

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

Et de la recherche scientifique

UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : GÉNIE DES MATÉRIAUX

PAR :

SAFER Redha

BAOUCHE Hicham

Thème

Simulation numérique et expérimentale de l'emboutissabilité d'une tôle, étude de cas sur le panneau avant d'une machine à laver Brandt.

Soutenu le 14-07-2022 devant le jury composé de :

Mr. YOUNES .R Président.

Mr. BRADAI. M.A Rapporteur.

Mr. IDIR. A Examineur.

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2021/2022

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier « الله » le tout puissant pour nous avoir donné le courage, la santé, et pour nous avoir permis de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier profondément notre encadreur **Mr. BRADAI M, A** pour avoir dirigé ce mémoire. Nous tenons particulièrement à le remercier pour sa grande et constante disponibilité, la qualité de ses conseils, sa qualité humaine et la confiance qu'il nous a donnée durant ce travail

Nos remerciements également à **Mr. YOUNES. R** pour ses conseils ses orientations durant notre étude.

Nos vifs remerciements vont aux membres de jury pour avoir accepté de juger notre présent travail

Nos remerciements également aussi à **Mr : BOUKHIAR Aissa** qui à participé a nos Aidé de réalisé se travail.

Sans oublier **l'équipe du hall technologie d'université de Bejaia.**

Aussi nos remerciements à **l'équipe du hall technologie d'université de Jijel**

Nos vifs remerciements également aux **Mr : BOUNAR**

Nos vif et sincères remerciements à **Mr : BELMESSOUS Abdelmounaime**

Et Mr OUNIS Houdhayfale directeur bureau d'étude, aussi toute l'équipe d'unité RD de complexe électroménager de SAMHA SETIF.

Je tiens également à remercier tous les personnes qui ont participé de près ou de loin l'accomplissement de ce travail et qui ils soient sincèrement remercié

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents, qui m'ont donné le courage et les encouragements et les conseils,

Tout au long de mes études.

A Mon grand-père que le bon dieu garde son âme dans son vaste paradis,
et ma grand-mère dieu la garde pour nous.

A toute ma famille

A tous mes amis avec lesquelles j'ai partagé mes moments de joie et bonheur

Que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin trouve ici

l'expression de ma reconnaissance

SAFER Redha

Dédicace

On dédie ce modeste travail de fin d'étude à :

Ceux qu'on aime le plus au monde, à mes très chers parents qui nous ont apporté leur soutien, dans les moments difficiles avec un tant d'amour et d'affection et qui ont souffert sans se plaindre afin qu'on atteigne ce niveau que, le bon Dieu leur accorde une longue vie.

A toute ma famille, qui nous ont toujours encouragés et soutenu dans les moments les plus durs, on vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, vous protège et vous garde.

Je dédie à tous mes amis avec qui j'ai partagé mes instants de joie et de bonheur

BAUCHE Hicham

Sommaire

Sommaire

	Introduction générale.....	1
	Chapitre I : procédés de mise en forme des tôles	
I.1	Introduction.....	2
I.2	procédé d'emboutissage.....	2
I.2.1	Généralités de l'emboutissage industrielle.....	3
I.2.2	L'emboutissage	4
I.3	L'emboutissage en température.....	6
I.3.1	L'emboutissage à froid.....	6
I.3.2	L'emboutissage à chaud	6
I.3.3	Les aciers standards pour emboutissage.....	7
I.4	Les tôles minces en acier pour emboutissage.....	8
I.5	Emboutissage à froid des tôles métalliques	10
I.6	Critère d'emboutissage	11
I.6.1	Le coefficient d'érouissage ou coefficient de consolidation (n).....	11
I.6.2	Le coefficient d'anisotropie (r).....	11
I.7	Matériaux et formes d'emboutis.....	12
I.7.1	Modes de déformation des matériaux lors de l'opération d'emboutissage.....	12
I.8	Forme des pièces emboutis.....	17
I.9	Caractérisation en emboutissage.....	19
I.9.1	Mesure de déformation en emboutissage.....	19
I.9.1.1	Principe et analyse des déformations.....	19
I.9.2	Courbes limites de formage	20
I.9.3	Exemple d'utilisation des courbes limite.....	21
I.10	Essai d'emboutissage.....	21
I.11	Conclusion.....	22
	Chapitre II : Matériaux e techniques	
II.1	Introduction.....	23
II.2	Matériaux utilisés	23

Sommaire

II.3	présentation des échantillons	24
II.3.1	Elaboration des échantillons.....	24
II.4	Etude métallographique.....	25
II.4.1	préparation des surfaces	25
II.4.2	Examen métallographique.....	26
II.5	Essai mécaniques	26
II.5.1	Essai de traction.....	26
II.5.2	Essai de dureté Rockwell.....	27
	Chapitre III : Résultats et discussions Expérimentales	
III.1	Etude métallographique.....	29
III.2	Les résultats de l'essai dureté Rockwell.....	30
III.3	Les résultats des essais de traction.....	34
III.4	Simulation numérique.....	37
	Conclusion général	40

Liste des figures

Liste des figure

Chapitre I		
Procédés de mise en forme des tôles		
Figure I.1	Procédé d'emboutissage	03
Figure I.2	(a) Emboutissage on expansion, (b) emboutissage en rétreint	03
Figure I.3	Définition et symboles pour les essais d'emboutissage	05
Figure I.4	L'emboutissage à froid	06
Figure I.5	L'emboutissage à chaud	07
Figure I.6	Position des éprouvettes de traction par rapport à la direction de laminage DL de la tôle pour mesure de coefficient d'anisotropie d'une tôle	12
Figure I.7	Mode de déformation dans le repère des déformations principales majeure Et mineure	13
Figure I.8	Emboutissage en expansion pure type Erichsen	14
Figure I.9	Les modes de déformation sur un embouti	15
Figure I.10	Plissement dans la partie libre de l'embouti	16
Figure I.11	Emboutissage renversé	18
Figure I.12	Emboutissage de pièces demi sphérique	18
Figure I.13	Emboutissage rectangulaires	19
Figure I.14	Courbe limite de formage pour différents domaines	20
Figure I.15	Essai d'emboutissage sur une tôle	22
Chapitre II : Matériaux et techniques		
Expérimentales		
Figure II.1	Echantillon utilisé dans les essais de traction	24
Figure II.2	Echantillon utilisés pour les essais de dureté et l'examen métallographique	25
Figure II.3	Polisseuse METASERV 2000	26
Figure II.4	Microscope optique métallographique	26
Figure II.5	D'uromètre HECKERT	27

Liste des figure

Chapitre III Résultats et discussions		
Figure III.1	Caractérisation métallographique del'acier doux a)0.7mmetb) 0.8mm	29
Figure III.2	Profil de la dreté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0.7mm et 0° de la direction de laminage.	30
Figure III.3	Profil de la dreté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0.7mm à 90° de la direction de laminage.	31
Figure III.4	Profil de la dreté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0.7mm dans la direction de laminage (B : à 0° de la direction de laminage et C : 90°)	31
Figure III.5	Profil de la dreté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0.8mm à 0° de la direction de laminage	32
Figure III.6	Profil de la dreté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0.8mm à 90° de la direction de laminage	32
Figure III.7	Profil de la dreté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0.8mm dans la direction de laminage (B :0° de la direction de laminage et C : à 90° de la direction de laminage).	33
Figure III.8	La valeur moyenne de la dreté HRC selon les deux directions de laminage	33
Figure III.9	Superposition des courbes de traction de la tôle d'épaisseur 0.7mm selon les trois directions de laminage.	34
Figure III.10	Superposition des courbes de traction de la tôle d'épaisseur 0.8mm selon les trois directions de laminage	35
Figure III.11	Caractéristiques mécanique de la tôle d'épaisseur 0.7mm	35
Figure III.12	Caractéristiques mécanique de la tôle d'épaisseur 0.8mm	36
Figure III.13	Simulation des contraintes de la tôle d'épaisseur 0.7mm sous l'effet des forces appliquées	37
Figure III.14	Simulation des contraintes de la tôle d'épaisseur 0.8mm sous l'effet des forces appliquées	38

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1	Les aciers doux à faible teneur en carbone	7
Tableau I.2	Les quatre classes des tôles définies par la norme française NF A36-301	8
Tableau I.3	Caractéristique mécanique des produits plats laminés à froid	9
Tableau I.4	Composition chimique des produits plats (en acier doux) pour emboutissage à froid.	10
Tableau I.5	Caractéristiques des différentes catégories des tôles.	16
Tableau II.1	Composition chimique des tôles utilisées	23
Tableau II.2	Caractéristiques mécanique des aciers utilisées.	24

Introduction générale

Introduction générale

La conception et la production des pièces métalliques par emboutissage des tôles minces est une méthode industrielle courante. Vue leur diversité d'utilisation dans le domaine électroménager, construction marine et automobile... etc.

Pour la fabrication des tôles mince en acier extra doux pour l'emboutissage, un des problèmes principaux et de savoir si les caractéristique mécanique d'une tôle soit suffisante pour réussir une pièce donnée et son aptitude a donné une surface creuse de forme quelconque.

Le grand inconvénient rencontré durant l'emboutissage des tôles minces en acier est l'apparition de certains défauts de surface sur l'emboutissage par exemple : (des criques, des plissements, des cornes d'emboutissage), Durant l'opération d'emboutissage l'anisotropie des propriétés plastique intervient fortement dans le comportement de la tôle.

Le bureau d'étude de l'entreprise (SAMHA Home Appliance) nous a chargés de concevoir des tôles minces suivre à fabrication des pièces avec une géométrie bien déterminée basant sur l'opération d'emboutissage (étude de cas sur le panneau avant d'une machine à laver Brandt).

Pour cela nous avons organisé notre travail à l'étude expérimentale et numérique de la plasticité d'une tôle mince en acier utilisé en emboutissage dans l'industrie électroménager (Brandt)

Nous avons partagé notre travail en trois chapitres :

- Le premier chapitre : Traitement la procédure de mise en forme des tôles par déformation plastique (emboutissage).
- Le deuxième chapitre : nous avons présenté les matériaux et techniques expérimentales, et étude métallographique de notre matériau puis l'ensemble des essais de traction et dureté pour détermination leur caractéristique mécanique.
- Le dernier chapitre : contient les résultats expérimentaux et numériques. Après identification les paramètres de la loi du comportement utilisé du matériau et nous avons effectué la comparaison entre la tôle en acier doux laminée a froid DC04 à différentes épaisseurs (0,7mm et 0,8mm).

Chapitre I

Procédés de mise en forme
des tôles

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

I.1 Introduction

La technique de mise en forme des tôles (découpage, pliage, emboutissage ...) qui consiste à obtenir à partir des tôles planes prédécoupées (ou flan), une pièce dont la forme est constituée de surface non développable. Le déchirement prématuré de la tôle lors de la mise en forme (pliage, emboutissage...) est l'un des grands problèmes posés actuellement au niveau de l'industrie mécanique. Dans ce chapitre, on parlera sur le procédé de mise en forme des tôles par déformation plastique (emboutissage).

I.2 Procédés d'emboutissage

I.2.1 Généralité de l'emboutissabilité industrielle

L'emboutissage des tôles minces est un procédé de mise en forme couramment utilisé dans l'industrie. Il consiste à déformer plastiquement des tôles minces à chaud ou à froid afin d'obtenir des pièces de formes complexes. Ce mode de formage s'effectue sur une presse au moyen d'un outillage dont la configuration déterminera 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.

L'outillage utilisé en emboutissage comprend donc (voir la Figure I. 1) :

- ❖ Un poinçon : coulissant plus ou moins vite sur l'axe vertical, et déformant la tôle.
- ❖ Une matrice : elle serre d'appuie à la tôle et lui donne la forme extérieure final au retour élastique prés.
- ❖ Un serre flan : Son rôle est de maintenir plus au moins le flan lors d'une opération d'emboutissage afin d'assurer un écoulement homogène du métal et prévenir les risques de plis ou autres défauts d'emboutissage.

D'autres éléments caractérisant le type de presse.

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

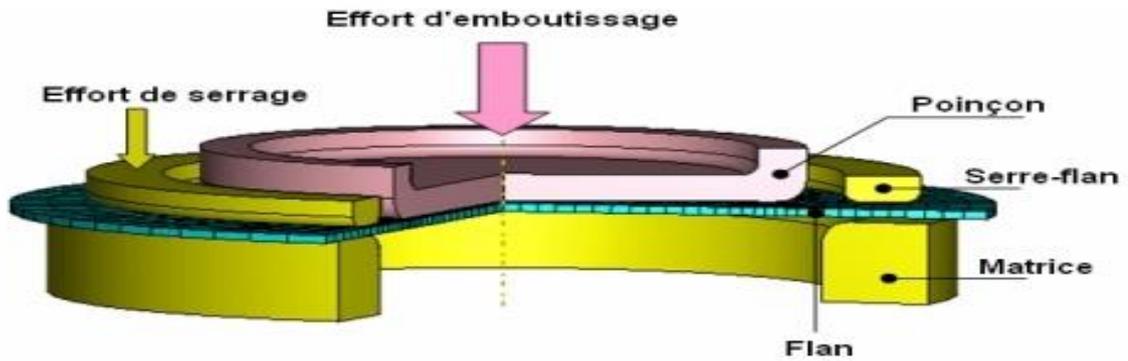


Figure I.1 : procédé d'emboutissage [1]

L'emboutissage impose à la tôle différents modes de déformation dont le but est de conduire à l'obtention d'une surface creuse. Le type d'outillage conditionne les deux cas limites de déformation : l'expansion et le retrait (Figure I.2).

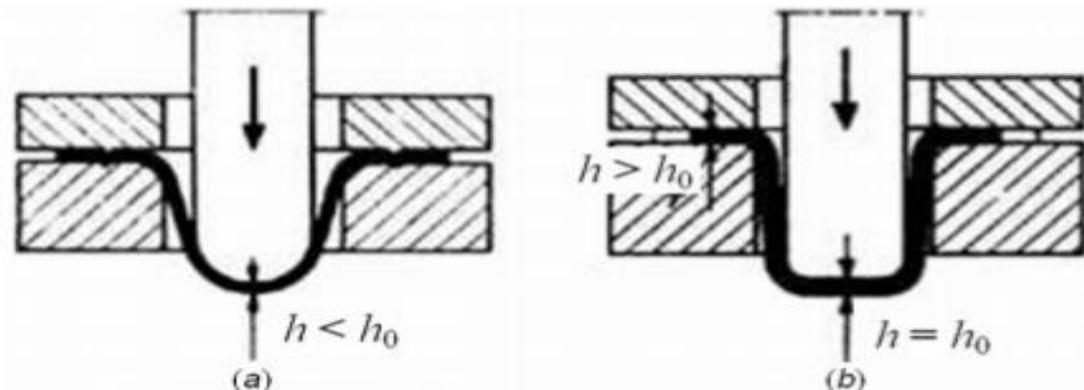


Figure I.2 : a) emboutissage en expansion, b) emboutissage en retrait

Le schéma (a) met en évidence un emboutissage par expansion sur le poinçon, le flan étant bloqué sous la serre flan : l'épaisseur sous le poinçon diminue. Le schéma (b) montre un emboutissage profond avec retrait du métal glissant sous le serre-flan, l'épaisseur entre serre flan et matrice diminue.

