

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

N° :



DOMAINE : Sciences Et Technologies
FILIERE : Mécanique
OPTION : Construction Mécanique

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: Djabri rezkallah

Mihoubi ishak

Intitulé

Etude Et Réalisation D'une Emboutisseuse Des Tôles
De Faible Epaisseur

Soutenu publiquement le : 18 / 06 / 2018, devant le jury composé de :

Benkharbeche H	M.C.B ; université de Mohamed boudiaf-m'silaPrésident
Debih A	M.A.A ; université de Mohamed boudiaf-m'silaEncadreur
Bedda A	M.A.A ; université de Mohamed boudiaf-m'sila Examineur
Belhoucine A	M.A.A ;université de Mohamed boudiaf-m'silaExamineur

Année universitaire : 2017 /2018

Remerciement

Nous tenons à remercier tout d'abord ALLAH le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Monsieur **Debih ali** docteur à l'université de M'sila, pour avoir d'abord proposé ce thème, pour son suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils. A travers ce mémoire, nous adressons Responsables de l'entreprise des réalisations monsieur **mihoubi maroin** et nos reconnaissances à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation depuis la première classe du primaire jusqu'à aujourd'hui.*

Nos remerciements vont aussi à tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Djabri rezkallah - Mihoubi ishak

Sommaire :

Table des matières	
Index des figures	
Index des tableaux	

INTRODUCTION

CHABITER I

I.1 Généralités sur la mise en forme des métaux.....	2
I.2 Généralités de l'emboutissage industriel.....	7
I.2.1 Définitions.....	7
I.2.1.1 Modes d'emboutissage.....	8
I.2.2 L'emboutissage en température.....	9
I.2.2.1 L'emboutissage à froid :.....	9
I.2.2.2 L'emboutissage à chaud.....	10
I.2.3 Intérêts et débouchés.....	10
I.2.4 Matériaux et formes d'emboutis.....	11
I.2.4.1 Comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage.....	11
I.2.4.2 Formes des pièces emboutis.....	12
I.3 Caractérisation en emboutissage.....	17
I.3.1 Mesure de déformations en emboutissage.....	17
I.3.1.1 Principe et analyse des déformations.....	18
I.3.1.2 Courbes limites de formage.....	19
I.3.1.4 Les modes de déformations.....	19
I.3.2 Essais d'emboutissage.....	20
I.3.2.1 Essais d'expansion Biaxiale.....	21
I.3.2.2 Essais de rétreint.....	21
I.3.2.3 Essais mixtes.....	22
I.3.3 Aspects métallurgiques d'emboutissage.....	23
I.3.3.1 Prise en compte de directions de laminage.....	23
I.3.3.2 Validité de ces critères.....	24
I.5 Conclusion.....	25

CHABITER II

1.1 Introduction.....	26
2. Principaux défauts rencontrés en emboutissage.....	26
3. LES ASPECTS OPÉRATOIRES.....	29
3.1 Le jeu entre le poinçon et la matrice :.....	29
3.2 Le rayon sur la matrice.....	30
3.3 Rayon du poinçon (Rp) :.....	30
3.4 La vitesse d'emboutissage :.....	31
3.5 La pression du serre-flan.....	32
3.5.1 Serre-flan.....	32
3.5.2 L'effort d'emboutissage.....	33
4. Paramètres liés à la tôle.....	35
4.1 La taille de la tôle.....	35
5. détermination des diamètres du flan et nombre de passes.....	35

5.1 Diamètre Du Flan.....	35
5.1.1 Méthode Analytique.....	36
5.1.2 Méthode Graphique.....	37
5.1.2.1 1 ère méthode (Application du théorème de GULDEN)	37
5.1.2.2 Méthode de traçage	38
5.1.2.3 2 ème méthode : (cas d'emboutissage sans collerette).....	39
5.2 Nombre De Passes.....	39
5.3 Tolérances dimensionnelles	40
6.Conclusion.....	41
CHABITER III	
3.1 Introduction	42
3.2. Généralités sur la processus de production	42
3.3. Description et présentation de l'outil "CAO" Solid Works.....	43
3.4 Présentation finale de la conception.....	44
3.5 Réalisation du mécanisme.....	45
3.5.1 Caractéristique de la machine.....	47
3.5.2 La Première Partie	48
3.5.2.1 La mise en plan de parte presse hydraulique	49
3.6 Deuxième partie: la partie fonctionnellement d'emboutisseuse	50
3.8 l'aspect opérationnel	52
3.8.1 - le jeu entre le poinçon et la matrice.....	53
3.8.2 - La Matrice.....	53
3.8.3 - le rayon sur la matrice	54
3.8.4-Le rayonne sur le poinçon.....	54
3.8.5 -la pression du serre-flan	55
3.8.6 L'effort d'emboutissage	56
3.9 la manipulation	57
3.10 Conclusion	64
Conclusion général.....	65
bibliographie	66
Annexes	68

Index des figures

FIGURE 01	Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques.....	1
FIGURE 02	Procédé d'emboutissage.....	2
FIGURE 03	Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan.....	2
FIGURE 04	Retour élastique.....	3
FIGURE 05	Outils d'emboutissage d'aile d'une voiture.....	4
FIGURE 06	Ligne de presses d'emboutissage.....	4
FIGURE 07	Le procédé d'emboutissage en chiffres.....	5

FIGURE 08	A) emboutissage par expansion, b) emboutissage profond avec rétreint.....	8
FIGURE 09	Modes de déformation dans le repère des déformations principales majeure et mineur.	11
FIGURE 10	Emboutissage en expansion pure type erichsen.....	12
FIGURE 11	Les modes de déformation sur un embouti.....	13
FIGURE 12	Plissement dans la partie libre de l'embouti.....	14
FIGURE 13	Emboutissage renversé.....	16
FIGURE 14	Emboutissage de pièce demi sphérique.....	16
FIGURE 15	Emboutis rectangulaires.....	17
FIGURE 16	Courbes limites de formage : $x6cr17$	19
FIGURE 17	Principaux modes de déformation en emboutissage illustrés par des emboutis servant à desEssais de caractérisation	20
FIGURE 18	Essai swift.....	21
FIGURE 19	Essai Fukui et rupture caractéristique.....	22
FIGURE 20	Hauteur relative des cornes.....	24
FIGURE 21	Rupture (a), retour élastique (b) et plissement (c) et (d).....	26
FIGURE 22	Variation de l'arrondi sur la matrice.....	30
FIGURE 23	le rayon sur le poinçon.....	31
FIGURE 24	pièce avec détournage.....	35
FIGURE 25	exemple de traçage avec l'application du théorème de GULDEN.....	36
FIGURE 26	d'emboutissage sans collerette.....	37
FIGURE 27	la détermination graphique.....	38
FIGURE 27	Nombre de passes.....	38
28		
	CHAPITRE 03	
FIGURE 01	Barre d'outils de l'esquisse.....	43
FIGURE 02	Barre d'outils des fonctions.....	43
FIGURE 03	. Barre d'outils des fonctions de l'assemblage.....	43
FIGURE 04	schéma d'emboutisseuse sous Solid Works.....	44
FIGURE 05	présentation "3D" d'emboutisseuse par Solide Works.....	44
FIGURE 06.1	la vue de face d'emboutisseuse.....	45
FIGURE 06.2	la vue de cote.....	46
FIGURE 07	La partie de presse hydraulique.....	48
FIGURE 08	le dessin d'assemblage de la partie presse.....	49
FIGURE 09	la partie emboutie inactive.....	50
FIGURE 10	la partie emboutie active.....	50
FIGURE 11	Dessin d'assemblage de partie emboutissage.....	51
FIGURE 12	Légende.....	53
FIGURE13	Matrice.....	54
FIGURE 14	le serre-flan.....	55
FIGURE 15	flan.....	57

FIGURE 16	mode de fonctionnement de EM 2018.....	59
.**		
FIGURE 17	D'défaut d'emboutissage : Formation des plis.....	61
FIGURE 18	Formation des plis a moins la 1eme expérience.....	61
FIGURE 19	pièce sons plis	62
FIGURE 20	défaut la rupture.....	63
FIGURE 21	la pièce final.....	63
FIGURE 22	la pièce de épaisseur 0.6 mm.....	64

Index des tableaux

TABLEAU 1	Tableau 1. Caractéristiques des différentes catégories de tôles.....	14
TABLEAU 2	vitesses d'emboutissage pour différent matériaux.....	32
TABLEAU 3	pression spécifique.....	33
TABLEAU 4	calcul des efforts et énergies nécessaires pour une opération d'emboutissage.....	34
TABLEAU 5	calcul des surfaces élémentaires.....	36
TABLEAU 6	quelques valeurs des coefficients de réduction pour différents types de métaux.....	40
TABLEAU 7	propriété d'aluminium.....	59

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La transformation des tôles mécaniques en produits finis a une importance considérable dans de nombreuses industries telles que la construction mécanique

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. Et la fabrication de prototype de machine d'usinage plus importante pour étudier le paramètre et l'influence avant usinage réelle.

Dans ce travail nous avons conçu et réalisé un prototype d'une emboutisseuse pour étudier l'influence des paramètres du procédé d'emboutissage tels que : l'effort de serrage, le coefficient de frottement, la géométrie du flan, la géométrie des outils et la déformation sur des pièces embouties et représenter les paramètres contrôlés de ce processus.

Le plan de rédaction de mémoire est le suivant :

Nous commençons par un premier chapitre présentant le principe d'emboutissage et des généralités sur : les modes d'emboutissage, les matériaux emboutissables et les formes d'emboutis, suivi d'une présentation des essais et de la mesure de déformations en emboutissage, ensuite, une description de l'aspect métallurgique (coefficient d'anisotropie et d'écroutissage) et de l'aspect opératoire.

Le deuxième chapitre qui représente l'étude de sensibilité des paramètres d'emboutissage nous présentons les principaux défauts rencontrés en emboutissage et les paramètres contrôlés de ce processus.

Le troisième chapitre qui représente la conception d'emboutisseuse par l'utilisation du logiciel Solid Works, Ce travail sera finalisé par une conclusion générale précisant ainsi les résultats obtenus.

CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS SUR LE PROCÉDÉ D'EMBOUTISSAGE

I.1 Généralités sur la mise en forme des métaux

Il existe trois voies principales de mise en forme selon l'état de départ du matériau métallique (l'émouillage, le façonnage et le frittage). La Figure 1 récapitule les principaux procédés de mise en forme des métaux utilisés actuellement. Parmi les techniques de formage sans enlèvement de matière des métaux en feuilles on trouve le procédé d'emboutissage. Il est l'un des procédés de mise en forme des tôles minces le plus ancien et le plus répandu dans le milieu industriel [01]

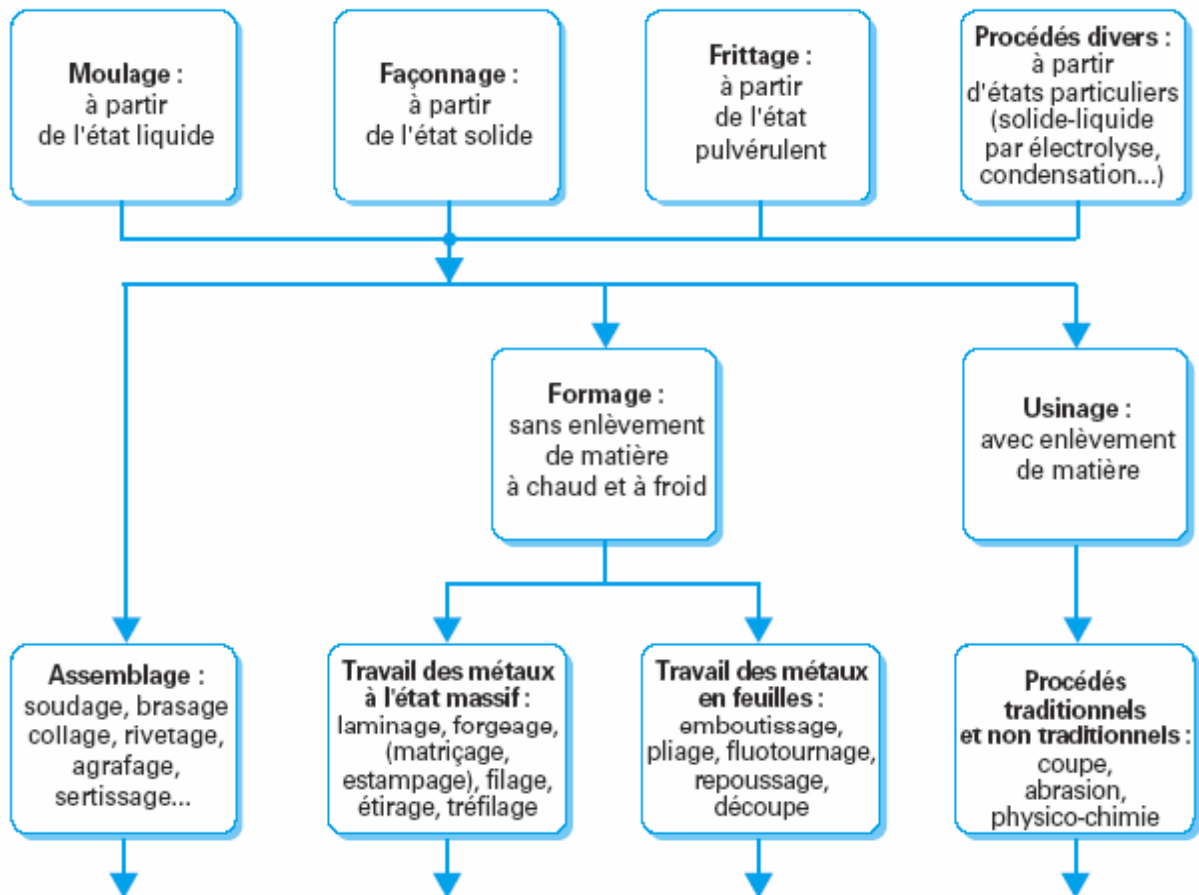


Figure 1. Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques.

L'emboutissage consiste alors à fabriquer, à partir d'un flan plan de faible épaisseur, une pièce de forme complexe généralement non développable. Le flan étant plaqué, avec une certaine force contre la matrice, par le serre-flan et mis en forme par avancée du poinçon à l'aide d'une presse.

Nous pouvons présenter le procédé d'emboutissage comme suit (Figure 2 et 3) :

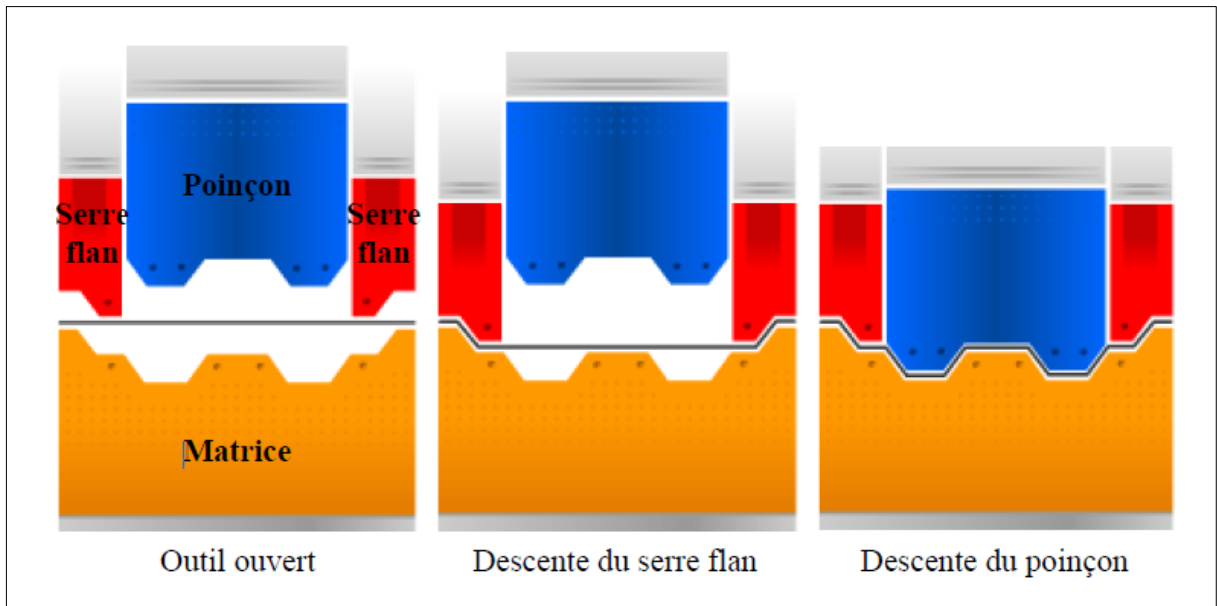


Figure 2. Procédé d'emboutissage.

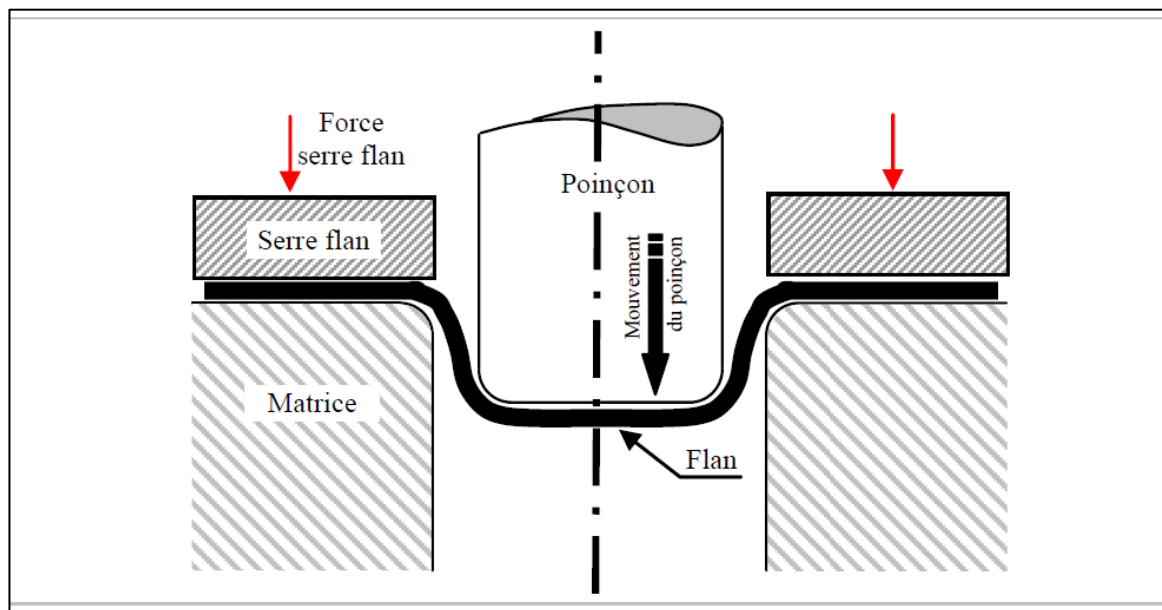


Figure 3. Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan.

