur aide, que notre travail est terminé.

Nous remercions notre promotrice Madame ABERKANE.T que nous avons eu l'honneur et la chance de bénéficier de ses connaissances et compétences, de ses précieux conseils et de son suivi tout au long de notre parcours académique. Son sens du devoir, le fait de s'être toujours montrée à l'écoute impose l'estime et le respect. On vous remercie infiniment.

Nous remercions aussi tous les travailleurs de l'ENIEM, en particulier notre Co-promotrice Madame SAADOUDI.T. Chargée de projet, qui a proposé ce thème. Sans oublier les responsables du laboratoire S.D.M et Monsieur BELABBAS.F ingénieur laboratoire de physique EI AZAZGA

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

- *A 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 et soeur : NADJIB, FERHAT, CELIA et ma belle-soeur HADJER que je remercie pour leur soutien et leur encouragement tout au long du chemin*
- *A ma chère Sabrina qui ma soutenue tout au long de la réalisation de ce travail.*
- *A mon binôme et frère MOUNIR que je tiens à remercier énormément pour son sérieux et sa grande contribution pour la réalisation de ce travail.*
- *A la mémoire de mes grands-parents que leurs âmes reposent en paix.*
- *A mes amis(es) et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

H. BRAHIM

Dédicaces

Je dédie entièrement ce travail

- *À mon père et à ma mère, mes piliers, mes exemples, mes premiers supporteurs et ma plus grande force. Merci pour votre présence, et soyez fiers de moi aujourd'hui.*
- *À mes chers frères RACHID et NACER et à la meilleure soeur MELISSA, je leurs souhaite beaucoup de bonheur et de réussite.*
- *A ma chère Céline qui ma soutenue tout au long de la réalisation de ce travail.*
- *À mon cher binôme BRAHIM que je tiens à remercier pour tous le travail et sacrifices qu'on a partagé en étant copains de chambre.*
- *A mes amis(es) et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

M.MOUNIR

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ENIEM

I.1 Historique	3
I.2 Développement et organisation de l'entreprise	3
I.2.1 Développement	3
I.2.2 Organisation générale	4
I.3 Missions et activités principales de chaque unité	4
I.3.1 Direction générale	4
I.3.2 Unité froid	5
I.3.3 Unité cuisson	5
I.3.4 Unité climatisation	5
I.3.5 Unité prestation techniques	6
I.3.6 Unité commerciale	6
I.4 Politique de l'entreprise	7
I.4.1 Politique qualité	7
I.4.1.1 Engagement de la direction.....	7
I.4.1.2 Ses objectifs	7
I.4.2 Politique environnementale.....	7
I.4.2.1 Engagements	8

I.4.2.2 Objectifs et cibles environnementaux	8
--	---

Chapitre II : L'emboutissage des tôles métalliques

II.1 Introduction	9
II.2 Généralité sur l'emboutissage.....	9
II.2.1 Définition de l'emboutissage	9
II.2.2 Mode d'emboutissage	10
II.2.2.1 L'emboutissage en température	11
II.2.2.1.1 L'emboutissage à froid	11
II.2.2.1.2 L'emboutissage à chaud	12
II.2.3 Principaux modes de déformation	12
II.3 Les différentes tôles et formes d'emboutis.....	13
II.3.1 Les différentes tôles	14
II.3.2 Définition des tôles étudiées	15
II.3.2.1 Tôle en acier inoxydable satinée (inox).....	15
II.3.2.1.1 Caractéristiques de la tôle en acier inoxydable satinée (inox).....	16
II.3.2.2 Tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute)	16
II.3.2.2.1 Caractéristique de la tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute).....	16
II.3.3 Les différentes formes d'embouties.....	16
II.4 L'emboutissage Profond	18
II.5 Mesure des déformations.....	20
II.6 Principaux défauts des pièces embouties.....	20
II.7 Vitesse d'emboutissage	23
II.8 Effort d'emboutissage.....	24
II.9 Effort de poinçon.....	24

II.10 Paramètres liés à la tôle	25
II.11 Conclusion.	26

Chapitre III : Techniques Expérimentales

III.1 Introduction	27
III.2 Caractérisation des matériaux d'études	27
III.2.1 Tôle en acier Inoxydable satinée	27
III.2.2 Tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute)	28
III.3 Etude métallographique	29
III.4 Observation au microscope	32
III.4.1 Microscope optique	32
III.5 Essais mécaniques	33
III.5.1 Essai de traction.....	34
III.5.1.1 Principe de l'essai de traction.....	34
III.5.1.2 Courbe de traction	34
III.5.1.3 Forme et dimensions de l'éprouvette	35
III.5.1.4 Caractéristiques de l'essai de traction	36
III.6 Mesure de dureté	37
III.6.1 Essais de dureté	37
III.6.2 Principe de l'essai de dureté	37
III.6.3 Types d'essai	37
III.6.3.1 Essai Brinell	37
III.6.3.1.1 Choix de la charge	38
III.6.3.2. Essai Rockwell	38
III.6.3.2.1 Exécution de l'essai	38

III.6.3.3 Essai Vickers	39
III.7 Essai d'emboutissage	40
III.7.1 Essais de rétreint.....	41
III.7.2 Essai Erichsen (Emboutissage)	42
III.8 Conclusion.....	43

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV.1 Introduction	45
IV.2 Composition chimique	45
IV.3 Examen métallographique.....	46
IV.4 Essais de traction	49
IV.4.1 Pour l'acier inoxydable satinée (inox)	49
IV.4.3 Analyse des résultats.....	50
IV.5 Essai de dureté	51
IV.6 Résultat de l'essai (Emboutissage).....	54
IV.7 Conclusion.	55
Conclusion générale	56
Annexe	59

Références bibliographiques

Listes des figures

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ENIEM		
Fig.I.1	Organigramme de l'entreprise ENIEM	4
Chapitre II : L'emboutissage des tôles métalliques		
Fig.II.1	Principe de l'emboutissage	9
Fig.II.2	a) Emboutissage par expansion b) Emboutissage profond avec rétreint	10
Fig.II.3	Emboutissage profond avec RETREINT du métal glissant sous le serre-flan et sans expansion sur la tête du poinçon.	12
Fig.II.4	Emboutissage renversé	17
Fig.II.5	Emboutissage de pièce demi sphérique	17
Fig.II.6	Emboutis rectangulaire	18
Fig.II.7	Principe de l'emboutissage profond	19
Fig.II.8	a) Rupture b) Retour élastique c) et d) Plissement	21
Chapitre III : Techniques Expérimentales		
Fig.III.1	Polisseuse mécanique	30
Fig.III.2	Microscope optique	33
Fig.III.3	Représentation schématique d'un microscope optique	33
Fig.III.4	Machine de l'essai traction	34
Fig.III.5	Diagramme conventionnel d'un essai de traction	35
Fig.III.6	Forme générale de l'éprouvette de traction.	35
Fig.III.7	Essai de dureté Brinell	37
Fig.III.8	Principe des essais Rockwell (HRB, HRC)	39
Fig.III.9	Principe de l'essai Vickers.	39
Fig.III.10	Machine de dureté	40
Fig.III.11	Essai d'emboutissage sur une tôle revêtue	41
Fig.III.12	Essai Swift.	41

Fig.III.13	Essai Erichsen	42
Chapitre IV : Résultats et interprétations		
Fig.IV.1	La microstructure de l'acier inoxydable satinée (inox) avec différentes agrandissement	47
Fig.IV.2	La microstructure de l'acier doux émaillage conventionnel (brute) avec différentes agrandissement	48
Fig.IV.3	Graphes de traction d'éprouvette de l'acier inoxydable satinée (inox)	49
Fig.IV.4	Graphes de traction de d'éprouvette de l'acier doux émaillage conventionnel (brute)	50
Fig.IV.5	Essai sur l'acier inoxydable satinée (inox)	52
Fig.IV.6	Essai sur l'acier doux émaillage conventionnel (brute)	52
Fig.IV.7	Parois latérales en acier inoxydable satinée (inox)	54
Fig.IV.8	Cache cuisinière en acier doux émaillage conventionnel (brute)	55

Liste des tableaux

Chapitre II : L'emboutissage des tôles		
Tableau II.1	Caractéristiques des différentes catégories de tôles.	14
Tableau.II.2	Vitesses d'emboutissage.	23
Tableau II.3	Pression des matériaux.	24
Tableau II.4	Effort de poinçon.	25
Chapitre III : Techniques Expérimentales		
Tableau III.1	Composition chimique de la tôle en acier inoxydable satinée (inox)	28
Tableau III.2	Caractéristiques mécaniques de la tôle en acier inoxydable satinée (inox)	28
Tableau III.3	Composition chimique de la tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute)	29
Tableau III.4	Caractéristiques mécaniques de la tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute).	29
Tableau III.5	Les réactifs d'attaque métallographique de l'acier	31
Chapitre IV : Résultats et interprétations		
Tableau IV.1	Composition chimique de Tôle en acier Inoxydable	45
Tableau IV.2	Composition chimique de Tôle en acier brute	45
Tableau IV.3	Résultats de l'essai de traction pour l'acier inoxydable satinée (inox)	50
Tableau IV.4	Résultats de l'essai de traction pour l'acier doux émaillage conventionnel (brute)	50
Tableau IV.5	Résultats de dureté de l'essai n°1	52
Tableau IV.6	Résultats de dureté de l'essai n°2	53
Tableau IV.7	Résultats de dureté de l'essai n°3	53

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ENIEM

I.1 Historique	3
I.2 Développement et organisation de l'entreprise	3
I.2.1 Développement	3
I.2.2 Organisation générale	4
I.3 Missions et activités principales de chaque unité	4
I.3.1 Direction générale	4
I.3.2 Unité froid	5
I.3.3 Unité cuisson	5
I.3.4 Unité climatisation	5
I.3.5 Unité prestation techniques	6
I.3.6 Unité commerciale	6
I.4 Politique de l'entreprise	7
I.4.1 Politique qualité	7
I.4.1.1 Engagement de la direction.....	7
I.4.1.2 Ses objectifs	7
I.4.2 Politique environnementale.....	7
I.4.2.1 Engagements	8

I.4.2.2 Objectifs et cibles environnementaux	8
--	---

Chapitre II : L'emboutissage des tôles métalliques

II.1 Introduction	9
II.2 Généralité sur l'emboutissage.....	9
II.2.1 Définition de l'emboutissage	9
II.2.2 Mode d'emboutissage	10
II.2.2.1 L'emboutissage en température	11
II.2.2.1.1 L'emboutissage à froid	11
II.2.2.1.2 L'emboutissage à chaud	12
II.2.3 Principaux modes de déformation	12
II.3 Les différentes tôles et formes d'emboutis.....	13
II.3.1 Les différentes tôles	14
II.3.2 Définition des tôles étudiées	15
II.3.2.1 Tôle en acier inoxydable satinée (inox).....	15
II.3.2.1.1 Caractéristiques de la tôle en acier inoxydable satinée (inox).....	16
II.3.2.2 Tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute)	16
II.3.2.2.1 Caractéristique de la tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute).....	16
II.3.3 Les différentes formes d'embouties.....	16
II.4 L'emboutissage Profond	18
II.5 Mesure des déformations.....	20
II.6 Principaux défauts des pièces embouties.....	20
II.7 Vitesse d'emboutissage	23
II.8 Effort d'emboutissage.....	24
II.9 Effort de poinçon.....	24

II.10 Paramètres liés à la tôle	25
II.11 Conclusion.	26

Chapitre III : Techniques Expérimentales

III.1 Introduction	27
III.2 Caractérisation des matériaux d'études	27
III.2.1 Tôle en acier Inoxydable satinée	27
III.2.2 Tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute)	28
III.3 Etude métallographique	29
III.4 Observation au microscope	32
III.4.1 Microscope optique	32
III.5 Essais mécaniques	33
III.5.1 Essai de traction.....	34
III.5.1.1 Principe de l'essai de traction.....	34
III.5.1.2 Courbe de traction	34
III.5.1.3 Forme et dimensions de l'éprouvette	35
III.5.1.4 Caractéristiques de l'essai de traction	36
III.6 Mesure de dureté	37
III.6.1 Essais de dureté	37
III.6.2 Principe de l'essai de dureté	37
III.6.3 Types d'essai	37
III.6.3.1 Essai Brinell	37
III.6.3.1.1 Choix de la charge	38
III.6.3.2. Essai Rockwell	38
III.6.3.2.1 Exécution de l'essai	38

III.6.3.3 Essai Vickers	39
III.7 Essai d'emboutissage	40
III.7.1 Essais de rétreint.....	41
III.7.2 Essai Erichsen (Emboutissage)	42
III.8 Conclusion.....	43

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV.1 Introduction	45
IV.2 Composition chimique	45
IV.3 Examen métallographique.....	46
IV.4 Essais de traction	49
IV.4.1 Pour l'acier inoxydable satinée (inox)	49
IV.4.3 Analyse des résultats.....	50
IV.5 Essai de dureté	51
IV.6 Résultat de l'essai (Emboutissage).....	54
IV.7 Conclusion.	55
Conclusion générale	56
Annexe	59

Références bibliographiques

INTRODUCTION GENERALE

La transformation des tôles mécaniques en produits finis à une importance considérable dans de nombreuses industries telles que la construction mécanique, l'automobile ou l'aéronautique. Le déchirement prématuré de la tôle lors de la mise en forme (emboutissage, pliage) est l'un des grands problèmes posés actuellement au niveau de l'industrie mécanique.

Les scientifiques et les industriels cherchent donc toujours les meilleures conditions pour lesquelles l'aptitude à la déformation peut aller à son tour maximum afin de minimiser les rebuts.

L'emboutissage, et plus généralement, tous les procédés d'obtention de pièces manufacturées par déformation des matériaux métalliques sont des procédés largement utilisés en fabrication mécanique et qui progressent technologiquement sans cesse pour s'accaparer des nouveaux marchés.

Les intérêts économiques et technologiques de l'emboutissage sont indéniables : grandes cadences de production, qualité géométrique et mécanique des pièces et faible taux de chutes.

La difficulté de mise en œuvre de ce procédé est liée, quant à elle, à la sensibilité du processus de mise en forme aux nombreux paramètres de production.

De ce fait, la mise au point de l'opération est parfois longue et coûteuse.

Ainsi, nombreux sont ceux qui désirent de connaître mieux le processus afin de l'améliorer, ont développés des aides à la conception des outils et autres outils d'analyses et de simulation.

Néanmoins, la conception des outils et l'emboutissage restent encore partiellement un art basé sur l'expérience. On peut cependant prédire que, d'ici cinq à dix ans environ, les méthodes de conception et de fabrication automatique des outils auront pris le pas sur celles actuellement pratiquées.

Dans notre travail, nous nous intéressons à la caractérisation des tôles pour emboutissage. Nous essayerons de montrer quelles sont les caractéristiques des tôles métalliques qui sont influentes vis-à-vis de la mise en forme, en particulier en relation avec les modes locaux de déformation qui jouent un grand rôle.