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

I.2.2 L'emboutissage

Définition

L'emboutissage est une déformation plastique, qui consiste en la mise en forme d'une feuille de métal (souvent plane) convenablement découpée et appelé flanc, en une pièce plus ou moins creuse et de surface non développable, au moyen d'un outillage spécial monté sur une presse [2].

L'outillage se compose d'au moins trois éléments principaux :

- Le poinçon qui délimite le contour intérieur,
- La matrice qui délimite le contour extérieur,
- Le serre-flanc qui, en pressant sur le métal contre la matrice, évite son plissement et contrôle son écoulement le long de poinçon.

Les pièces embouties peuvent être très complexes et nécessitent une dizaine d'opération successive pour parvenir au produit finale (par exemple : le panneau avant d'une machine à laver Brandt).

La conception des outillages est délicate. Il faut maîtriser la déformation du métal pour éviter les localisations des déformations qui peuvent donner lieu à l'apparition de criques à la surface de la tôle. Il est possible de jouer sur différents paramètres pour contrôler le processus :

- Le nombre de passe,
- L'ordre des opérations,
- L'état de surface des outils,
- La lubrification,
- Le serrage du serre-flanc,
- Le matériau

Tous ces facteurs se combinent pour rendre très complexe la mise au point de l'opération.

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

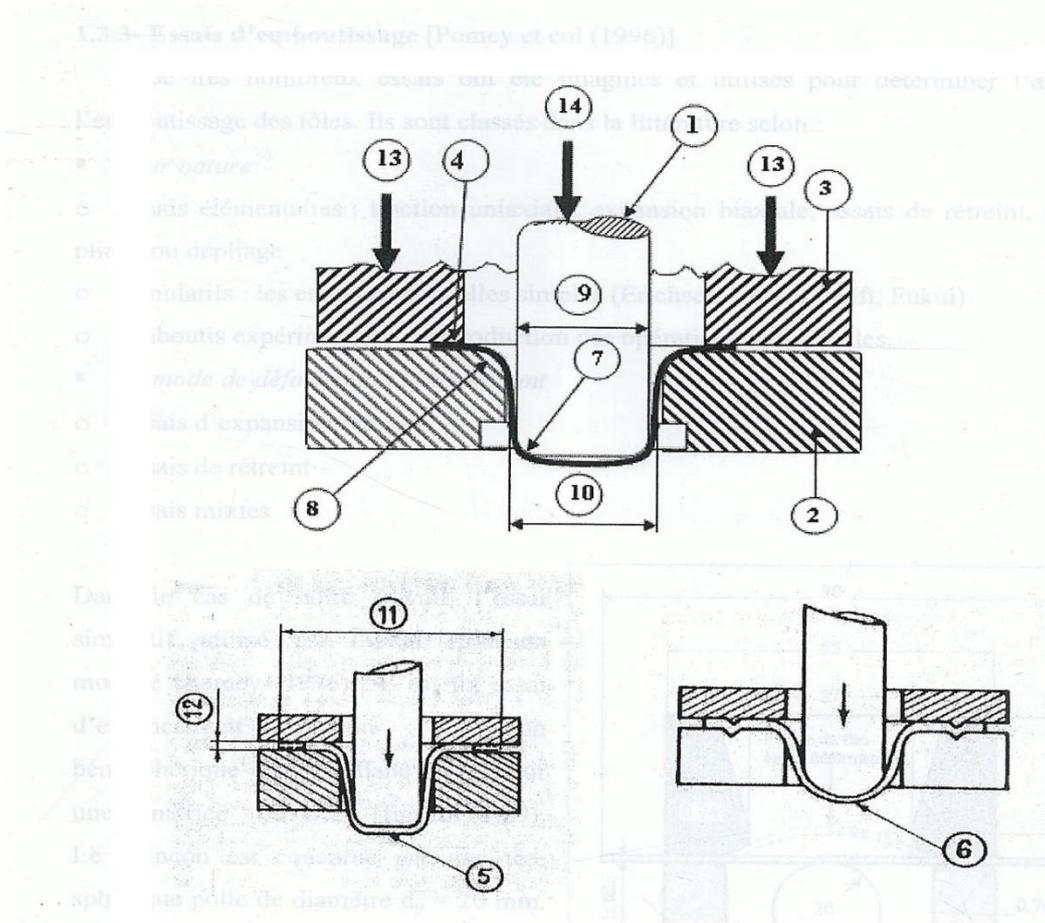


Figure I.3 : définition et symboles pour les essais d'emboutissage [3].

- 1) Poinçon.
- 2) Matrice.
- 3) Serre-flanc.
- 4) Flanc (épreuve).
- 5) Coupelle à fond plat.
- 6) Coupelle à fond hémisphérique.
- 7) Rayon de raccordement ou d'arrondi du poinçon, ρ_p .
- 8) Rayon de raccordement ou d'arrondi de la matrice, ρ_m .
- 9) Diamètre de poinçon, d_p .
- 10) Diamètre de la matrice, d_m .
- 11) Diamètre de flanc, d_0 .
- 12) Epaisseur du flanc.
- 13) Charge du serre-flanc, effort de serrage.
- 14) Effort sur le poinçon.

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

I.3 L'emboutissage en température

I.3.1 L'emboutissage a froid

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 couts 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.

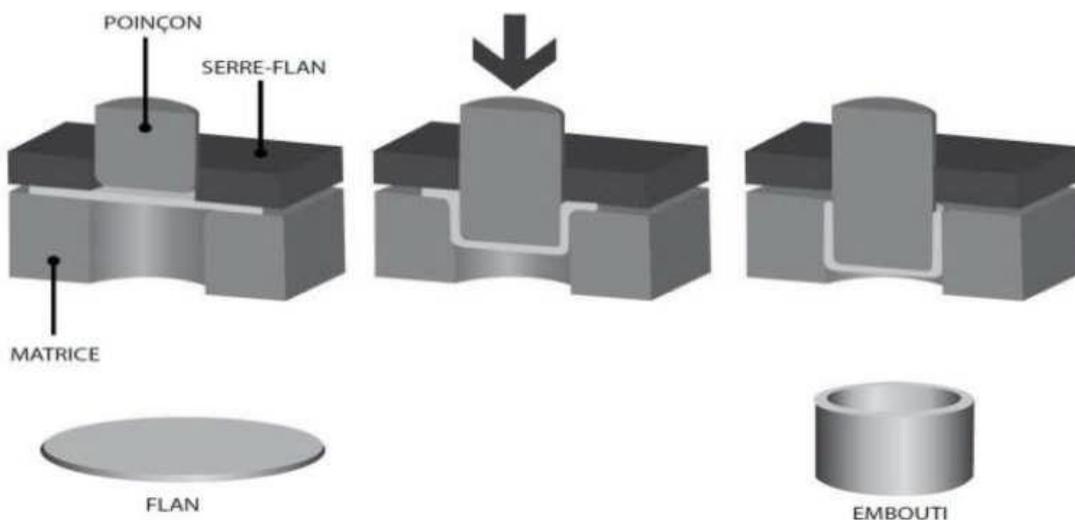


Figure I .4 : L'emboutissage à froid

I.3.2 L'emboutissage a chaud

Principalement utilisé sur presse hydraulique 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'écroutissage 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

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

du fait de l'inertie de chauffage. De plus les pièces finies sont de moins bonne qualité, que ce soit ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement.

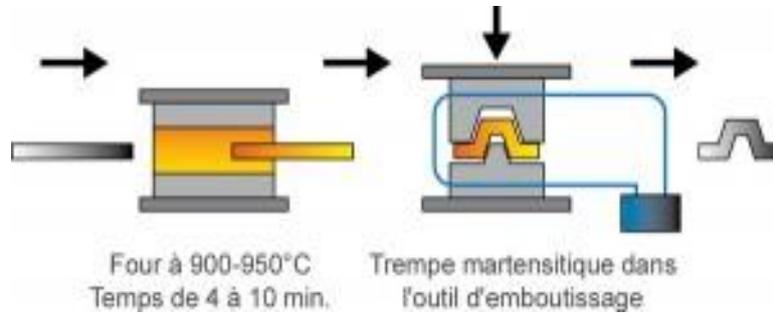


Figure I.5 : L'emboutissage à chaud

I.3.3 Les aciers standard pour emboutissage

Les aciers destinés à l'emboutissage et auxquels on ne demande ni les caractéristiques de ténacité (R_e , R_m) particulièrement élevées, ni un niveau de formabilité exceptionnelle, sont les principales des aciers doux. Leur matrice est essentiellement constituée de ferrite légèrement alliée (Mn, Si) et d'une faible quantité de carbone

Désignation		Trempe	PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES	APPLICATIONS
Nom	Numéro			
1,033	DCO1	Recuit et traité par skin-pass	Formage et pliage.	Composants formés et pliés sous presse
1,0347	DCO3		Aptitude à l'emboutissage, ne vieillit pas.	Etiré en creux et formé par étirage
1,0338	DCO4		Aptitude à l'emboutissage profond, ne vieillit pas.	Embouti profond et formé par étirage

Tableau I.1: les aciers doux à faible teneur en carbone [4]

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

- La dureté ou la trempe de l'Acier Doux laminé à froid est déterminée par analyse, le volume de laminage à froid ou l'application d'un recuit final. Ces opérations permettent d'obtenir des propriétés mécaniques optimales pour l'opération de formage, qu'il s'agisse d'un emboutissage profond, d'un formage ou d'un détournage à plat.
- Le traitement par skin-pass est une légère réduction par laminage après le processus de recuit pour éviter l'apparition des bandes de déformation appelées zones de Piobert-Luders, qui peuvent ruiner l'aspect de l'article formé.
- Les Aciers mous peuvent uniquement être durcis par écrouissage, leur teneur en Carbone étant trop faible pour entraîner un traitement thermique significatif. Toutefois, ils peuvent être cémentés pour obtenir une surface plus dure.[4]

I.4 Les tôles minces en aciers pour emboutissage

La technique moderne de laminage permet d'obtenir actuellement des tôles d'acier très minces avec des tolérances rigoureuses, une surface propre et lisse, un grain fin, une structure homogène et une gamme de très bonne caractéristiques mécaniques s'adaptant aux nécessités imposées par des opérations d'emboutissage difficiles. Selon la norme AFNOR NF A 36-301 (juin 1992). Les tôles sont classées :

- D'après leurs caractéristiques d'emboutissage : tôle de fabrication courant TC, tôle emboutissable E, tôle pour emboutissage sévère ES ;
- D'après l'aspect de la surface (en ce qui concerne E et ES) : qualité X pour laquelle il est admis une légère coloration, de faibles rayures et de légères gravelures, qualité Z dont la face considérée comme visible et pratiquement sans défaut.

Cette classification permet d'obtenir quatre combinaisons indiquées dans le tableau suivant :

	E	ES
X	XE	XES
Z	ZE	ZES

Tableau I.2: les quatre classes des tôles définies par la norme française NF A36-301

Actuellement cette classification est remplacée par la nouvelle norme Européenne EN 10-130 constituées de cinq nuances définies comme suit (tableau 1.2) :

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

- La nuance de base Fe P01 ;
- Des nuances d'emboutissage Fe P03 et Fe P04 à garantie de coefficient d'anisotropie r90 respectivement 1.3 et 1.6 ;
- Une nuance de qualité super emboutissage Fe P05 avec garantie de r90 de 1.9 et du coefficient d'écrouissage n90 de 0.210 et une nuance sans interstitiels Fe P06 _ garantie de r moyen et n moyen r de 1.8 et 0.220 respectivement.

Les caractéristiques mécaniques mentionnées sont valables pour une période limitée dans le temps et uniquement à l'état normal de livraison skin-passe. Ceci est lié au phénomène de vieillissement. Pour cela, les détails contractuels de mise en œuvre à partir de la mise à disposition par le fabricant sont des éléments importants pour l'utilisation de ces aciers et font l'objet de cette actuelle norme européenne.

Il y a lieu de noter que les deux aspects de l'état de surface se définissent dans l'ancienne norme française par les lettres X et Z sont remplacés respectivement par lettre A et B

NUANCE S	Garantie des propriétés mécaniques	Aspect de surface	Limite D'élasticité Re (Mpa)	Résistance à traction Rm(Mpa)	Coefficient	
					D'anisotropie r90	D'écrouissage n90
Fep 01		A B	280	270 a 410
Fep 03	6 moins 6 moins	A B	240	270 a 370	1.3	...
Fep 04	6 moins 6 moins	A B	210	270 a 350	1.6	0.180
Fep 05	6 moins 6 moins	A B	180	270 a 35	1.9	0.220
Fep 06	6 moins 6 moins	A B	182	270 a 350	r _{min} =1.8	n _{min} =0.220

Le fabricant garantit les caractéristiques prévues et l'absence des vermiculures à des déterminées indiqués dans un tableau. Au-delà de ces délais, le phénomène de vieillissement qui engendre de modification de propriétés mécaniques ainsi que l'apparition de vermiculures qui sont en fait des bandes multiples de glissement qui émergent à la surface libre de la tôle.

$$n = \frac{n_0 + 2n_{45} + n_{90}}{4}, r = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4}$$

0, 45, 90 : valeur en degré de l'angle entre la direction et celle de laminage.

Tableau I.3 : caractéristique mécaniques des produits plats laminés à froid [5].

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

Ces nuances d'acier normalisées concernent les tôles laminées à froid destinées à l'emboutissage à froid. Le tableau I.3 définit ces nuances comme des aciers doux (teneur en carbone=0.02 au 0.12%

Nuances	Nuances	Désignation Numériques	Composition chimique			
			C max%	Mn max%	P max%	S max%
Fep 01	DC 01	1.0330	0.12	0.60	0.045	0.045
Fep 03	DC 03	1.0347	0.10	0.45	0.035	0.035
Fep 04	DC 04	1.0338	0.08	0.40	0.030	0.030
Fep 05	DC 05	1.0312	0.06	0.35	0.025	0.025
Fep 06	DC 06	1.0873	0.02	0.25	0.020	0.020

Tableau 1.4: composition chimique des produits plats (en acier doux) pour emboutissage à froid [5]

I.5 Emboutissage a froid des tôles métalliques

L'emboutissage à froid est une déformation plastique à température ambiante, qui consiste en la mise en forme d'une tôle de métal plane convenablement découpée et appelée flanc, en une forme creuse de géométrie plus ou moins complexe, au moyen d'un outillage spécial monté sur une presse [6].

L'outillage se compose d'au moins trois éléments principaux (figure 1.1) :

- ❖ Le poinçon qui délimite le contour intérieur,
- ❖ La matrice qui délimite le contour extérieur,
- ❖ Le serre-flanc qui, en pressant sur le métal contre la matrice, évite son plissement et contrôle son écoulement le long du poinçon.