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

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

Au cours de l'opération d'emboutissage, le flan est tout d'abord pincé entre la matrice et le serre-flan puis, lorsque le serrage est effectué, le poinçon descend à l'intérieur de la matrice entraînant ainsi le métal dans sa course et l'obligeant à épouser son contour sous l'effet des tensions engendrées par la retenue du serre-flan. Comme pour tous les procédés de formage, l'opération d'emboutissage engendre de grandes déformations dans la tôle. Si les conditions opératoires ne sont pas optimales, ces déformations conduisent à des défauts comme la rupture, le plissement et des distorsions géométriques dues au retour élastique (Figure 4) [13].

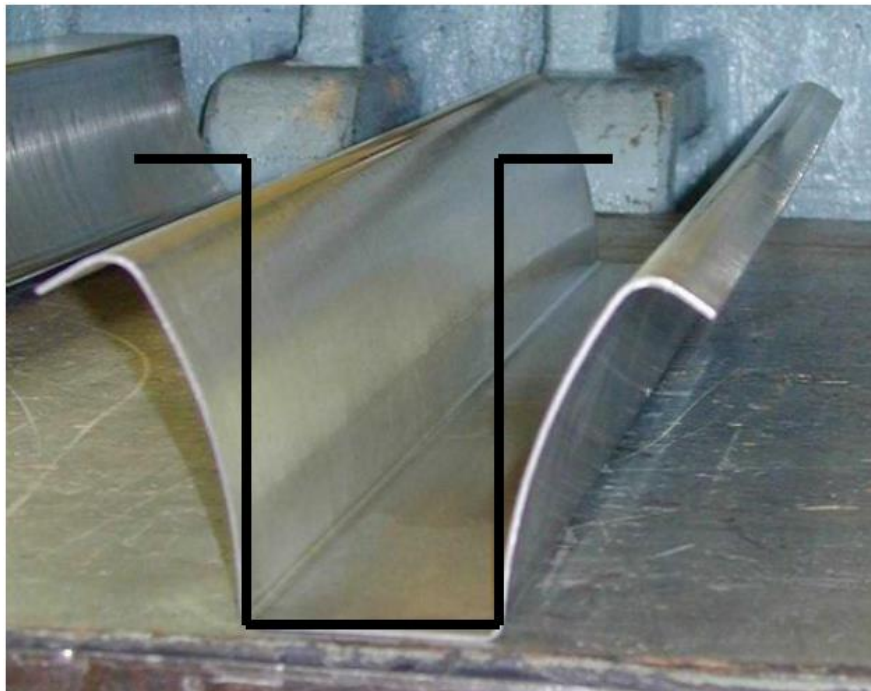


Figure 4. Retour élastique

Le procédé d'emboutissage est important dans les divers secteurs industriels : transport, carrosserie automobile (Figure 5), appareils électroménagers, emballages métalliques, etc. Un des intérêts principaux expliquant le succès de ce procédé réside dans la variété des composants réalisables et la cadence de production élevée. L'opération d'emboutissage peut se faire à froid ou à chaud, par l'intermédiaire d'une presse ou d'une ligne des presses lorsque plusieurs opérations sont nécessaires (Figure 6), [02].

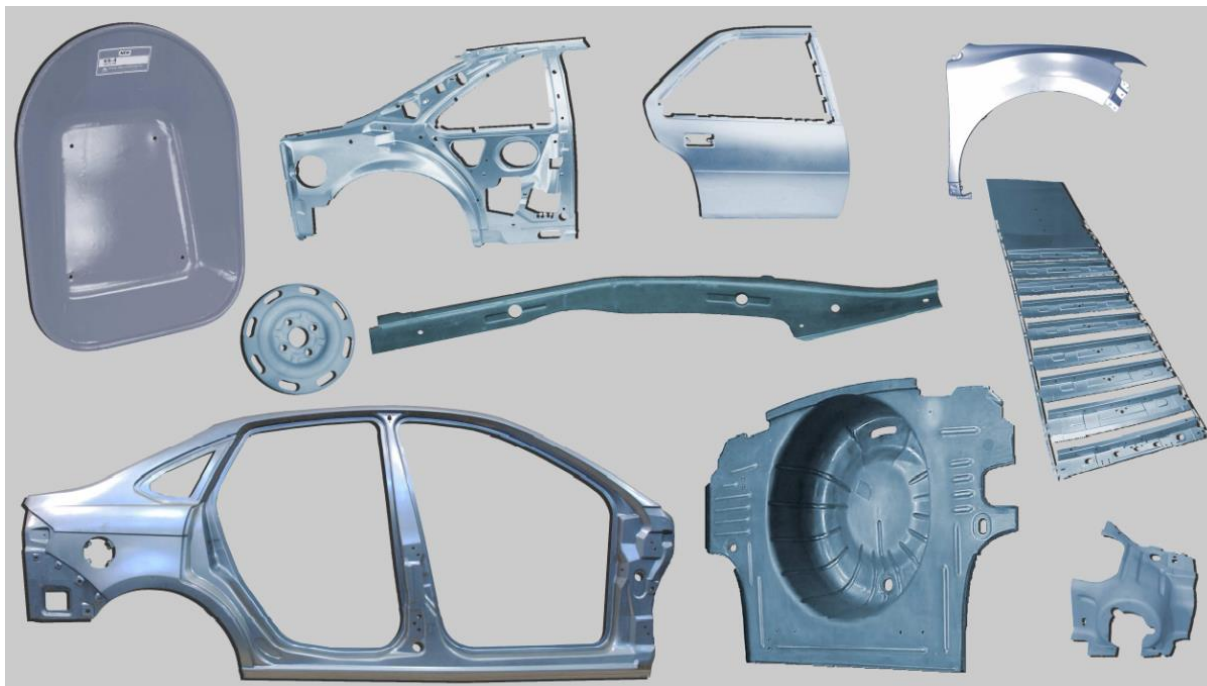


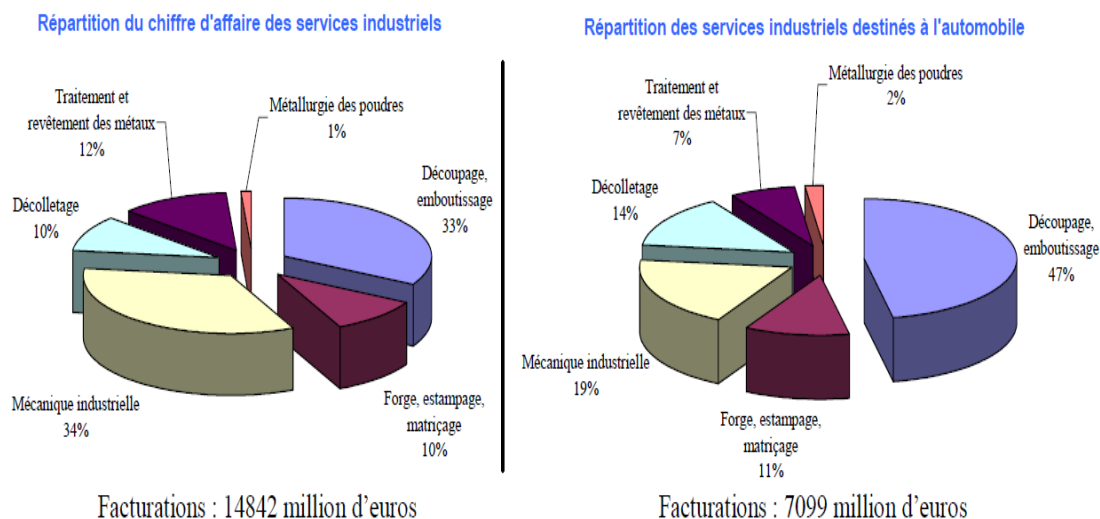
Figure 5. emboutissage d'aile d'une voiture



Figure 6. Ligne de presses d'emboutissage.

CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS SUR LE PROCÉDÉ D'EMBOUITISSAGE

D'après une étude du Service des Études et des Statistiques Industrielles en 2004 du Ministère de l'Économie des Finances et de l'Industrie de France, les entreprises travaillant dans le secteur découpage emboutissage, occupent la première place des fournisseurs de pièces et d'équipements automobile, avec 47% des investissements (Figure 7), [03].



L'automobile : marché prioritaire

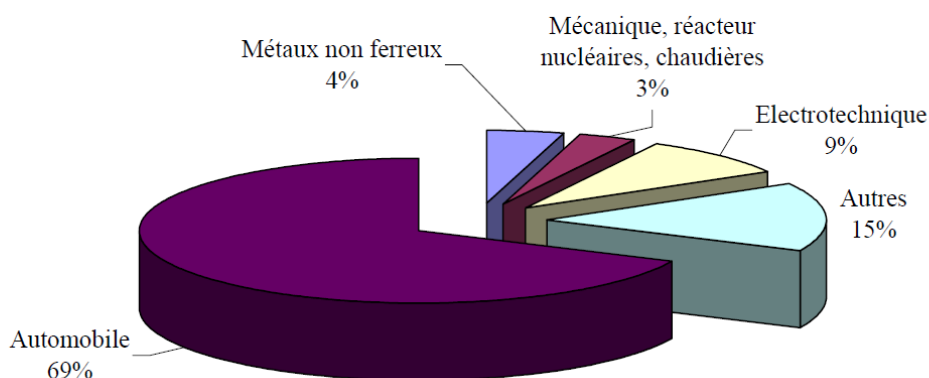


Figure 7. Le procédé d'emboutissage en chiffres

Le secteur découpage emboutissage, qui est la deuxième grande composante des services industriels en terme de chiffre d'affaires (33%), est caractérisé par sa forte corrélation avec l'industrie automobile qui représente plus des deux tiers de ses débouchés (68.1%). Les fournisseurs de cette branche bénéficient tout naturellement de la demande en provenance de ce secteur. Mais ils doivent suivre les orientations stratégiques des constructeurs automobiles et les nouveaux besoins des consommateurs [02]. Comme pour tous les procédés de mise en

CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS SUR LE PROCÉDÉ D'EMBOUITISSAGE

forme des matériaux métalliques (estampage, découpage, pliage, forgeage, fonderie, etc.) les exigences actuelles sont de plus en plus grandes, et la compétition industrielle se joue désormais en grande partie sur la qualité des produits et la fiabilité du procédé. A cet égard, les entreprises se tournent de plus en plus vers les innovations du procédé afin d'identifier les technologies clés pour :

- Améliorer la qualité des pièces embouties et la flexibilité des outils .
- Réduire les coûts de la production.
- Améliorer la productivité et la compétitivité.

➤ Les principaux paramètres du procédé sont :

- L'épaisseur initiale de la tôle.
- La loi de comportement du matériau et l'anisotropie de ce dernier.
- La vitesse du poinçon.
- La position du flan initial et le dimensionnement du contour initial.
- La force de serrage serre-flan et les coefficients de frottement, ainsi qu'éventuellement la forme et la position de joncs (Figure 3).

La réalisation d'un emboutissage s'avère donc complexe, et sa réussite est souvent liée à l'expérience. En effet, l'emboutissage se définit, rappelons-le, par une transformation permanente d'une feuille de métal en une forme tridimensionnelle par l'action d'outils.

Ce qui permet de mettre en exergue les aspects suivants :

- Les grandes transformations géométriques d'une structure mince .
- Le comportement élastoplastique anisotrope du matériau .
- Les contacts et frottements entre les outils et la tôle.

Ainsi, nombreux sont ceux qui, désireux 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.

I.2 Généralités de l'emboutissage industriel

I.2.1 Définitions

L'emboutissage est un procédé de mise en forme qui consiste à venir déformer plastiquement une tôle métallique mince (en général d'épaisseur inférieure à 3 mm) pour générer, à partir d'une surface souvent plane, une forme complexe de géométrie non développable. Ce procédé est l'un des seuls à pouvoir tenir des cadences de production élevées tout en respectant les tolérances géométriques exigées. [01] [04] 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.

➤ Le processus de l'emboutissage se décompose de la manière suivante.[5] :

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

➤ Les principaux paramètres du procédé sont [11]:

- L'épaisseur initiale de la tôle.
- La loi de comportement du matériau et l'anisotropie de ce dernier.
- La vitesse du poinçon.
- La position du flan initial et le dimensionnement du contour initial.
- La force de serrage serre-flan et les coefficients de frottement, ainsi qu'éventuellement la forme et la position de joncs.

I.2.1.1 Modes d'emboutissage

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 [02]:

- 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 8-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 8-b) montre un emboutissage profond avec rétreint du métal glissant sous le serre-flan, l'épaisseur entre serre-flan et matrice peut augmenter.

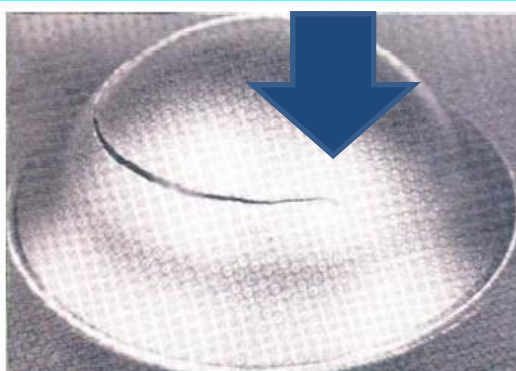
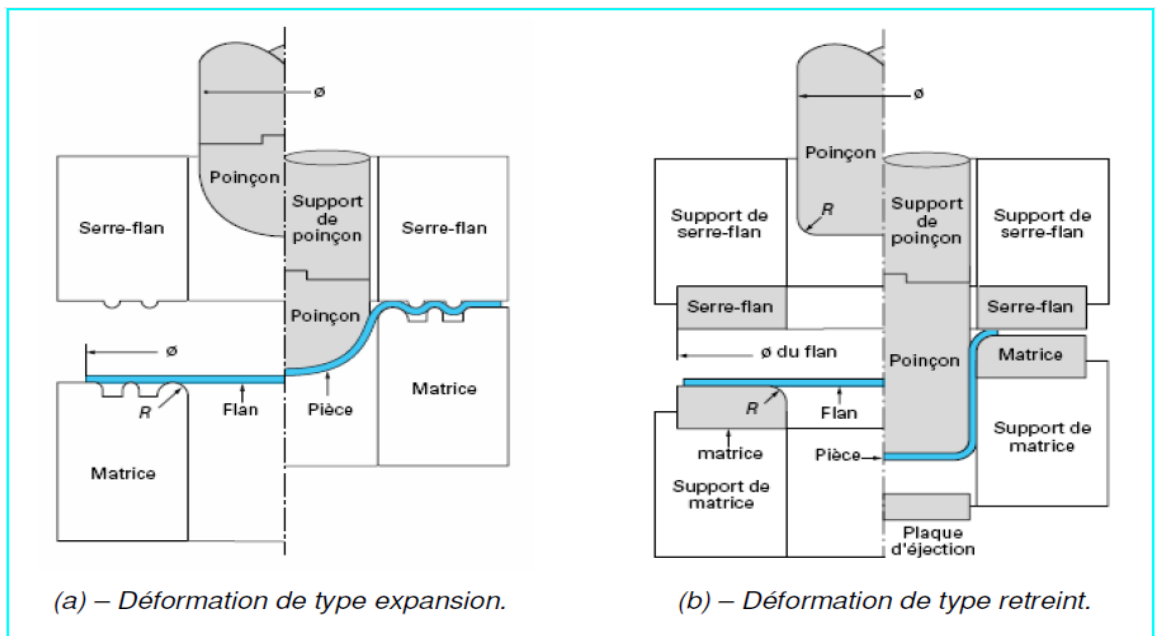


Figure 8. a) Emboutissage par expansion, b) Emboutissage profond avec rétreint. et Exemples des pièces

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 épaississement 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 [05].

I.2.2 L'emboutissage en température

Il existe deux techniques d'emboutissage [02]:

I.2.2.1 L'emboutissage à 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 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).

I.2.2.2 L'emboutissage à chaud

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'érouissage 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.

I.2.3 Intérêts et débouchés

L'emboutissage sous presse présente de nombreux intérêts tant par son aspect économique que qualitatif : Cette technique de mise en œuvre offre un bas prix de revient et permet des cadences de production très élevées : 100 à 200 pièces par heure pour des pièces de gros volumes (carrosserie automobile) et jusque 3000 à 4000 pièces par heure pour des petites pièces (renfort, capuchon de réservoir) [07].

L'érouissage résultant des déformations imposées par la tôle donne des caractéristiques supérieures à celle du flan. Ces fortes caractéristiques permettent un allègement des pièces. La qualité de l'état surface d'une pièce brute d'emboutissage est nettement supérieure à celle des pièces coulées. L'esthétique des pièces embouties en est donc bien supérieure et les travaux de finition tel que le polissage sont moins lourds à gérer et surtout moins coûteux. Les débouchés de cette technique de mise en forme sont donc extrêmement larges. Nous noterons notamment la présence de l'emboutissage dans les domaines :

- Des transports : que ce soit dans le domaine de l'automobile, des transports routiers ou des deux-roues, l'emboutissage intervient pour de très nombreuses pièces extérieures (carrosserie) et intérieures (renforts).
- De l'électroménager : radiateurs, machines à laver, ballon d'eau chaude,...
- Du sanitaire : lavabos métalliques, bacs de couches,...
- De l'emballage : boîtes de boisson, conserves,...
- Des pièces mécaniques : des biens de consommation courante,...

I.2.4 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 oeuvre d'une tôle nécessitera certains réglages ou certaines actions préalables dépendant de la nature même du matériau. [10].