Le déroulement de notre travail se divise en quatre chapitres :

- Le premier chapitre consiste à présenter l'entreprise nationale des industries électroménagères (ENIEM)
- Le deuxième chapitre présente le principe d'emboutissage et des généralités sur : les modes d'emboutissage, les matériaux emboutissables et les formes d'emboutis.
- Le troisième chapitre qui présente les techniques expérimentales utilisées
- Le quatrième chapitre qui présente les différents résultats obtenus et leurs interprétations

Nous terminons notre travail par une conclusion générale

Chapitre I

Présentation de l'entreprise ENIEM

I.1 Historique

L'Entreprise Nationale des Industries Electro-Ménagères (**ENIEM**) est née après la restructuration de l'entreprise mère la SONELEC, le 02 janvier 1983.

ENIEM est entrée en production (sous le nom de l'entreprise la SONELEC), à partir de janvier 1977, dont l'activité principale est la fabrication et la commercialisation d'appareils électroménagers.

En 1989, l'entreprise a connu une baisse brusque de production due à la concurrence du marché. Cette situation a provoqué sa transformation en société par action au capital de 40.000.000 DA, dans le but est d'améliorer la recherche et le développement de ses produits, devenu de nos jours, le leader de l'électroménagère en Algérie et cela dans divers domaines tels que :

- Les appareils ménagers domestiques (climatisation, cuisson, réfrigération et conservation à Oued Aïssi).
- Les lampes d'éclairage à Mohammadia (Mascara).
- Les produits sanitaires à Khemis Miliana (Ain Defla).

Avec un capital social de 10.279.800.000 DA détenu en totalité par l'ELEC ELDJAZAIR. Son siège est à TIZI OUZOU. Ses unités de productions et commerciale son implantées au niveau de la zone industrielle « Aissat Idir »

I.2 Développement et organisation de l'entreprise

I.2.1 Développement

Pour atteindre ses espérances en matière de développement, l'**ENIEM** a fait appel à l'ensemble de ses unités afin de se restructurer et de s'organiser, de manière à donner et à trouver des solutions les plus fiables pour atteindre un développement durable.

Cette entreprise se compose de plusieurs unités d'organisation qui sont :

- Quatre unités de production.
- Une unité commerciale.
- Une unité de prestation.
- Une filiale dont le capital est 100% ENIEM.

I.2.2 Organisation générale

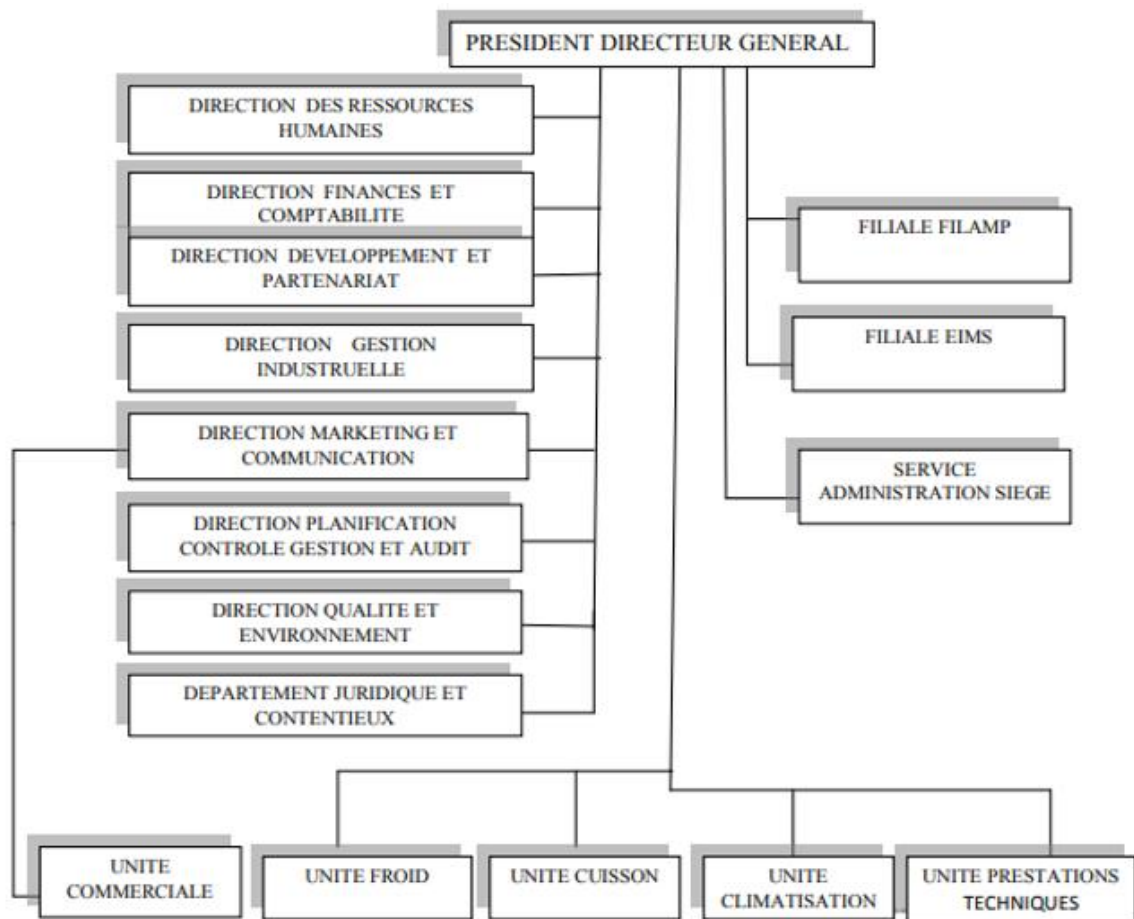


Fig.I.1 : Organigramme de l'entreprise ENIEM

I.3 Missions et activités principales de chaque unité

I.3.1 Direction générale

La direction générale est une unité responsable de stratégie, du développement de l'entreprise et ce tenant compte de résolution de son conseil d'administration.

Elle exerce son autorité hiérarchique, fonctionnelle sur l'ensemble des directions et des unités. Le président directeur générale est assisté par les cadres dirigeants chargés des principales fonctions de l'entreprise suivante :

- Direction industrielle (DI).
- Direction développement et partenariat (DDP).
- Direction centrale finance et comptabilité (DFC).
- Direction des ressources humaines (DRH).

- Direction planification et contrôle de gestion (DPG).
- Direction marketing et communication (DMC).
- Direction qualité (DQ).

I.3.2 Unité froid

Elle est de loin l'unité la plus importante du point de vue effectif, elle produit plusieurs modèles de réfrigérateurs et congélateurs, sa mission globale est de produire et développer les produits de froid domestique.

➤ Activités :

- Transformation de tôle.
- Traitement et revêtement de surface (peinture, plastification).
- Injection plastique et polystyrène.
- Fabrication de pièces mécanique (condenseur, évaporateur...).
- Isolation.
- Thermoformage.
- Assemblage

I.3.3 Unité cuisson

Cette unité est spécialisée dans la production de différents types de cuisinières.

➤ Activités :

- Transformation de tôle
- Traitement et revêtement de surface (émaillage, zingage, chromage).
- Assemblage des cuisiniers.

I.3.4 Unité climatisation

Comme son nom l'indique, elle est spécialisée dans la fabrication et montage de plusieurs types de climatiseurs

➤ Activités :

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

En plus de ces activités de réalisation, les unités de production, froid, cuisson et climatisation) assurent, en leurs seins respectives, les activités suivantes :

- Etudes /méthodes de fabrication.
- Achats.
- Contrôle (réception, en cours de fabrication, final).
- Stock (magasin, atelier).
- Maintenance.
- Sécurité industrielle.

I.3.5 Unité prestation techniques

C'est une unité de soutien aux autres unités de production, elle est chargée de la gestion :

- Des énergies et fluides.
- De l'entretien des équipements.
- Des engins roulants.
- De l'entretien des bâtiments.
- De fonction informatique au sein du complexe appareil ménager.

I.3.6 Unité commerciale

Elle est chargée de la commercialisation des produits de l'entreprise, de la gestion du réseau et du service après vents. Sa mission est l'étude du marché national et l'écoulement de tous les produits des unités de production.

➤ Activités :

- Marketing

I.4 Politique de l'entreprise

ENIEM est certifiée ISO 14001 /2004 ENVIRONNEMENT et ISO 9001 /2008 QUALITE.

I.4.1 Politique qualité

L'entière satisfaction durable du client constitue pour l'entreprise l'objectif essentiel face aux enjeux économiques, l'**ENIEM** a mis en œuvre et a développé un système de management de la qualité conforme au référentiel international ISO 9001/2008.

Cette politique qualité basée sur l'amélioration continue des processus se manifeste par la volonté de la direction générale à :

Comprendre les besoins présents et futurs de ses clients et y répondre efficacement.

- En mettant à leurs dispositions des produits et services compétitifs.
- Développer la culture de l'entreprise et le professionnalisme de son personnel.
- Améliorer en continue l'efficacité du système de management de la qualité

I.4.1.1 Engagement de la direction

Pour mettre en œuvre sa politique, la direction générale de l'ENIEM s'engage à :

- Se conformer à l'exigence légale et réglementaire en vigueur.
- Appliquer et respecter les dispositions et procédures établies.
- Fournir les ressources nécessaires pour atteindre des objectifs.

I.4.1.2 Ses objectifs

Pour aboutir aux missions précitées, l'**ENIEM** se fixe les objectifs suivants :

- Accroître la satisfaction des clients.
- Améliorer les compétences du personnel.
- Réduire les rebuts.
- Augmenter la valeur de la production.
- Améliorer le chiffre d'affaire.

I.4.2 Politique environnementale

La politique environnementale de l'**ENIEM** s'inscrit dans le développement durable en intégrant un management proactif dans le domaine de la protection de l'environnement. Pour y parvenir, l'ENIEM se base sur la prévention de toute pollution, la préservation des ressources, la sensibilisation, la formation, la responsabilité et l'implication de son personnel.

Pour cela, l'ENIEM a décidé de s'engager dans une démarche volontaire d'amélioration continue en mettant en place un système de management environnemental selon le référentiel ISO 14001/ 2004.

I.4.2.1 Engagements

- Respecter les exigences légales et réglementaires en vigueur.
- Prévenir et maîtriser les risques de pollutions qui peuvent être générés par ses activités.
- Améliorer la gestion des déchets (papier, emballages, consommables, informatiques, déchets, des processus...)
- Rationaliser les consommations d'énergies.
- Améliorer la communication avec les parties intéressées (interne et externe). Continuer la formation pour améliorer la compétence du personnel.
- Continuer l'amélioration de l'efficacité du système de management environnemental.
- Mener des revues de direction.

I.4.2.2 Objectifs et cibles environnementaux

Dernièrement en 2012, l'**ENIEM** a fixé des objectifs et cibles environnementaux :

- **Objectifs** : En conformité avec sa politique environnementale, l'**ENIEM** se fixe pour l'année 2012 les objectifs suivants :
 - L'amélioration de la gestion des déchets.
 - La rationalisation de la consommation des énergies et fluides.
 - La prévention des risques de pollution.
 - La sensibilisation des parties intéressées.
 - La formation du personnel sur l'environnement
- **Cibles** :
 - Réduire les déchets générés de 1%.
 - Elever le niveau de tri des générés de 2%.
 - Réduire les stocks morts de 4%.
 - Ratio consommation d'eau/Production <20 M3/tonne.
 - Ratio consommation d'énergie électrique/production <635 KWh/tonne.
 - Ration consommation de gaz /production <1,76 KTh/tonne.
 - Mesurer les rejets atmosphériques.
 - Former 200 agents sur l'environnement

Chapitre II

L'emboutissage des tôles métalliques

II.1 Introduction

L'emboutissage industriel est un procédé de formage en série par déformation à chaud ou à froid des métaux visant à transformer une tôle en une pièce plus ou moins creuse de surface non développable.

Dans le cas d'emboutissage de tôles minces, cette dernière se présente sous la forme d'une feuille de moins de 3 mm d'épaisseur, appelé flan. Ce mode de formage s'effectue sur une presse au moyen d'un outillage dont la configuration détermine l'effet obtenu sur le flan :

- Outils à simple effet : configuration la plus simple, composée principalement d'une matrice et d'un poinçon.
- Outils double effet : comprend en plus de l'outil simple effet, un serre-flan.

II.2 Généralité sur l'emboutissage

II.2.1 Définition de l'emboutissage [1]

L'emboutissage est un procédé de fabrication qui consiste à mettre en forme une pièce de métal, des feuilles minces appelées tôles, à l'aide d'une presse à emboutir d'une forte puissance.

Le principe repose sur la déformation du “flan”, matière qui n'est pas encore emboutie, par méthode de poinçonnage.

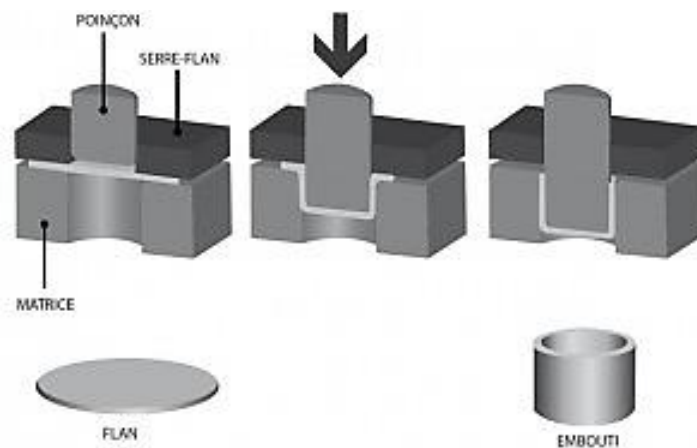


Fig.II.1 : Principe de l'emboutissage

Sur ce schéma, vous pouvez distinguer la matrice, qui épouse la forme extérieure de la pièce dit le “flan” ou appelée « Becker » puis, vous trouvez le serre-flan, qui permet de coincer le flan pendant son usinage. Il entoure le poinçon, qui lui-même donnera la forme à la tôle.

En premier lieu, la tôle est graissée puis posée sur la matrice. Le serre-flan vient se poser sur la pièce à usiner exerçant une pression et permettant la stabilisation du flan. Ensuite le poinçon vient déformer la tôle en l'appliquant contre le fond de la matrice. La pièce atteint alors sa forme définitive, le poinçon et le serre-flanc peuvent être relevés.

II.2.2 Mode d'emboutissage [2]

L'emboutissage impose à la tôle différents modes de déformation dont le but est l'obtention d'une surface creuse. Le type d'outillage conditionne les deux cas limites de déformation :

L'expansion : c'est l'accroissement du diamètre d'un corps creux, par action sur sa paroi interne à l'aide d'un outil, d'un fluide ou d'un matériau élastique. Le schéma (Figure II.2-a) met en évidence un emboutissage par expansion sur le poinçon, le flan étant bloqué sous le serre-flan, l'épaisseur sous le poinçon diminue.

Le rétreint : c'est la réduction diamétrale de l'extrémité ouverte d'un corps creux. Le schéma (Figure II.2-b) montre un emboutissage profond avec rétreint du métal glissant sous le serre-flan, l'épaisseur entre serre-flan et matrice peut augmenter.