Les pièces embouties peuvent être très complexes et nécessitent une dizaine d'opérations successives pour parvenir au produit final. La conception des outillages délicats. Il faut maîtriser la déformation qui peut donner lieu à l'apparition de criques (fissure) à la surface de la tôle. Le formage des tôles est un problème complexe faisant intervenir de nombreux paramètres [7] :

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

- ❖ Ceux liés à la forme que l'on veut obtenir ;
- ❖ Ceux liés au procédé et l'outillage choisis ;
- ❖ Ceux liés à la tôle utilisés

I.6 Critères d'emboutissabilité

Les opérations de formage, plus particulièrement l'emboutissage, que doit subir la tôle pour l'obtention du produit fini, nécessitent pour cette dernière des propriétés mécaniques spécifique liées à des critères d'emboutissage (aptitude au formage). Ces grandeurs concernent le coefficient d'érouissage n et le coefficient d'anisotropie r qui sont déterminés par l'essai de traction.

I.6.1 coefficient d'érouissage ou coefficient de consolidation «n»

Le coefficient d'érouissage est lié à la consolidation du matériau. Si deux tôles de même valeur n mais de coefficient d'élasticité K différent sont embouties, elles se comporteront de façon semblable malgré des forces d'emboutissage différentes. Le coefficient d'érouissage est obtenue à partir de la courbe rationnelle de traction reliant la relation $\sigma = F/S$ à la déformation rationnelle $\epsilon = \ln(S/S_0)$. (Avec σ la contrainte, F la force appliquée et S la section réelle.)

I.6.2 Le coefficient d'anisotrope «r»

L'anisotropie se manifeste par des différences de propriétés suivant la direction de prélèvement des éprouvettes par rapport à la direction de laminage D_L de la tôle.

Afin de quantifier cette anisotropie, on utilise le coefficient d'anisotropie plastique, représenté par r_0 . Il exprime le rapport entre la déformation en largeur et la déformation en épaisseur d'une éprouvette plate dans une direction ϕ par rapport à la direction de laminage D_L .

Une éprouvette usinée à partir d'une plaquette de tôle (figure I.5) permet de définir, après essai de traction dans le domaine plastique homogène.

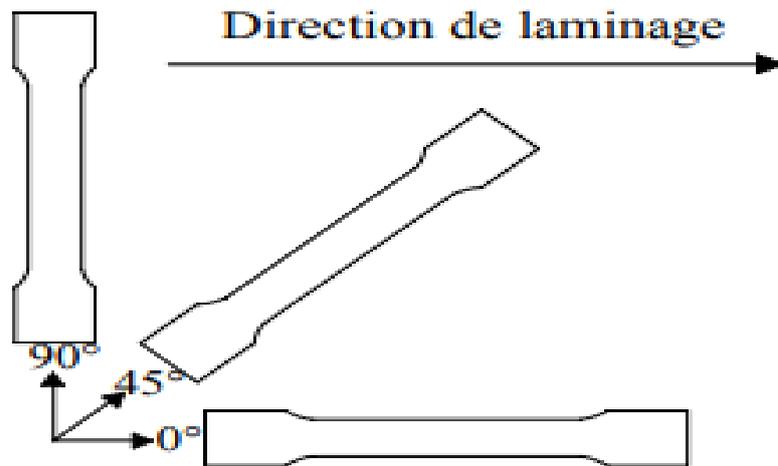


Figure I.6 : position des éprouvettes de traction par rapport à la direction de laminage DL de la tôle pour la mesure de coefficient d'anisotropie d'une tôle

Chaque éprouvette d'orientation donnée de volume utile initiale $V_0 = e_0 w_0 L_0$ sera déformée plastiquement et l'essai est interrompu avant d'attendre la charge de (charge maximale) qui provoque la localisation des déformations (striction). L'éprouvette après cet essai interrompu conserve son volume utile $V = e \cdot w \cdot L$ sans apparition de la zone de striction.

I.7 Matériaux et formes d'emboutis

La technique 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 des matériaux.[6]

I.7.1 Modes de déformation des matériaux lors de l'opération d'emboutissage

Au cours de l'opération d'emboutissage des tôles minces, différents modes des sollicitations peuvent apparaître dans certaines zones de l'embouti, conduisent à la formation d'ondulations pour nos matériaux utilisés. Ces capacités de déformation peuvent différer fortement d'un mode à l'autre et c'est la raison pour laquelle nous aborderons l'étude de la formabilité des tôles par la définition de ces différents modes (figure 1.8) [10].

- Expansion biaxiale.

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

- Cisaillement pur.
- Traction uniaxiale.
- Rétreint.
- Compression uniaxiale.

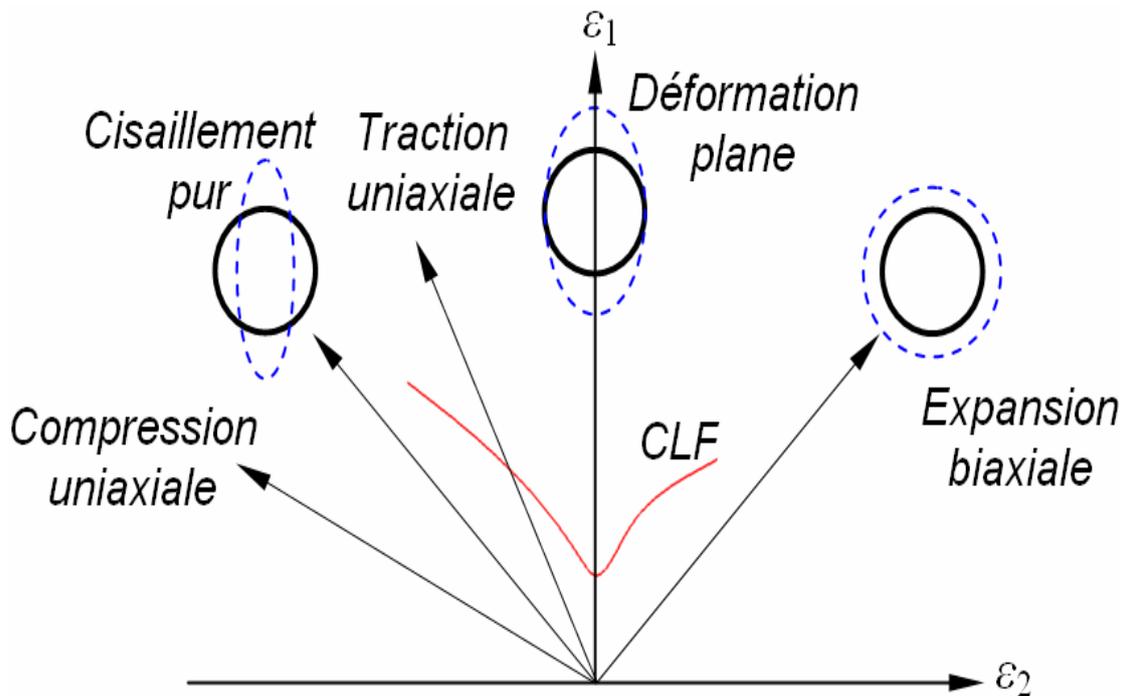


Figure1.7 : Modes de déformation dans le repère des déformation principales majeure et mineure.

- **un emboutissage par expansion pure type Erichen.**

La tôle est soumise à l'action d'un poinçon hémisphérique alors que le metal du flan est bloqué sous le serre-flan : la surface du flan a donc augmenté au détriment de son épaisseur.

Les conditions de lubrification ont peu d'influence sur l'évolution de l'aire de contact et sur la force d'emboutissage, mais beaucoup sur la déformation plastique .

A faible frottement , l'amincissement est maximal au pôle de l'embouti ou se produit la rupture. Plus le frottement augmente , plus l'amincissement s'éloigne du pôle [11]

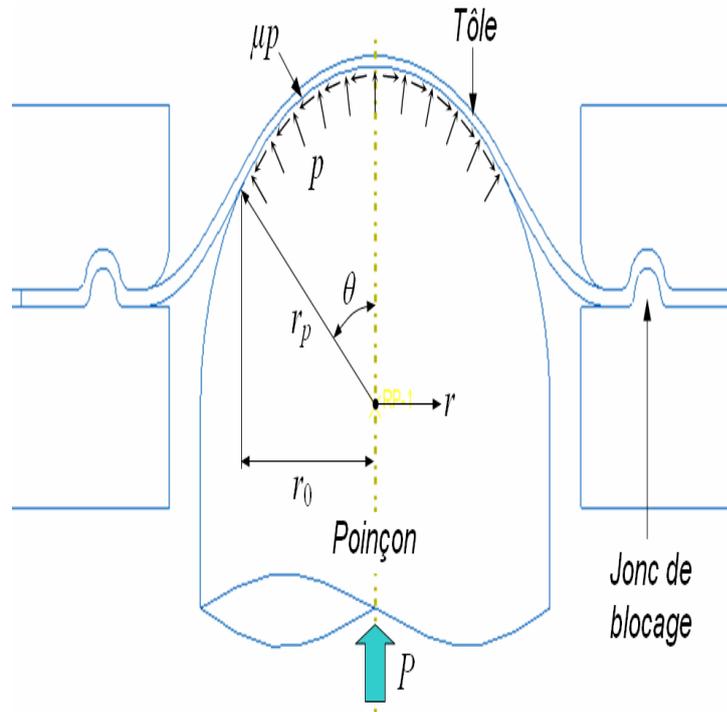


Figure I.8: Emboutissage en expansion pure type Erichsen

➤ Les modes de déformation sur un embouti

L'emboutissage profond, sur lequel nous identifions plusieurs secteurs et déformation (reteint, expansion, flexion, pliage, etc.) Le secteur sous serre-flan.

Repéré Rétreint subit une compression circonférentielle, qui résulte de l'avalement du métal dans la partie semi-circulaire de la matrice.

La bordure initiale de ce secteur se raccourcit au fur à mesure que le poinçon descend.

Nous sommes ainsi en présence d'une contraction de la matière conduisant à la formation des ondulations si les contraintes de compression dépassent une valeur critique. La partie inférieure du flan qui a été poussée par le poinçon subit une traction biaxiale (bi-expansion).

La partie verticale qui joint la partie en contact avec le poinçon et celle en contact avec la matrice subit une traction plane.

Une partie de la tôle peut passer de la zone sous le serres-flan à la zone en traction simple, elle subit alors un phénomène de flexion alternée (cambrage-décambrage) en passant le rayon de la matrice [11].

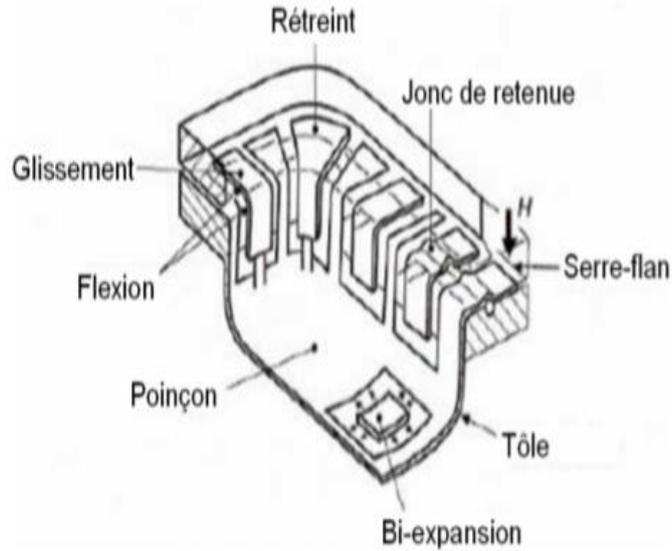


Figure I.9 Les modes de déformation sur un embouti

Dans le cas d'un godet conique (Figure 12-a), la partie libre de l'embouti située entre la matrice et le Poinçon se contracte parce que le rayon R de l'arc ab qui se déplace en $a'b'$ diminue. Il en résulte des Contraintes de compression circonférentielles, qui peuvent atteindre des valeurs critiques conduisant à la formation des plis (Figure 12-b).

Pour éviter ce type de problèmes la meilleure réponse consiste à limiter autant que possible les brins Libres dans les zones centrales des pièces, avec des presseurs ou en utilisant des systèmes appliquant une pression sur la face intérieure (hydroformage ou élastoformage).

Mais cela n'est bien sûr pas toujours possible.

Les métaux en feuille sont très sensibles à ces modes de déformation. Ainsi, de ce fait l'art de L'emboutissage consiste à réaliser le meilleur compromis entre ces modes et à optimiser l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre-flan.

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

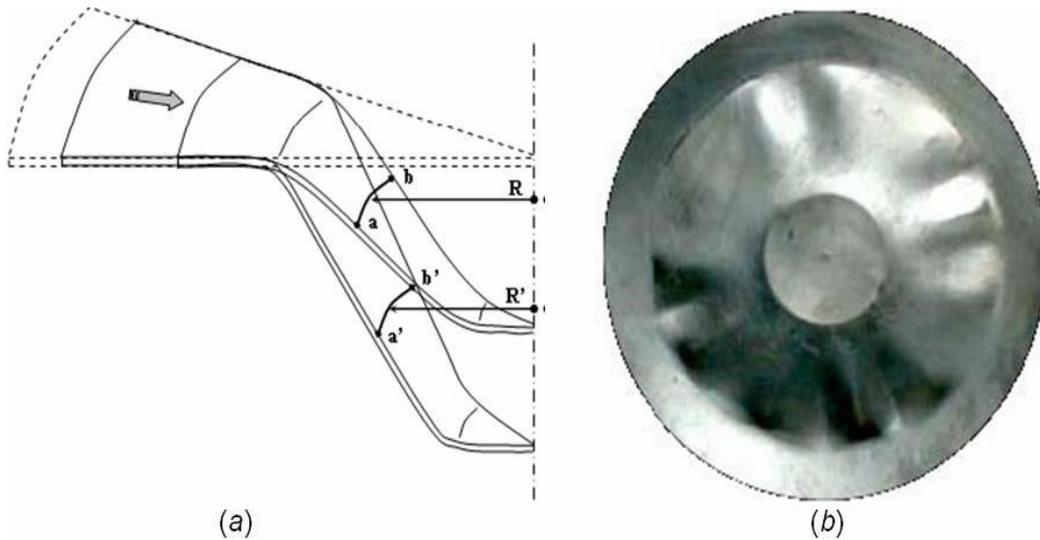


Figure I. 10 : plissement dans la partie libre de l'embouti.

Deux grandes familles des matériaux largement utilisés en industrie [12] :

A. Les aciers :

Les techniques modernes de laminage permettent d'obtenir des toles 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 toles sont classées en trois catégories : tole de fabrication courante (TC) , tole d'emboutissage (E), et tole d'emboutissage spéciale (ES) (tableau 1)

Catégories des Tôles	Résistance a la rupture(daN/mm^2)	Allongement (%)	Dureté Rockwell
TC	42	24	65
E	38	30	57
ES	35	36	50

Tableau1.5 Caratéristiques des différentes catégories des tôles

Les aciers inoxydables se comportent différemment de l'acier doux en raison de la présence de nickel et de chrome. Ainsi les vitesses d'emboutissage doivent être plus lentes que pour l'acier, le métal s'écroutissant plus rapidement.