I.2.4.1 Comportement du matériau 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, conduisant à la formation d'ondulations que nous matériau donné, 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 9) [06] :

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

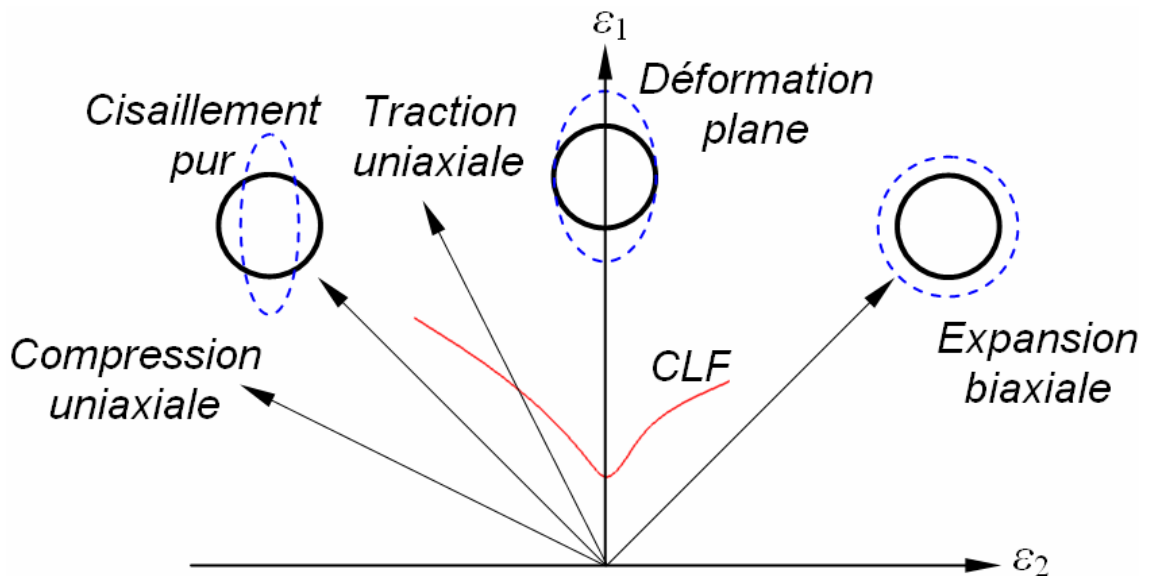


Figure 9. Modes de déformation dans le repère des déformations principales majeure et mineure.

La Figure 10 met en évidence un emboutissage par expansion pure type Erichsen. La tôle est soumise à l'action d'un poinçon hémisphérique alors que le métal 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 où se produit la rupture. Plus le frottement augmente, plus l'amincissement s'éloigne du pôle [07].

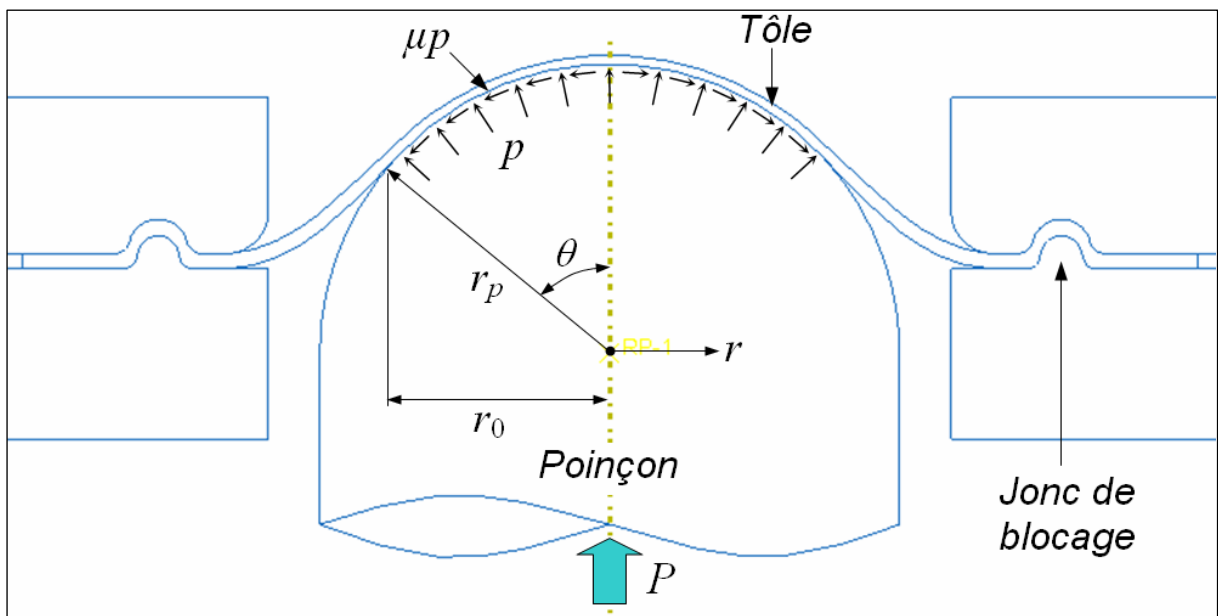


Figure 10. Emboutissage en expansion pure type Erichsen.

La Figure 11 montre une situation d'emboutissage profond, sur lequel nous identifions plusieurs secteurs et principaux modes de déformation (rétreint, expansion, flexion, pliage, etc.). Le secteur sous serre-flan repéré *Rétreint* subit une compression circonférentielle, qui résulte de l'avalemt du métal dans la partie semi-circulaire de la matrice. La bordure initiale de ce secteur se raccourcit au fur et 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 serre-flan à la zone en traction simple, elle subit alors un phénomène de flexion alternée (cambrage dé cambrage) en passant le rayon de la matrice. [08]

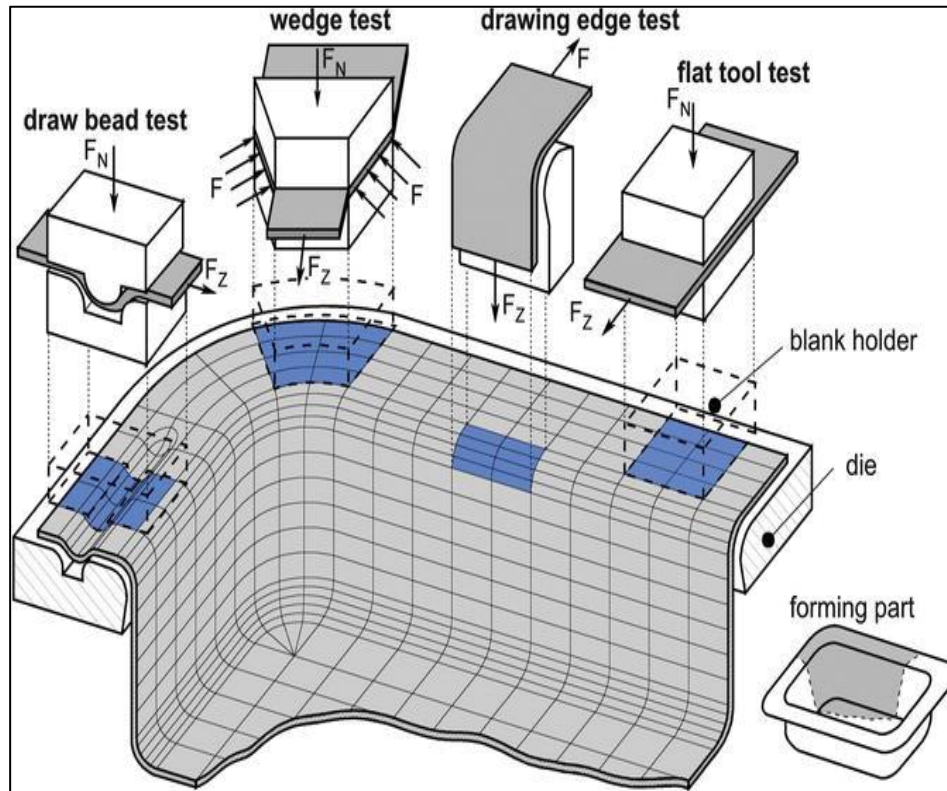


Figure 11. Les modes de déformation sur un embouti.

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.

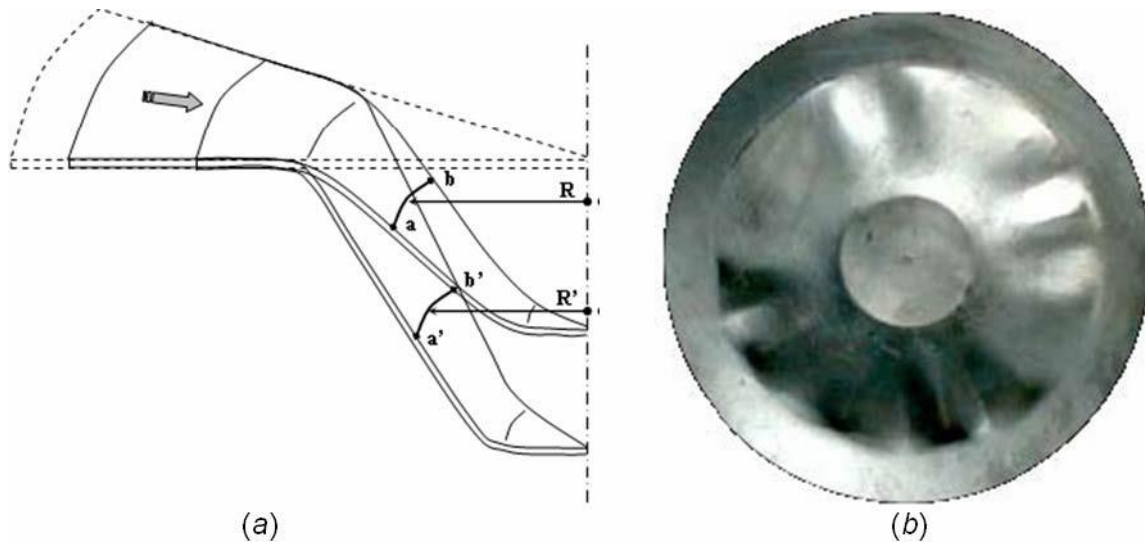


Figure 12. Plissement dans la partie libre de l'embouti.

Deux grandes familles de matériaux largement utilisés en l'emboutissage [11] [09] :

- 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 1).

Tableau 1. Caractéristiques des différentes catégories de tôles.

	Résistance à la rupture (daN/mm^2)	Allongement (%)	Dureté Rockwell
<i>TC</i>	42	24	65
<i>E</i>	38	30	57
<i>ES</i>	35	36	50

de chrome. Ainsi les vitesses d'emboutissage doivent être plus lentes que pour l'acier, le métal s'érouissant plus rapidement.

➤ Les alliages non ferreux :

— Les laitons : 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 optique, 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'érouissant à l'emboutissage, l'étrirage 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 n 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.

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.2.4.2 Formes des pièces emboutis

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[17].

- **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. Figure 13

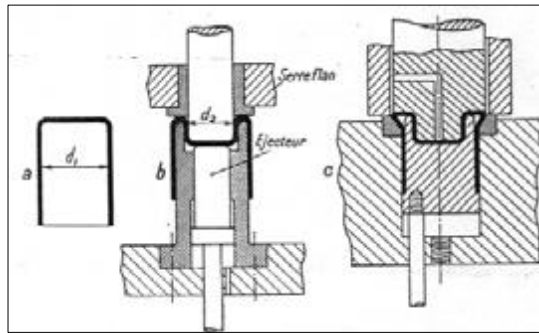


Figure 13. Emboutissage renversé.

- **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 dépliés, mais il est possible en une seule passe si la matrice est munie d'un bourrelet

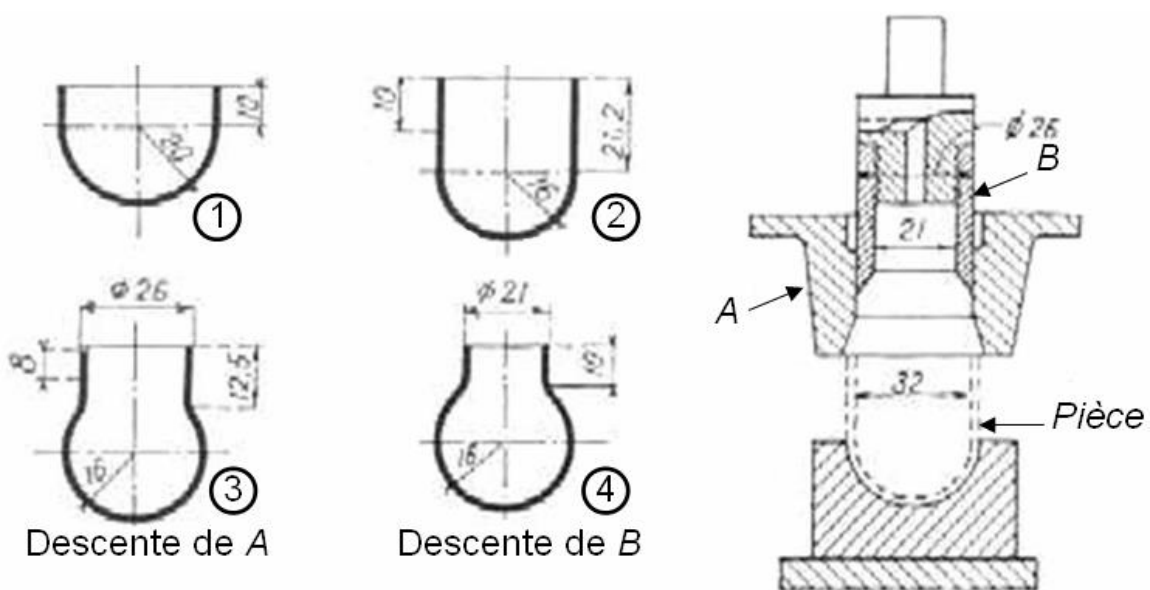


Figure 14. Emboutissage de pièce demi sphérique.

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. Figure 15



Figure 15. Emboutis rectangulaires.

I.3 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. .[18]

I.3.1 Mesure de déformations en emboutissage

I.3.1.1 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 [13] [12]:

— dans le sens de la longueur (généralement la direction de laminage) :

➤ $\epsilon_1 = \ln(L/L_0)$

— dans le sens de la largeur (généralement la direction perpendiculaire) :

$$\triangleright \varepsilon_2 = \ln(b/b_0)$$

— dans le sens de l'épaisseur :

$$\triangleright \varepsilon_3 = \ln(h/h_0)$$

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 :

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

I.3.1.2 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].

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. Tendence au ridage.
- G. Rides entièrement développées.

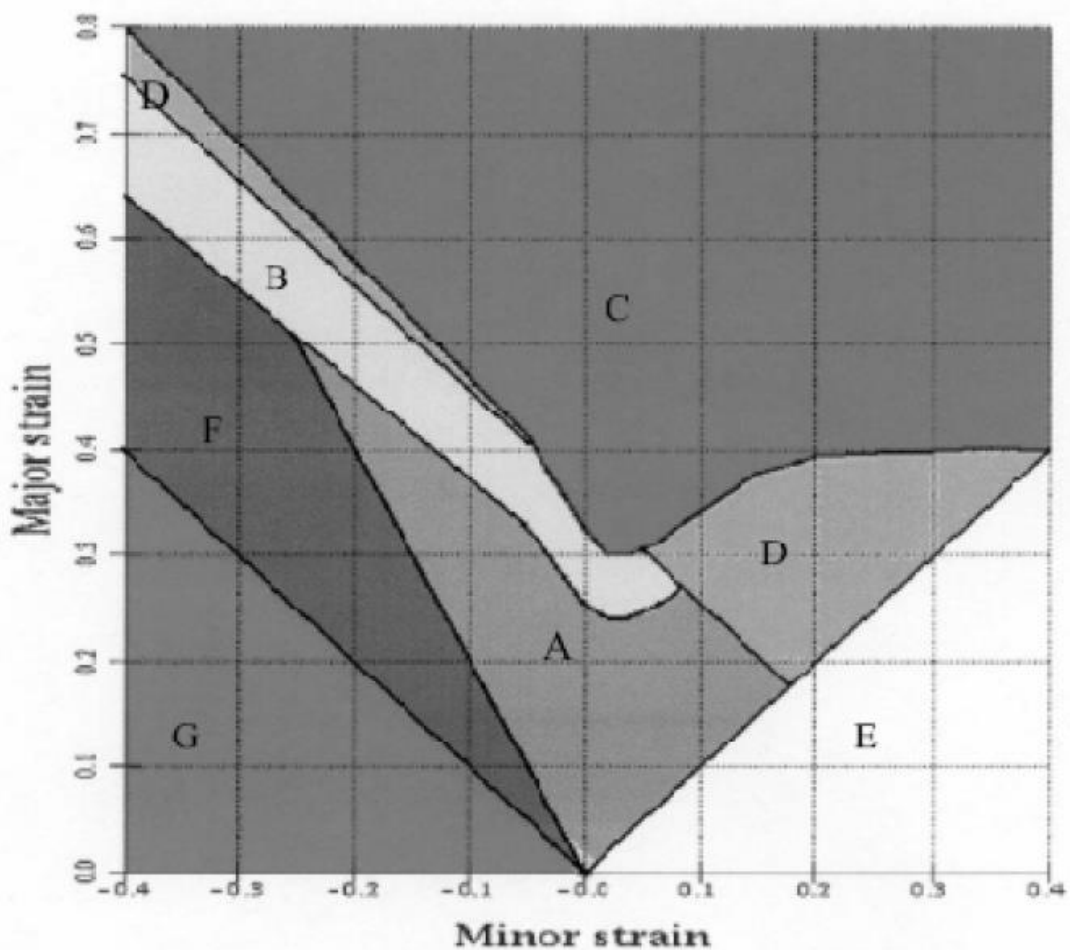


Figure 16 .Courbe limite de formage pour différents domaines

I.3.1.4 Les modes de déformations

L'étude des déformations à l'aide de ces grilles a permis de mettre en évidence les différents modes de déformations existant lors d'un emboutissage. On distingue principalement[13] [16]:

- l'expansion biaxiale .
- l'expansion symétrique.
- la déformation plane .
- l'allongement uni axial.
- la distorsion pure .
- la compression pure .
- le rétreint .
- le pliage sous tension .

I.3.2 Essais d'emboutissage

De nombreux essais spécifiques ont été imaginés et utilisés pour juger l'aptitude d'une tôle à subir l'opération d'emboutissage. Nous les avons classés selon le mode de déformation prédominant. [15] ,[16] ,[17]

La Figure 21 , représente les principaux modes de déformations tels qu'ils apparaissent sur des emboutis servant à des essais de caractérisation (essais Swift, Erichsen, etc.) [10] ,[16]. Les cercles sur le graphe montre l'état des déformations de la matière, c'est à dire on dessine sur la tôle initiale des petits cercles puis on fait l'emboutissage et après formage on regarde la forme du cercle, il devient ellipse où l'axe Y (vertical) de l'ellipse est ϵ_1 et l'axe X (horizontal) est ϵ_2 .