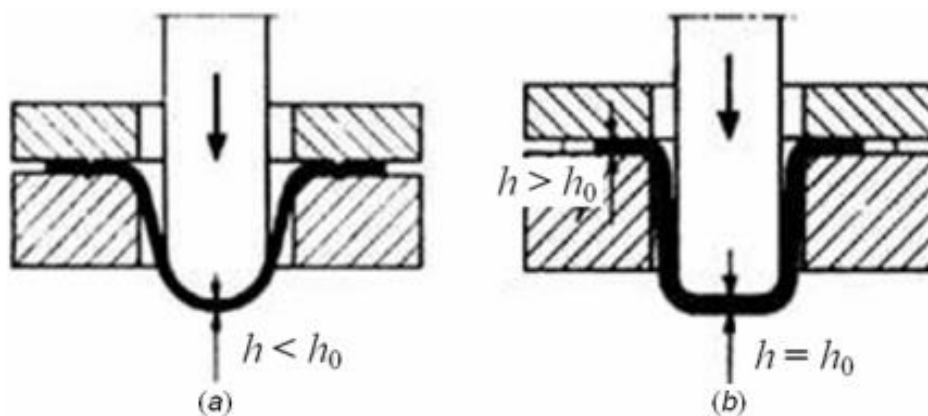


Fig.II.2 : a) Emboutissage par expansion, b) Emboutissage profond avec rétreint.

L'art de l'emboutissage consiste à réaliser le meilleur compromis entre ces deux modes de déformation et à optimiser ainsi l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre flan.

Remarque

- L'épaisseur de la pièce finie diffère de l'épaisseur du flan, l'épaisseur du fond de la pièce étant proche de celle du flan. Aux endroits de passage du fond à la paroi latérale on peut constater un amincissement de 10 à 25%, et près de la face d'about un épaissement de 15 à 25%.
- Le critère industriel de faisabilité de pièces automobiles est donné par :
 $-25\% \leq \text{Variation d'épaisseur} \leq +15\%$: Si on est en dessous de la limite inférieure on a une déchirure, si on est en dessus de la limite supérieure, alors, on a des plis.
- La valeur de l'amincissement dans la zone de passage du fond à la paroi est fonction du rayon du congé des angles de la matrice et du poinçon, du degré de déformation, du jeu entre la matrice et le poinçon, de l'effort de serrage, elle dépend aussi des conditions de frottement de contact.

II.2.2.1 L'emboutissage en température

On distingue deux types procédés d'emboutissage, l'emboutissage à froid qui se pratique à température ambiante et l'emboutissage à chaud qui lui se pratique avec une pièce chauffée.

II.2.2.1.1 L'emboutissage à froid [3]

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

Ce type de formage permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les coûts et évite la formation d'oxyde. Néanmoins, l'épaisseur des tôles à emboutir ainsi que les caractéristiques mécaniques sont à l'origine des limitations de cette technique.

En effet, il devient nécessaire pour les grandes épaisseurs d'effectuer l'emboutissage en plusieurs passes.

A ceci, il faut ajouter d'une part l'effet de l'écrouissage apparaissant lors de la mise en forme et se traduisant par un durcissement structural et une baisse de la ductilité.

D'autre part, la création de contraintes résiduelles au sein de la pièce finie en limite ses applications (risque de rupture fatigue).

II.2.2.1.2 L'emboutissage à chaud [3]

Principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important domaine d'application.

Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage de pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice) et évite l'écrouissage et la formation de contraintes résiduelles.

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 bonne qualité, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement. Enfin, cette technique nécessite des mises au point de la sécurité plus importantes.

II.2.3 Principaux modes de déformation [4]

L'emboutissage impose, à la tôle, divers modes de déformation. Les deux cas rencontrés, dans la pratique, étant : l'expansion et le retreint.

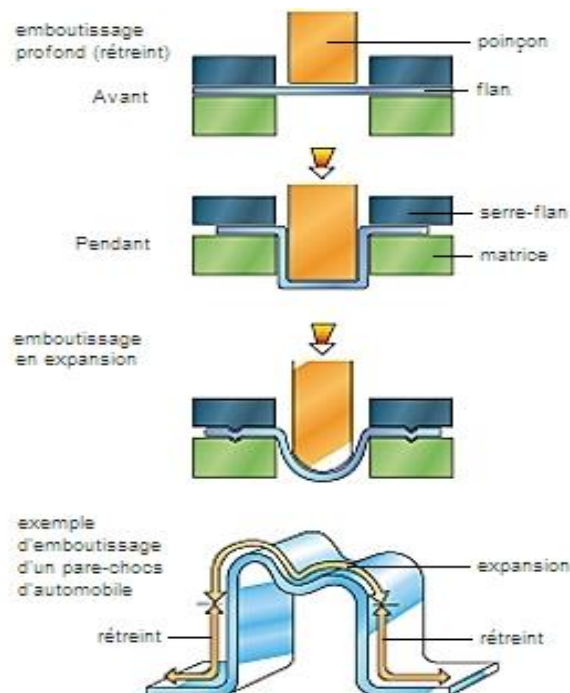


Fig.II.3 : Emboutissage profond avec RETREINT du métal glissant sous le serre-flan et sans expansion sur la tête du poinçon.

Emboutissage par EXPANSION sur le poinçon, flan bloqué sous le serre-flan.

Pratiquement, l'emboutissage par expansion a lieu lorsque le flan est bloqué ; toute la déformation résulte d'une traction-traction et intervient sous le poinçon quelle que soit la forme. Elle se caractérise par un amincissement de la tête.

L'emboutissage par rétreint ou « emboutissage profond » a lieu lorsque le flan est libre de glisser sous le serre-flan. La déformation commence sous le serre-flan en compression-traction et se poursuit dans l'entrée de la matrice en traction.

L'existence d'une sollicitation de compression-traction dans toute la partie du flan sous serre-flan entraîne, outre une légère diminution de l'épaisseur du flan, le risque de formation de plis préjudiciable soit au bon déroulement de l'opération (rupture de l'embouti), soit à l'aspect final de la pièce (plis écrasés appelés « frisures »), d'où l'utilisation d'un serre-flan qui applique la tête sur la matrice, l'obligeant, ainsi, à conserver sa planéité (traction-compression).

La rupture d'une pièce, en cours d'emboutissage, se produit, généralement, dans les zones de déformation en expansion (rayon du poinçon dans les emboutis profonds).

L'opération d'emboutissage est effectuée sur presse au moyen d'un outillage dont la configuration la plus simple appelée outil simple effet comprend deux éléments principaux : la matrice et le poinçon. L'une est bridée sur la table fixe, l'autre sur le coulisseau où il est animé d'un mouvement rectiligne alternatif. L'outillage double effet comprend, en plus, un serre-flan qui assure le contrôle de l'écoulement du métal pour prévenir la formation de plis sur la pièce finie.

II.3 Les différentes tôles et formes d'emboutis

Le procédé d'emboutissage permet de mettre en forme de nombreux matériaux que ce soit des aciers, des alliages non ferreux ou des pâtes. Néanmoins, la mise en œuvre d'une tôle nécessitera certains réglages ou certaines actions préalables dépendant de la nature même du matériau.

II.3.1 Les différentes tôles [5]

a) Les aciers

Les techniques modernes de laminage permettent d'obtenir des tôles d'acier très minces, avec une surface propre et lisse, une structure homogène et une gamme de caractéristiques mécaniques adaptées aux exigences de l'emboutissage. Ces tôles sont classées en trois catégories : tôle de fabrication courante (TC), tôle d'emboutissage (E), et tôle d'emboutissage spéciale (ES) [Tableau.II.1].

	Résistance à la rupture (da N/mm ²)	Allongement (%)	Dureté Rockwell
Tc	42	24	65
E	38	30	57
ES	35	36	50

Tableau.II.1 : Caractéristiques des différentes catégories de tôles.

b) Les alliages non ferreux

- Les laiton : Les plus couramment utilisés sont ceux désignés sous le nom de 60/40 (avec addition de plomb pour les utilisations en horlogerie et sans addition pour les pièces optiques, de sidérurgie) et de 72/28 (pour l'emboutissage extra profond. Cette qualité (72% cuivre, 28% de zinc) est employée pour la fabrication de cartouches et de douilles évitant des opérations de recuit).
- L'aluminium et ses alliages : ces alliages s'écrouissant à l'emboutissage, l'étirage le plus profond ne s'obtient qu'avec les qualités les plus douces. On peut toutefois obtenir des emboutis peu profond avec des qualités plus dures.
- Le cuivre : non allié à un autre élément, le cuivre rouge possède d'excellentes qualités d'emboutissage extra profonds, souvent supérieures à celles du laiton ou de l'acier spécial.
- Le zinc : il s'emboutit facilement mais, dans le cas d'emboutissage de forme complexe, il est nécessaire de le chauffer entre 100° et 150°C.

- Le nickel et ses alliages : ils possèdent d'excellentes qualités d'emboutissage. Les plus couramment utilisées sont ceux contenant 60 à 65% de cuivre, 20 % de zinc, et 15 à 20 % de nickel.
- Le magnésium : c'est le plus léger des métaux utilisés dans l'industrie. A température ambiante le magnésium ne peut être embouti que dans certaines limites. Pour réaliser des pièces semblables à celles obtenues avec l'acier, il est indispensable de chauffer de 200° à 500°C en fonction de la qualité d'emboutis souhaités.
- Le titane : ce métal se comporte comme le magnésium : les flans doivent être chauffés entre 200° et 350°C, selon s'il s'agit de titane pur ou d'un alliage. La matrice et le poinçon sont également chauffés pour éviter le choc thermique auquel le métal est sensible.

II.3.2 Définition des tôles étudiées

II.3.2.1 Tôle en acier inoxydable satinée (inox) [6]

Communément appelé acier inox – ou inox – est un alliage composé de fer, de carbone et de chrome. Sa composition forte en chrome lui donne la propriété de ne pas être sensible à la corrosion et donc de ne pas rouiller.

Ce matériau de qualité est très hygiénique et facile à nettoyer, très largement utilisé dans les domaines de la restauration et de l'agroalimentaire mais également de la construction et de la médecine.

L'acier inox réagit très bien à la soudure, étant réactif aux variations de température. En revanche, il n'est pas un bon conducteur thermique, contrairement à l'aluminium. En termes d'esthétique, les plaques en acier inoxydable sont très prisées en intérieur, par exemple dans l'habillage de crédences, de fond de hotte et de plans de travail mais également en extérieur, comme dans la fabrication et l'habillage d'une façade.

Comme pour d'autres métaux, il existe une large variété d'acier inox mais les plus courantes sont l'inox 304 et l'inox 316. Difficiles à différencier à l'œil nu, ils ont en revanche des compositions et des applications qui diffèrent légèrement.

L'acier inox 304 est moins cher que l'acier inox 316. En termes de composition, ce dernier contient plus de nickel et moins de chrome, phénomène inverse dans l'assemblage de l'inox 304.

Très utilisé en raison de sa polyvalence, l'acier inoxydable 304 est le plus populaire et le plus répandu.

II.3.2.1.1 Caractéristiques de la tôle en acier inoxydable satinée (inox)

- Résistance remarquable à la corrosion et à l'oxydation à haute température.
- Attrait esthétique.
- Durabilité.
- Recyclabilité totale.
- Neutralité biologique : apte pour contact alimentaire.
- Facile à nettoyer.
- Bon rapport résistance mécanique/poids.
- Emboutissabilité (surtout les austénitiques).
- Conductivité thermique plus faible que celle des aciers classiques.
- Coefficient de dilatation linéaire élevé.

II.3.2.2 Tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute) [7]

Est un alliage métallique. Les tôles en acier brut sont plus couramment appelée tôle noire. Ces tôles sont brutes de laminages, non dégraissées non décapées. Ces tôles sont pratiques dans la plupart des cas car leur transformation et utilisation sont faciles.

Pour leur protection il est conseillé après dégraissage d'appliquer un vernis ou une peinture antirouille pour éviter la corrosion de l'acier.

II.3.2.2.1 Caractéristique de la tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute)

- L'acier brut est plus résistant qu'un acier classique.
- Les plaques d'acier brut peuvent résister à des températures pouvant descendre jusqu'à -40°C , tandis qu'un acier classique se brise dès qu'il est exposé à une température de -20°C . Généralement, l'acier brut est utilisé pour la fabrication des chemins de fer.
- Il est également très utilisé dans la ferronnerie d'art en raison de son extrême malléabilité.
- Les plaques d'acier brut ont la surface rugueuse.

II.3.3 Les différentes formes d'embouties

D'une façon générale, les pièces embouties sont de forme simple telle que cylindrique, conique, sphérique ou prismatique.

Cependant, ces formes simples sont déjà relativement difficiles à réaliser et ne sont généralement réalisables qu'avec un emboutissage par étapes, c'est à dire un emboutissage où la forme désirée n'est obtenue qu'après un certain nombre de phases successives.

- **Forme cylindrique** : La forme cylindrique est facilement réalisable avec de bonnes conditions opératoires. A partir de cette forme simple il est possible de réaliser des formes plus évoluées avec la méthode d'emboutissage dit renversé.

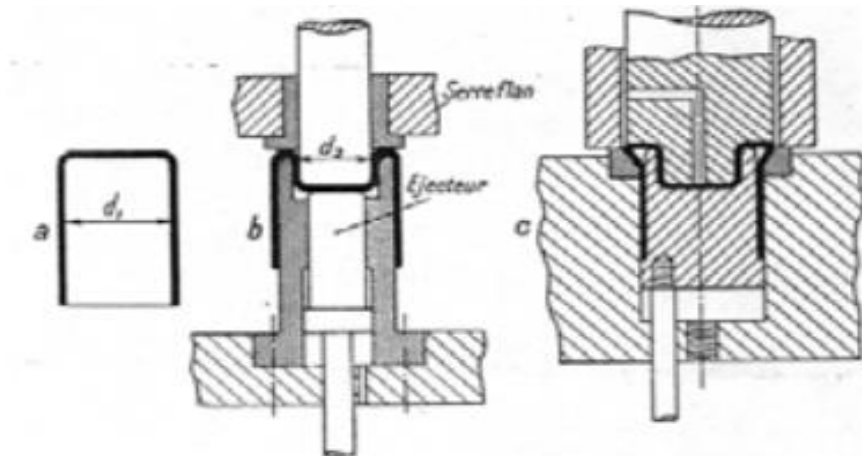


Fig.II.4 : Emboutissage renversé

- **Forme conique** : La forme conique ne peut être obtenue qu'après au moins 4 passes. Cette technique permet d'obtenir des formes qu'il aurait été impossible à former en une seule passe.
- **Forme demi-sphérique** : L'emboutissage d'une demi-sphère est difficile en raison de la formation de plis, mais il est possible en une seule passe si la matrice est munie d'un bourrelet.