Chapitre I Procédés de mise en forme des 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'étréage le plus profond ne s'obtient qu'avec les qualités les plus douces. On peut toutefois obtenir des emboutis peu profonds avec des qualités plus dures
- **Le cuivre** : non allié à un autre élément, le cuivre rouge possède d'excellentes qualités d'emboutissages 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 pure ou d'un alliage. La matrice et le poinçon sont également chauffés pour éviter le choc thermique auquel le métal est sensible.

I.8 Formes des pièces 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. [13]

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

- **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 renverser.

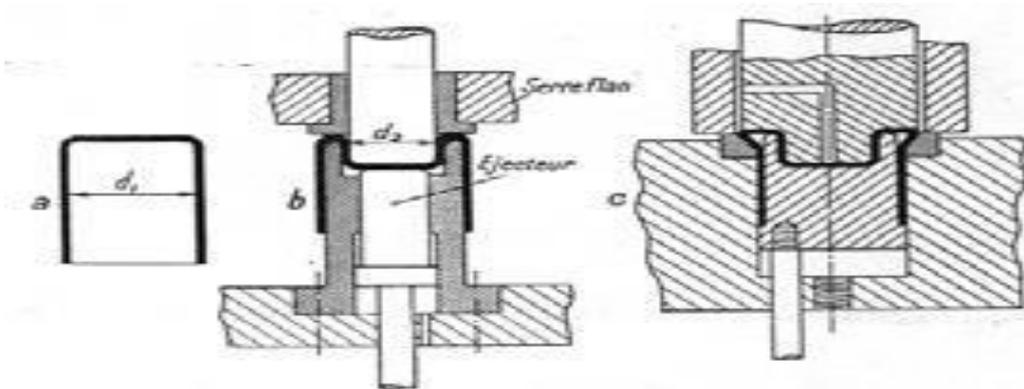


Figure 1.11. Emboutissage renversé.

- **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'un demi-sphère est difficile en raison de la formation dépliée, mais il est possible en une seule passe si la matrice est munie d'un bourrelet.

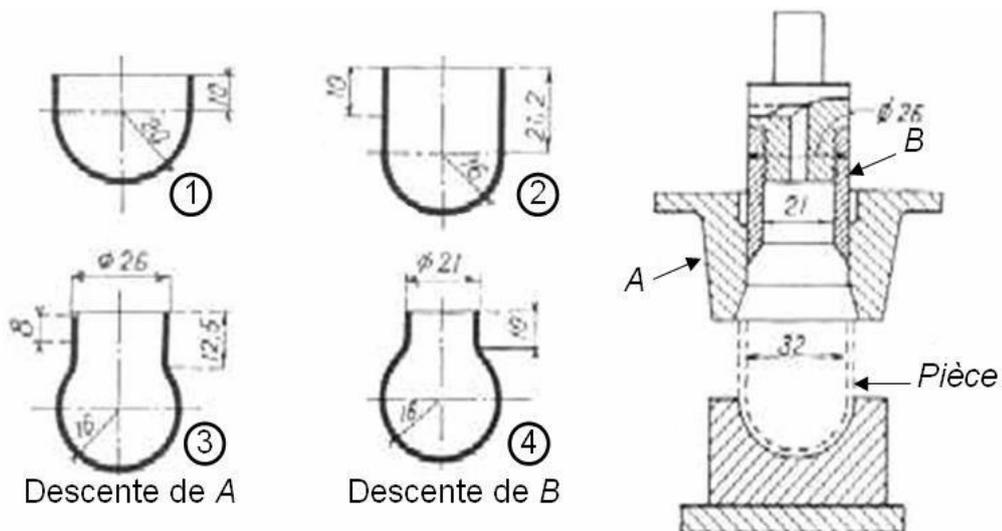


Figure I. 12 : Emboutissage de pièce demi sphérique.

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

- **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.



Figure I. 13 : Emboutis rectangulaires

I.9 Caractérisation en emboutissage

Dans les buts de réussir au plus vite un nouvel embouti, de réduire le temps entre deux séries et donc de caractériser l'emboutissage, le recours à des machines de traction est souvent nécessaire.

Cette machine permet de reproduire de petits emboutis sans demander un outillage perfectionné. Afin de permettre cette caractérisation, deux approches sont possibles mais surtout complémentaires. D'une part, un aspect que l'on peut qualifier de métallurgique et qui correspond aux relations entre les propriétés du métal et ses performances. D'autre part, un aspect opératoire ayant pour objectif de préciser l'influence des différents paramètres de la presse sur la réussite de la pièce. Néanmoins, il est important de préciser que l'étude de ces deux aspects nécessite une analyse préalable des déformations subies par le flan. Ce type de mesures s'effectue à l'aide d'une grille gravée sur la face externe de la future pièce.[14]

I.9.1 Mesure de déformation en emboutissage

I.9.1.1 Principe et analyse des déformations

L'état des déformations d'un élément de flan est correctement décrit à partir des déformations dans trois directions principales [15] [16] :

- ❖ Dans le sens de la longueur (généralement la direction de laminage) :

$$\varepsilon_1 = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$$

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

❖ Dans le sens de la largeur (généralement la direction perpendiculaire) :

$$\varepsilon_2 = \ln \left(\frac{b}{b_0} \right)$$

Dans le sens de l'épaisseur :

$$\varepsilon_3 = \ln \left(\frac{h}{h_0} \right)$$

Avec L_0, b_0, h_0 longueur, largeur et épaisseur initiales, respectivement, L, b, h longueur, largeur et épaisseur finale des éléments, respectivement.

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

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$$

I.9.2 Courbes limites de formage

La courbe qui forme la frontière inférieure du secteur C'est la courbe limite de formage [16]. La courbe décrit le niveau de la contrainte jusqu'au laquelle le matériau réel peut résister l'échec, le fendage ou le ridage se produit. Après un principe de base l'expérience à assurer que le composant ne cassera pas si le niveau de contrainte ne devrait pas excéder 80% du niveau de la courbe limite de formage [14].

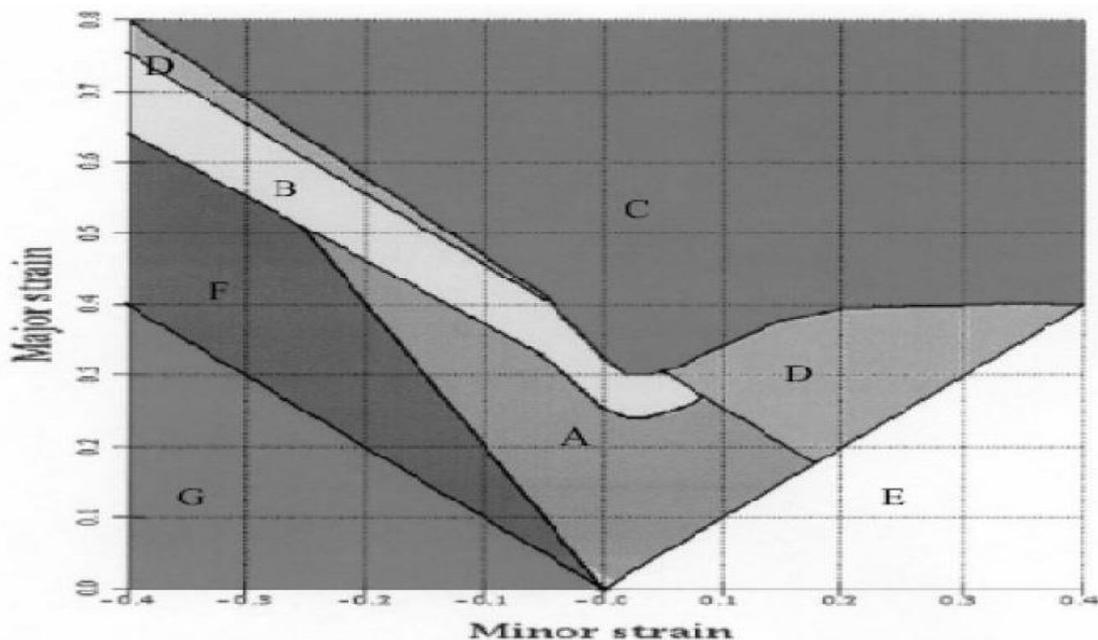


Figure I. 14 : Courbe limite de formage pour différents domaines

Chapitre I Procédés de mise en forme des tôles

Les différents secteurs dans le diagramme sont :

- A. Des capacités de formage du matériau.
- B. Danger de la rupture.
- C. Le matériau a fendu.
- D. Amincir grave.
- E. Risque du retour élastique.
- F. Tendance au ridage.
- G. Rides entièrement développées

I.9.3 Exemple d'utilisation des courbes limites

Chaque tôle de nuance d'acier possède sa propre courbe limite de formage (CLF) établie à l'échelle laboratoire.

Pour un embouti donne réalisée industriellement, la mesure de ε_1 et ε_2 dans la région la plus déformée permet de savoir de quelle marge de sécurité l'on dispose en superposant ces point sur sa CLF. Selon la position du point représentatif de l'embouti par rapport à cette courbe, il faudra jouer soit sur la nuance de métal, soit sur le dessin de l'outillage, soit sur la lubrification, pour ramener ce point dans la zone de réussite et lui laisser une marge de sécurité de l'ordre de 10% pour se mettre à l'abri des aléas de fabrication.

I.10 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. [17]

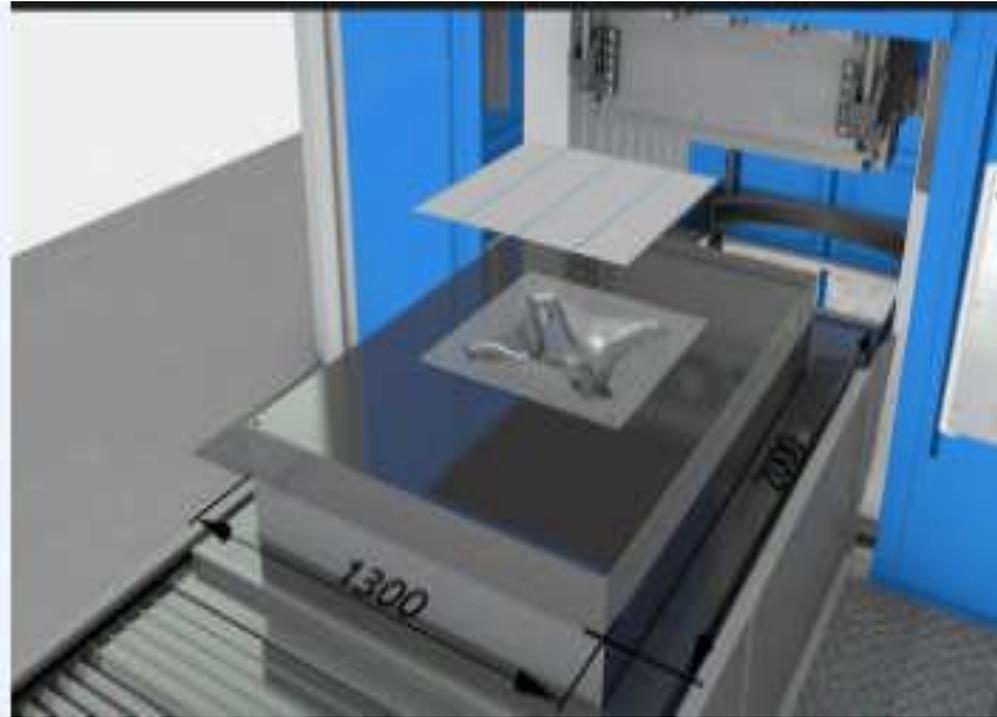


Figure I. 15: Essai d'emboutissage sur une tôle

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à la présentation de l'emboutissage à travers quelques généralités. Nous avons mis en clair tout ce qui concerne le procédé d'emboutissage industriel. En premier lieu, une description des modes du procédé, des matériaux emboutissables, du comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage et des différentes formes des pièces embouties, a été faite. Ensuite, nous avons montré les différentes caractéristiques du procédé telles que : les modes de déformation lors de l'opération du procédé et leur mesure.

Chapitre II

Matériaux et Technique
Expérimentales

Chapitre II Matériaux et Technique Expérimentales

II.1 Introduction

L'objectif de ce travail est de réaliser une caractérisation mécanique des tôles en aciers doux, d'épaisseurs (0.7mm et 0.8mm) , ayant subi le laminage à froid. Cette caractérisation est déterminée par :

- Essai de dureté HRC
- Essai de traction (évaluation de la résistance élastique ainsi que la résistance à la rupture)

De plus des images au microscope optique ont été aussi réalisées afin de déterminer la métallographie des échantillons.

II.2 Matériaux utilisés

Le matériau de notre étude concerne deux tôles en acier doux non alliée de dénomination **DC04** selon **NF EN 10209** , Ces tôles importés par le complexe électroménager (**Brandt**) de SAMHA (wilaya de Sétif) pour être utilisées dans la fabrication de (panneau avant d'une machine à laver),les nuances de ces tôles correspondent à **Fep 04 Euro norme EN 10130**, ils sont destinés aux opérations d'emboutissage profond.

Il s'agit d'une tôle laminée à froid en acier extra doux, les épaisseurs de ces tôles sont (0.7mm et 0.8 mm).

La composition chimique et les caractéristiques mécaniques (spécifications données par le constructeur) des aciers doux utilisés dans cette étude sont respectivement dans les tableaux suivants :

Composition chimique en %			
C	Mn	P	S
0,08	0,5	0,03	0,08

Tableau II.1 : composition chimique des tôles utilisées.

Chapitre II Matériaux et Technique Expérimentales

Ep (mm)	Re (MPa)	Rm (MPa)	A80 %
0,7	140-240	270-350	34
0,8	140-220		36

Tableau II.2 : caractéristiques mécanique des tôles utilisées

II.3 présentation des échantillons

II.3.1 Elaboration des échantillons

Dans ce travail les échantillons utilisés pour la caractérisation, ont été usinés, au niveau du hall de technologie de l'université de Bejaia sur un coupeur et une fraiseuse universels. Les étapes suivre pour la préparation des échantillons sont :

- **Découpage** : les tôles en acier doux d'épaisseurs (0.7et0.8 mm) ont été coupées avec un coupeur de tôles universel. Pour chaque épaisseur, la découpe des tôles. à été réalisé en tenant compte de trois directions par rapport au sens du laminage (00°, 45°, 90°) pour les essais de traction, trois échantillons ont été préparés, pour chaque cas, dont les dimensions (largeur et longueur) sont de 20mm x 150mm.

En ce qui concerne les essais se dureté et l'examen métallographique, les démentions des échantillons sont : (20mm x 40mm) et (10mm x 20mm).

Au terme de cette première étape, 18 échantillons ont été obtenus les essais de traction, 2 échantillons pour l'examen métallographique et 2 échantillons pour essai de dureté.