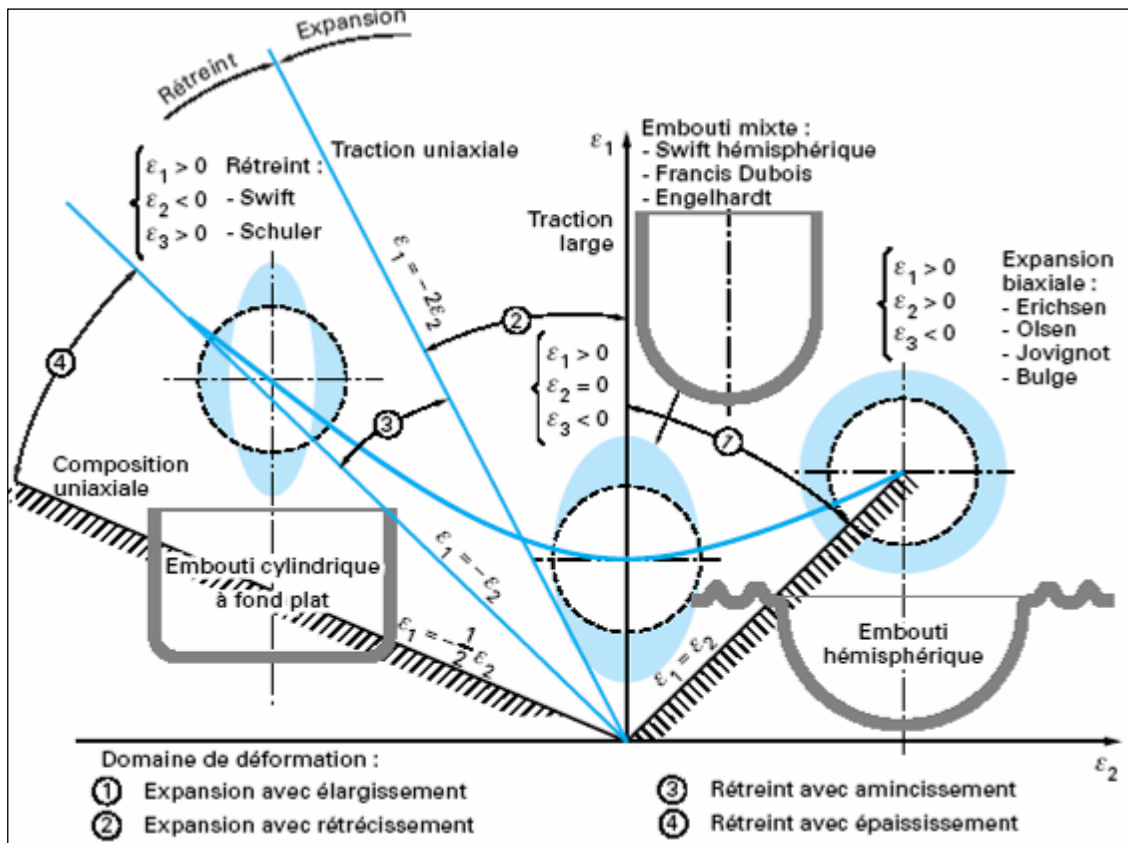


Figure 17. Principaux modes de déformation en emboutissage illustrés par des emboutis servant à des essais de caractérisation.

La représentation la plus fidèle des déformations sur un embouti pendant et après formage est donnée par les déformations rationnelles qui peuvent être représentées dans un diagramme dont les axes orthogonaux sont les déformations principales ϵ_1 et ϵ_2 . Le domaine de l'expansion est défini par la surface comprise entre les demi-droites :

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 \quad \text{et} \quad \epsilon_1 = -2\epsilon_2$$

Le domaine du rétreint est défini par les demi-droites :

- $\varepsilon_1 = -2\varepsilon_2$ Et $\varepsilon_1 = -1/2\varepsilon_3$
- Dans le mode de déformation en rétreint, on notera, en particulier, l'augmentation d'épaisseur au sommet de la jupe de l'embouti ($\varepsilon_3 > 0$), alors que dans le mode en expansion il y a amincissement de l'épaisseur du flan sous le nez du poinçon ($\varepsilon_3 < 0$).

I.3.2.1 Essais d'expansion Biaxiale

Comme les frottements modifient la répartition des déformations dans la tôle, il faut distinguer le cas des essais sans frottement (gonflement hydraulique : Jovignot, Bulge test) de celui avec frottements (poinçon hémisphérique : Erichsen modifié; essai suédois; Persoz; et Renault).

I.3.2.2 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 22). Le but de cette expérimentation est de caractériser le rapport entre le diamètre d du poinçon et le diamètre D du flan.

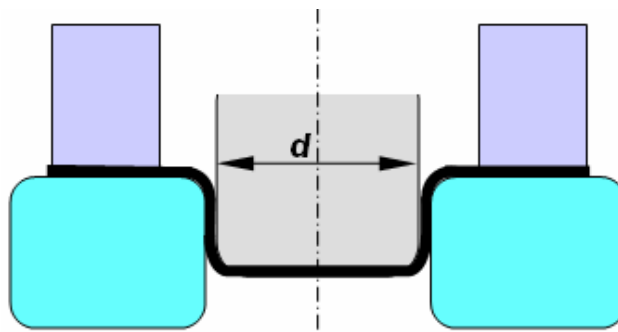


Figure 18. Essai Swift.

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.

I.3.2.3 Essais mixtes

Ce sont les essais les plus répandus car ils permettent d'analyser tous les modes de déformation présentés précédemment. Nous noterons par exemple la présence d'essais :

— de coupelle cylindrique à flan non bloqué et à poinçon hémisphérique (Erichsen, Swift) ou ellipsoïdal (Renault), hémicylindriques (Chausson).

— de coupelle cylindrique à fond plat mais à grand rayon de raccordement (Dubois).

— de coupelle à fond plat avec successivement emboutissage à flan non bloqué puis rupture à flan

bloqué (Engelhardt).

— d'expansion d'un trou sur un poinçon où la fibre située le long du trou s'allonge jusqu'à rupture.

— de coupelle conique, sans serre-flan, à fond plat, ou hémisphérique (Fukui) (Figure 23).

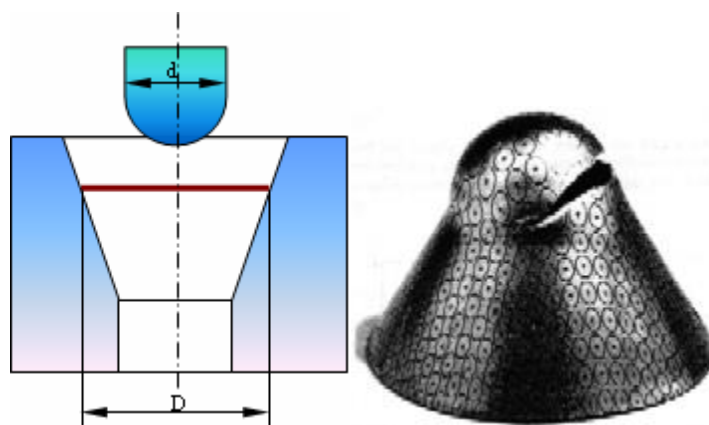


Figure 19. Essai Fukui et rupture caractéristique.

Ce dernier essai a connu une grande reconnaissance justifiée par sa grande simplicité, sa rapidité d'exécution et son excellente reproductibilité. Celle-ci est en grande partie attribuable à la suppression de la dispersion due aux frottements par suite de l'absence du serre-flan et l'emploi d'un outillage (matrice et poinçon) poli. Il permet de calculer le rapport entre le diamètre d du poinçon et le diamètre à mi-hauteur D de la matrice conique.

I.3.3 Aspects métallurgiques d'emboutissage

L'étude de l'emboutissage suivant l'aspect métallurgique tend à mettre en évidence une relation générale entre l'influence des caractéristiques du métal et les performances obtenues sur presse. On parle dans ce cas des critères d'emboutissabilité, de la taille des grains, de la structure cristallographique ainsi que des éléments constitutifs du métal.[16] ,[11]

I.3.3.1 Prise en compte de directions de laminage

L'anisotropie de déformation plastique des tôles tient un rôle prépondérant dans la caractérisation d'une tôle.[10],[07]. L'étendue de ce critère a été mis en évidence grâce à l'analyse de la déformation du flan sur le serre flan (rétreint) dans les parois d'une coupelle ou aux pôles d'embouti (expansion). Du fait de l'orientation préférentielle des cristaux, la tôle ne possède pas les mêmes propriétés mécaniques suivant la direction considérée. Il en résulte aussi une perte de l'équilibre des déformations entre la largeur et l'épaisseur lors d'un essai de traction uni axiale. C'est sur ce point que *Lankford* a décidé de baser le second critère d'emboutissabilité, qui est une proportionnalité entre la déformation rationnelle dans le sens de la largeur ε_2 et celle dans le sens de l'épaisseur ε_3 , définie par le coefficient d'anisotropie :

$$\text{➤ } r = \frac{\ln\left(\frac{b}{b_0}\right)}{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)} = \varepsilon_2 / \varepsilon_3$$

Il représente, en fait, la façon dont l'alliage se comporte entre le rétrécissement et l'amincissement.

Si $r < 1$, le métal aura tendance à s'amincir plutôt qu'à se rétrécir alors

que si $r > 1$, le métal aura plutôt tendance à se rétrécir qu'à s'amincir. Le coefficient d'anisotropie r dépend de la direction de la déformation. Ainsi, pour caractériser l'anisotropie d'un matériau, il est nécessaire de la mesurer à 45° , à 90° et dans le sens de laminage (direction 0°). Ainsi, on définit le coefficient d'anisotropie moyen :

$$\text{➤ } r_n = 1/4(r_0 + r_{90} + 2r_{45})$$

Et le coefficient moyen d'anisotropie plane :

$$\text{➤ } \Delta r = 1/2(r_0 + r_{90} - r_{45})$$

Pour les aciers inoxydables on lui préfère souvent la formule :

$$\text{➤ } \Delta r_n = \sqrt{[(r_0 - r_n)^2 + (r_{90} - r_n)^2 + (r_{45} - r_n)^2]}$$

La détermination du coefficient d'anisotropie est simple puisqu'il suffit de mesurer la largeur et l'épaisseur d'une éprouvette ayant subi un allongement déterminé, par exemple de 20 ou 40 %.

Le coefficient d'anisotropie moyen permet de traduire l'aptitude au rétreint de la tôle et le coefficient d'anisotropie plane Δr présente une bonne corrélation avec la hauteur des cornes observées sur embouti (Figure 24).

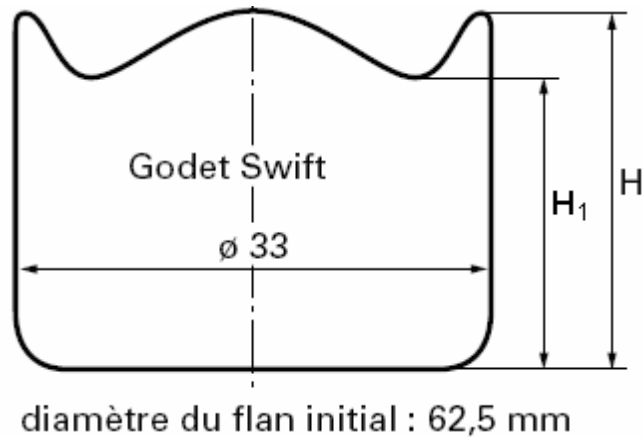


Figure 20. Hauteur relative des cornes.

I.3.3.2 Validité de ces critères

Afin de déterminer les caractéristiques des coefficients d'écrouissage et d'anisotropie, plusieurs études ont été effectuées parmi lesquelles celle de la Commission Emboutissage de l'IDDRG. Ces essais ont consisté à noter le pourcentage de pièces réussies (ou de casse) dans la fabrication de 3 pièces particulières : un panneau de portière de voiture correspondant à de l'expansion pur, un capot de ventilateur pour le rétreint et un tableau de bord pour les essais mixtes. Les essais ont été réalisés sur plusieurs séries de lots caractérisés par leur valeur de r et n tel que :

- r et n élevé.
- r élevé et n faible.
- r et n faible.
- r faible et n élevé.

Il fut déduit que les pièces à dominance d'expansion obtiennent un pourcentage de réussite pour n fort alors que celles à dominance de rétreint correspondent à un coefficient r fort. Dans le cas de pièces mixtes, ce sont les tôles à r et n forts qui conduisent à un minimum de casses.

Il est donc possible de généraliser en disant que les pièces ayant des critères d'emboutissabilité de fortes valeurs permettent de faire toutes les pièces alors que celles à faibles valeurs aboutissent à des casses.

I.5 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, une description des modes du procédé, des matériaux emboutisables, 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, les différents essais du procédé.

Chapitre 02 :

Etude de sensibilités des paramètres d'emboutissage

1.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les principaux défauts rencontrés dans les produits en fin d'emboutissage et après relâchement et les paramètres permettent d'aboutir à un embouti de bonne qualité

2. Principaux défauts rencontrés en emboutissage

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 (Figure 25). [12]

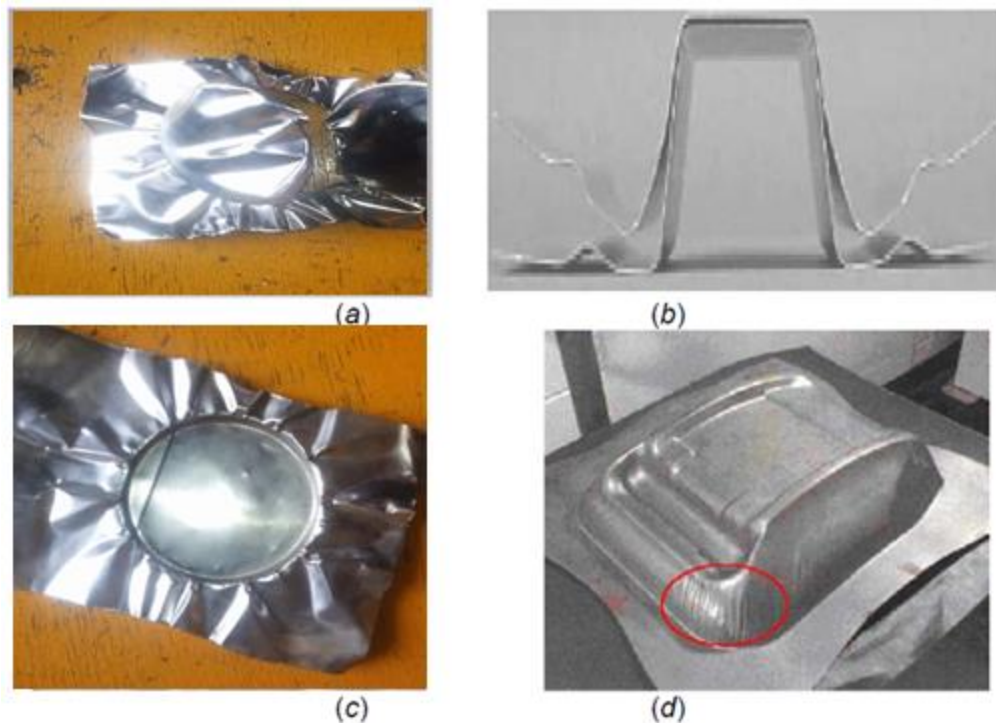


Figure 25. Rupture (a), retour élastique (b) et plissement (c) et (d).

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 :

CHAPITRE II. Etude de sensibilités des paramètres d'emboutissage

- 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 de robe de la carrosserie et peut également être pris en compte pour certaines pièces de structure partiellement visibles.

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 ([12], [13])

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. Le 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 [10]. Mais cela n'est bien sûr pas toujours possible. Sur le

CHAPITRE II. Etude de sensibilités des paramètres d'emboutissage

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. [16]
- 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. [02]

Du coté 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 ([09]) .
- Limiter autant que possible les brins libres dans les zones centrales des pièces en utilisant des systèmes appliquant une pression sur la face intérieure (hydroformage ou élastoformage).

Parallèlement, plusieurs facteurs, tous de la même importance [14], contribuent à la bonne réussite d'une opération de mise en forme par emboutissage. Ceci rend donc difficile tout contrôle parfait.

Ces facteurs sont :

- les caractéristiques mécaniques du matériau utilisé .
- la géométrie du flan et des outils (rayons de raccordement, jeu matrice poinçon, etc.) [15] ,[11] et [18];
- l'état physique de surface de la tôle et celles des outils (en particulier la rugosité des surfaces). La rugosité est déterminante pour l'interaction avec le lubrifiant et pour les caractéristiques d'un revêtement éventuellement présent :
- la géométrie et/ou l'emplacement des joncs .

3. Les aspects opératoires

Lors de l'emboutissage d'une pièce, que ce soit en laboratoire ou en industrie, plusieurs paramètres permettent d'aboutir à un embouti de bonne qualité. [18] [19]

- Le jeu entre le poinçon et la matrice :
- Le rayon sur la matrice .
- le rayon sur le poinçon .
- la vitesse d'emboutissage .
- La pression du serre-flan .
- l'effort d'emboutissage .

A ces paramètres, il faut ajouter la lubrification, la taille optimale de la tôle ainsi que son épaisseur. Pour réduire le nombre des pièces défectueuses et pour faciliter la mise au point des outils, il s'avère nécessaire d'arriver à une meilleure compréhension de l'influence de différents paramètres du procédé sur la qualité de la pièce. Ainsi, la maîtrise et l'optimisation de certains paramètres opératoires du procédé permettent d'améliorer la formabilité du matériau et la robustesse du procédé. En effet, la réussite de l'opération d'emboutissage repose généralement sur un minutieux travail de mise au point. L'utilisation de la simulation numérique couplée avec des algorithmes d'optimisation permet une mise au point automatique et virtuelle

3.1 Le jeu entre le poinçon et la matrice :

Lorsque le jeu entre le poinçon et la matrice est théoriquement égal à l'épaisseur de la tôle, il se produit une augmentation de l'épaisseur de la paroi. L'augmentation de ce jeu a une influence favorable sous l'effet du poinçon, mais entraîne certains inconvénients tels que :

- La détérioration du profil de la paroi.
- Déviation du poinçon entraînant la formation de languettes sur le bord de l'embouti.
- Apparition de plis sur la paroi de l'embouti.

Inversement, si l'épaisseur du flan est plus grande que le jeu qui existant entre le poinçon et la matrice, il se produit un écrasement et un amincissement indésirables de la paroi. [19]

Le calcul de jeu est basé sur la formule suivante :

$$j = e_m + \Delta e_0$$

e_m : épaisseur maximale de la tôle.

e_0 : épaisseur engendré par le retreint.

Pour l'acier : $J = e_M + 0,07 \cdot (10 \cdot e_M)^{1/2}$

Pour l'aluminium: $J = e_M + 0,02 \cdot (10 \cdot e_M)^{1/2}$

Pour métaux non ferreux : $J = e_M + 0,04 \cdot (10 \cdot e_M)^{1/2}$

3.2 Le rayon sur la matrice :

Ce paramètre a une très grande importance autant pour la qualité de l'embouti que pour la répartition des forces. En effet, on comprend parfaitement que dans les deux cas extrêmes ci — dessous, l'emboutissage n'est pas fiable. [18]

Pour $r = 0$ on a un déchirement du flan et pour $r = \frac{D-d}{2}$ on a la formation de plis.