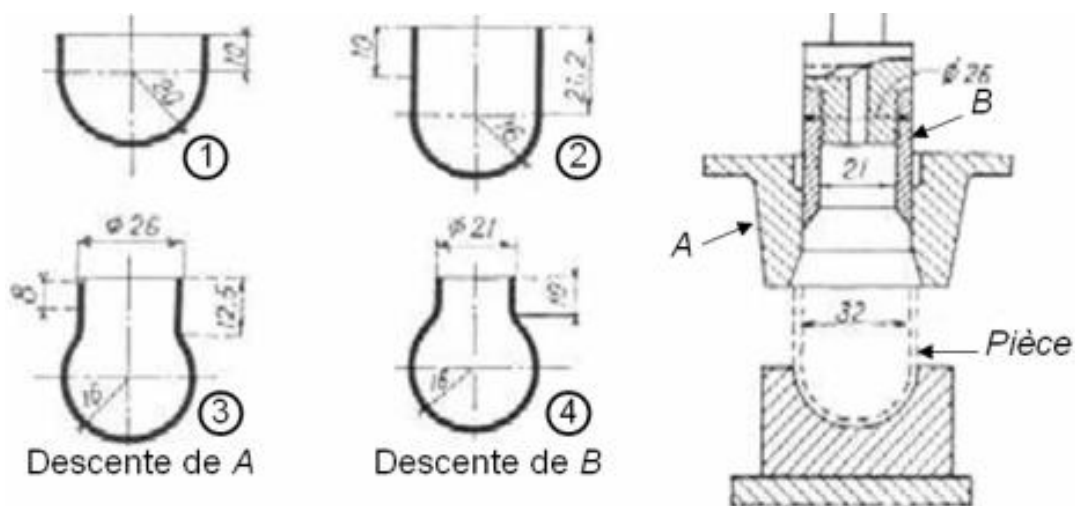


Fig.II.5 : Emboutissage de pièce demi sphérique.

- **Forme rectangulaire** : Dans les emboutis rectangulaires on peut considérer que seuls les rayons latéraux sont emboutis (quart d'embouti cylindrique), les flancs étant simplement cambrés.



Fig.II.6 : Emboutis rectangulaires.

II.4 L'emboutissage Profond

L'emboutissage profond est un des procédés les plus répandus dans l'industrie de transformation et de la manipulation des tôles. Au-delà de son utilisation dans de nombreux secteurs il est utilisé dans l'industrie pour la fabrication de différentes pièces.

L'emboutissage profond comprend trois types de processus différents :

- Emboutissage profond à l'aide d'outils
- Emboutissage profond avec un milieu actif
- Emboutissage profond avec énergie active

L'emboutissage profond est généralement réalisé à l'aide d'outils rigides :

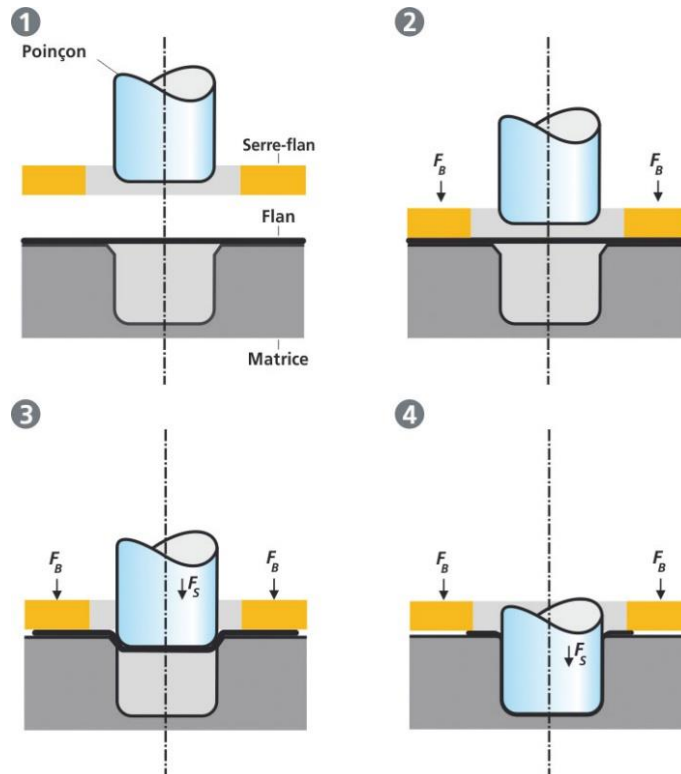


Fig.II.7 : Principe de l'emboutissage profond

Les images illustrent le processus d'emboutissage profond. Les outils rigides comprennent un poinçon, une matrice et un serre-flan.

Dans l'emboutissage profond, le serre-flan se ferme une fois le flan inséré. Ensuite, la tôle est maintenue entre la matrice et le serre-flan.

Cette action ralentit le déplacement de la tôle au cours de l'emboutissage et prévient ainsi l'apparition de plis sous serre-flan. Le poinçon étire la tôle le long du rayon de la matrice et la met en forme dans l'outil. L'effort de poinçon nécessaire pour le formage est de ce fait en continuelle augmentation jusqu'au point mort bas du poinçon.

Le formage réalisé par étirement pur génère une diminution de l'épaisseur de la tôle contrairement à l'emboutissage profond pur.

L'étirage est largement utilisé pour le formage de pièces légèrement cintrées nécessitant un emboutissage peu profond exemple toits, portes dans le domaine de l'industrie automobile.

II.5 Mesure des déformations

La déformation est répartie dans trois directions principales :

- Dans le sens de la longueur

$$\varepsilon_1 = \ln(L/L_0) \quad (\text{II.1})$$

- Dans le sens de la largeur

$$\varepsilon_2 = \ln(b/b_0) \quad (\text{II.2})$$

- Dans le sens de l'épaisseur

$$\varepsilon_3 = \ln(h/h_0) \quad (\text{II.3})$$

Avec L_0 , b_0 , h_0 , longueur, largeur et épaisseur initiales, respectivement, L , b , h longueur, largeur et épaisseur finales de l'élément, respectivement.

- La conservation du volume pendant la déformation permet d'écrire :

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \quad (\text{II.4})$$

II.6 Principaux défauts des pièces embouties [8]

Au cours de l'opération de mise en forme par emboutissage la feuille métallique subit différents modes de sollicitations.

Dans certaines conditions, ces modes conduisent à la formation d'ondulations que nous désignerons généralement sous le nom plis ou à un amincissement excessif conduisant à la rupture de la tôle.

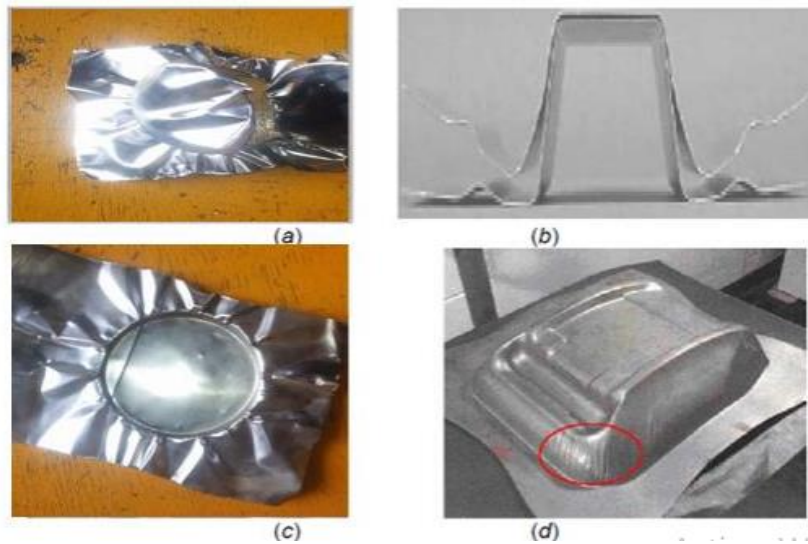


Fig.II.8 : Rupture (a), retour élastique (b) et plissement (c) et (d).

La rupture et le plissement ne sont pas les seuls critères d'acceptation ou de refus d'une pièce. En effet, selon la fonction recherchée de l'embouti final, les défauts géométriques doivent être pris en compte le plus précocement possible dans la conception des pièces. Il s'agit d'apporter des modifications sur sa géométrie et/ou adapter l'outil ou les paramètres du procédé, pour compenser les écarts géométriques et réduire le retour élastique.

La difficulté principale de l'emboutissage de pièces complexes est de contrôler le procédé à l'intérieur de ces limites de défaillances.

Nous souhaitons que la pièce après mise en forme ne présente pas de défauts volumiques, surfaciques et dimensionnels :

- Les défauts de la surface tels que la présence de rayures, signes de grippage, etc.
- La rupture.
- La non-conformité de la forme de la pièce qui est due à un retour élastique excessif ou à une formation de plis dans certaines zones de la pièce emboutie.
- La détérioration du revêtement.
- L'aspect de la surface constitue un critère déterminant pour l'acceptation des pièces, les défauts d'aspect peuvent être classés en deux catégories :
 - les défauts accidentels (picots, rayures, marquages divers) liés à des incidents survenus au cours de la manipulation des pièces comme au cours du formage et dont la survenue au cours de la manipulation des pièces comme au cours du formage et donne la

prévention passe par une préparation et un entretien soignés de l'ensemble des moyens de production (propreté des outils, manipulateurs et palettes des stockage adaptées).

- Les défauts systématiques liés à une hétérogénéité de déformation ou au glissement du métal sur le rayon d'entrée de la matrice résultant directement des choix opérés lors de la conception de la gamme et dont l'acceptabilité repose sur la non visibilité des zones correspondantes sur le produit fini.
- **La rupture**, se traduit par une faiblesse du point de vue mécanique et du point de vue aspect.

Physiquement, elle se manifeste par une localisation de la déformation. La rupture se produit généralement dans les zones où l'embouti est sollicité en expansion ou en traction plane. Elle apparaît quand les déformations locales ont dépassé la capacité d'allongement plastique du métal. De nombreuses méthodes sont utilisées, pour prédire ce type de défaut.

Après extraction de la pièce, on observe souvent des défauts de tolérances dimensionnelles. En effet, la pièce emboutie n'a jamais la géométrie de l'outil. Elle s'en rapproche de très près, mais elle présente en général un écart de cote lié au retour élastique après retrait des outils.

- **Retour élastique** est d'autant plus marqué que la limite d'élasticité du métal est plus élevée (Acier, HLS) et son module d'élasticité plus faible (Aluminium). Cet écart à la géométrie nominale peut être minimisé par une mise au point précise des outils. Si cette différence de géométrie n'est pas contenue dans des tolérances sévères, elle peut être préjudiciable au bon fonctionnement de la pièce. Une opération de calibrage peut parfois s'avérer nécessaire pour assurer la précision géométrique recherchée.

- **Le plissement** est un phénomène d'instabilité de type flambement dû à l'existence de contraintes de compression locales dans la tôle. L'analyse du plissement est un problème complexe dans sa globalité. Les plis sont généralement associés à des déformations en rétreint, ils peuvent apparaître aussi bien dans les brins libres (facettes courbes) que sous serre-flan (facettes planes). Ils résultent aussi bien des contraintes de formage proprement dites que des contraintes résiduelles libérées après décharge et extraction de la pièce hors des outils.

La meilleure réponse à ce type de phénomène consiste à éviter de telles zones de compression lors de l'opération de mise en forme mais cela n'est bien sûr pas toujours possible. Sur le plan matériau, les éléments à prendre en compte sont :

- L'épaisseur : Plus elle est faible, plus l'inertie décroît, plus le plissement est probable.

- La limite d'élasticité : Sous l'action d'une compression dans son plan, l'idéal serait qu'une tôle s'épaississe en se déformant plastiquement. Mais plus la limite d'élasticité est élevée, plus est retardé le début de cette déformation plastique, plus haute est la contrainte atteinte et plus brusque sera le flambement de la tôle. Les tôles ayant les plus basses limites d'élasticité sont donc celles qui plisseront le moins.
- Le coefficient d'anisotropie normale r : S'il a une haute valeur cela signifie que le métal se rétreint facilement, donc sous des contraintes faibles. De ce fait, les contraintes de compression radiale sont limitées et le plissement sera retardé.

Du côté du procédé, il n'y a que deux possibilités d'amélioration :

- Interdire la naissance des plis et réduire les contraintes de compression circonférentielles, en retenant plus la tôle sous serre-flan dans les zones en rétreint par le contrôle de la force de serrage et/ou par l'utilisation des joncs.

II.7 Vitesse d'emboutissage [9]

Elle se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Une vitesse trop faible, tend à générer un écrouissage trop important sur le métal, le rendant moins malléable. Une grande vitesse tend à empêcher la propagation de la force du poinçon jusqu'au niveau du flan. Cette altération pouvant alors se traduire par une rupture du flan. D'après BLISS, il existe une vitesse optimale pour chaque métal, ces vitesses sont reportées dans le tableau II.2.

Matériau	Vitesses (mm/s)
L'acier	200
L'inox	
Les aciers doux	280
L'aluminium	500
Le zinc	200

Tableau II.2 : Vitesses d'emboutissage.

II.8 Effort d'emboutissage [9]

L'effort nécessaire pour emboutir des pièces cylindriques dépend tout d'abord des diamètres de l'embouti et du flan primitif, de l'épaisseur et du type de matériau. Il dépend également de la pression de serre-flan, de la vitesse d'emboutissage, de rayon de la matrice, du jeu entre poinçon et matrice et de la lubrification. Cet effort (et cette énergie) résulte de la somme de l'effort de formage proprement dit (F) {d'énergie (W)} et de l'effort serre-flan (F_{sf}) qui permet de choisir la presse appropriée.

L'effort de serre flan est donné par :

$$F_{sf} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_1^2) K_s \text{ Pour la première passe.} \quad (\text{II.5})$$

$$F_{sf} = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) K_s \text{ Pour la deuxième et passes suivantes.} \quad (\text{II.6})$$

K_s : pression spécifique en N/mm².

Matériau	Pression (N/mm ²)
Acier doux – e < 1mm	2,5 à 3,0
Acier doux - e > 1mm	1,8 à 2,5
Laiton	1,5 à 2,5
Cuivre	1,2 à 1,5
Aluminium	0,8 à 1,2
Bronze	2,0 à 2,5

Tableau II.3 : Pression des matériaux.

II.9 Effort de poinçon

On pratique pour les pièces cylindriques, l'effort est déterminé d'après le tableau suivant :

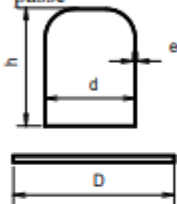
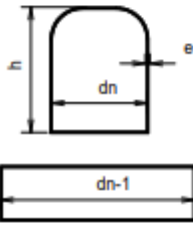
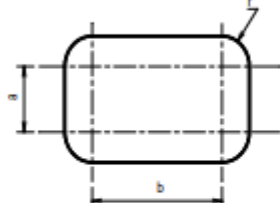
Opération	Effort (N)	Energie (J)	Observations																					
<i>Pièce cylindrique</i> 1-1^{ère} passe 	$F_E = K \pi d e R_r$	$W_e = \frac{K_t h F_e}{1000}$	<table><tr><th>d/D</th><td>0.55</td><td>0.6</td><td>0.65</td><td>0.7</td><td>0.75</td><td>0.8</td></tr><tr><th>K</th><td>1</td><td>0.86</td><td>0.72</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.4</td></tr><tr><th></th><td>0.8</td><td>0.77</td><td>0.74</td><td>0.7</td><td>0.67</td><td>0.64</td></tr></table>	d/D	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	K	1	0.86	0.72	0.6	0.5	0.4		0.8	0.77	0.74	0.7	0.67	0.64
d/D	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8																		
K	1	0.86	0.72	0.6	0.5	0.4																		
	0.8	0.77	0.74	0.7	0.67	0.64																		
2-n-ième passe 	$F_{En}=0.5F_{En-1}+Q.\pi.d_n.e.R$	$W_e = \frac{K_t h F_e}{1000}$	<table><tr><th>dn/dn-1</th><td>0.7</td><td>0.75</td><td>0.8</td><td>0.85</td></tr><tr><th>Q</th><td>0.8</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.35</td></tr></table>	dn/dn-1	0.7	0.75	0.8	0.85	Q	0.8	0.6	0.5	0.35											
dn/dn-1	0.7	0.75	0.8	0.85																				
Q	0.8	0.6	0.5	0.35																				
<i>Pièce quadrangulaire</i>  $h = \text{hauteur}$ $L = 2(a+b)$	$F_E = e R_r (2K_A \pi r + K_B L)$	$W_E = \frac{0.7 h F_E}{1000}$	$K_A = 0.5$ pour les emboutis peu profonds = 2 pour les emboutis dont $h = 5$ à $6r$. $K_B = 0.2$ pour un jeu important et pas de SF = 0.3 à 0.5 si écoulement facile et faible SF. = 1 si fortes pressions SF.																					
<i>Pièce quelconque</i>	$F_E = p e R_r$	$W_e = \frac{h F_e}{1000}$																						

Tableau II.4 : Effort de poinçon.