- **Fraisage** : Une entaille des éprouvettes a été réalisée avec une fraiseuse universelle.

Les échantillons élaborés pour les essais de traction et de duretés sont présentés respectivement dans les figures suivantes:



Figure II.1 : Echantillons utilisés dans les essais de traction.



Figure II.2 : Echantillons utilisés pour les essais de dureté et l'examen métallographique

II.4. Etude Métallographique :

Le but de la caractérisation métallographique des métaux et alliages est définir leurs structures avec précision c'est-à-dire de déterminer qualitativement la nature, la forme, et la répartition de leurs constituants.

II.4.1 préparation des surfaces

Après avoir élaboré les échantillons, on passe à les différentes opérations de surface suivantes qui ont à effectuées ;

- **Dégraissage :** Ce traitement est d'importance capitale, dont le bute est d'éliminer de la surface, toutes de substances organique, huiles, produit gras, pates qui sont dues aux différentes manipulations que le matériau subies auparavant(emballage, déchargement, accrochage)

Les échantillons sont dégraissées et nettoyé avec de l'éthanol.

- **Polissage :** L'observation microscopique a nécessité un polissage fin de la surface de la coupe du dépôt à observer. Après avoir effectué toutes les opérations citées précédemment nous avons poli à l'aide d'une polisseuse qui vise à rendre les surfaces uniformes au moyen d'une série de papier abrasifs à granulométrie de grades progressifs (180, 320, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, grains/cm² Sous lubrification de l'eau, afin d'avoir un bon état de surface sans stries et sans écrouissage.

Chapitre II Matériaux et Technique Expérimentales



Figure II.3 : Polisseuse METASERV 2000

- **Attaque chimique** : Les surfaces polies des échantillons ont été attaquées par le réactif Nital (5ml d'acide nitrique + 95 ml d'alcool), L'attaque est arrêtée après quelque secondes (20, 30 secondes). Le but de l'attaque chimique est de créer un contraste révélant la microstructure de l'acier étudié
- **II.4.2 Examen métallographique**
L'examen métallographique a été réalisé sous un microscopique optique métallographique de marque Zeiss.



Figure II.4 : Microscopique optique métallographique

Les photographique ont été obtenues avec un grossissement de x 400.

II.5 Essai mécaniques

II.5.1 Essai de traction

L'essai de traction uni-axial ont été utilisés de manière classique pour reproduire une sollicitation simple et ainsi caractériser le matériau étudié, indépendamment de la forme de la pièce sollicitées.

Dans cette étude, les essais de traction ont été réalisés sur une machine de traction de marque Zwick(Z250) selon la norme EN 10209 DC04. Et ceci au niveau hall de technologie d'université de Jijel.

Chapitre II Matériaux et Technique Expérimentales

En fonction de l'épaisseur des tôles et la direction de laminage, les paramètres expérimentaux mesurés sont : la résistance maximale, la résistance élastique, l'allongement après rupture, le module de Young et les coefficients d'anisotropie et d'écrouissage.

Ces expériences ont été réalisées avec trois répétitions indépendantes.

II.5.2 Essai de dureté Rockwell

La dureté est un paramètre déterminant dans la caractérisation des matériaux. Il existe plusieurs méthodes pour sa détermination dont certaines font l'objet de normes précises (Standard ASTM C1327-89, test méthode for Rockwell indentation hardness of Advanced Materials).

Dans ce qui suit : on à effectuer les essais de dureté Rockwell des échantillons

La dureté ROCKWELL est caractérisée par l'empreinte faite par un indenteur sous une charge donnée (1225 N) durant 30 secondes .L'indenteur est formé d'un cône en diamant à base carrée dont les faces opposées.



Figure II.5 : D'uromètre HECKERT.

Chapitre II Matériaux et Technique Expérimentales

Les essais relatifs à la mesure de la dureté des échantillons élaborés ont été réalisés en appliquant la méthodologie des plans d'expériences (plan factoriel complet à deux niveaux). Les variables indépendantes considérées sont : Epaisseur de la tôle ET (0.7 et 0.8mm) et la direction de laminage DL (0° et 90°), et les réponses mesurées sont : la dureté et la profondeur l'empreinte. Il convient de préciser ici que les essais ont été réalisés avec cinq répétitions.

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III Résultats et discussion

Il convient tout d'abord de rappeler que les techniques d'analyse relatives à la caractérisation mécanique des échantillons (tôle en acier doux) étudiés sont :

- Observation au microscope optique
- Test de dureté
- Test de traction

III.1. Etude métallographique

III.1.1. Caractérisation métallographique

Après la réalisation de l'opération de polissage sur les deux échantillons aciers doux de référence épaisseur 0,7 et 0,8 mm, nous avons effectué des observations microscope optique, nous allons présenter et discuter l'ensemble des résultats de caractérisation métallographique dans la figure III.1.

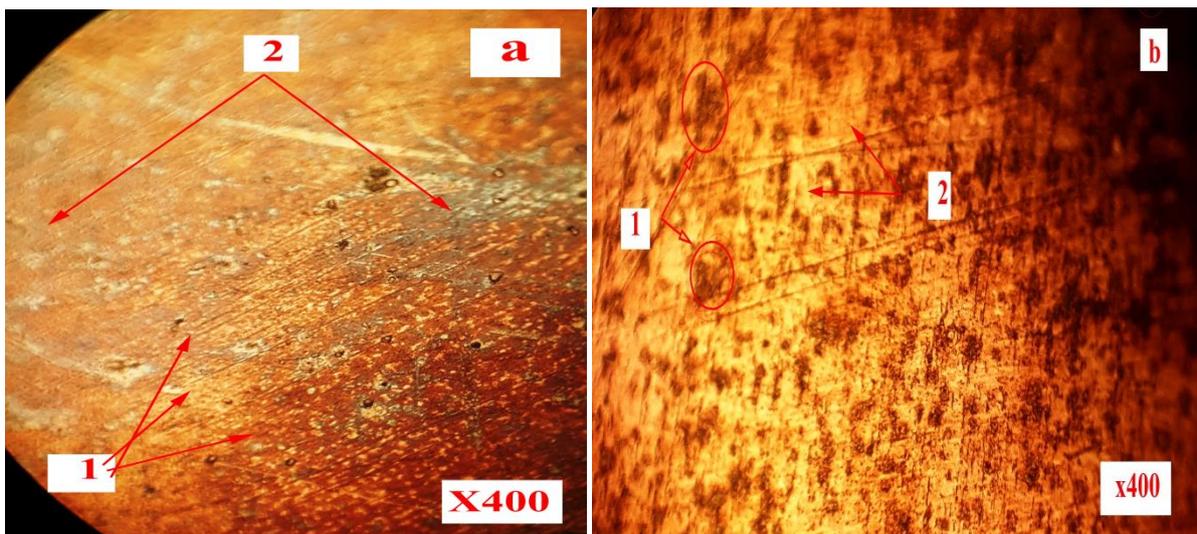


Figure III.1 : Caractérisation métallographique de l'acier doux : a) 0.7mm et b) 0.8mm

III.1.2. Observation

Après le polissage et l'attaque chimique nous avons vu l'échantillon laminé à 0.7 mm et l'autre laminé à 0.8 mm sous un grossissement microscopique de X400.

- On observe dans cette structure qui correspond à un constat de deux zones : une plus claire tandis que l'autre zone est plus dense

Chapitre III Résultats et discussion

- On observe une différence de morphologie entre les aciers laminés à 0.7 et a 0.8 mm
- On observe aussi que dans les deux sens de laminage la zone claire est celle qui est prédominante (matrice)
- On constate la formation de porosité dans les deux aciers laminés à différent gradient
- L'observation approfondie des images métallographique nous révèle que les zones sombres sont beaucoup plus étalées dans les aciers laminés à 0.7, ceci est probablement dû à la déformation plus aisée des grains selon le sens de direction

III.2. Les résultats de l'essai dureté Rockwell

Les résultats relatifs aux essais de dureté déterminés en fonction de l'épaisseur de la tôle et de la direction de laminage sont présentés dans les figures suivantes :

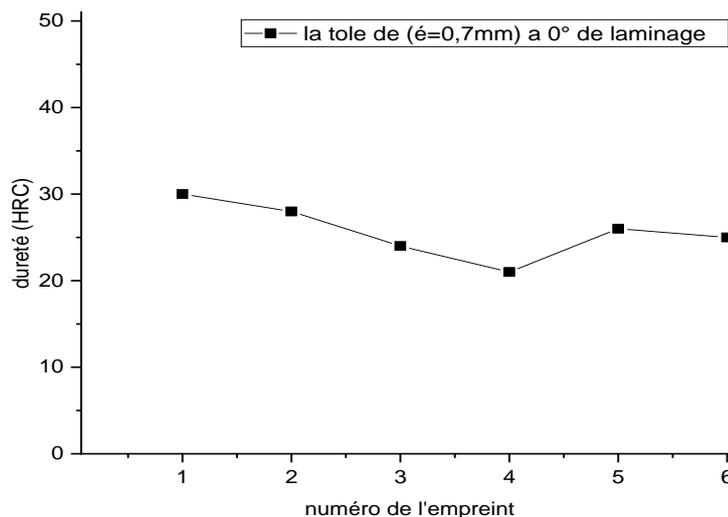


Figure III.2 : profil de la dureté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0.7mm à 0° de la Direction de laminage.

- Les résultats mesurés de la dureté Rockwell sur la tôle d'épaisseur (0,7mm), à 0° de la direction de laminage sur la courbe et il diminuée jus 'qua HRC=21, après et il augmente pour atteindre une valeur moyenne de HRC=25.

Chapitre III Résultats et discussion

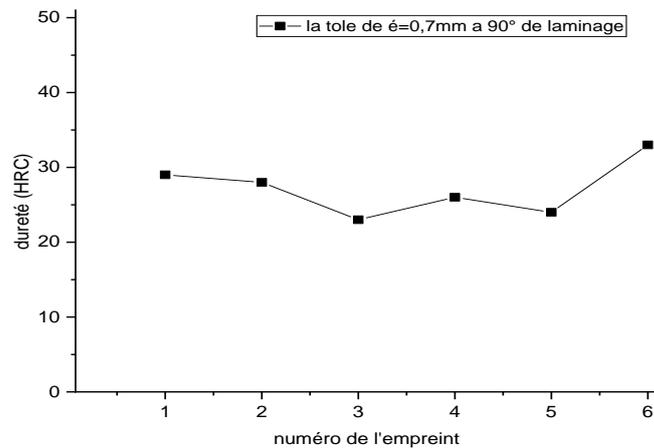


Figure III.3: profil de la dureté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0,7mm à 90° de la direction de laminage.

- Les valeurs mesurées de dureté Rockwell sur la tôle d'épaisseur (0,7mm), à 90° de la direction de laminage sur la courbe et il varie entre HRC=23 et HRC=33

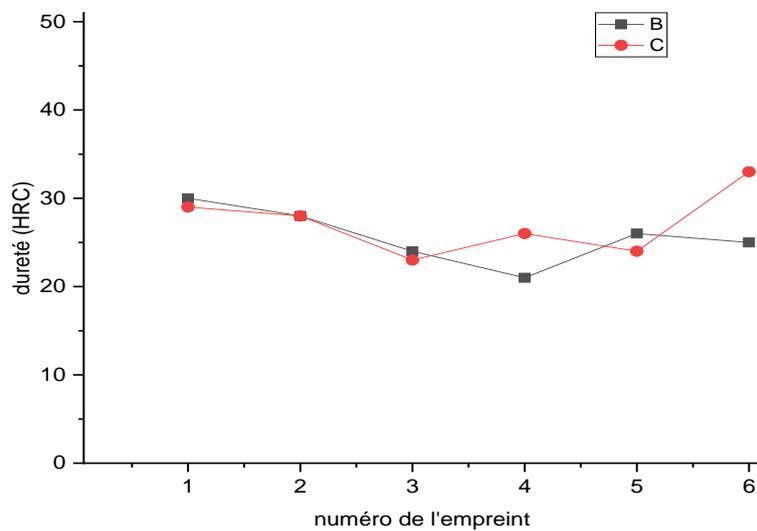


Figure III.4: profil de la dureté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0,7mm dans la direction de laminage (**B** : à 0° de la direction de laminage et **C** : 90° de la direction de laminage)

Chapitre III Résultats et discussion

- Les résultats mesurés de la micro dureté sur la tôle d'épaisseurs 0,7mm, à 0° de la direction de laminage la dureté diminue jusqu'à HRC=21 après il augmente légèrement jusqu'à HRC=26.
- À 90° de sens de laminage la dureté de la tôle d'épaisseurs 0,7mm diminue jusqu'à HRC=23, après il augmente à HRC= 33.

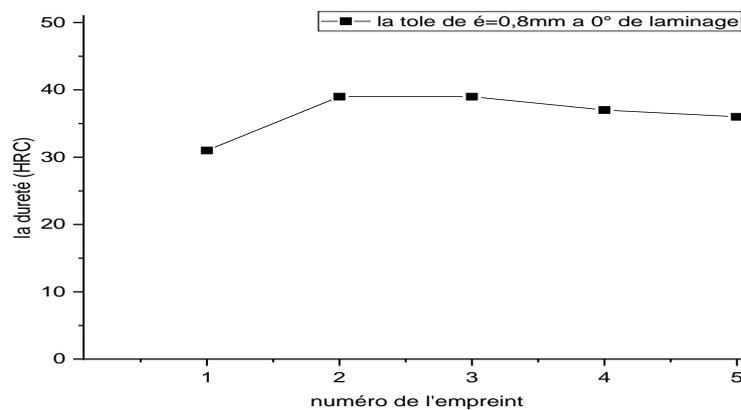


Figure III.5: profil de la dureté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0,8mm a 0° de la direction de laminage.

- Les résultats obtenus de la dureté Rockwell sur la tôle d'épaisseur (0,8mm), à 0° de la direction de laminage sur la courbe et il augmente pour atteindre une valeur moyen HRC= 39.

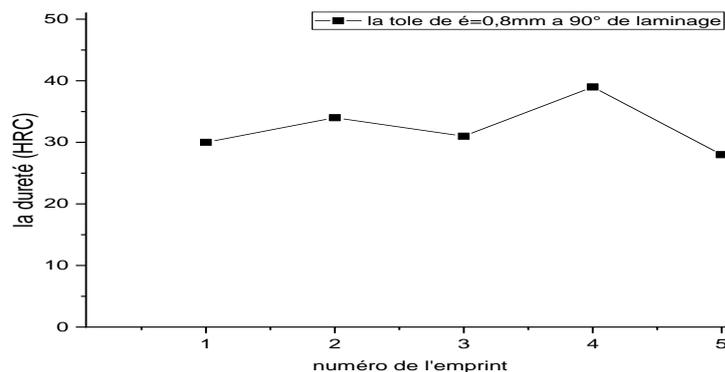


Figure III.6: profil de la dureté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0,8mm a 90° de la direction de laminage.