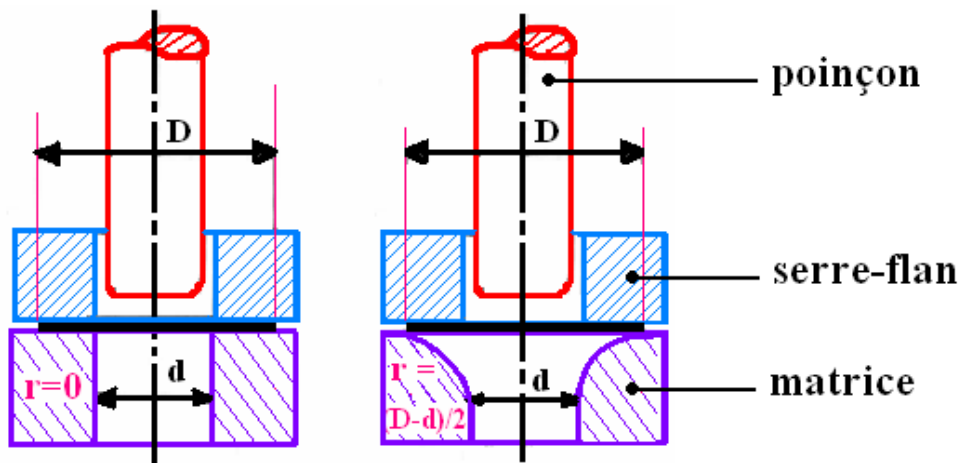


Figure.26 : Variation de l'arrondi sur la matrice

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise la relation de Kaczmarek concernant la première passe [18], [20] :

— Pour l'acier : $r = 0,8 \cdot [(D - d_1) \cdot e]^{1/2}$

— Pour l'aluminium : $r = 0,9 \cdot [(D - d_1) \cdot e]^{1/2}$

r : rayon de la matrice

D : diamètre du flan (mm)

d_1 : diamètre de l'embouti (mm)

e : épaisseur du flan (mm).

Pour les passes suivantes on a : $r_n = \frac{D_{n-1} - d_n}{2}$

3.3 Rayon du poinçon (Rp) :

Le rayon du poinçon r_p ne doit pas être trop faible pour éviter le décalage du fond de la pièce (amincissement local de la tôle traduisant une déformation locale en expansion) ni trop

important pour éviter les risques de plis; en principe il ne doit pas être inférieur au rayon de la matrice.

Dans le cas où la pièce exigerait un faible rayon, il faut prévoir une opération supplémentaire de conformation.[20] [18] [19]

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec le rayon trop faible de poinçon subie une diminution d'épaisseur (1), après emboutissage, le défaut se retrouve sur la surface latérale de l'embouti (2) (fig.27). le rayon (R_p) est limité entre $5e$ et $10e$

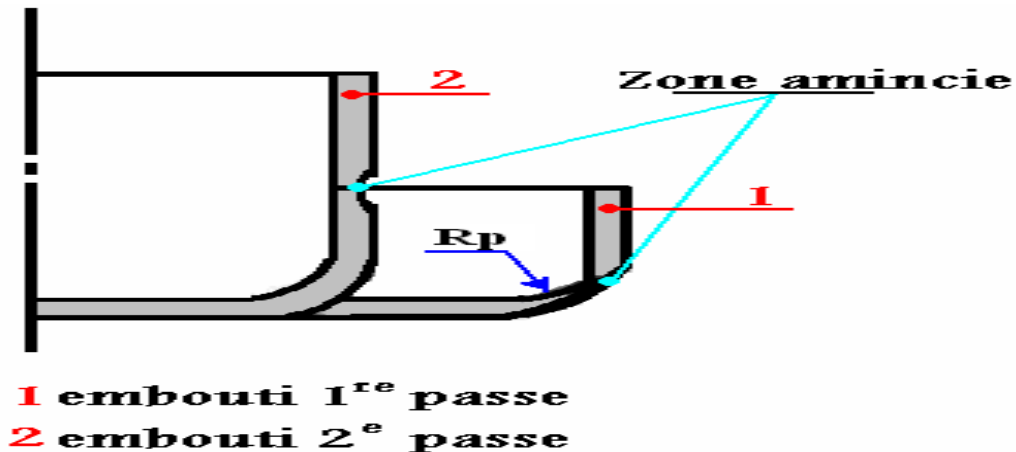


Figure. 27 : le rayon sur le poinçon

3.4 La vitesse d'emboutissage :

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 reportés dans le tableau 4. [20]

Tableau 4 : vitesses d'emboutissage pour différent matériaux

Matériau	Vitesses (mm/s)
l'acier	200
le zinc	200
les aciers doux	280
l'aluminium	500
le laiton	750

3.5 La pression du serre-flan :

3.5.1 Serre-flan :

D'une manière générale, la surface du serre flan doit être développable. Le serre flan de première passe d'un outil d'emboutissage profond est plan et les pressions à appliquer pour éviter la formation de plis ne peuvent être déterminées avec précision qu'expérimentalement.

L'emboutissage des pièces peu profondes (expansion) et des pièces à grandes parois peu déformées entraîne la formation des plis ou une mauvaise conformation (ventre des parois droites). Le serre flan comporte alors des joncs qui empêche ou diminuent le glissement de la tôle sous serre flan. Pour contrôler l'écoulement du métal dans la matrice plusieurs joncs peuvent être disposés les uns à la suite des autres[17]. Des joncs de retenue sont également utilisés lors des opérations de calibrage par étirage des pièces, types cônes, paraboles, etc. [19]

Le rôle du serre-flan consiste à empêcher la formation de plis sur le rebord du flan en exerçant une pression appropriée. La présence du serre-flan ne s'impose que si $d < 0,95 \cdot D$ ou $e < 0,2 \cdot (D-d)$.

Dans la pratique, il faut que le serre-flan soit bien trempé et rectifié. La pression est réglée à l'aide de clés dynamométriques, de ressorts ou de caoutchouc, en fonction de l'aspect de l'embouti :

- Si la paroi est sans plis et d'aspect brillant, la pression est adaptée.
- Si la paroi est bonne, mais que les bords supportent des marques de dentures, c'est que la pression est trop faible.
- S'il se produit un déchirement lors de la descente du poinçon, c'est que la pression est trop importante.

CHAPITRE II. Etude de sensibilités des paramètres d'emboutissage

Ainsi, pour un embouti cylindrique de diamètre **d** et de flan de diamètre **D**, l'effort du serre — flan pour différents matériaux est déterminée par la formule simplifiée suivante :

$$F_{s=p.(D^2 - d^2)\frac{\pi}{4}} \text{ (daN)}.$$

avec : p est la pression spécifique déterminée d'après le **tableau 5**. [17]

Tableau 5 : pression spécifique

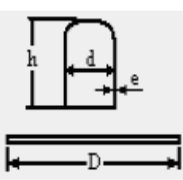
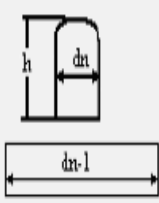
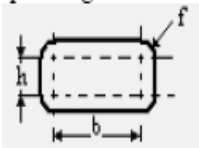
Matière (flan)	P (daN/cm ²)
Acier doux	25
Acier inoxydable	20
Aluminium	12
Laiton	20
Duralumin	16

3.5.2 L'effort d'emboutissage :

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. [17] [18]

On pratique pour les pièces cylindriques, l'effort est déterminé d'après le tableau 6 [20] :

Tableau 6 : calcul des efforts et énergies nécessaires pour une opération d'emboutissage[20]

Opération	Effort (N)	Energie (J)	Observations																					
Emboutissage	Pièces cylindriques 1) 1 ^{re} passe 	$F_E = K \cdot \pi \cdot d \cdot e \cdot R_r$ Cet effort s'applique au $\frac{1}{3}$ de la hauteur de l'embouti à partir du fond	$WE = \frac{K_1 \cdot h \cdot F_E}{1000}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>d/D</td> <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> <td>k</td> <td>1</td> <td>0,86</td> <td>0,72</td> <td>0,60</td> <td>0,50</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>k₁</td> <td>0,80</td> <td>0,77</td> <td>0,74</td> <td>0,70</td> <td>0,67</td> <td>0,64</td> </tr> </table> Remarque : si k et k ₁ ne se trouvent pas dans ce tableau, on les détermine par la méthode d'interpolation linéaire.	d/D	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	k	1	0,86	0,72	0,60	0,50	0,40	k ₁	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64
	d/D	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8																	
	k	1	0,86	0,72	0,60	0,50	0,40																	
	k ₁	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64																	
2) n-ième passe  <p>h = hauteur</p>	$FE_{,n} = 0,5 F_{E,n-1} + Q \cdot d_n \cdot \pi \cdot e \cdot R_r$ (RPR : Résistance à la traction de la tôle)	$WE = \frac{K_1 \cdot h \cdot F_E}{1000}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>d_n/d_{n-1}</td> <td>0,70</td> <td>0,75</td> <td>0,80</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>0,80</td> <td>0,60</td> <td>0,50</td> <td>0,35</td> </tr> </table>	d _n /d _{n-1}	0,70	0,75	0,80	0,85	Q	0,80	0,60	0,50	0,35												
d _n /d _{n-1}	0,70	0,75	0,80	0,85																				
Q	0,80	0,60	0,50	0,35																				
Pièces ovales ou quadrangulaires à grands rayons de coins.	comme pièces cylindriques en remplaçant πd par le périmètre et en prenant pour valeur de k dans les tableaux de la colonne «observations». Celle ne correspondant pas à d/D mais à $1,13 \sqrt{\frac{s}{S}}$ avec s section du poinçon et S surface du flan	comme pièces cylindriques																						
Pièces quadrangulaires  <p>h = hauteur L = 2(a + b)</p>	$F_E = e \cdot R_r \cdot (2k_A \cdot r + k_B \cdot L)$ L'effort max. s'applique au 1/3 de la hauteur de l'embouti	$WE = \frac{0,7 \cdot h \cdot F_E}{1000}$	- 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																					
Pièces quelconques	$FE = p \cdot e \cdot R_r$	$WE = \frac{h \cdot F_E}{1000}$																						

4. Paramètres liés à la tôle

4.1 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. [10]

4.2 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 voir même d'augmenter la rugosité du poinçon afin d'éviter une forte déformation par expansion localisé.

5. détermination des diamètres du flan et nombre de passes.

5.1 Diamètre du flan

La détermination du diamètre du flan d'un emboutie peut être réalisée par deux méthodes distinctes [16] [17] :

- Méthode analytique.
- Méthode graphique.

Des hypothèses doivent être pris en considération :

- les calculs s'effectuent en considérant la fibre moyenne.

L'épaisseur supposée constante

le flan et l'embouti auront même surface, 2 à 3 mm seront ajoutés pour le détourage (fig.28).

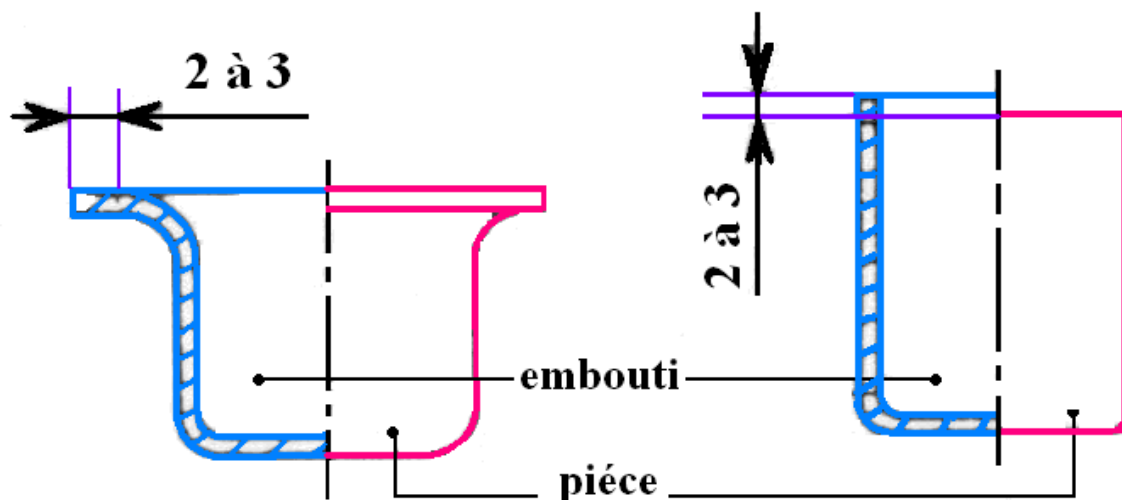


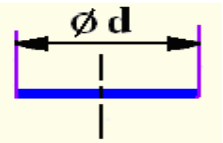
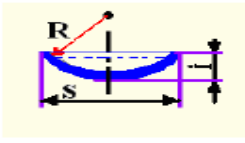
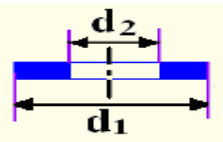
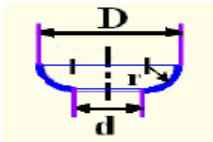
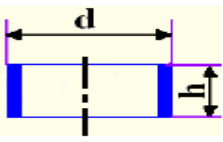
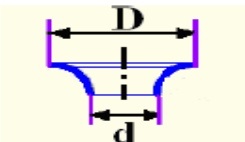
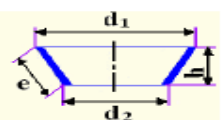
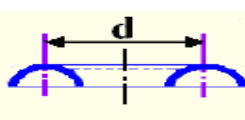
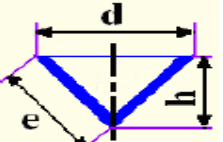
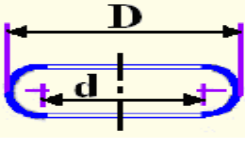
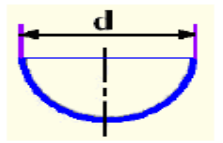
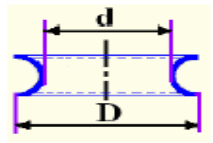
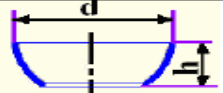
Figure 28 : pièce avec détourage

5.1.1 Méthode analytique

On répartit la pièce en éléments avec la concordance d'éléments du tableau (tableau 8) [20], en leur attribuant aussi de formules pour calculer leurs surfaces, ainsi la surface totale du flan correspond à la somme des surfaces partielles.

Le diamètre du flan est alors donné par : $D^2 = \frac{\pi}{4} S$ et S est la surface du flan

Tableau 8 : calcul des surfaces élémentaires

Elément		$\frac{4}{\pi} S$	Elément		$\frac{4}{\pi} S$
1		d^2	8		$4d.i$ ou $8R.i$ ou $(S^2 + 4i^2)$
2		$d_1^2 - d_2^2$	9		$2\pi.r.(d + 1,3r)$ ou $2\pi.r.(D - 0,7r)$
3		$4d.h$	10		$2\pi.r.(d + 0,7r)$ ou $2\pi.r.(D - 1,3r)$
4		$2.e.(d_1 + d_2)$ ou $2.(d_1 + d_2).\sqrt{h^2 + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}}$	11		$4\pi.r.d$
5		$2d.e$ ou $2.d.\sqrt{\frac{d^2}{4} + h^2}$	12		$4\pi.r.(d + 0,58r)$ ou $4\pi.r.(D - 1,42r)$
6		$2d^2$	13		$4\pi.r.(d + 0,58r)$ ou $4\pi.r.(D - 1,42r)$
7		$4d.h$			

5.1.2 Méthode graphique

5.1.2.1 1^{ère} méthode (Application du théorème de GULDEN) :

La surface engendrée par une ligne plane tournant autour d'un axe situé dans son plan et ne le traversant pas, est égale au produit de la longueur développée de cette ligne par la circonférence décrite par son centre de gravité[17].