II.10 Paramètres liés à la tôle

a) La taille de la tôle

Il est important de déterminer la taille du flan primitif pour d'une part économiser la matière et d'autre part faciliter l'emboutissage. Une lubrification adaptée facilite l'écoulement de la tôle entre la matrice, le serre-flan et le poinçon.

Remarque : dans le cas d'un poinçon de petit rayon, il est préférable de ne pas lubrifier voire même d'augmenter la rugosité du poinçon afin d'éviter une forte déformation par expansion localisé.

b) La lubrification

Parmi les techniques permettant de maîtriser le frottement, l'adhésion et l'usure entre deux corps, la lubrification est certainement la plus courante et la plus anciennement pratiquée.

Elle consiste à intercaler entre les deux corps, un troisième corps de faible scission et de contrainte de rupture faible.

Ainsi, une lubrification adaptée facilite l'écoulement de la tôle entre la matrice, le serre flan et le poinçon.

Cependant, la lubrification de la partie centrale du flan a un effet néfaste. On peut expliquer ce phénomène par le fait que lubrifier diminue l'adhérence entre le poinçon et les parois de l'embouti. L'effort est alors concentré sur le fond de l'embouti à proximité duquel il y a rupture. C'est pour cette raison qu'il n'est utile de lubrifier que la face du flan opposée et augmenter la rugosité du poinçon afin d'éviter une forte déformation par expansion localisée.

c) La température

Une petite variation de la température nous permet de garder les propriétés de matériau indépendant d'elle. Le comportement des tôles métallique dans la mise en forme (SMF) est souvent affecté par la température, La résistance des métaux diminue quand ils sont chauffés.

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre, après avoir défini le procédé d'emboutissage et montré l'importance de ce procédé parmi les autres procédés de mise en forme, nous avons mis en clair tout ce qui concerne le procédé d'emboutissage industriel.

En premier lieu, nous avons décrit les modes du procédé, des matériaux emboutissables, principaux modes de déformation lors de l'opération d'emboutissage ainsi les différentes tôles et forme emboutie.

Ensuite, nous avons montré les principaux défauts des pièces embouties et les paramètres liés à la tôle tel que la taille de la tôle, la lubrification et la température.

Chapitre III

Techniques Expérimentales

III.1 Introduction

La réalisation par emboutissage, des pièces à parois minces, est couramment effectuée dans différents secteurs industriels, notamment en construction automobile. L'emboutissage est un procédé de mise en forme qui consiste à transformer une tôle fine plane en une forme non développable, au moyen de presses mécaniques ou hydrauliques. Ces dernières années, pour satisfaire les besoins des industriels, en terme de qualité et de compétitivité.

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés aux matériaux d'études, au mode d'élaboration de l'acier inoxydable satinée et acier doux pour émaillage conventionnel ainsi qu'aux différentes techniques de caractérisations adoptées pour la réalisation de notre étude.

III.2 Caractérisation des matériaux d'étude

Dans ce travail, on a utilisé des aciers de nuances **NF EN 10209 DC04 EK, m**, et **En 10088-2-2014 1.4307**, Il s'agit des tôles laminées à froid en acier extra doux pour émaillage conventionnel et des tôles en acier inoxydable satinée utilisé couramment pour la fabrication d'équipements électroménagers. Pour cela, nous avons étudié les deux aciers selon la norme en vigueur.

La composition chimique de ces deux tôles a été fournie par l'entreprise ENIEM.

III.2.1 Tôle en acier Inoxydable satinée [10]

- **Désignation :** (X2CrNi18-9) / 304L
- **La Norme :** EN 10088-2-2014 1.4307
- **La composition Chimique**

La composition chimique et le pourcentage de chaque élément de cet acier entièrement austénitique sont répertoriés sur le tableau ci-dessous (tableau III.1).

➤ **Caractérisation chimique**

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	N (%)	S (%)	P (%)
<0.03	<1.00	<2.0	8.0-10.5	17.5-19.5	<0.10	<0.015	<0.045

Tableau III.1 : Composition chimique de la tôle en acier inoxydable satinée (inox).

Les aciers inoxydables entièrement austénitiques présentent une excellente résistance à la corrosion, une bonne ductilité et une résistance mécanique élevée. Ils sont utilisés pour la fabrication des ustensiles de cuisines, le bâtiment, les fours, les réservoirs.

➤ **Caractéristiques mécaniques**

Limite d'élasticité Rp 0.2% (N/mm ²)	Résistance à la traction Rm (N/mm ²)	Allongement après rupture A ₈₀ %
220	540-750	45

Tableau III.2 : Caractéristiques mécaniques de la tôle en acier inoxydable satinée (inox).➤ **Aspect de surface :**

- La qualité de surface est :2B/SAT
- La surface tôle en INOX doit être protégée par un film vinylique (PS/PVC) sur la surface extérieure.

III.2.2 Tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute) [10]

- **Désignation :** Tôle laminée à froid en acier doux pour émaillage conventionnel
- **La norme :** NF EN 10209 DC04 EK, m
- **La composition chimique :** Composition chimique en % (max) sur coulée

C	Mn	P	S
0.08	0.5	0.03	0.05

Tableau III.3 : Composition chimique de la tôle en acier doux émaillage conventionnel (brut).

➤ **Caractéristiques Mécaniques :**

Ep (mm)	Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A ₈₀ % Min
0.5 -0.7	140-240	270-350	34
0.7-3.0	140-220	270-350	36

Tableau III.4 : Caractéristiques mécaniques de la tôle en acier doux émaillage conventionnel (brut).

➤ **Aspect de surface**

- Aspect de surface bon et de finition m

III.3 Etude métallographique [11]

La connaissance des propriétés d'un matériau passe par la détermination des phases qui le composent (nature, forme, distribution et qualité), c'est-à-dire, la structure de ce matériau.

La structure macroscopique vient d'un examen effectué à l'œil nu ou bien avec grossissement <20 sur des pièces polie, brutes et attaquées. La macrographie met en évidence les traitements mécaniques, le fibrage, les inductions...etc.

La structure microscopique vient d'un examen effectué au microscope métallographique. La microphotographie révèle les grains qui confirment la vraie structure de la matière.

En définitive, pour arriver à étudier métallographique-ment un échantillon, il faut suivre les étapes suivantes :

- **Le prélèvement**

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

Le prélèvement se pratique le plus souvent à la meule tronçonneuse ou à l'aide d'une scie sous lubrification d'eau. La 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**

Pour l'obtention d'un état miroir de surface de dépôt et agréable pour toutes les caractérisations, un polissage mécanique est nécessaire pour l'observation microstructurale. Le polissage mécanique est obtenu en utilisant une polisseuse qui sert à rendre les surfaces uniformes et dénuées de toutes rayures. Il consiste à frotter la surface de la pièce à l'aide des papiers abrasifs de carbure de silicium (SiC), de différentes granulométries qui se présente du plus rugueux au plus fin (400, 800, 1200, 4000 grains /cm²).



Fig.III.1: Polisseuse mécanique

- **Attaque chimique**

L'attaque des échantillons polis a pour but de révéler les joints des grains 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. Le tableau III.5. représente les réactifs d'attaque métallographique de l'acier.

Matériau à observer	Réactif approprié	Composition	Emploi
Acier	Nital	1 à 4 % de HNO_3 Reste : $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	A froid pendant 40s
Et fonte	Picral	42g d'acide picrique 1l de $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	A froid
Cuivre et alliages	Eau oxygène ammoniacale	94% de NH_4OH 3% de H_2O_2 3% de H_2O	A froid
Aluminium et alliages	Réactif de Keller	0.5% d' HF 1.5 % de HCL 2.5% HNO_3 100 cm^3 de H_2O	A froid
Zinc et alliages	Réactif de Palmerton	5 cm^3 d'acide chromique 95 cm^3 de H_2O	A froid
Acier Inoxydable	Acide oxalique	10 de $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_4$ 100 ml HO	A froid 9 Volt Pendant 45s de temps d'attaque

Tableau III.5 : Les réactifs d'attaque métallographique de l'acier.

III.4 Observation au microscope [12]

III.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 à l'aide d'un microscope optique.

La Microscopie Optique permet d'obtenir des informations sur les éléments constitutifs des microstructures telles que la texture, la dimension des grains et les différentes phases présentes afin de rendre ces éléments visibles à partir d'une surface polie. L'examen métallographique a été effectué au niveau du laboratoire de sciences des matériaux (SDM). L'appareillage utilisé pour l'acquisition des images est un microscope optique équipé d'une caméra numérique reliée à un microordinateur. Un logiciel installé pour l'acquisition et le traitement des images. Il est composé des accessoires suivants :

- 1.1. Chambre photographique
- 1.2. Commande d'exposition
- 1.3. Photosenseur
- 1.4. Bague de serrage du corps de bas
- .5. Oculaires
- 1.6. Phototube binoculaire incliné
- 1.7. Tirette de commutation
- 1.8. Corps de base avec obturation
- 1.9. Loupe additionnelle



Fig.III.2 : Microscope optique

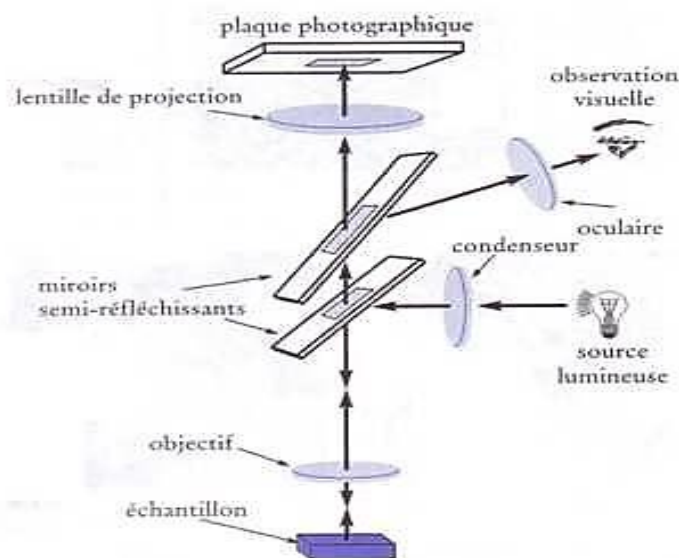


Fig.III.3 : Représentation schématique d'un microscope optique

III.5 Essais mécaniques

Les différents essais mécaniques (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. Dans notre cas on va utiliser l'essai de traction et essai de dureté VICKERS.

III.5.1 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.

III.5.1.1 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.



Fig.III.4: Machine de l'essai traction

III.5.1.2 Courbe de traction [13]

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

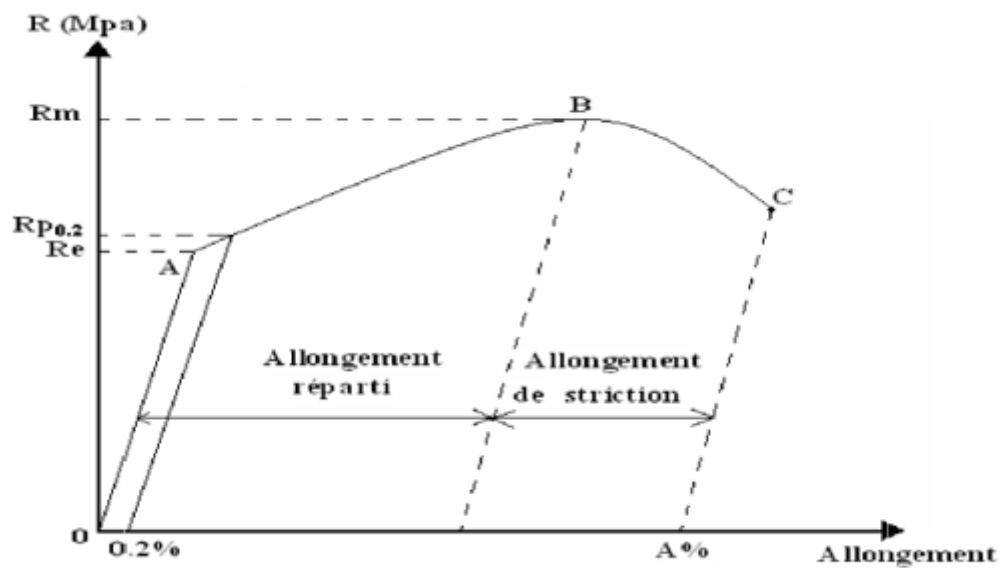


Fig.III.5 : Diagramme conventionnel d'un essai de traction.

III.5.1.3 Forme et dimensions de l'éprouvette [14]

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.

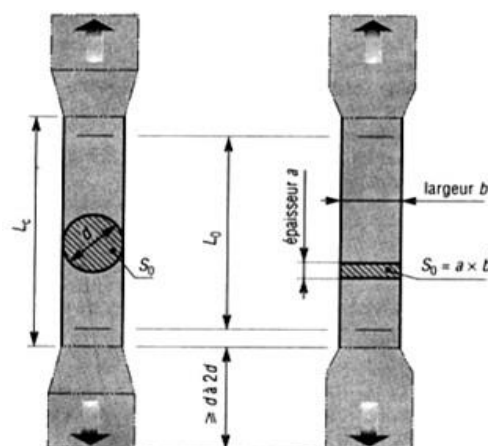


Fig.III.6 : Forme générale de l'éprouvette de traction.

III.5.1.4 Caractéristiques de l'essai de traction

- **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

III.6 Mesure de dureté [12]

III.6.1 Essais de dureté

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 appliquée.

III.6.2 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).

III.6.3 Types d'essai

III.6.3.1 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.

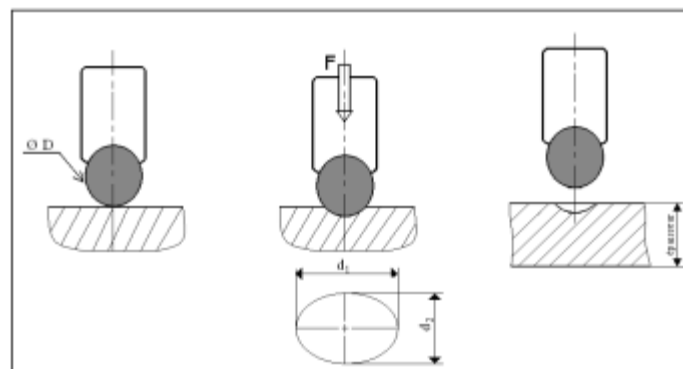


Fig.III.7 : Essai de dureté Brinell.