Chapitre III Résultats et discussion

- Les résultats obtenus de la dureté sur la tôle d'épaisseurs 0,8mm a 90° de la direction de laminage et il augment jusqu'à une valeur moyen HRC=32,40

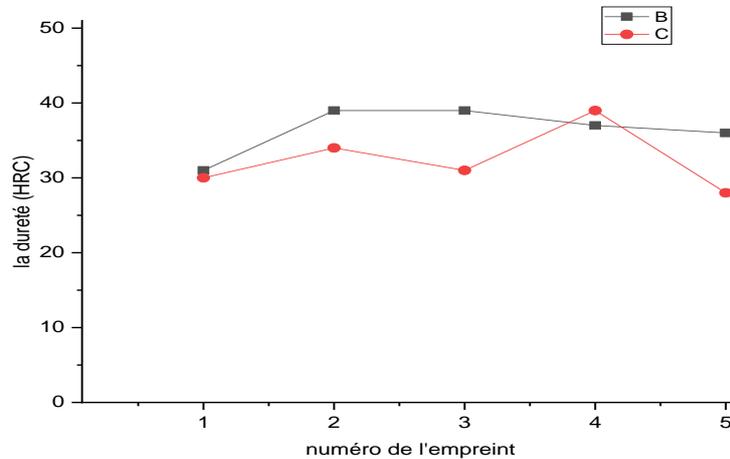


Figure III.7 : profil de la dureté Rockwell de la tôle d'épaisseur 0.8mm dans la dire

la direction de laminage (B : à 0° de la direction de laminage et C : 90°de la direction de laminage).

- Il et remarquable de noter, comme la micro dureté Rockwell sur la tôle d'épaisseurs 0,8mm avec la direction de laminage à 0° un peu élever jusqu'à une valeur HRC=39 par rapport à90° la direction de laminage.

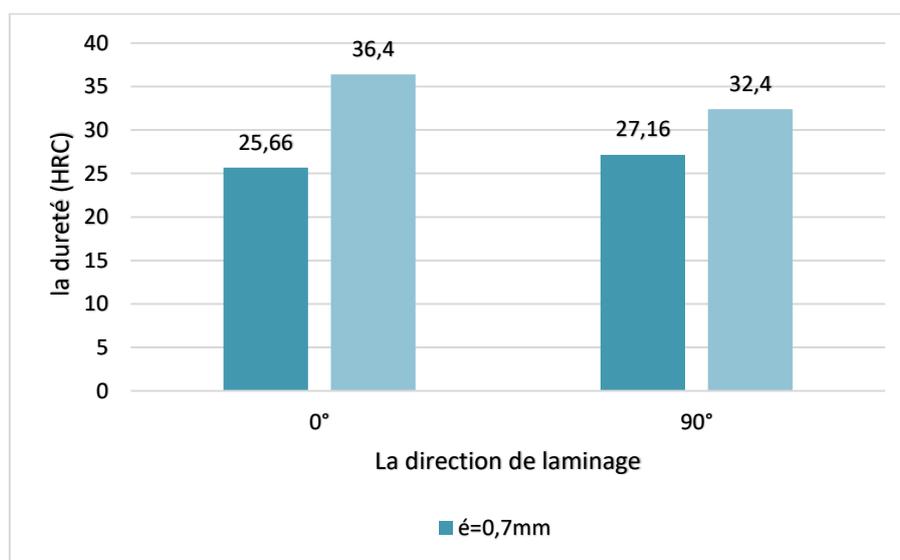


Figure III.8 : la valeur moyenne de la dureté HRC selon les deux directions de laminage.

Chapitre III Résultats et discussion

- Les résultats expérimentaux montrent que la dureté Rockwell est déférent par rapport à l'épaisseur de la tôle et les deux directions de laminage 0° et 90° de la direction de laminage, la dureté est plus élevée sur la tôle d'épaisseurs 0,8mm dans les deux directions de laminage, et moins faible sur la tôle d'épaisseurs 0,7mm dans les deux directions de laminage 0° et 90° de la direction de laminage.
- A Partir de ces interprétations nous constatons que la profondeur de l'empreinte est liée directement à la dureté dans le sens que quand la profondeur de l'empreinte est grande la tôle est ductile et vice versa.

III.3. Les résultats des essais de traction

Les essais de traction sont réalisés afin de caractériser le comportement mécanique de notre matériau. Les éprouvettes ont été découpées par une fraiseuse dans deux tôles d'épaisseur 0.7 et 0.8mm suivant trois directions de laminage 0° , 45° , 90° pour avoir 9 éprouvette chaque tôle.

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

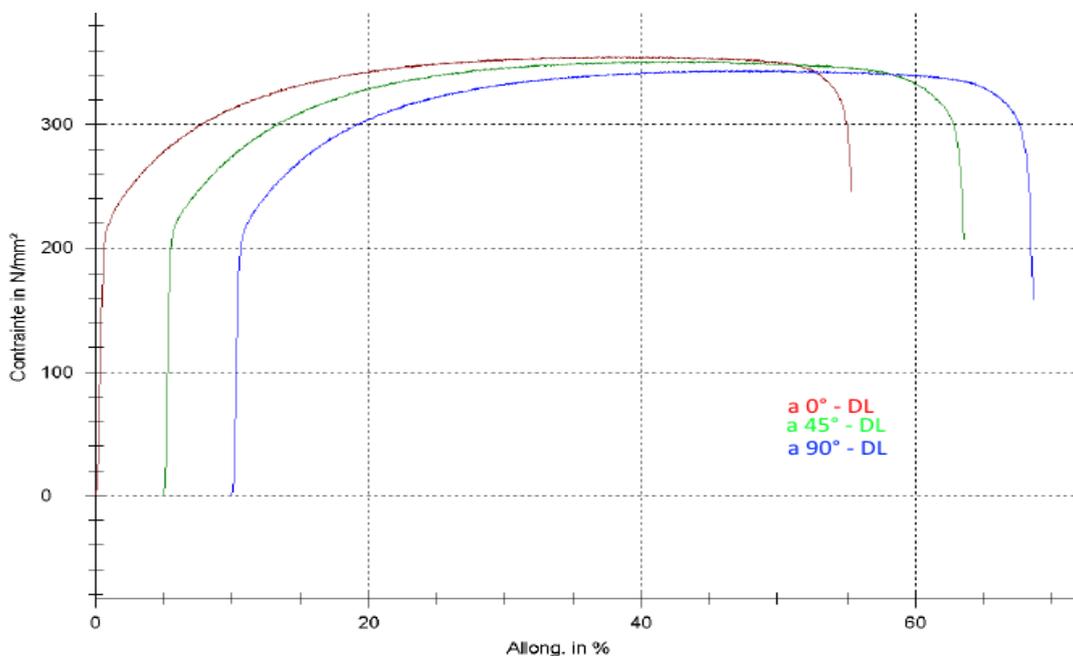


Figure III.9 : superposition des courbes de traction de la tôle d'épaisseur 0,7mm selon les trois directions de laminage.

Chapitre III Résultats et discussion

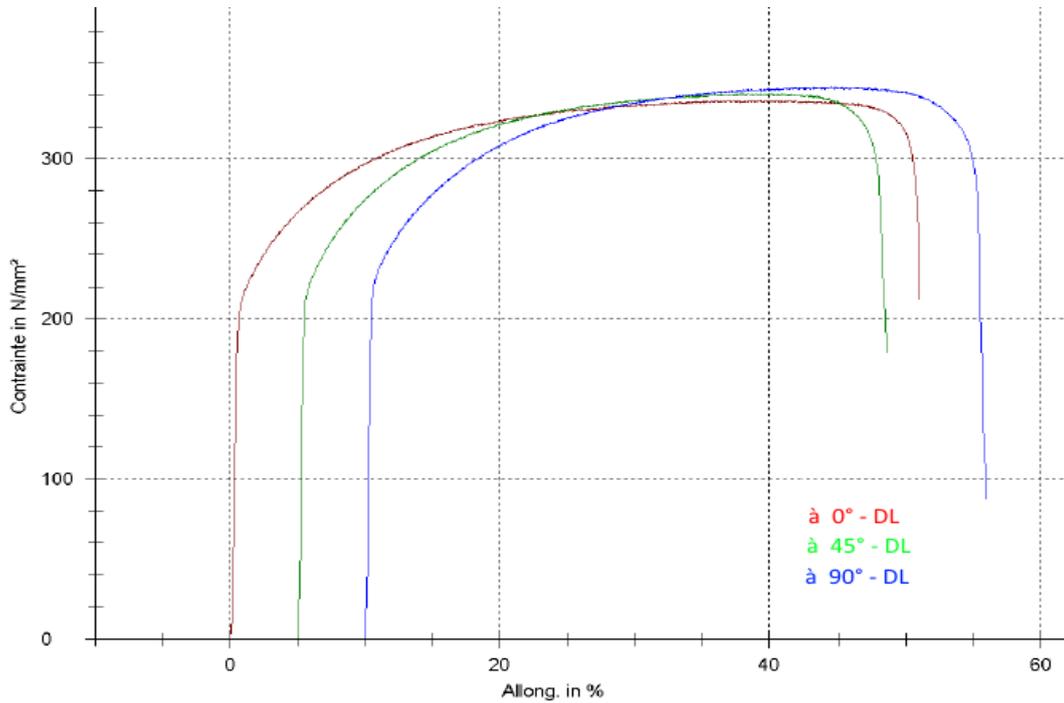


Figure III.10 : superposition des courbes de traction de la tôle d'épaisseur 0,8mm selon les trois directions de laminage.

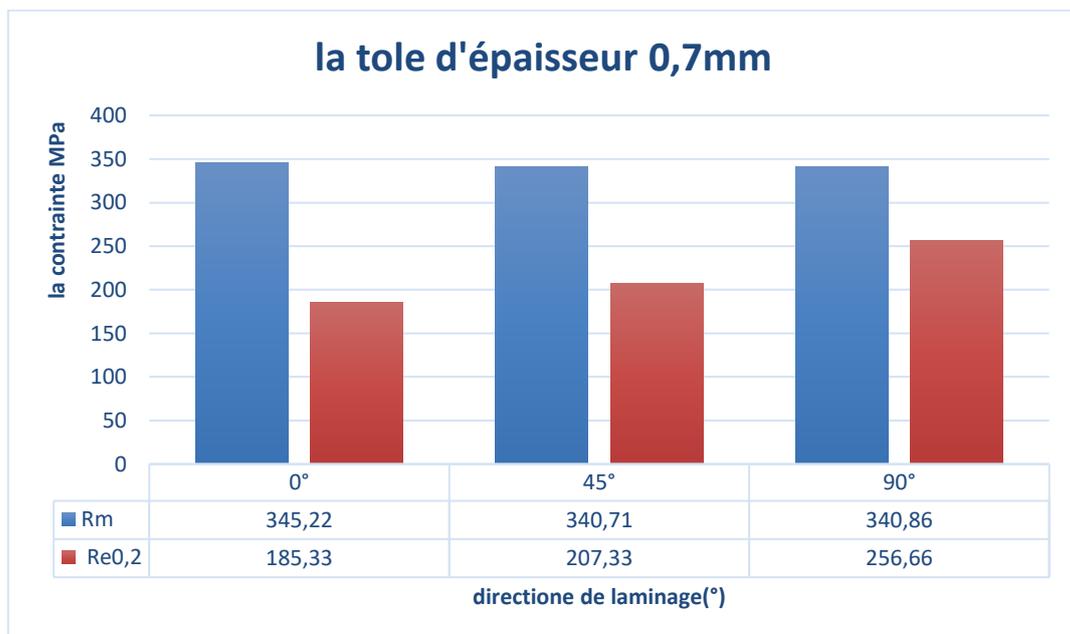


Figure III.11 : Caractéristiques mécaniques de la tôle d'épaisseur 0,7mm.

Chapitre III Résultats et discussion

- Nous constatons que dans le domaine plastique les trois courbes se superposent, tandis que dans le domaine élastique un écart apparaît entre les courbes. Nous expliquons cette variation par le comportement anisotrope du matériau.

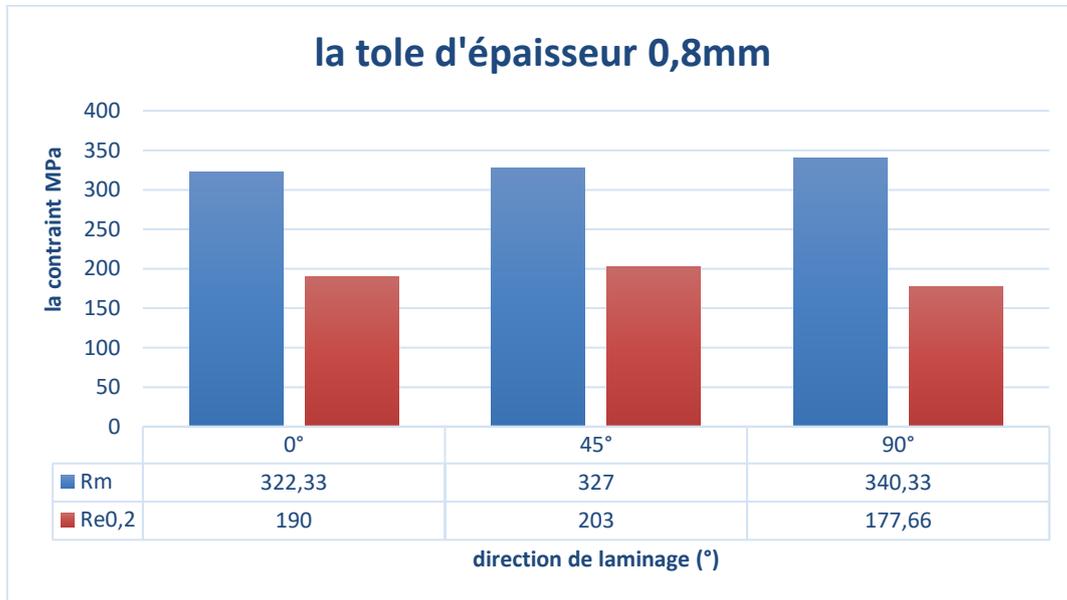


Figure III.12 : caractéristiques mécanique de la tôle d'épaisseur 0,8 mm.

- Les résultats expérimentent montrent que dans le domaine plastique les trois courbes se superposent, par contre dans le domaine élastique nous remarquons la différence entre les courbes. Alors on dit que ce matériau est anisotrope.

Conclusion

- Dans ce chapitre nous avons réalisé une étude expérimentale sur deux tôles d'acier doux, avec deux épaisseurs d'épaisseur 0,7 et 0,8mm, pour obtenir les principales propriétés mécaniques du matériau
- Nous avons d'abord présenté la composition de ce matériau. Puis nous avons réalisé une base de données expérimentale, constituée d'essais de dureté et de traction selon la direction de laminage, 45° par rapport à la direction de laminage et 90° par rapport à la direction de laminage.
- L'influence de la direction sur les caractéristiques des matériaux a été démontrée au cours des tests.
- Dans tous les cas, il a été prouvé que les caractéristiques sont meilleures selon la direction du laminage, et sont les plus faibles suivant la direction 90°/DL.