Dans le cas de la (fig.29), si r est le rayon du flan cherché, on peut donc écrire que la surface du flan est égale à la surface de l'embouti. $\pi r^2 = 2nR(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_8)$

Ou encore : $r^2 = 2R \sum_{i=1}^n I_i$; $i = 1,2,3,4,5,6,7,8$

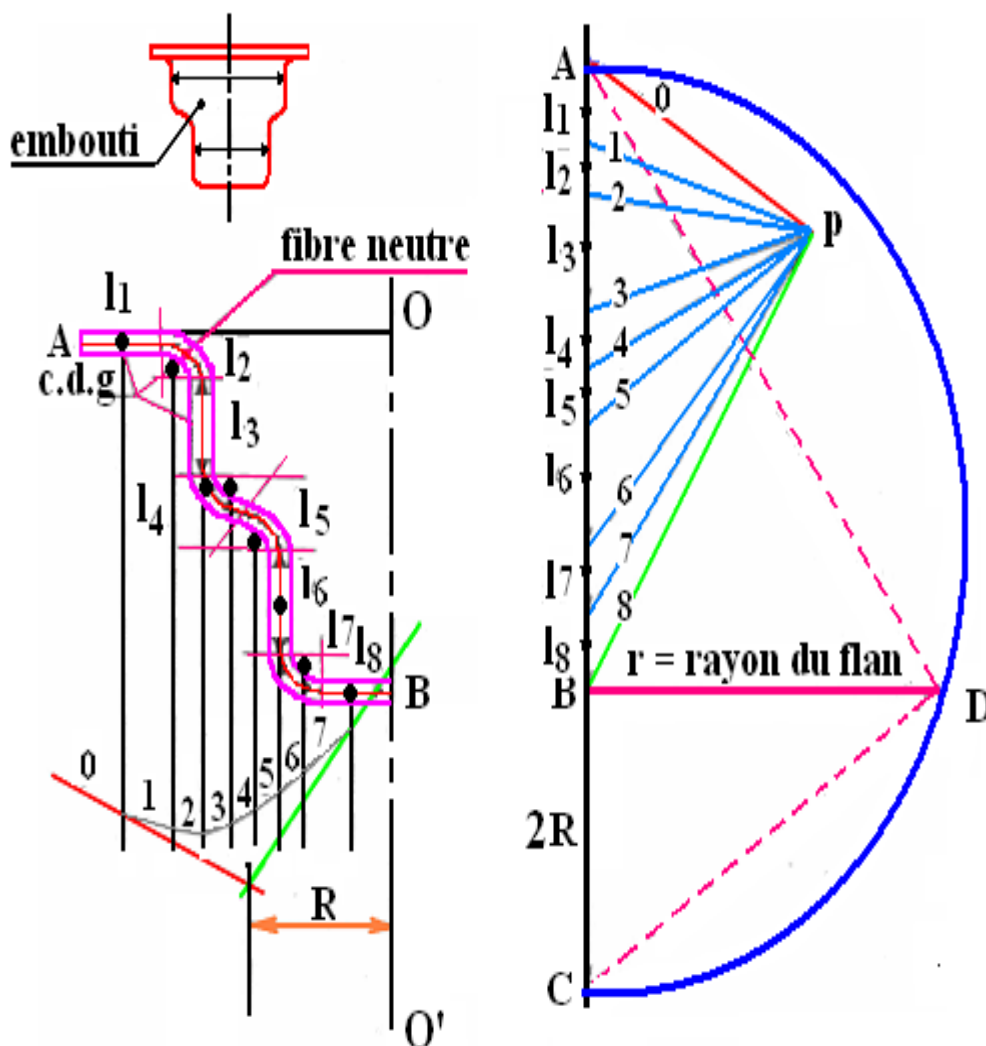


Figure 29 : exemple de traçage avec l'application du théorème de GULDEN

5.1.2.2 Méthode de traçage

Pour rechercher R, on utilise la méthode du polygone funiculaire. Après avoir divisé le demi profil de la pièce en éléments simples, de dimension facile à estimer et situé leur centre de gravité (c.d.g.), on les représente comme des forces qui permettent de construire le dynamique. Les intersections des parallèles aux rayons polaires avec les lignes verticales passant par les c.d.g. précédents permettent de tracer le polygone funiculaire et de trouver la distance R du C.D.G. de la fibre neutre à l'axe de rotation O'O. [17]

Après avoir ajouté 2 R dans le prolongement de AB (dynamique), on obtient la droite AC et le demi-cercle de rayon $\frac{AC}{2}$

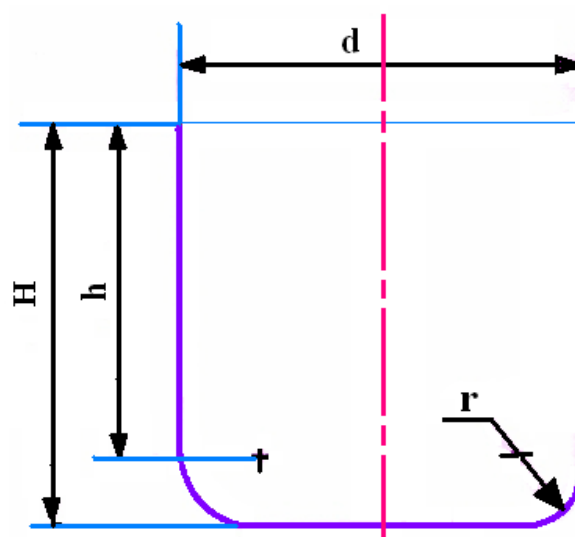
La perpendiculaire élevée en B coupe le cercle en D et devient la hauteur du triangle rectangle ACD.

La hauteur étant moyenne proportionnelle, entre les segments qu'elle détermine sur l'hypoténuse, on peut écrire : $r^2 = 2R \sum_{i=1}^n I_i$; $i = 1,2,3,4,5, 6,7,8$

5.1.2.3 2^{ème} méthode : (cas d'emboutissage sans collerette). (fig.30)

Si on pose : $R_f = \text{rayon du flan} = \frac{D_f}{2}$ et $R = \frac{d}{2}$

$$R_f^2 = 2Rh + R^2 + 1,141R.r = R(2.h + R + 1,41.r)$$



Figurer 30 d'emboutissage sans collerette

Cette formulation permet la détermination graphique suivante (fig.31.) :

- 1) Tracer une droite.
- 2) A partir d'un point O quelconque, porter d'un côté $OA=R$ et de l'autre $OB= 2h + R + 1,141r$.
- 3) Tracer le cercle de diamètre AB.
- 4) De O mener la perpendiculaire à AB qui coupe le cercle en C

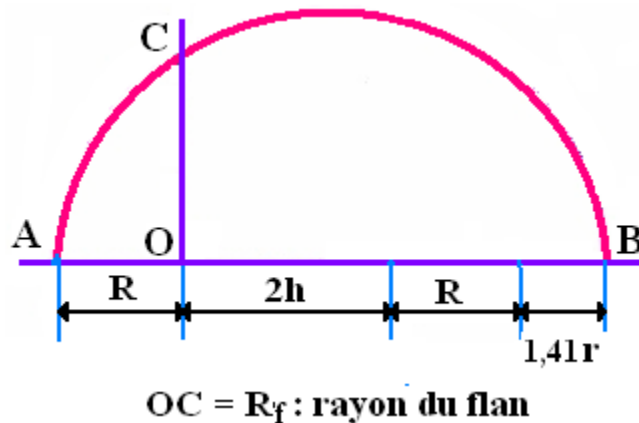


Figure 31 détermination graphique

5.2 Nombre de passes

- 1^{er} passe :

Le diamètre d_1 de la première passe est égal au produit du coefficient m_1 par le diamètre du flan D_f : $d_1 = m_1 + D_f$

- Passe suivantes :

Le diamètre de la deuxième passe d_2 est égal au produit du coefficient m_2 par le diamètre de

la première passe d_1 : $d_2 = m_2 \cdot d_1$

Et ainsi de suite jusqu'au diamètre à obtenir :

$d_3 = m_2 \cdot d_2$; $d_4 = m_2 \cdot d_3$; ... ; $d_n = m_2 \cdot d_{n-1}$

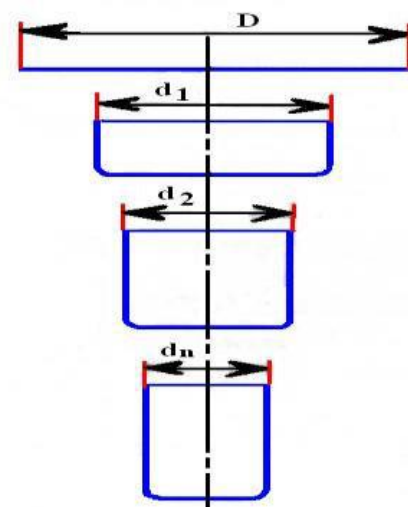


Figure 31 .Nombre de passes

Avec m_1 et m_2 sont des coefficients de réduction qui varient en fonction de métaux et du taux d'écrouissage admissible pour chaque métal (Tableau 9) [17].

Tableau 9 : quelques valeurs des coefficients de réduction pour différents types de métaux

MATIERE	m1	m2
tôle d'emboutissage		
Ordinaire	0,6	0,8
Spéciale	0,55	0,75
tôle acier inoxydable		
Austénitique	0,51	0,8
Ferritique	0,57	0,8
Cuivre	0,58	0,85
Laiton	0,53	0,75
aluminium recuit	0,50	0,80
duralumin recuit	0,55	0,9

5.3 Tolérances dimensionnelles :

La pièce emboutie n'a jamais la géométrie de l'outil. Certes, elle s'en rapproche souvent de très près, mais présente généralement un écart de cote lié au retour élastique de la pièce après extraction de l'outil.

Ce phénomène est d'autant plus marqué que la limite d'élasticité du métal est plus élevée et son module d'élasticité plus faible. Il se produit généralement par une augmentation des rayons de courbure, une ouverture des angles et un raccourcissement des fibres.

Cet écart par rapport à la géométrie nominale peut être minimisé par une mise au point méticuleuse des outils. Mais il ne peut généralement être complètement annihilé du fait des dispersions inévitables de l'ensemble des paramètres qui régissent le procédé.

Si cette différence de géométrie n'est pas contenue dans des tolérances sévères, elle peut être préjudiciable au bon fonctionnement du processus aval fortement automatisé. À titre d'exemple, les écarts angulaires tolérés sont généralement inférieurs au demi – degré. Une opération de calibrage peut parfois s'avérer nécessaire pour les aciers à très bas carbone et sans

interstitiels sont particulièrement bien adaptés au formage des pièces difficiles du fait de leur faible limite d'élasticité (110 à 150MPa), de leur forte anisotropie ($R > 2$), de leur forte écrouissabilité et de leur allongement important [19].

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude bibliographique sur des travaux et des recherches effectués pour détecter et améliorer les principaux défauts rencontrés en fin du procédé d'emboutissage tels que la rupture, le plissement et le retour élastique, en optimisant la géométrie du flan initial, l'effort de serrage, les propriétés du matériau, les forces de retenue de joncs, la forme des surfaces d'habillage et la géométrie des outils....

Chapitre 03 :

La modélisation d'emboutisseuse

3.1. Introduction

Le travail de ce chapitre consiste en présentation de la conception numérisé (CAO), ensemble et détaillée, sous logicielle Solide Works, plus une simulation d'une épreuve d'emboutissage, par calcul de force, contrainte de déformation, retour

3.2. Généralités sur le processus de production:

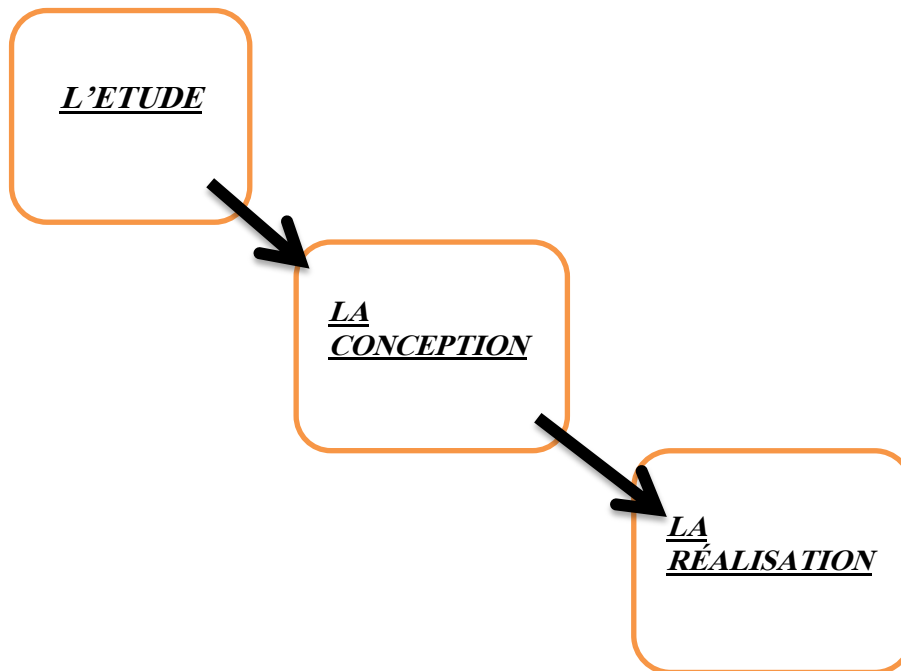
Pour obtenir un produit mécanique il faut passe plusieurs étapes essentielles [22] :

- 1- L'étude
- 2- la conception
- 3- la réalisation

dons ce travaille nous avons exploité tous les fourmilles mathématique liées à notre produit et applique les meilleur solution et utilisé un programme assisté par ordinateur pour faciliter le processus de conception et obtenir une simulation de modèle numérique, parmi les nombreux programmes de conception nous avons choisi Solide Works pour sa facilité d'utilisation, précision de ses fonction.

En fin nous avons réalisé l'étude et choisi les matériaux appropriées et les meilleurs méthodes pour l'assemblage

le schéma du processus



3.3. Description et présentation de l'outil "CAO" Solid Works.

Solid Works est un logiciel de conception mécanique 3D paramétrique. Grâce à cet outil facile à utiliser, les constructeurs peuvent esquisser rapidement une idée, l'expérimenter avec des fonctions et des côtes et produire des modèles et des mises en plan précis.

On peut créer des esquisses : une esquisse est un profil ou une coupe transversale en 2D. Les esquisses peuvent être extrudées, pivotées, lissées ou balayées le long d'une trajectoire pour créer des fonctions. [24]

La barre d'outils de l'esquisse

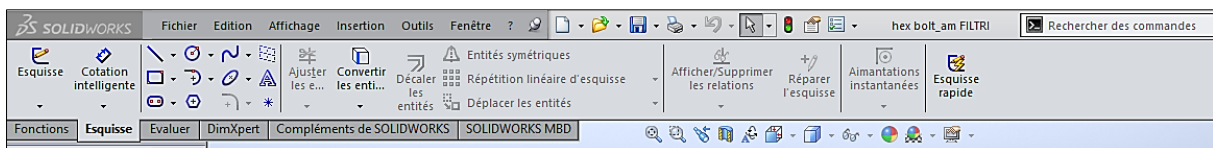


Figure. 1. Barre d'outils de l'esquisse.

On peut utiliser les fonctions peuvent être des fonctions de forme (bossages, enlèvements de matière, perçages) et d'opérations (congé, chanfreins, coques, etc.) ; on va les combiner pour construire des pièces.

La barre d'outils des fonctions :

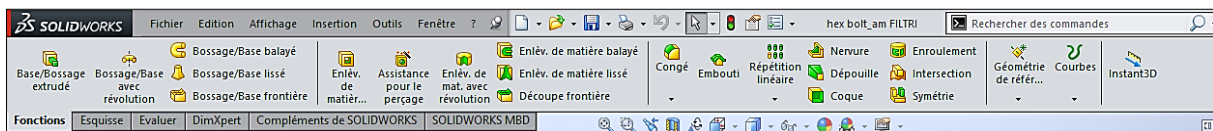


Figure. 2. Barre d'outils des fonctions.

La barre d'outils des fonctions de l'assemblage

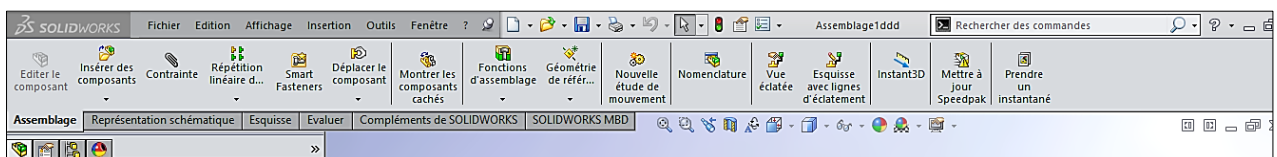


Figure. 3. Barre d'outils des fonctions de l'assemblage

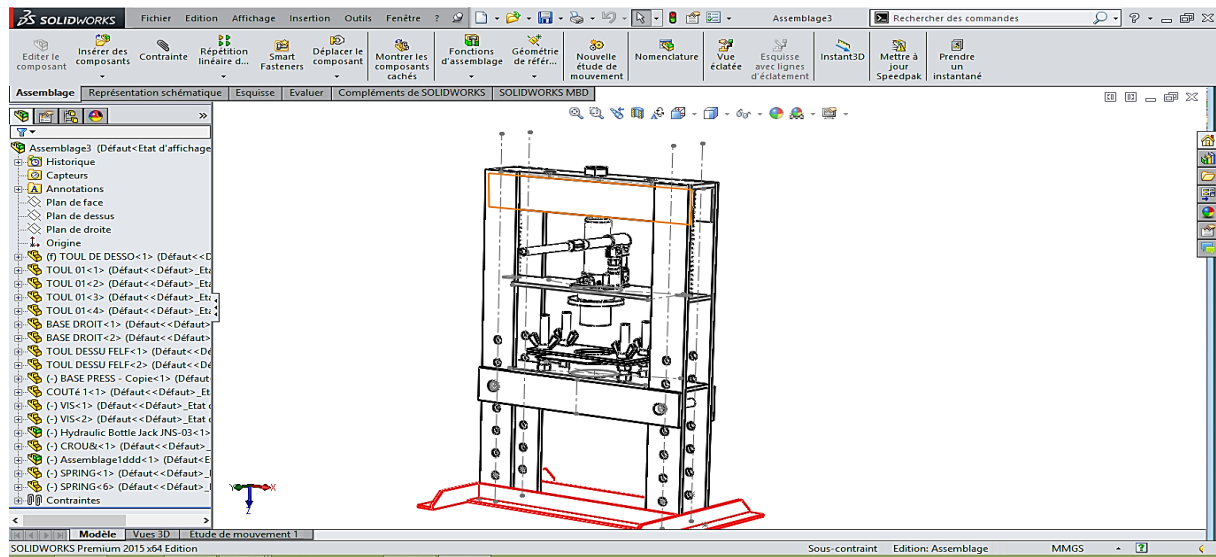


Figure. 4. schéma d'emboutisseuse sous Solid Works.