La dureté Brinell est donnée par la relation suivante :

$$HB = F / S$$

F: charge de l'essai (N)

$$S : \text{aire de l'empreinte (mm}^2\text{)} \quad S = \frac{D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \text{ (mm}^2\text{)}$$

D : diamètre de la bille (mm)

$$d : \text{diamètre de l'empreinte (mm).} \quad d = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$$

III.6.3.1.1 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.

III.6.3.2 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.

III.6.3.2.1 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 III.8)

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 à 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 :

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

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

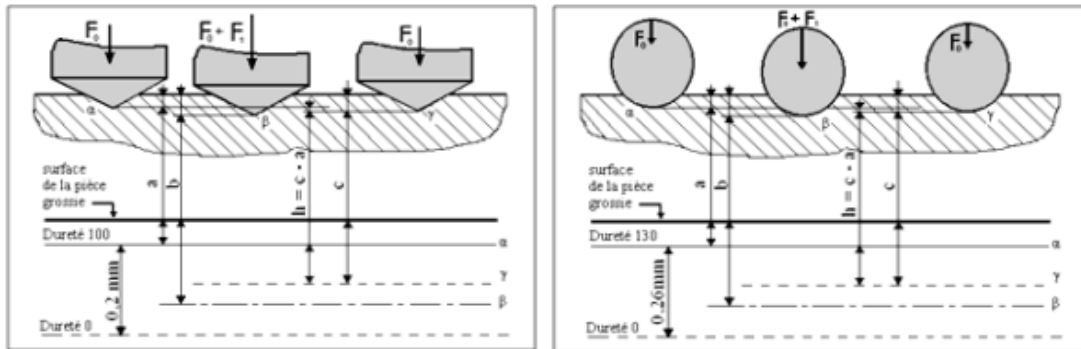


Fig.III.8 : Principe des essais Rockwell (HRB, HRC)

III.6.3.3 Essai Vickers

Il consiste à imprimer dans la pièce à tester un pénétrateur en forme de pyramide en diamant 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. (Fig.III.9)

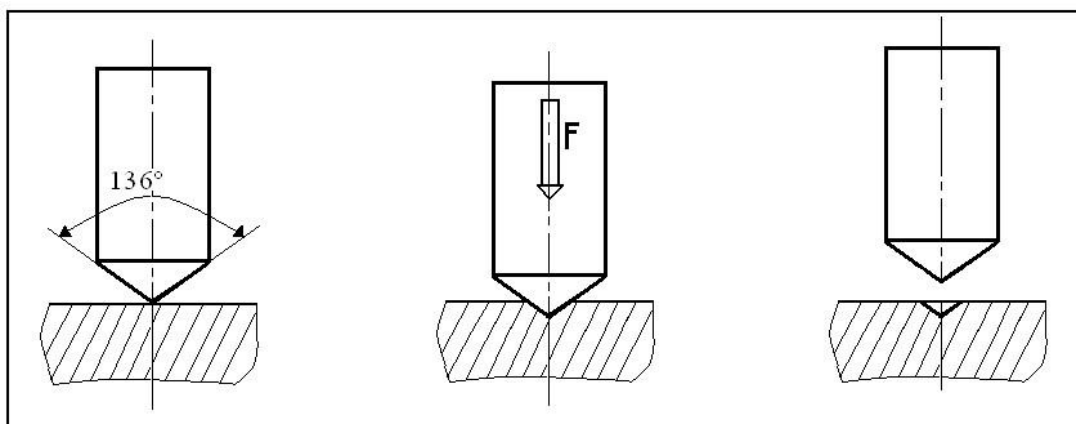


Fig.III.9 : Principe de l'essai Vickers.

La dureté Vickers est donnée par la relation suivante :

$$\text{HV} = F / S$$

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 déduit $H_V = 0,18544 F / d^2$

F : charge d'essai (N).



Fig.III.10 : Machine de dureté

III.7 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.

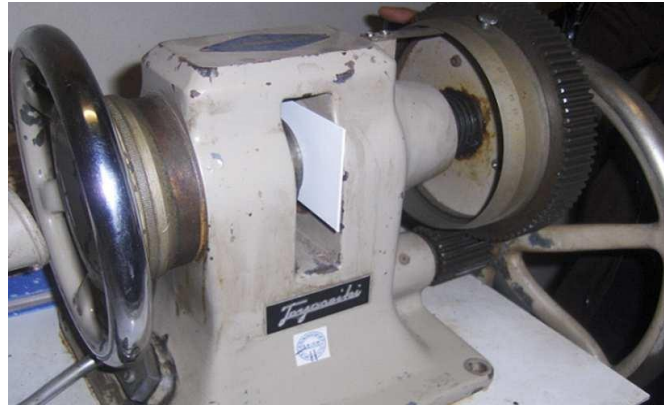


Fig.III.11 : Essai d'emboutissage sur une tôle revêtue

III.7.1 Essais de rétreint

Ces essais relèvent de deux familles, celles des essais élémentaires (déformation d'une éprouvette de tôle de forme trapézoïdale) et celle des essais simulatifs (essais Swift–IDDRG1). Nous traiterons juste de cette dernière famille. Les essais simulatifs consistent à emboutir des coupelles profondes à fond plat et à flan non bloqué sous le serre-flan. En effet, si le rayon de raccordement du poinçon est suffisamment petit, il n'y a pas d'expansion sous le nez du poinçon, et la déformation dominante est le rétreint sous serre flan. Dans le cas de l'essai Swift, codifié par l'IDDRG, le flan est transformé en coupelle cylindrique (Figure III.12). Le but de cette expérimentation est de caractériser le rapport entre le diamètre d du poinçon et le diamètre D du flan.

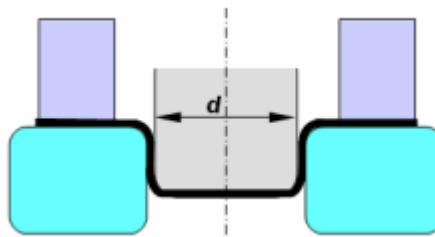


Fig.III.12 : Essai Swift.

Malgré ses difficultés d'exécution, cet essai a connu un certain développement récemment principalement suite à l'excellente corrélation trouvée par Witheley entre le rapport limite d'emboutissage d/D et le coefficient d'anisotropie r que nous présenterons par la suite.

III.7.2 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 Etats-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 III.13, 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.

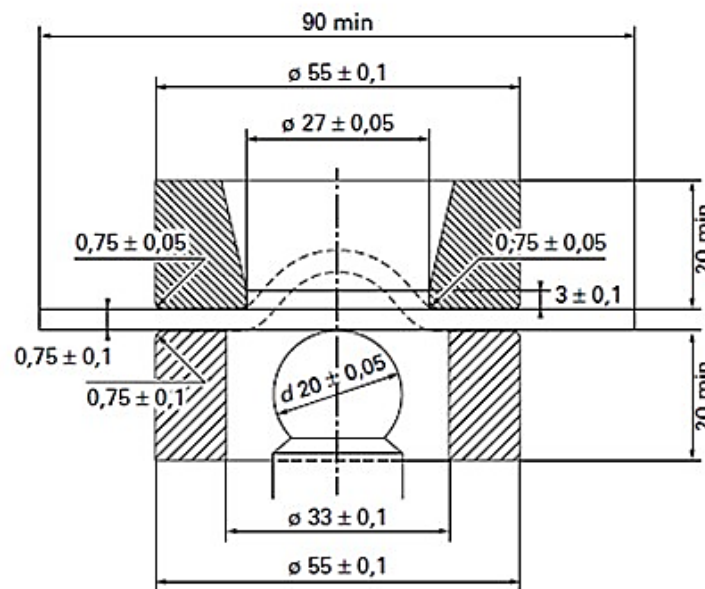


Fig.III.13 : Essai Erichsen

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les techniques expérimentales utilisées dans l'emboutissage des tôles en acier inoxydable et en un acier brut (tôle noire).

Nous avons d'abord présenté la composition chimique de nos aciers et leurs caractéristiques mécaniques. Puis nous avons définies l'étude métallographique et les différentes étapes pour faire une observation microscopique.

Ensuite on a défini les différents essais mécaniques notamment l'essai de traction et l'essai de dureté et pour finir on a défini les différents essais d'emboutissage.

Chapitre IV

Résultats et interprétations

IV.1 Introduction

Notre étude a pour objectif de caractériser l'acier inoxydable satinée (inox) et l'acier doux pour émaillage conventionnel (brute) utilisés au sein de l'entreprise ENIEM pour la fabrication des appareils électroménagers notamment, pour les réfrigérateurs et les cuisinières.

La caractérisation de ces aciers nécessitent des essais. Parmi ces essais, nous citerons la traction, essai de dureté (VICKERS) et une étude métallographique qui feront l'objet de ce chapitre

IV.2 Composition chimique

Les tableaux ci-dessous nous donne les compositions chimiques des tôles étudiées.

➤ Caractérisation chimique tôle en acier inoxydable satinée (inox)

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	N (%)	S (%)	P (%)
<0.03	<1.00	<2.0	8.0-10.5	17.5-19.5	<0.10	<0.015	<0.045

Tableau IV.1 : Composition chimique de Tôle en acier Inoxydable

➤ Caractérisation chimique tôle en acier doux émaillage conventionnel (brute)

Composition chimique en % (max) sur coulée

C	Mn	P	S
0.08	0.5	0.03	0.05

Tableau IV.2: Composition chimique de Tôle en acier brut

A partir des tableaux ci-dessus, on remarque que les deux tôles (l'acier inoxydable satinée et acier doux pour émaillage conventionnel) ont une teneur en carbone très faible, elle est inférieure à 0.03 % pour l'inox et 0.08% pour l'acier brut. L'acier Inox est un acier fortement allié au chrome qui lui confère la propriété de résister à la corrosion.

Le pourcentage des autres additifs pour les deux aciers est faible.

IV.3 Examen métallographique

On a effectué une analyse métallographique des deux matériaux (acier inoxydable et tôle acier doux pour émaillage conventionnel) à l'aide d'un microscope optique.

Ces échantillons ont été polis avec papier abrasif jusqu'au grade 4000. La microstructure a été révélée par une attaque électrolytique pour l'acier inoxydable satinée (inox) elle est réalisée avec une solution d'acide oxalique, sa composition chimique est de 10g de $C_2H_4O_4$ et 100ml HO sous les paramètres suivants : 9 Volts et 45s de temps d'attaque. Et une attaque chimique (Nital sa composition chimique 1 à 4 % de HNO_3 , reste : C_2H_5OH .) à froid pendant 40s pour l'acier doux émaillage conventionnel (brute).

Cet examen nous permet d'avoir un premier aperçu sur l'état structural de ces matériaux et pour révéler la morphologie des différentes phases présentes ainsi que les joints de grains austénitiques

L'observation au microscope optique de chaque éprouvette a donné les macrographies suivantes :

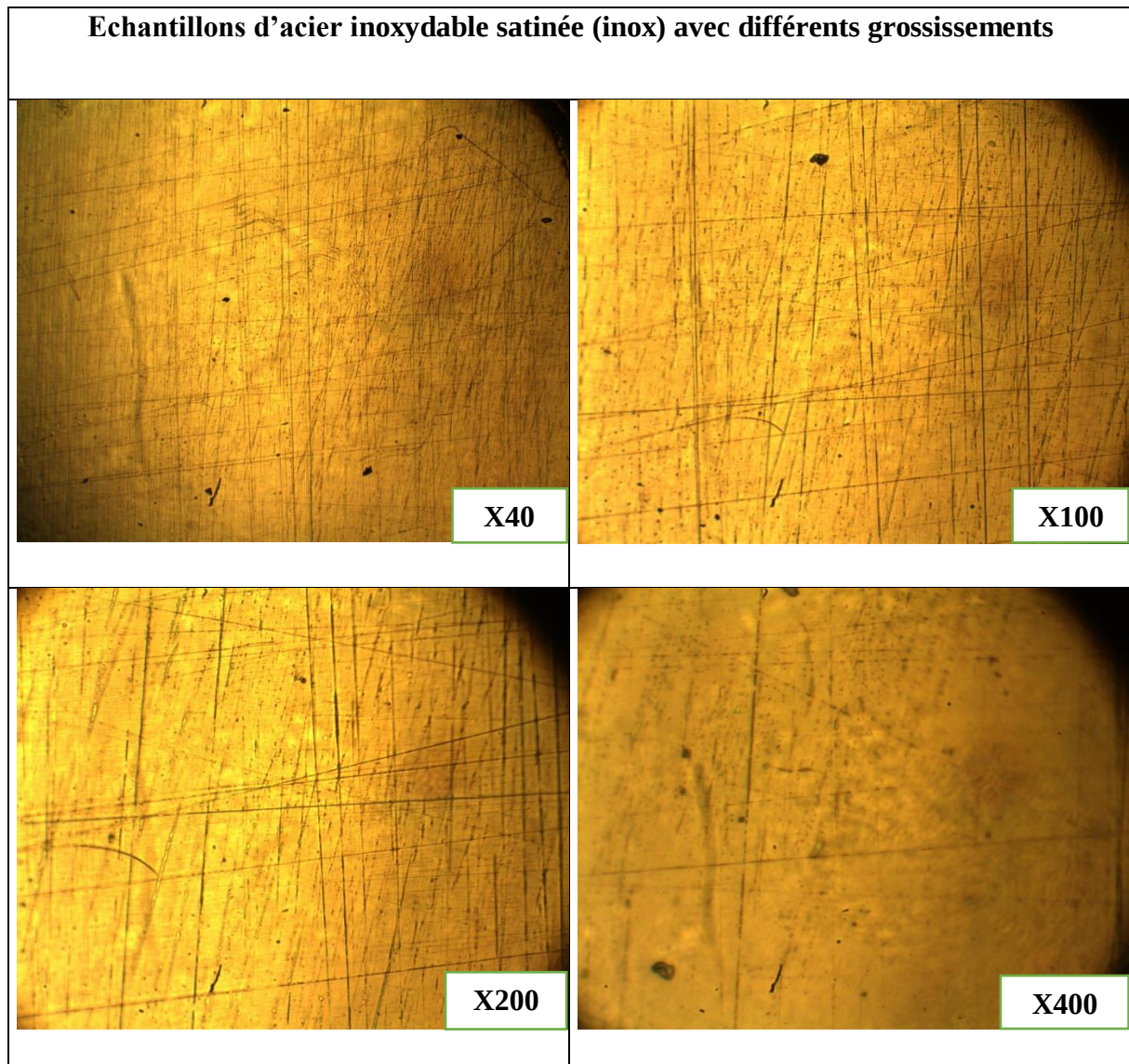


Fig.IV.1 : La microstructure de l'acier inoxydable satinée (inox) avec différents grossissements