Chapitre III Résultats et discussion

- Les simulations numériques avec le logiciel SOLIDWORKS feront l'objet de notre travail de comparaison des résultats de SOLIDWORKS avec les résultats expérimentaux.

III.4 Simulation numérique

Les éprouvette de simulation on été choisis pour faire la simulation numérique en fonction de l'épaisseur, pour une charge de 1200N.

On soulignant qu'en raisons de la difficulté d'introduire une tôle laminée à froid dans logiciel SolidWorks pour ce la nous avant pris l'étude de simulation uniquement en fonction de l'épaisseur.

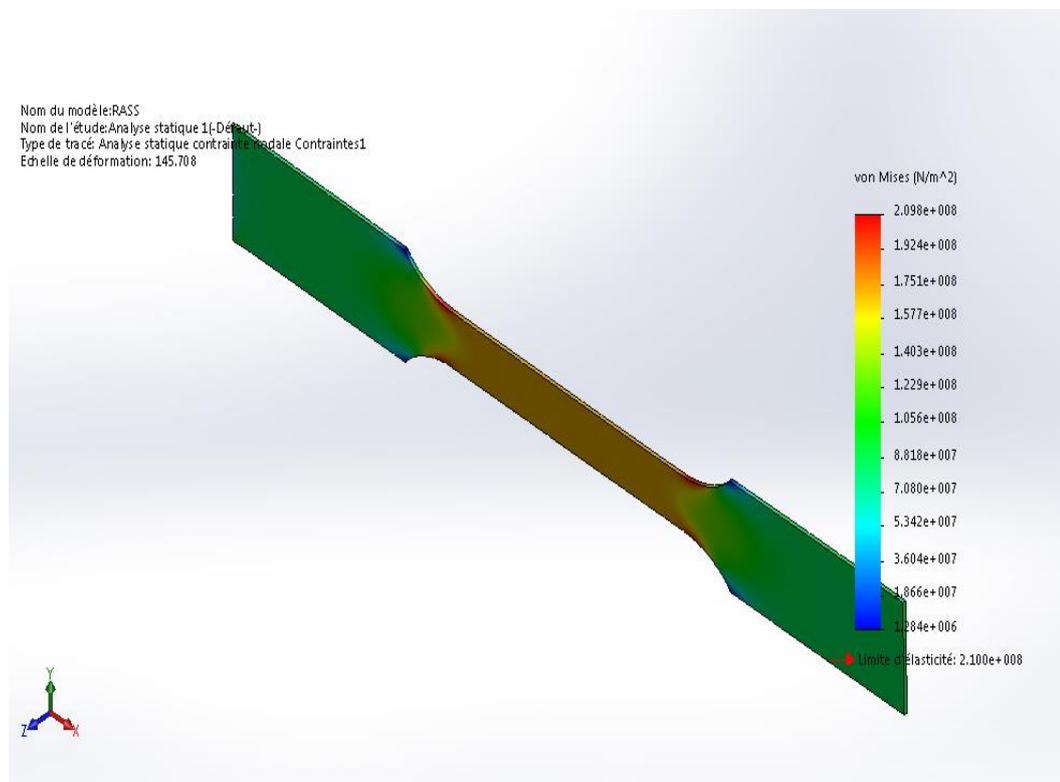


Figure III.13 : Simulation des contraintes du la tôle d'épaisseur 0.7mm sous l'effet des forces appliquées.

- Et Pour la tôle d'épaisseur 0,8mm la force appliqué et $F=1200$ N sur la pièce, les résultats suivants sont obtenus :

Chapitre III Résultats et discussion

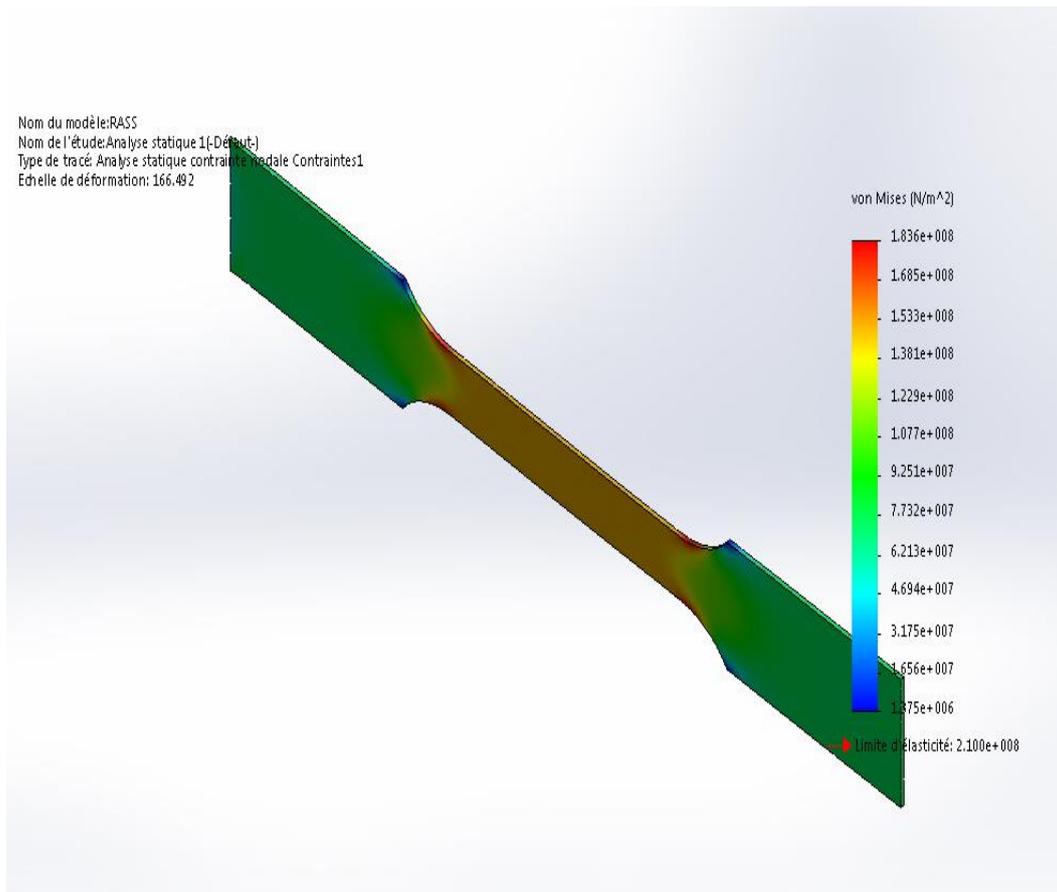


Figure III.14 : Simulation des contraintes de la tôle d'épaisseur 0.8mm sous l'effet des forces appliquées.

Les répartitions des contraintes spécifiques de VON MISES dans les schémas centraux des figures. Pour la concentration des contraintes de la tôle d'épaisseur 0.7mm plus élevé que de la tôle d'épaisseur 0.8mm.

Conclusion

Dans cette partie, nous avons effectué une analyse numérique avec le logiciel SOLIDWORKS pour des tests en traction qui nous donnent des résultats proches des résultats expérimentaux.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail se concentre sur l'étude numérique et expérimentale de l'emboutissabilité d'une feuille de métal; en acier doux non allié DC04 de différents épaisseurs. (0.7mm, 0.8mm).

Dans ce travail, nous avons été intéressés par les matériaux expérimentaux et les techniques pour atteindre nos objectifs, nous avons utilisé plusieurs techniques de caractérisation :

- Matériaux étudié
- Etude métallographique
- Les essais mécanique : Essai de dureté - Essai de traction.

Avec ces techniques, nous sommes parvenus aux résultats suivants:

Etude métallographique : Observation dans cette structure qui correspond à un constat de deux zones un est plus clair tandis que l'autre zone est plus dense.

L'essai de dureté Rockwell : les résultats expérimentaux montrent que dureté et différentiel par rapport à l'épaisseur de la tôle et les deux sens de laminage. 0° et 90° , la dureté et plus élevée sur la tôle d'épaisseurs 0,8mm dans les deux directions de laminage, et moins faible sur la tôle d'épaisseurs 0,7mm dans les deux directions de laminage 0° et 90° .

Essai de traction :

Les résultats expérimentaux montrent que les caractéristiques de résistances des tôles d'épaisseur 0,7 et 0,8mm sont différentes pour les trois directions par rapport au sens de laminage.

La résistance à la rupture est plus élevée selon la direction de laminage, à 45° par rapport à la direction de laminage et plus faible selon la direction d'incliné de 90° .

Simulation de traction : Nous avons procédé à une analyse numérique avec le logiciel SOLIDWORKS pour les essais de traction qui nous donnent des résultats proches des résultats expérimentaux.

Annexes

1.1.1 Annexe I : Le coefficient d'écroûissage ou coefficient de consolidation (n)

Pour tenir compte de la variation de la section rectangulaire S au cours de la déformation en traction uni axiale de l'éprouvette, la contrainte vraie (contrainte de Cauchy) est donnée par :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Quand l'éprouvette déjà déformée de ΔL , a une longueur L , un nouvel allongement ne donne pas une déformation $\frac{dL}{L_0}$ (L_0 : longueur initiale de l'éprouvette), mais :

$$\frac{dL}{L} = \frac{dL}{L_0 + \Delta L}$$

La déformation réalisé entre L_0 et $L = L_0 + \Delta L$ est alors :

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = \ln\left(\frac{L_0 + \Delta L}{L_0}\right) \\ &= \ln(1 + e) \end{aligned}$$

Avec : $e = \frac{\Delta L}{L_0}$

ε représente la déformation vraie (rationnelle) sous l'action de la contrainte vraie

Dans l'hypothèse de la constante du volume de la partie calibrée de l'éprouvette

$S_0 L_0 = S L$ en tenant compte de la relation (1.3) on déduit :

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = -\ln\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

Ce qui permet d'exprime la variation de la section de l'éprouvette comme suit :

$$S = S_0 \text{EXP}(-\varepsilon)$$

La valeur de la force appliquée est alors :

$$F = \sigma S_0 \text{EXP}(-\varepsilon)$$

Le maximum de l'efflore est atteint pour $dF = 0$, soit :

$$dF = \frac{\partial F}{\partial \sigma} d\sigma + \frac{\partial F}{\partial \varepsilon} d\varepsilon = S_0 \text{EXP}(-\varepsilon) d\sigma - \sigma S_0 \text{EXP}(-\varepsilon) d\varepsilon = 0$$

Ce qui donne:

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma$$

Le domaine plastique en traction pour les aciers doux obéit à la loi de hollomon :

$$\sigma = K \varepsilon^n$$

Avec K et n des constantes :

Au maximum de la charge, avant la striction, on aura :

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = n K \varepsilon_s^{n-1}$$

ε_s : représentl'allongement plastique maximal et homogène juste avant striction les relation (1.8) et (1.10) donnent :

$$\sigma = n K \varepsilon_s^{n-1}$$

Ainsi pour les aciers doux qui vérifient la loi d'hollomon nous pouvons conclure que :

$$n K \varepsilon_s^{n-1} = K \varepsilon_s^n$$

Soit a la charge maximale : $\varepsilon_s = n$

Comme ϵ_s représente l'allongement plastique maximal et homogène avant la striction (début de l'apparition de la striction dans l'éprouvette), le coefficient n définit ainsi l'aptitude d'un matériau à se déformer en expansion. Autrement dit, il caractérise la ductilité du matériau et l'aptitude à répartir la déformation plastique sur tout le volume de l'éprouvette.

La détermination de n peut se faire soit à partir de la courbe de traction, soit à partir de la formulation analytique par le trace de la courbe rationnelle en coordonnées logarithmiques. En effet en utilisant le logarithme népérien, la loi de Hollomon s'écrit :

$$\ln(\sigma) = \ln(K) + n \ln(\epsilon)$$

Ce c'est à dire une droite de pente n .

Une valeur moyenne de coefficient de consolidation est souvent utilisée en faisant intervenir plusieurs directions ; la formule la plus courante pour les aciers doux est :

$$n = \frac{n_0 + 2n_{45} + n_{90}}{4}$$

Annexes II: coefficient d'anisotropie

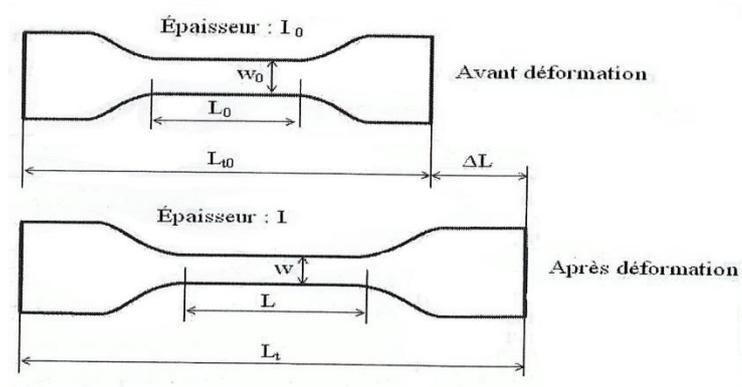


Figure 1 : dimension des éprouvettes avant et après l'essai de traction dans le domaine plastique homogène avant d'atteindre la charge maximale

$v_0 = e_0 w_0 L_0$ et $v = e$ représentent respectivement le volume utile de l'éprouvette avant et après essai de traction interrompu dans le domaine plastique homogène.

Comme la mesure de la variation de l'épaisseur implique des erreurs importantes (épaisseur très faible), il est préférable d'effectuer plutôt la mesure de l'allongement sur la longueur L de l'éprouvette

En effet l'hypothèse d'incompressibilité nous permet d'écrire :

$$e w l = e_0 w_0 L_0 \Rightarrow \text{Ln}(e w L) = \text{Ln}(e_0 w_0 L_0)$$

$$\text{Ln}(e) + \text{Ln}(w) + \text{Ln}(L) = \text{Ln}(e_0) + \text{Ln}(w_0) + \text{Ln}(L_0)$$

$$\text{Ln}\left(\frac{e_0}{e}\right) = \text{Ln}\left(\frac{L}{L_0}\right) - \text{Ln}\left(\frac{w_0}{w}\right)$$

$$\varepsilon_e = \varepsilon_w = \text{Ln}\left(\frac{L}{L_0}\right) - \text{Ln}\left(\frac{w_0}{w}\right)$$

Ce qui permet d'exprimer la relation le coefficient r_φ par:

$$r_\varphi = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_e} = \frac{\text{Ln}\left(\frac{w_0}{w}\right)}{\text{Ln}\left(\frac{L}{L_0}\right) + \text{Ln}\left(\frac{w_0}{w}\right)}$$

Pour évaluer le coefficient d'anisotropie, il suffit d'arrêter l'essai de traction dans la zone d'allongement homogène avant d'atteindre la charge de rupture.

Pour les aciers doux, un allongement de 15 à 20 % est souvent utilisé.