3.4. Présentation finale de la conception

Après avoir terminé conception la logiciel présent des images trois dimensions 3d

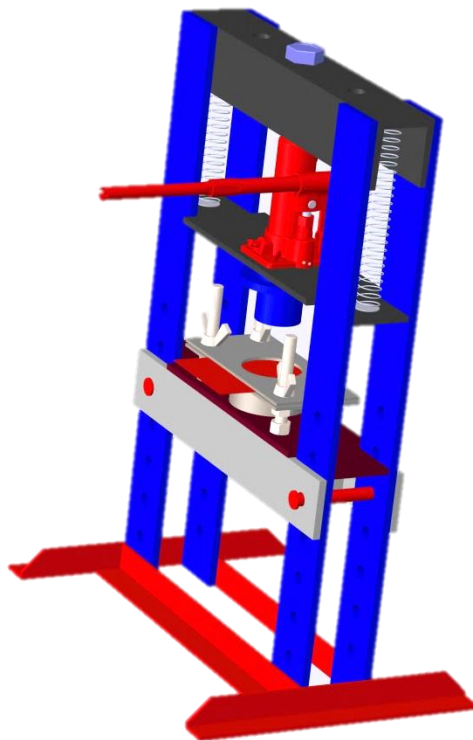


Figure. 5. présentation "3D" d'emboutisseuse par Solide Works

3.5. Réalisation du mécanisme

Après l'achèvement de l'étude et la conception par ordinateur, un modèle de la machine a été obtenu avec le maximum de détails. le logiciel nous a permis de faire le choix de la matière convenablement aux besoins(exigence de choix de la matière), la réalisation numérique en drafting est montre à **la figure 6 1 et 2**. Le mécanisme est constitué de deux parties

- ☒ Première partie: la partie de presse hydraulique contient le socle de la machine de pression **figure 7**
- ☒ Deuxième partie: la partie fonctionnellement d'emboutisseuse



Figure 6.1 la vue de face d'emboutisseuse



Figure 6.2 la vue de cote

3.5.1. Caractéristique de la machine:

- ☒ **Machine** : emboutisseuse **EM 2018**
- ☒ **Sous-ensembles** : deux parties
- ☒ **Mode de fonctionnement** : les fonctions liées à la partie fonctionnelle (partie 02) : presse, pliage, découpage, emboutissage,
- ☒ **Modes d'emboutissage** : type rétreint
- ☒ **Technique d'emboutissage** : L'emboutissage à froid
- ☒ **l'épaisseur max de flan** : 01 mm
- ☒ **Forme de matrice** : cylindrique
- ☒ **Nombre des éléments** : 38 éléments dont: la partie 01 : 16 éléments et la partie 02 : 22 éléments
- ☒ **Démentions hors tout**: 80x60x12 cm
- ☒ **Démontions de table** : 30x60 cm
- ☒ **Le poids total** : 25 kg
- ☒ **Le poids de partie 01** : 20 kg
- ☒ **Le poids de partie 02** : 5 kg
- ☒ **Les pièces démontables** : partie 01 : 09 éléments et la partie 02 : 20 éléments
- ☒ **La force maximale** : 5 tonnes avec la possibilité de changement du vérin de la presse jusque 20 tonnes

3.5.2 La Première Partie

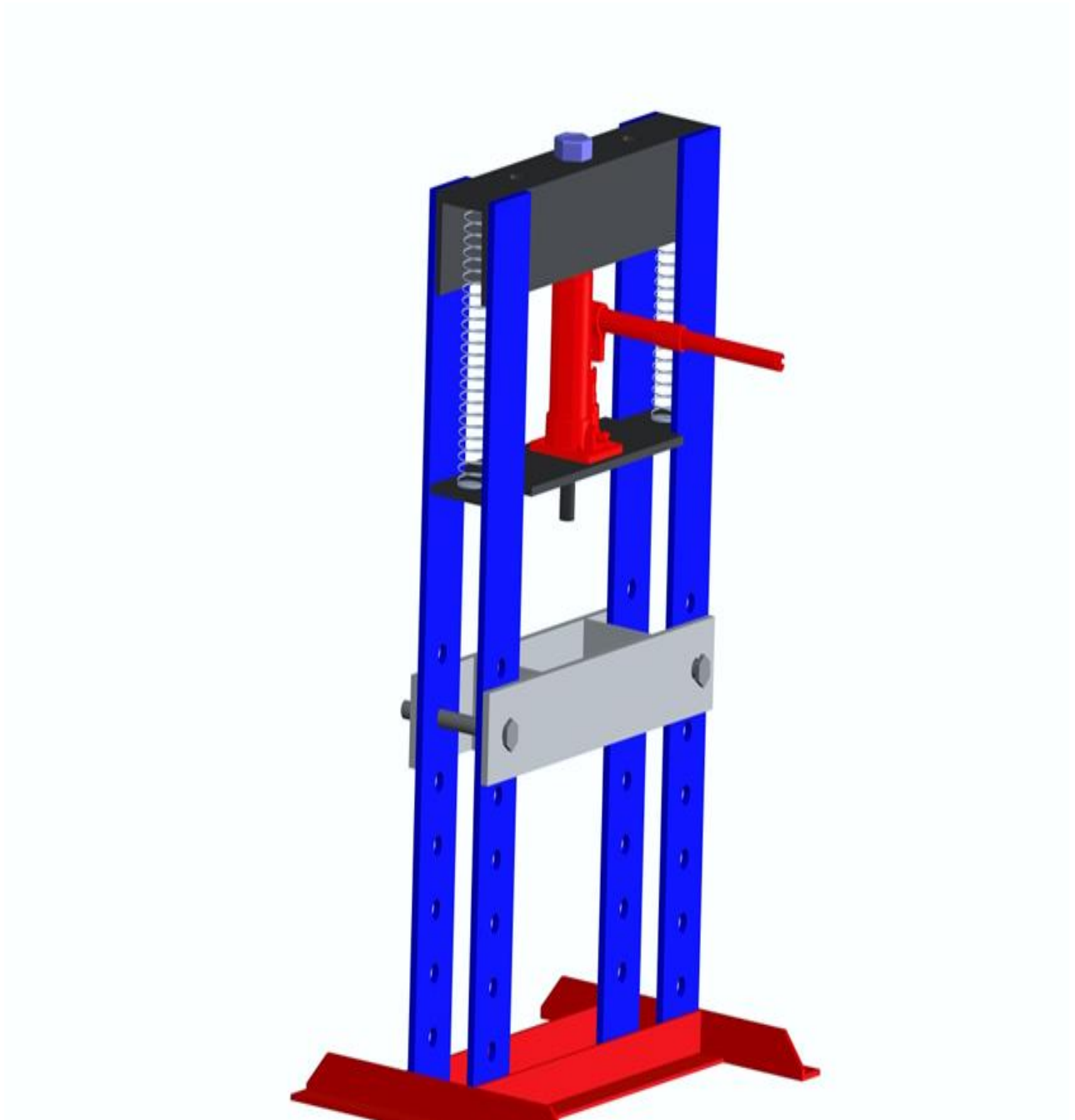


Figure 7. La partie de presse hydraulique

3.5.2.1 La mise en plan de partie presse hydraulique

la figure 08 du dessin d'assemblage montre une vue éclaté de notre mécanisme.

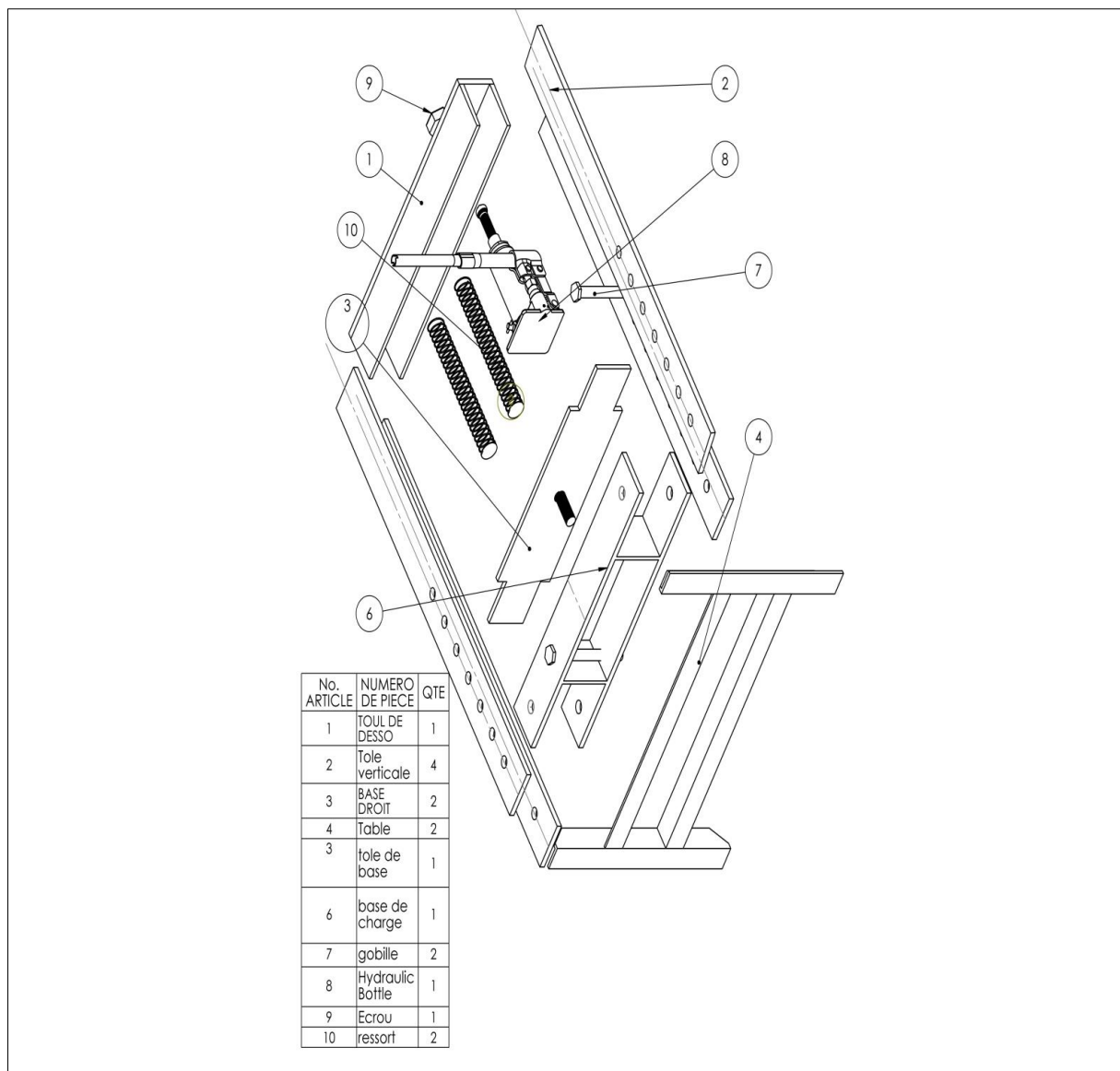


Figure. 08 le dessin d'assemblage de la partie presse

La partie 01 est constituée de 16 éléments:

- 1- Les pièces 01, 02, 03, 04 et 06 : c'est une tôle en Acier ordinaire de forgeage(cornière , fer plat , UPN) assemblé par soudage à l'arc électrique pour obtenir l'armature de la presse.
- 2- La pièce 09 : est un écrou pour fixation de la tête du vérin hydraulique en place.
- 3- La pièce 07 : est un goupille d'acier fortement allier (AFNOR Z 110) traité thermiquement et rectifié pour fixer la table de charge.
- 4- La pièce 08 : le vérin de la presse de pressions 5 tonnes

5- la pièce 10 : deux ressorts de rappel.(acier a ressort) normalis

3.6. Deuxième partie: la partie fonctionnellement d'emboutisseuse

Cette partie est fonctionnelle , elle est utilisée pour obtenir les pièces embouties, nous monterons aux figures 09 et 10 les détails de positions avant et au cours d'emboutissage.

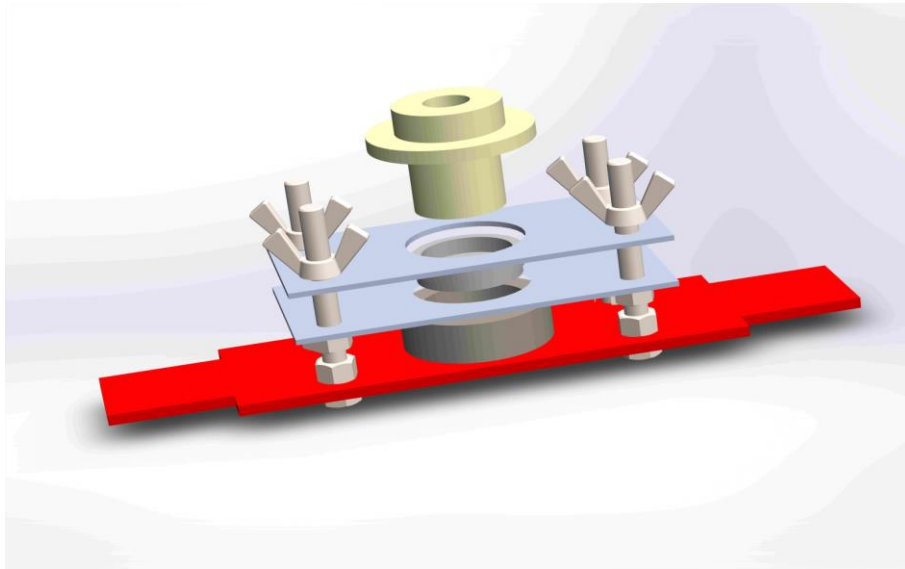


Figure 9. la partie emboutie inactive

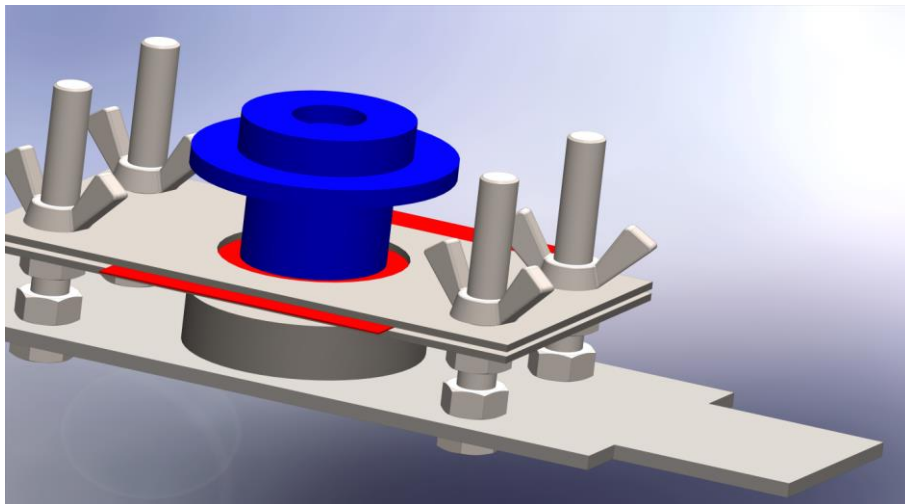
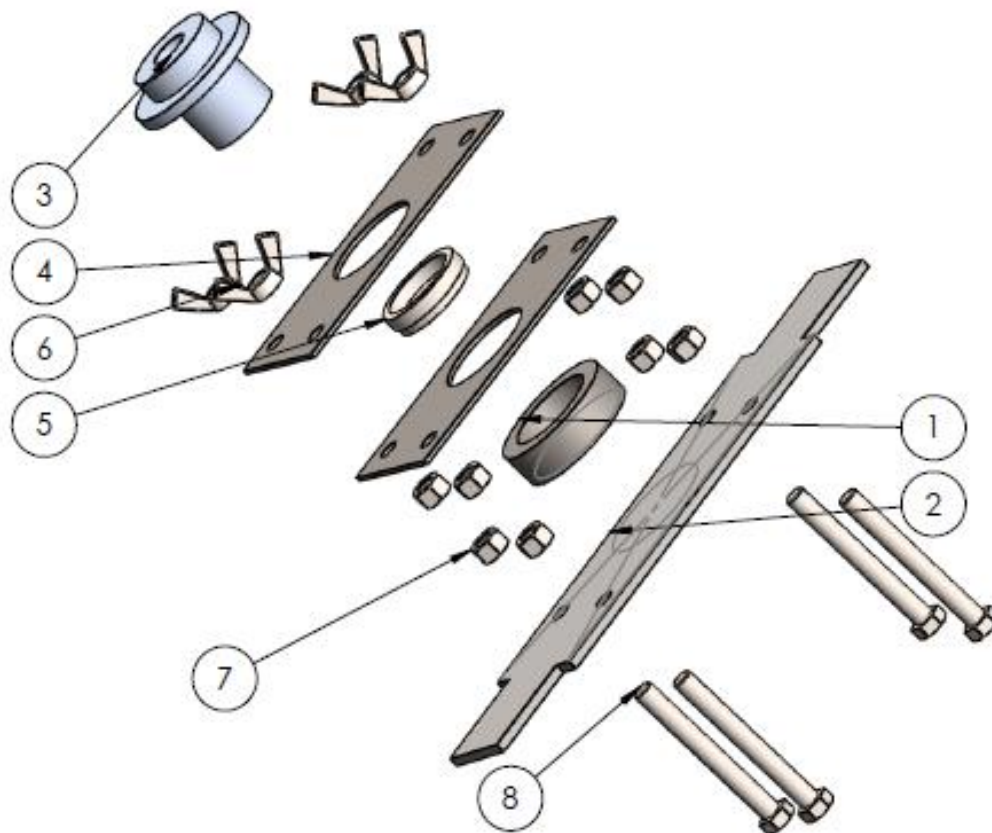


Figure 10. la partie emboutie active



No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE
1	porte mtrice		1
2	tole de base		1
3	Boinçon		1
4	Serreflan		2
5	MATRICE		1
6	KS B 1014-98 C2 - M18-N		4
7	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M16 x 2 --D-N		8
8	B18.2.3.5M - Hex bolt M16 x 2.0 x 140 --44N		4

Figure 11. Dessin d'assemblage de partie emboutissage

La partie 02 est constitué de 22 éléments :

- ❖ **Ref 01:** est une porte-matrice en acier fortement allié non oxydable utilisée pour fixer la matrice et soudée avec la table 02, elle est faite par le tournage de diamètre intérieur 78 mm et extérieur 98 mm et hauteur 20 mm
- ❖ **Ref 02:** est une table en acier de structure d'épaisseur 10 mm
- ❖ **Ref 03 :** le poinçon de diamètre 72 mm et épaisseur 50 mm en aluminium fabriqué par tournage et fixé à la table au-dessus par passage fileté de taille M16
- ❖ **Ref 04 :** la serre-flan est deux tôles plates en acier faiblement allié de diamètre 400x110x04 mm et un trou dans le centre de diamètre 95 mm
- ❖ **Ref 05 :** la matrice d'emboutissage de forme cylindrique en acier fortement allié inoxydable tournée aux diamètres de cylindre intérieur 78.3 x 12 mm et extérieur 88 x 16 mm
- ❖ **Ref 06 :** 04 écrous de serrage manuels pour appliquer une force sur le serre-flan
- ❖ **Ref 07 :** 8 écrous hexagonaux style 1 – M16 pour installer la serre-flan aux distances
- ❖ **Ref 08 :** 04 vis hexagonales M16x2.00x 120 mm pour fixer le serre-flan

3.8 L'aspect opérationnel

3.8.1. le jeu entre le poinçon et la matrice [19] :

Lorsque le jeu entre le poinçon et la matrice est théoriquement égal à l'épaisseur de la tôle, il se produit une augmentation de l'épaisseur de la paroi. L'augmentation de ce jeu a une influence favorable sous l'effet du poinçon, mais entraîne certains inconvénients **figure 12**

$$j = e_m + \Delta e_0$$

e_M : épaisseur maximale de la tôle. = 0.2 mm

e_0 : épaulement engendré par le retrait.