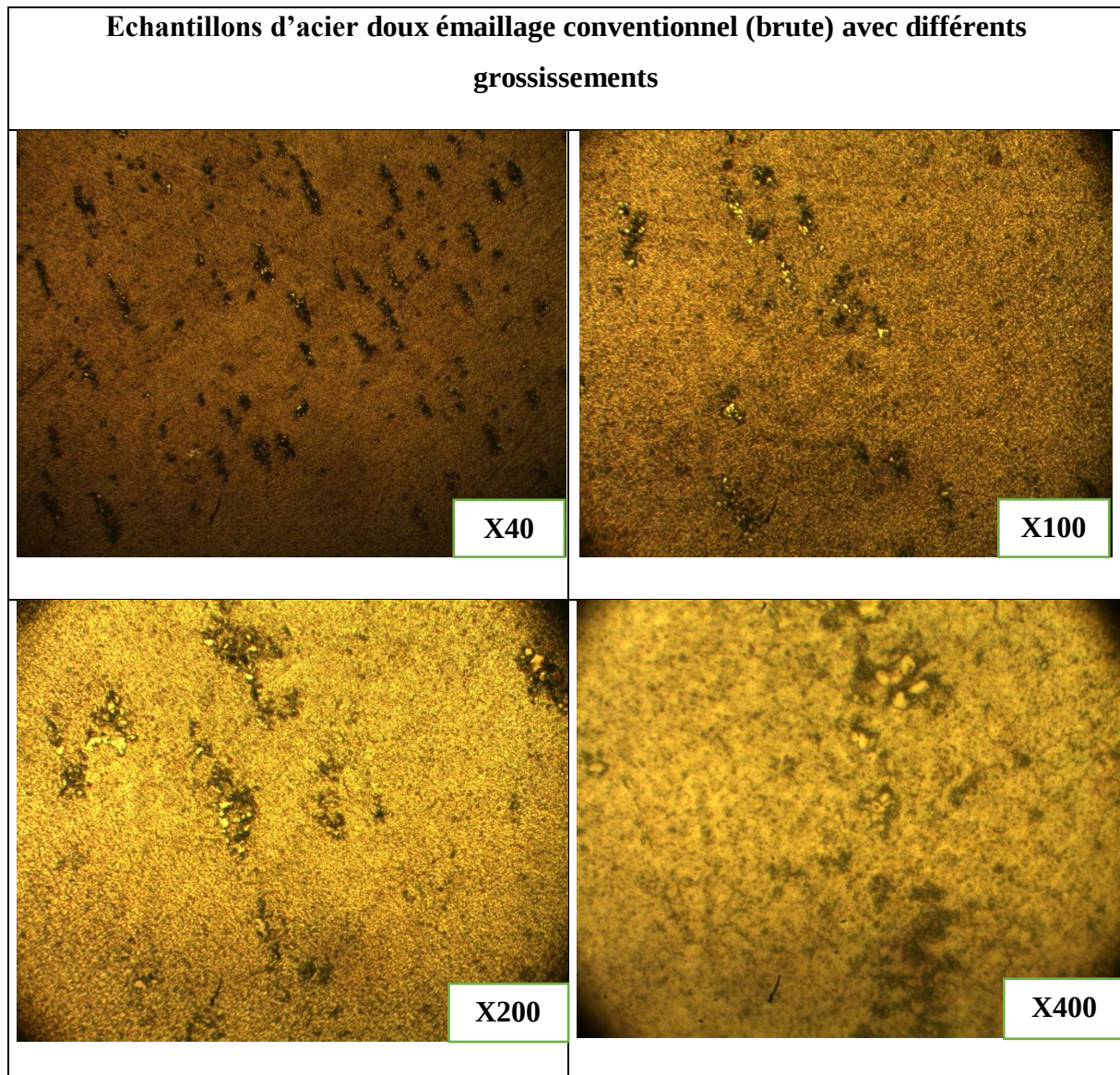


Fig.IV.24 : La microstructure de l'acier doux pour émaillage conventionnel (brute) avec différents grossissements

Les figures ci-dessus représentent la micrographie de la tôle d'acier utilisée au sein de l'entreprise ENIEM, après une attaque électrolytique pour l'acier inoxydable satinée et une attaque chimique au Nital pour l'acier doux émaillage conventionnel.

La résolution du microscope optique ne nous permet pas de conclure sur les différentes phases des deux aciers. Néanmoins, pour l'acier doux, on observe des grains de forme polygonaux, irréguliers et de diverses tailles caractéristiques de la ferrite.

IV.4 Essais de traction

Un protocole d'essai de traction sur les deux aciers a été réalisé selon la norme **iso 6892-1**. Les résultats sont exposés sous forme de tableaux et de graphes, obtenus par la machine d'essais au laboratoire de physique **Electro Industrielle AZAZGA**.

Cet essai nous permet de montrer la ténacité, la différence de l'allongement élastique et plastique des deux matériaux étudiés en déterminant les caractéristiques mécaniques suivantes :

- La limite élastique R_e (MPa).
- La résistance à la traction R_m (MPa).
- L'allongement $A\%$.

L'essai de traction est effectué sur la machine **SCHENCK TREBEL** d'une capacité maximale de 100 KN a une température ambiante, sous une vitesse de 0,125 à 500 mm/min.

On a utilisé 4 éprouvettes normalisées selon la norme **ISO 6892-1**.

Les tests ont été effectués pour la vérification des résultats par rapport à la fiche technique, sur des éprouvettes haltère plates d'épaisseur de 0.6 mm avec une vitesse de 1.3 mm/min.

Les résultats obtenus sont répertoriés dans les tableaux suivant :

IV.4.1 Pour l'acier inoxydable satinée (inox)

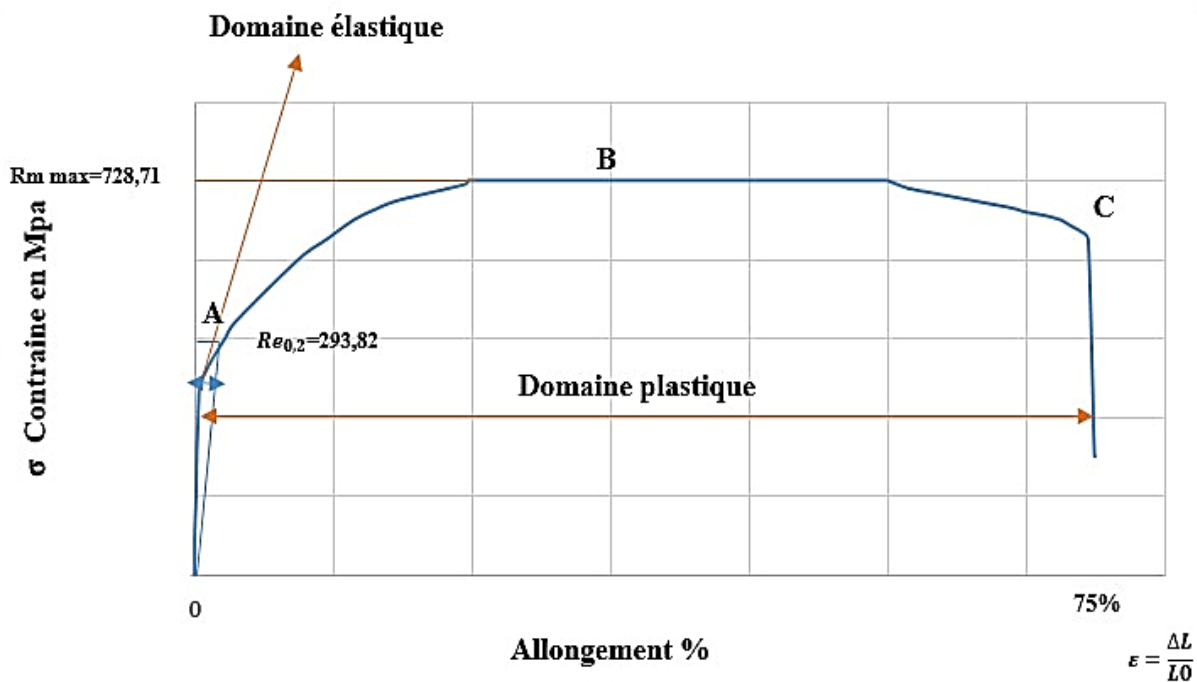


Fig.IV.3 : Graphe de traction d'éprouvette de l'acier inoxydable satinée (inox)

Eprouvette	A ₈₀ (%)	Re _{0.2} (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)
1	75%	293.82	728.71

Tableau IV.3 : Résultats de l'essai de traction pour l'acier inoxydable satinée (inox)

IV.4.2 Pour l'acier doux émaillage conventionnel (brute)

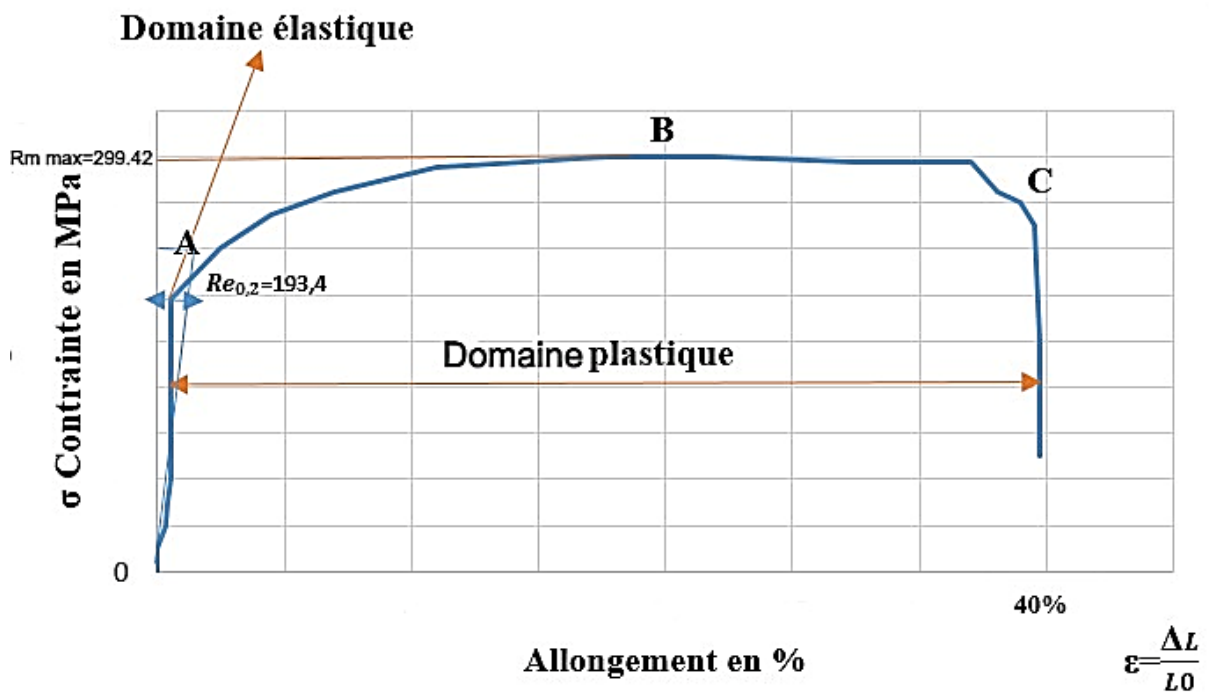


Fig.IV.4 : Graphe de traction de d'éprouvette de l'acier doux émaillage conventionnel (brute)

Eprouvette	A ₈₀ (%)	Re _{0.2} (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)
1	40%	193.4	299.42

Tableau IV.4 : Résultats de l'essai de traction pour l'acier doux émaillage conventionnel (brute)

IV.4.3 Analyse des résultats

Sur le diagramme Contrainte-Déformation, on observe les phases successives suivantes comme le montre les figure :

- Zone OA : c'est phase élastique où la déformation est réversible (zone parfois linéaire)

- Zone AB : une déformation permanente homogène appelée aussi déformation plastique répartie. Les allongements se croissent plus vite que les charges
L'allongement provoque une diminution régulière de la section tout au long de l'éprouvette.
Le point B correspond à la charge maximale et correspond à la résistance mécanique du matériau.
- Zone BC : la déformation plastique se localise dans une petite portion de l'éprouvette qui est hétérogène, c'est la striction. On aboutit à la rupture en C. les allongements croissent avec une diminution de la charge.

On remarque que le domaine plastique de la tôle en acier inoxydable satinée est très large par rapport à celui de tôle laminée à froid en acier doux émaillage conventionnel, les résultats expérimentaux montrent que les caractéristiques de résistances des tôles sont différentes.

La résistance à la rupture de l'acier Inoxydable est plus élevée que celle de tôle laminée à froid en acier doux émaillage conventionnel.

Ce qui nous permet de classer ces deux aciers parmi les acier HLE.

IV.5 Essai de dureté Vickers

La dureté est un essai majeur dans la caractérisation mécanique de nos matériaux d'étude. Ce dernier nous a permis de caractériser le phénomène de dureté, les résultats sont obtenus en fonction de la taille de l'empreinte laissée par le pénétrateur.

Pour la mesure de dureté, nous avons exploité 2 essais comportant 3 mesures pour chacun de nos aciers normalisés sur une machine **ZWICK ROELL HV10**, à une température ambiante, sur des éprouvettes qu'on a découpé à l'aide d'une scie à métaux.

Les deux figures ci-dessous nous montrent les 3 points d'essais sur chacun de nos éprouvettes avec deux forces différentes $F_0=60 \text{ kg}$ et $F_1=15 \text{ kg}$ sur les deux aciers (acier inoxydable satinée et acier doux émaillage conventionnel).



Fig.IV.5 : Essai sur l'acier inoxydable satinée (inox)



Fig.IV.6 : Essai sur l'acier doux émaillage conventionnel (brute)

Dans le premier essai on a exercé une force de **60 kg** sur chacun les valeurs obtenues sont enregistrées dans le tableau suivant :

1) Pour $F_0=60\text{ kg}$

Acier inoxydable satinée	Pt ₁	Pt ₂	Pt ₃
	0.9mm / 0.9mm	0.9mm/0.89mm	0.9mm/0.89mm

Tableau IV.5 : Résultats de dureté de l'essai n°1

On remarque que les valeurs n'ont pas un grand écart ; elles sont très proches.

Sachant que ces résultats sont calculés en fonction des diagonales de l'empreinte mesurée grâce au microscope optique on mesure la première diagonale « d_1 » puis la seconde « d_2 » et on calcule la valeur moyenne « d » en utilisant la relation :

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} (mm)$$

La valeur de surface de forme pyramidale est donnée par la relation :

$$S = \frac{d^2}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} = \frac{d^2}{1.854}$$

avec γ est l'angle de la pyramide égale à 136°

Le rapport de la charge de la surface devient :

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

$$d = 0.9 \text{ mm}$$

$F_0 = 60 \text{ kg}$

- $HV(\text{Inox}) = 1.854 \frac{60}{0.9^2} = 137.333$
- Pour l'acier brute n'a pas pu résister à la force F_0 qui est égale à **60 kg** (déformation de la tôle).