On définit une valeur moyenne du coefficient d'anisotropie en faisant intervenir plusieurs directions de sollicitation ; la formule la plus courant pour les aciers doux

est :

$$r = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4}$$

Cette valeur caractérise l'anisotropie normale de la tôle c'est-à-dire la résistance à l'amincissement, car r élevé signifie que la déformation en largeur l'emporte sur la déformation en épaisseur.

Annexe III : Forme et dimension de l'éprouvette

Les éprouvettes comportent généralement deux têtes d'amarrage et une partie calibrée constante comportant deux repères distants d'une longueur L . La section droite de l'éprouvette peut être circulaire, carrée, rectangulaire ou hexagonale

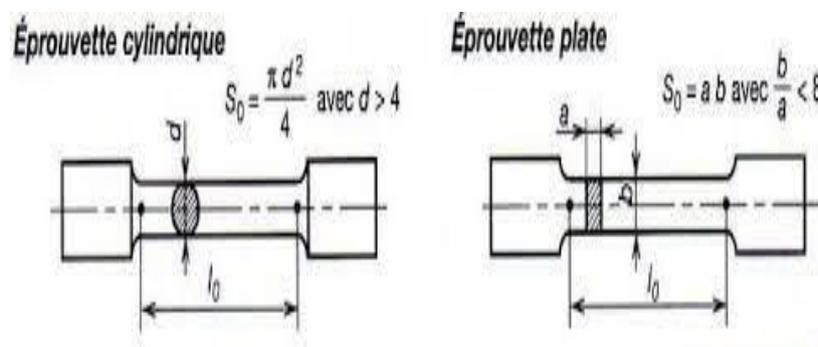


Figure 1: Forme généralement de l'éprouvette de traction.

II.5.1.3 : Caractéristiques de l'essai de traction

- **Limite élastique R_e :**

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} (Mpa) \quad (2.1)$$

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.

$$Rm = \frac{Fm}{S_0} (\text{Mpa}) \quad (2.2)$$

Fm : charge maximale.

- **Allongement à la rupture**

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

$$A\% = \frac{(L_u - L_0)}{L_0 * 100} \quad (2.3)$$

L_u : longueur de l'éprouvette reconstituée après rupture

L_0 : longueur initiale de l'éprouvette.

- **Striction**

Le coefficient de striction :

$$Z = \frac{(S_0 - S_u)}{S_u * 100} \quad (2.4)$$

L'allongement de striction :

$$Z_u = \frac{(S_0 - S_u)}{S_u * 100} \quad (2.5)$$

S_u : la section minimale de l'éprouvette après rupture

Traction longitudinale

La charge F est exercée suivant la direction de fibre (composite) ou suivant la direction de laminage (tôles) sur la section droite S_1 du matériau.

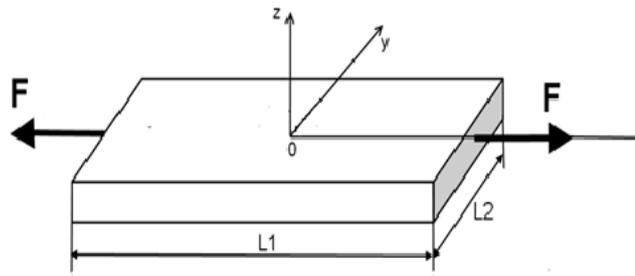


Figure 2 : traction longitudinale

OX : axe de laminage

OY : axe perpendiculaire au sens du laminage

- Les contraintes normales

$$\sigma_{xx} = \frac{F}{S_1}$$

- Les déformations longitudinales et transversales sont respectivement données par :

$$E_l = \frac{\sigma_{xx}}{\varepsilon_{xx}}$$

$$\nu = \frac{\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xx}}$$

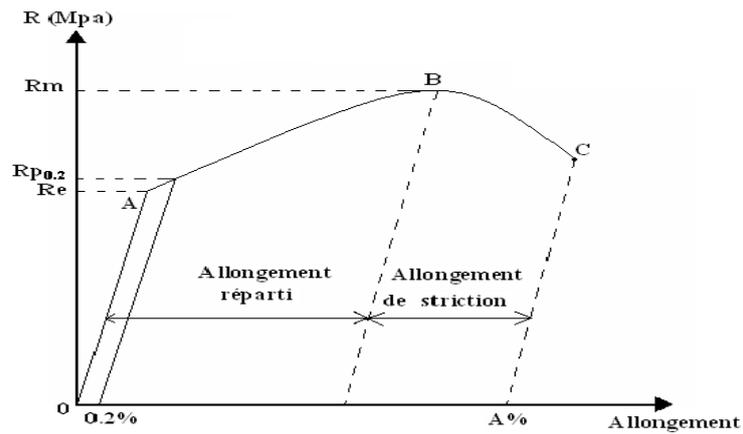


Figure 3 : Diagramme conventionnel d'un essai de traction

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

ANNEXES IV : ESSAI de traction



Figure 1 : Machine de traction Zwick/ Z250

Les éprouvettes avant l'essai de traction



Figure 2 : les éprouvettes selon trio direction de laminage d'une tôle d'épaisseur 0,7mm.



Figure 3 : Les éprouvettes selon trois directions de laminage d'une tôle d'épaisseur 0.8mm

Les éprouvettes après les essais de traction



Figure.4 : Les éprouvettes de la tôle en acier d'épaisseur 0.7mm après les essais de traction



Figure.5 : Les éprouvettes de la tôle en acier d'épaisseur 0.8mm après les essais de traction

Les essais de traction ont été réalisés à l'unité de recherche de l'université de JIJEL sur une machine Zwick / Z250 assisté par ordinateur.

Les résultats de l'essai de traction

Les résultats des essais de traction selon les trois directions de laminage 0°, 45° et 90° par rapport au sens de laminage des tôles d'épaisseur 0,7 et 0,8mm sont présentés dans les tableaux suivants :

EP(mm)	N° d'éprouvette	DL(°)	L_i (mm)	L_f (mm)	ΔL (mm)	A%	b_i (mm)	b_f (mm)	r^θ
0,7	1	0	150	172	22	0,44	10	7,5	1,95
	2	0		171	21	0,42		7,4	1,78
	3	0		171	21	0,42		7,4	1,78
	1	45		170	20	0,40		7,0	1,55
	2	45		173	23	0,46		7,3	1,85
	3	45		167	17	0,34		6,2	1,28
	1	90		172	22	0,44		7,0	1,62
	2	90		172	22	0,44		6,8	1,57
	3	90		170	20	0,40		7,1	1,58

Tableau 1 : Les valeurs calculées des coefficients d'anisotropies pour la tôle d'épaisseur 0,7mm.

EP(mm)	N° d'éprouvette	DL(°)	L_i (mm)	L_f (mm)	ΔL (mm)	A%	b_i (mm)	b_f (mm)	r^θ
0,8	1	0	150	169	19	0,38	10,4	6,0	1,28
	2	0		170	20	0,40		8,0	1,92
	3	0		170	20	0,40		8,0	1,92
	1	45		170	20	0,40		8,0	1,92
	2	45		165	15	0,30		6,0	1,22
	3	45		170	20	0,40		8,0	1,92
	1	90		165	15	0,30		7,0	1,43
	2	90		175	25	0,50		7,5	1,89
	3	90		168	18	0,36		7,2	1,45

Tableau 2 : Les valeurs calculées des coefficients d'anisotropies pour la tôle d'épaisseur 0,8mm.

Epaisseur (mm)	DL (°)	Moye (A%)	Moye(r^θ)	r
0,7	0	0,43	1,83	1,63
	45	0,40	1,56	
	90	0,43	1,59	
0,8	0	0,39	1,70	1,67
	45	0,36	1,69	
	90	0,38	1,59	

Tableau 3 : Les valeurs moyennes calculées de coefficients d'anisotropies.

Epaisseur (mm)	N° d'essai	DL (°)	E (MPa)	R_m (MPa)	$R_{e0,2}$	n
0,7	1	0	92667	337,63	177	0,36
	2	0		355,03	191	0,36
	3	0		343	188	0,38
	1	45	108750	331,73	187	0,41
	2	45		351,41	195	0,36
	3	45		339	240	0,27
	1	90	135000	333,21	254	0,34
	2	90		344,05	270	0,36
	3	90		345,32	246	0,34

Tableau 4 : Les valeurs calculées des coefficients d'érouissages pour la tôle d'épaisseur 0,7mm

Epaisseur (mm)	N° d'essai	DL (°)	E (MPa)	R_m (MPa)	$Re_{0,2}$	n
0,8	1	0	97000	339	194	0,38
	2	0		345	187	0,36
	3	0		283	189	0,34
	1	45	104000	342	208	0,32
	2	45		292	198	0,29
	3	45		347	203	0,36
	1	90	86000	351	172	0,43
	2	90		352	183	0,34
	3	90		318	178	0,31

Tableau 5 : les valeurs calculées des coefficients d'érouissages pour la tôle (0,8mm)

Epaisseur (mm)	DL(°)	E (MPa)	R_m (MPa)	$R_{e0,2}$ (MPa)	n^θ	n
0,7	0	92667	345,22	185,33	0,37	0,36
	45	108750	340,71	207,33	0,35	
	90	135000	340,86	256,66	0,35	
0,8	0	97000	322,33	190	0,36	0,34
	45	104000	327	203	0,32	
	90	86000	340,33	177,66	0,36	

Tableau 6 : les valeurs moyennes calculées de coefficients d'érouissages.

ANNEXES V : Essai de dureté

Les résultats des essais dureté

Les résultats des essais de dureté selon les deux directions de laminage (0° et 90°) de la tôle sont présents dans le tableau suivant :

Epaisseur de la tôle (mm)	La force utilisée(N)	N° de l'empreinte	La dureté (HRC) en (0°)	La profondeur h (mm)	La dureté HRC en (90°)	La profondeur h(mm)
0,7	1226	1	30	0,140	29	0,142
		2	28	0,144	28	0,144
		3	24	0,152	23	0,154
		4	21	0,158	26	0,148
		5	26	0,148	24	0,152
		6	25	0,150	33	0,134
0,8		1	31	0,138	30	0,140
		2	39	0,122	34	0,132
		3	39	0,122	31	0,138
		4	37	0,126	39	0,122
		5	36	0,128	28	0,144

Tableau 1 : les résultats de l'essai de dureté Rockwell (HRC) de l'acier

Epaisseur (mm)	DL (°)	La moyen HRC	La moyen de la profondeur (mm)
0,7	0	25,67	0,148
	90	27,17	0,145
0,8	0	36,40	0,127
	90	32,40	0,135

Tableau 2 : Résumé des Résultats des essais de dureté Rockwell (HRC) de l'acier.

Références et bibliographies

[1] : L'emboutissage des aciers dunod.

[2] : Wassilieff B "Emboutissage : règle principales, calcules, exemples" 3ème édition Dunod, paris.1-3,(1970).

[3] (tôle pour emboutissage) Technique de l'ingénieur, M696, pp.1-18,(1980).

[4] Knight Strip Metals Sales, Processing & Warehouse Saltley Business Park
www.ksmdirect.co.uk

[5] : L'aptitude à l'emboutissage des tôles minces. La prat. Des Ind. Mécanique 50,213-218. <http://doi.Org/10.1051/mattech/19650070213>.

[6] : Le formage des tôles .Rev Métallurgie 69,251-272.
<https://doi.Org/10.1051/metal/197269040251>.

[7] : Vieillissement des aciers. Ed. Technique ingénieur.

[8] : J-CARBONNIERE , thèse de doctorat « Contribution à l'analyse du retour élastique en Emboutissage» L'institut National des Science Appliquées de Lyon.2009.

[10] : Emboutissage des tôles : Importance des modes de déformation, Techniques de l'ingénieur, BM 7 510, 2002.

[11] : Felder,Tribologie de l'emboutissage, Technique de l'ingénieur, M 7535,1994.

[12] : B. Wassilieff, Emboutissage. Règles principales, calcules, exemples. Edition Dunod, Paris,1970.

[13] : JEAN PAUL BAILLON, JEAN MARIE DORLOT,«Des matériaux», 3ème édition, "Polytechnique Montréal 2000.

[14] : Z, Marciniak, J.L. Duncan, S,J. Hu, « Sheet metal forming, Butterworth-Heinemann,2002.

[15] : Claes Arwidson, « Numerical simulation of sheet metal forming for high strength steels », Sweden, 2005.

[16] : STEPHANE BOUCHAR. Descriptif ABAQUS ; Ecole d'ingénieurs en génie Industrie. Bretagne.2012.

Liste des symboles

Re : limite d'élasticité apparent [MPa]

F : Charge limite apparente d'élasticité [N]

S : Section initial [mm^2]

Rm : Résistance a la traction [MPa]

Fm : Charge maximal [N]

A : Allongement à la rupture [%]

Lu : Longueur initial de l'éprouvette [mm]

Z : Coefficient de striction [%]

Su : Section minimal d'éprouvette après rupture [mm]

σ_{xx} : Contrainte maximal [MPa]

EL : Déformation longitudinal []

V : Déformation transversal []

σ_{yy} : Contrainte normal [MPa]

E : Modula de Young [MPa]

ra : Coefficient lankford

σ_{max} : Contrainte maximal [MPa]

y_{max} : Valeur maximal de flèche [mm]

I : Moment d'initie de poutre [mm^4]

H : Symbole de dureté [MPa]

Hv : Dureté vickers [MPa]

D : Diagonale de l'empreinte [mm]

b : Largeur de l'éprouvette [mm]

Résumé

Résumé

Résumé :

Ce travail porte une étude sur deux tôles en acier doux laminé à froid DC04 avec différentes épaisseurs (0.7mm et 0.8mm). Pour notre objectif, ces de déterminer parmi ces tôles laquelle a de bonnes caractéristiques mécaniques pour l'opération d'emboutissage. On a effectué durant la partie pratique des techniques suivantes : Etude Métallographiques et les Essais Mécaniques : Essai de dureté Rockwell et Essai de traction

D'après ces techniques on peut arriver à des résultats et discussion de notre objectif.

Abstract:

.This work deals with a study on two cold-rolled mild steel sheets DC04 with Different thicknesses (0.7mm and 0.8mm) For our objective, these are to determine which of its sheets has good mechanical characteristics for the stamping operation. The following techniques were performed during the practical part: Metallographic study and Mechanical tests: Rockwell hardness test – Tensile test.

For the results of the mechanical tests, we obtained the mechanical characteristics of each sheet.

ملخص :

يتعامل هذا العمل مع دراسة على صفتين من الفولاذ الطري المدلفن على البارد بسماكات مختلفة (0.7 مم و 0.8 مم).

لهدف، تحديد أي من صفائح لها خصائص ميكانيكية جيدة لعملية الختم.

تم تنفيذ التقنيات التالية خلال الجزء العملي:

دراسة علم المعادن تحديد الخصائص المعدنية عن طريق الملاحظة المجهريّة لتحليلها جيّدًا

الاختبارات الميكانيكية: اختبار صلابة روكويل واختبار الشد

وفقًا لتقنياته يمكننا تحقيق لنتائج الاختبارات الميكانيكية حصلنا على الخصائص الميكانيكية لكل ورقة