2) Pour $F_1 = 15 \text{ kg}$:

Acier inoxydable satinée (inox)	Pt ₁	Pt ₂	Pt ₃
	0.4mm	0.4mm	0.4mm

Tableau IV.6 : Résultats de dureté de l'essai n°2

Acier doux émaillage conventionnel (brute)	Pt ₁	Pt ₂	Pt ₃
	0.6 mm / 0.6 mm	0.6 mm / 0.6 mm	0.6 mm / 0.6 mm

Tableau IV.7 : Résultats de dureté de l'essai n°

- Même protocole avec l'essai précédent on remarque que les valeurs ont des différences très petites ce qui veut dire que sont bonnes aussi.

$$d_{(\text{Inox})} = 0.4 \text{ mm}$$

$$d_{(\text{acier noir})} = 0.6 \text{ mm}$$

On calcule H_v des deux aciers ;

- $H_v(\text{Inox}) = 1.854 \frac{15}{0.4^2} = 173.812$
- $H_v(\text{acier brute}) = 1.854 \frac{15}{0.6^2} = 77.24$

D'après les résultats des expériences 1 et 2 on déduit que la tôle en acier inoxydable satinée ($X_2\text{CrNi18-9}$ /304L) est plus dure que la tôle laminée à froid en acier doux émaillage conventionnel (brute).

IV.6 Résultat de l'essai d'Emboutissage

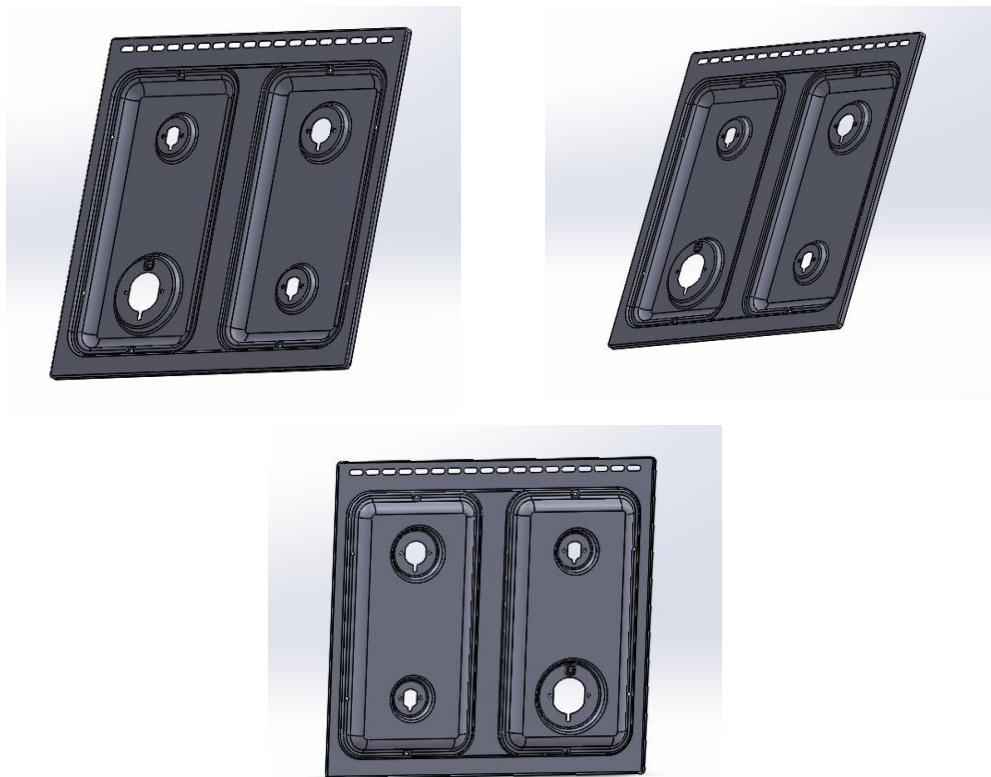


Fig.IV.7 : Parois latérales en acier inoxydable satinée (inox)

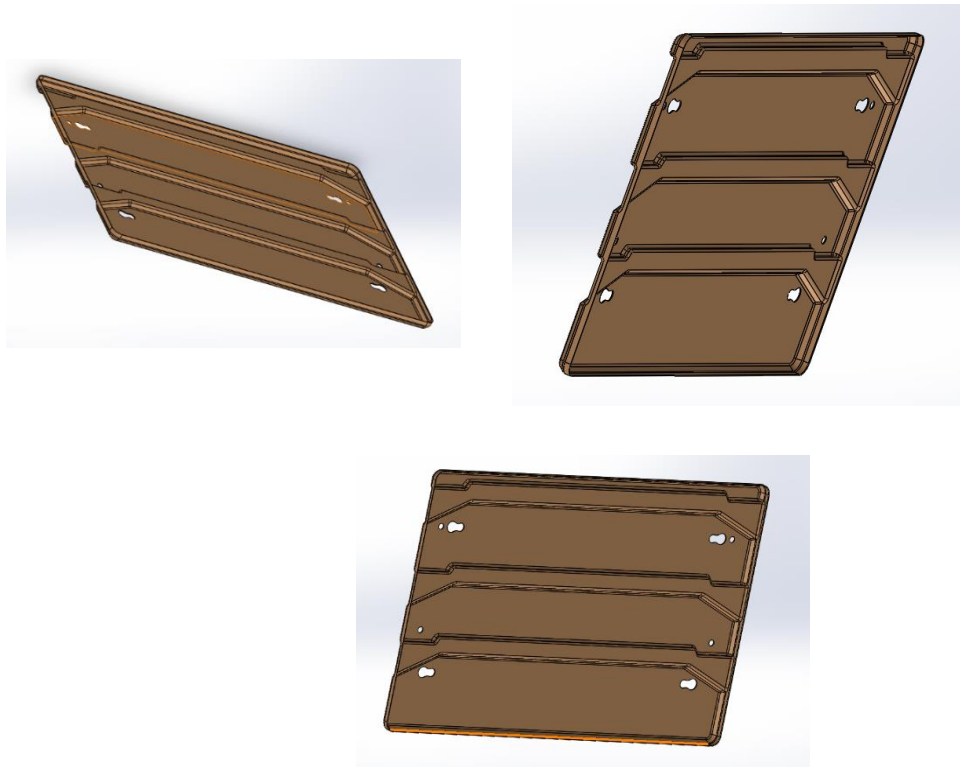


Fig.IV.8: Cache cuisinière en acier doux émaillage conventionnel (brute)

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné les différents résultats expérimentaux obtenus. les essais réalisés au cours de ce travail nous ont permis de comprendre que les acier inoxydable satinée 304L sont des acier austénitique et dépend essentiellement de la transformation martensitique induite par la déformation plastique de l'austénite et il présente une excellente résistance à la corrosion ,ses aciers sont riches en chrome, et ont une résistance mécanique élevée.

Par contre les tôles laminées à froid en acier doux pour émaillage conventionnel contiennent un très faible pourcentage de carbone pour cette raison, l'acier doux est aussi appelé **acier brute** il se classe dans la famille des aciers ferritiques, les propriétés de l'acier doux dépendent principalement de cette petite quantité de carbone. La faible teneur en carbone entraîne une augmentation de la ductilité pour cela il est usinable et soudable mais il présente une faible résistance à la corrosion.

Conclusion générale

Dans le cadre de la présente étude, nous avons étudié les caractéristiques des tôles laminées à froid en acier doux pour émaillage conventionnel et les aciers inoxydables satinée 304L, avec une présentation du principe d'emboutissage et des généralités sur : les modes d'emboutissage, les matériaux emboutissables et les formes d'emboutis.

Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise son historique, le développement et organisation ensuite une présentation de leur mission, les activités principales de chaque unité et en fin on a présenté leur politique.

Dans le deuxième chapitre on a décrit le procédé d'emboutissage, leur type et les paramètres liés à la presse, les modes de déformation qui est possible de rencontrer lors d'une opération d'emboutissage.

Ensuite on a fait une analyse sur les principaux modes de déformation qu'on peut rencontrer dans la pratique qui sont l'expansion et le retreint et les différentes tôles utilisées dans l'opération tel que les aciers, les alliages non ferreux ... Et au final nous avons montré les principaux défauts des pièces embouties la rupture, retour élastique, le plissement et les paramètres liés à la tôle tel que la taille de la tôle, la lubrification et la température.

Le troisième chapitre est consacré pour les techniques expérimentales, on a caractérisé nos matériaux d'études par leur désignation, la norme, leur composition chimique, mécanique et leur aspect de surface en référence de la fiche technique donnée à l'entreprise. Pour vérifier ces caractéristiques citées on a effectué :

- Une étude métallographique pour voir la microstructure des deux aciers (la martensite la ferrite.....) et pour arriver à cela on a réalisé les étapes qui précèdent l'opération, un prélèvement des échantillons au début, l'enrobage, polissage et enfin une attaque chimique
- Un essai de traction pour vérifier le domaine élastique, l'allongement plastique et la résistance à la rupture
- un essai Vickers pour vérifier la dureté des deux matériaux.
- Et les deux essais d'emboutissage fréquemment utilisés à L'ENIEM (Erichsen et Swift).

Enfin le quatrième chapitre résultats et interprétations. Dans ce chapitre, on a pu distinguer la différence entre ces deux matériaux et les caractéristiques de chacun.

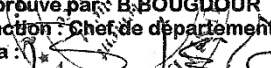
La principale différence entre l'acier doux et l'acier inoxydable réside dans le fait que l'acier doux a une faible teneur en carbone, tandis que l'acier inoxydable a un pourcentage important de chrome et de nickel comme composants principaux. Et l'aptitude à l'emboutissage d'un matériau peut s'apprécier par certaines caractéristiques à partir d'essais instrumentés. La connaissance de celles-ci permet de concevoir la matière plus adaptée à la pièce, de réduire les coûts de production ou d'améliorer les gammes.

Pour finir, 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.

Annexe

TP 5051

 U/CUISSON DTM Sce /EDGP	FICHE TECHNIQUE	Document N°: 12 Etabli par: K.ALIK Fonction: Chargé de projet visa: 
Pièce/composant :..... ☐ Matière :..... ☒ Ensemble :..... ☐ Produit fini :..... ☐	Désignation: Tôle en acier inoxydable satinée (X ₂ CrNi18-9) / 304L Selon la Norme EN 10088-2-2014 1.4307	Vérifié par: B. BOUGDOUR Fonction: Chef de département Visa:  Approuvé par: B. BOUGDOUR Fonction: Chef de département Visa: 
Code : voir tableau		

I. Dimension nominales selon la norme EN 10131 :

N°	Code	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)
01	130 096A	0.6	640
02	130 097A	0.6	770

II. Caractéristiques :

II.1 Caractéristiques Mécaniques :

Limite d'élasticité R _p 0.2% N/mm ²	Resistance à la traction R _m N/mm ²	Allongement après rupture A ₈₀ %
220	540-750	45

II.2 Caractéristiques Chimiques :

C(%)	Si(%)	Mn(%)	Ni(%)	Cr(%)	N(%)	S(%)	P(%)
≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	8.0-10.5	17.5-19.5	≤ 0.10	≤ 0.015	≤ 0.045

III. Aspect de surface :

- La qualité de surface est : 2B/SAT
- La surface tôle en INOX doit être protégée par un film vinylique (PS/PVC) sur la surface extérieure.

TP 5051

	U/CUISSON DTM S/EDGP	FICHE TECHNIQUE		Document N°: 03
	Pièce/composant :..... ☐ Matière :..... ☒ Ensemble :..... ☐ Produit fini :..... ☐	<u>Désignation:</u> Tôle laminée à froid en acier doux émaillage conventionnel NF EN 10209 DCO4 EK, m		Etabli par : L.DJERA Fonction: ING d'études Visa:  Vérifié par : F.DJOUAHER Fonction: Chef de service Visa:  Approuvé par : B.BOUGDOUR Fonction: Chef du département Visa: 
		Code : voir le Tableau		

I. Dimensions nominales selon la norme EN 10131:

N°	Code Bobine	Épaisseur (mm)	Largeur (mm)
01	100 189	2	1000
02	100 307	0.6	638
03	100 308	0.6	778
04	100 309	0.6	490
05	100 310A	0.6	595
06	100 311A	0.6	610
07	100 312A	0.6	555
08	100 313A	0.6	747
09	100 315	0.8	920
10	100 323	0.8	575
11	100 317A	0.8	1040
12	100 721	1	900
13	100 324	0.8	650
14	100 330	0.8	940
15	100 193	0.7	850
16	130 122	0.6	600
17	130 123	0.7	540
18	130 124	0.8	1130
19	130 125	0.8	600
20	130 126	1	665
21	130 120	0.6	770
22	130 121	0.6	950

II. Caractéristiques :

II.1 Composition chimique :

Composition Chimique en % (Max) sur coulée			
C	Mn	P	S
0,08	0.5	0.03	0.05

II.2 Caractéristiques Mécaniques :

Ep (mm)	Re N/mm ²	Rm N/mm ²	A ₈₀ % Min
0.5 -0.7	140-240	270-350	34
0.7-3.0	140-220		36

I. Aspect de surface :

Aspect de surface bon et de finition m.

II. Aptitude au revêtement de surface :

Les pièces des tôles (de 01 à 15) après transformation recevront une couche de masse et une couche de couverture, et quelques pièces seront zinguées, les pièces des tôles (de 16 à 22) seront émaillées en blanc.

VI. Livraison:

VI.1 Livraison:

Les produits devront être fournis huilés des deux faces avec une couche d'huile neutre non siccative, exempte de corps étrangers et répartie de façon uniforme, de manière que dans des conditions normales d'emballage, de transport, de manipulation et de stockage, les produit ne présentent pas de corrosion dans un délai de 06 mois.

VI.2 Mode de livraison:

La tôle devra être livrée en bobine:

- ❖ Poids de la bobine mère: < 10 T
- ❖ Diamètre intérieur : 490 à 530 mm
- ❖ Diamètre extérieur : < 1400 mm

Références bibliographiques

- [1] ENIEM Tizi-Ouzou ; Base de documentation E.N.I.E.M ; Z.I ; AISSAT Idir ; Oued Aissi ; Tizi-Ouzou ; Algérie ; Tél : +213.26.41.32.14 ; Fax : +213.26.20.04.24
- [2] Posté par EXAPRO site de relation des acheteurs et vendeurs d'équipements industriels du monde entier partagé en Juin 2013.
- [3] P. Poloukhine, V. Tiourine, P. Davidkov, D. Vitanov, Traitement des métaux par déformation. Mir Moscou, 1987.
- [4] D.François, 1993, ‘Essais mécanique des métaux, ‘ Ph.D, Technique de l'ingénieur, Doc M120
- [5] J-C GIROUD 2016, ‘OPERATION D'USINAGE ‘ Publié dans un site de LESLUBRIFIANTS.COM
- [6] B. Wassilieff, Emboutissage. Règles principales, calculs, exemples. Edition Dunod, Paris, 1970.
- [7] Clara Stalder 2020, Bricofer Quincaillerie métallique en Alsace, Acier inoxydable
- [8] Article publié à FRANCOPUR situé dans le Nord de la France, spécialiste dans la protection et décoration des métaux par peinture industrielle (poudre cuite à four).
- [9] La microstructure des aciers et des fontes Genèse et interprétation Madeleine Durand-Charre Institut National Polytechnique de Grenoble.
- [10] Fiche technique fournit par de la Société Nationale de L'électroménager ENIEM
- [11] J.C.Rodriguez, ‘instruction de travail spécifique laboratoire physique’. BCR.PA 410 136-V
- [12] Technique métallographique. Préparation des surfaces métallique pour micrographie et macrographie DUNOD PARIS 1960
- [13] Alain-Col,2010, ‘Emboutissage des tôles, importance des modes de déformation’ BM 7510
- [14] AFNOR, 1982, ‘produit sidérurgique’, Tome 6, Paris