Pour l'aluminium le jeu calculé par la formule : $J = e_M + 0,02 \cdot (10 \cdot e_M)^{1/2}$

$$J = 0.2 + 0.02 \sqrt{10 \cdot 0.2} = 0.22 \text{ mm}$$

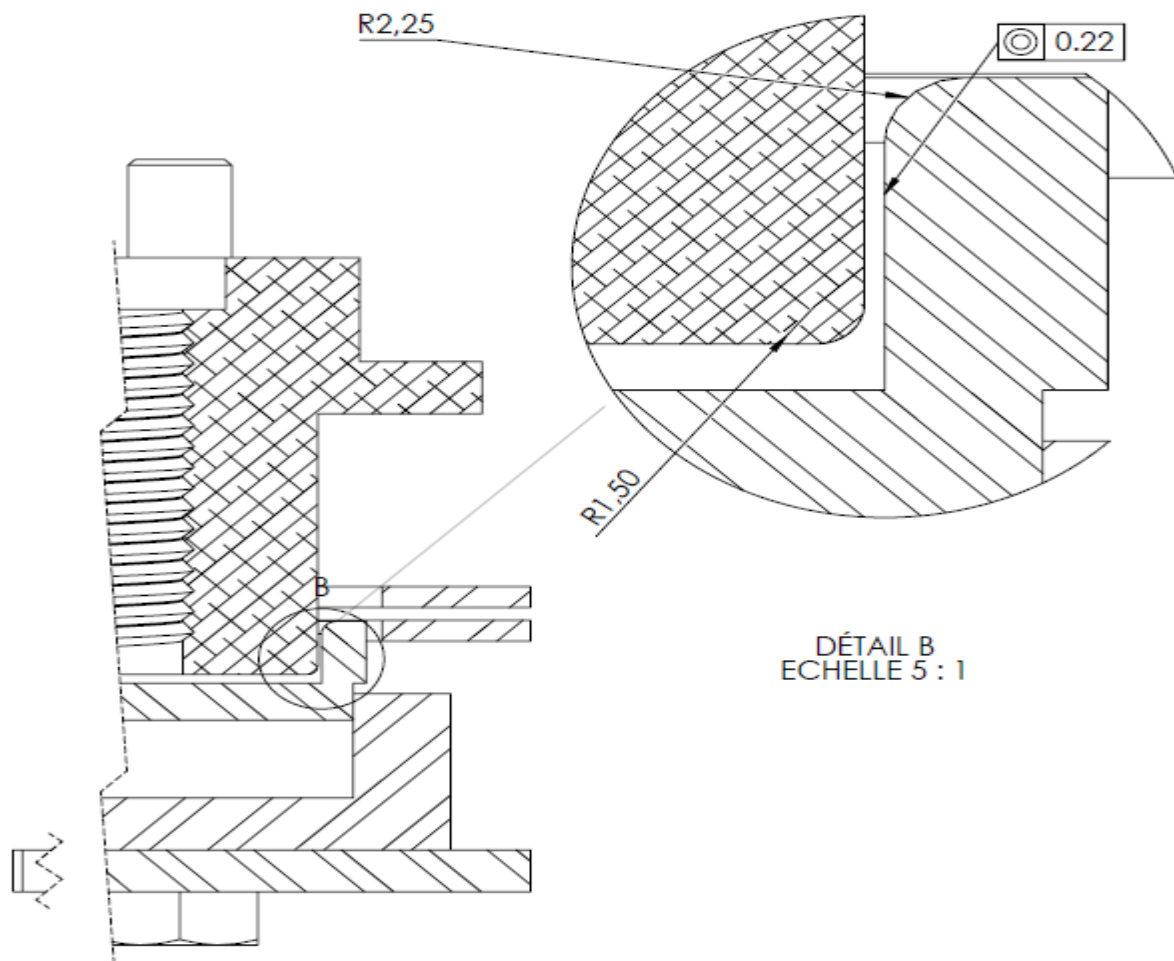


Figure 12. présentation de jeu

3.8.2 — La Matrice

Le diamètre du creux (d_1) de la matrice est égal au diamètre (d_2) extérieur de la pièce à obtenir si l'on veut contrôler cette dimension. $D_2 = d_1$ **figure 13**[19] [20]

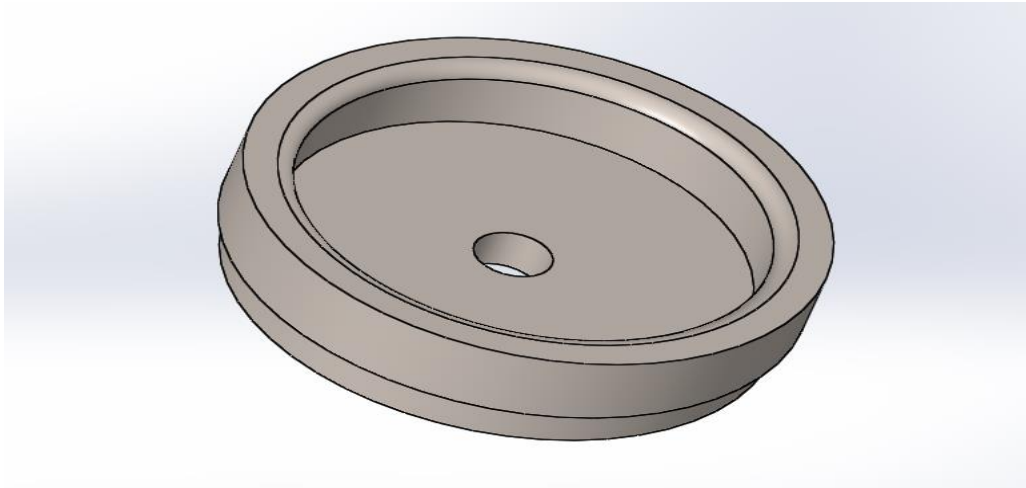


Figure 13. présentation de Matrice

3.8.3. le rayon sur la matrice :

Ce paramètre a une très grande importance autant pour la qualité de l'embouti que pour la répartition des forces. En effet, on comprend parfaitement que dans les deux cas extrêmes ci-dessous, l'emboutissage n'est pas fiable. [12] [20]

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise la relation de Kaczmarek [17]. **Figure 12**

$$\text{❖ Pour l'aluminium : } r = 0,9 \cdot [(D - d1) \cdot e]^{1/2}$$

r : rayon de la matrice

D : diamètre du flan (mm)

d1 : diamètre de l'embouti (mm)

e : épaisseur du flan (mm).

$$r = 0,2 \cdot [(100 - 72) \cdot 0,2]^{1/2} = 2,259\text{mm}$$

3.8.4. Le rayonne sur le poinçon (Rp) :

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec le rayon trop faible de poinçon subit une diminution d'épaisseur, après emboutissage, le défaut se retrouve sur la surface latérale de l'embouti. le rayon (Rp) est limite entre 5e et 10 e **Figure 12 [20] [15]**

$$E = 0,8 \text{ alors } 4 < \mathbf{Rp} < 8$$

3.8.5 . la pression du serre-flan :

La fonction du serre-flan figure 14 est de prévenir une formation des plis sur les pièces embouties. Cependant, si la largeur de contact entre le flan et la matrice est inférieure à une

certaine valeur, de l'ordre de 3 à 4 fois l'épaisseur du flan, on n'a pas besoin de la serre-flan [22].

La présence du serre-flan ne s'impose que si $d < 0,95 \cdot D$ ou $e < 0,2 \cdot (D-d)$. [19]

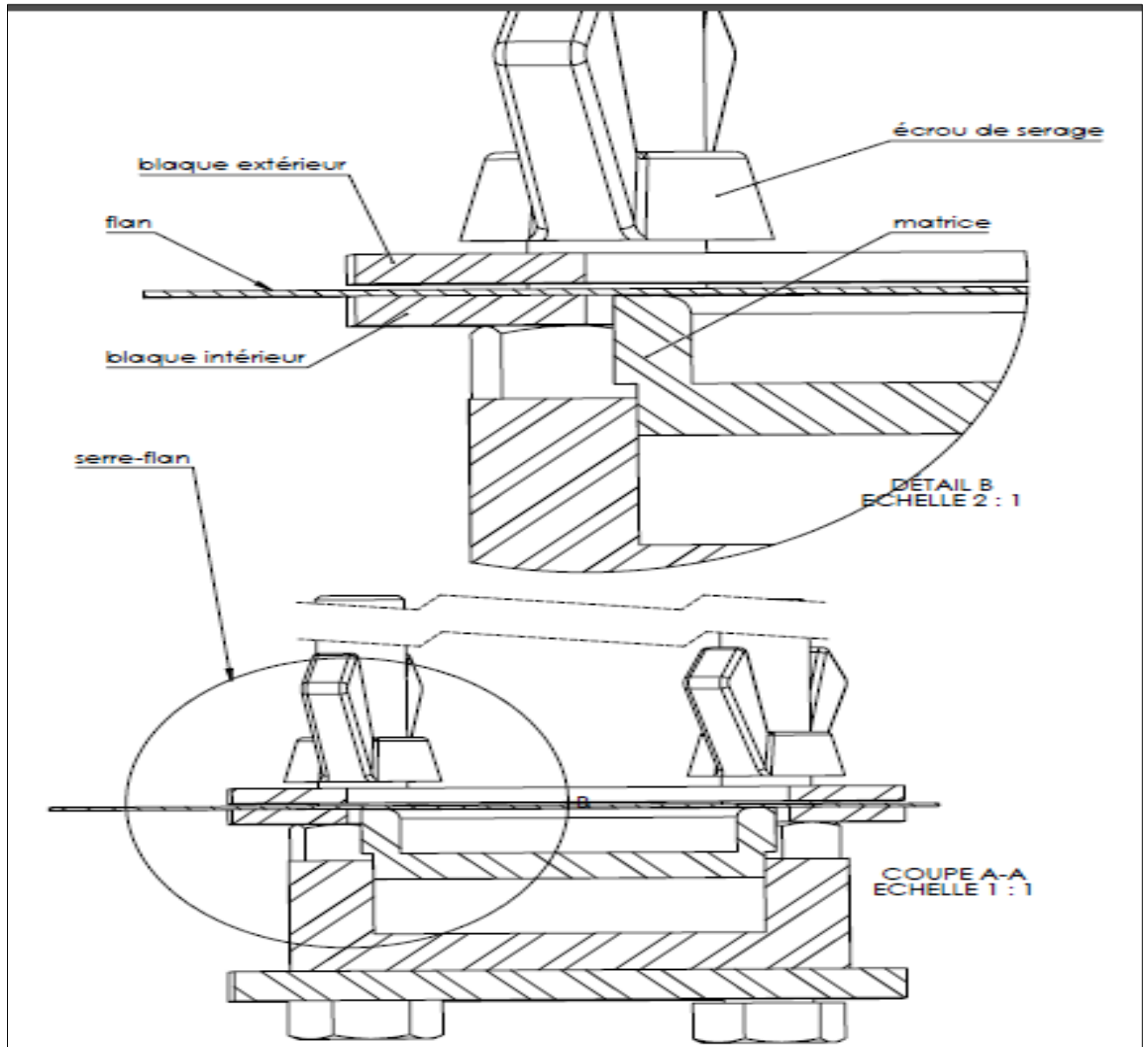


Figure 14.présentation de serre-flan

3.8.6 L'effort d'emboutissage :

La caractéristique de presse hydraulique **Figure 14.1** : 5 tonnes, alors la force est égale $f = 5000\text{Kg} * g (9.81) = 49050\text{ N}$

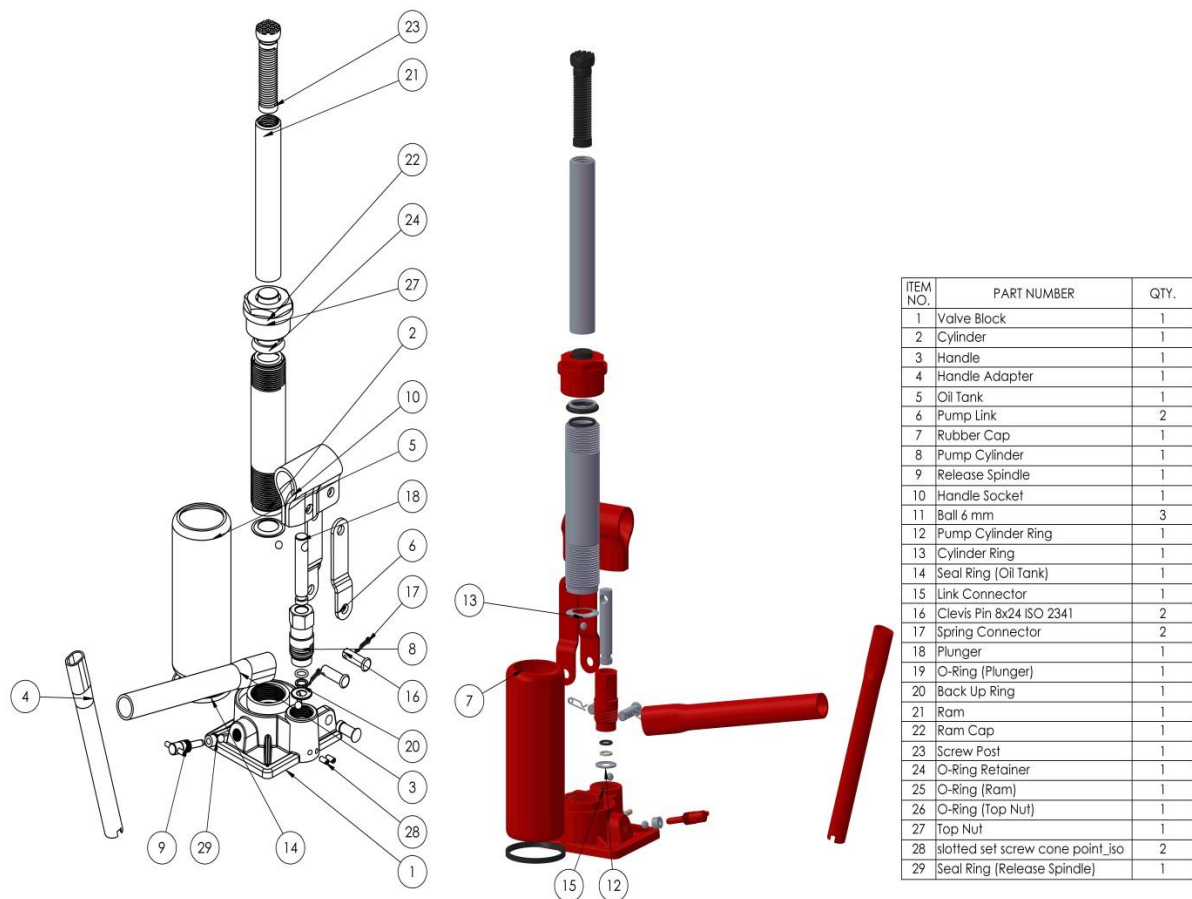


Figure 14.1 Dessin d'assemblage de presse hydraulique présenté par solide works

➤ Remarque :

La déformation permanente des métaux en feuille est obtenue par le déplacement relatif d'un poinçon et d'une matrice. Si la pièce emboutie est profonde, elle doit être fabriquée en plusieurs opérations, appelées passes. La première passe est exécutée à partir d'une tôle plane, par un outil de premier emboutissage ; la « coquille » obtenue est souvent reprise dans des outils de retraitage. Dans notre cas, le flasque n'est pas profond, il suffit d'exécuter une seule passe.

Les flasques métalliques que nous avons utilisés sont de forme cylindrique à fond plat, qui s'appelle un « godet à fond plat ». Un exemple d'outil de premier emboutissage.

3.9. La manipulation

- La caractéristique du flan dans notre exemple :

La dimension : D:120 . e :0.2mm **la figure 15**



Figure 15 . flan

Matériau : aluminium série 3000 (Al Mn) type 3003(ASTM) la propriété dans la tableau suivant ;

Tableau de propriété d'aluminium [24]

Propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	72000	N/mm ²
Coefficient de Poisson	0.33	S.O.
Module de cisaillement	27000	N/mm ²
Masse volumique	2840	kg/m ³
Limite de traction	475	N/mm ²
Limite de compression		N/mm ²
Limite d'élasticité	395	N/mm ²
Coefficient de dilatation thermique	2.23e-005	/K
Conductivité thermique	120	W/(m·K)
Chaleur spécifique	864	J/(kg·K)
Rapport d'amortissement du matériau		S.O.

➤ **Mode de fonctionnement de EM 2018**

La manière d'en exploiter notre mécanisme se fait selon les étapes suivantes :

- 1- Encrage de l'emboutisseuse EM2018 sur un plan horizontal et la fixer **figure 16.1**
- 2- posé du flan entre le serre-flan **figure 16.2** et le serré avec quatre écrous à oreille par la main **figure 16.3**
- 3- ensuite applique une force sur la tige de hydro presse (Vérin hydraulique à commande manuelle. **figure 16.4**
- 4- poinçon se pénètre jusque la limite de matrice est embouté la tôle. **figure 16.5**
- 5- déverrouille le vérin et retour à l'état initial **figure 16.6**
- 6- Ouvrir les quatre écrous à oreille **figure 16.7**
- 7- Extraire la pièce **figure 16.8**



Fig. 16.1



Fig.16.2

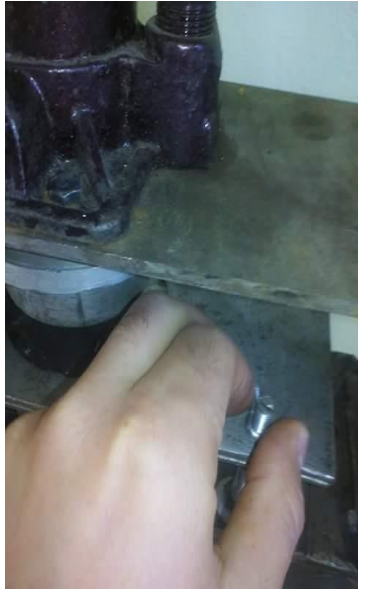


Fig.16.3



Fig.16.4



Fig.16.5



Fig.16.6



Fig.16.7



Fig.16.8

❖ **Détermination des efforts au formage des tôles**

- La force nécessaire pour emboutir le flan est calcul par la formule [20] :

Application numérique :

$$F_e = d \cdot e \cdot k \cdot R_p \cdot 3,14 = 12886.56 \text{ N}$$

$$d : 72 \text{ mm}$$

$$K : 0.6$$

$$R_p : 475 \text{ n/mm}^2$$

Et la force de presse f_{\max} : 49050 N

alors $F_e < f_{\max}$

- l'épaisseur max de flan de la même caractéristique

$$e : f_e / d \cdot k \cdot R_e \cdot 3.14 = 0.76 \text{ mm}$$

- La contrainte sur le flan : f/s

$$12886.56 / 4069 = 3 \text{ N/mm}$$

❖ **Détermination des énergies nécessaires au formage des tôles**

L'énergie nécessaire [20]

$$J = F_e \cdot h \cdot k_1 / 1000 = 90.20 \text{ JOUL}$$

$$K_1 : 0.6$$

$$H : 10 \text{ mm}$$

Dans les expériences suivantes nous avons embouti le flan de figure 16 en appliquant une force égale : 12886.56 N avec et sans serre flan et regardez le phénomène qui se forme

- La forme finale de pièce et l'expérience sans serre-flan **la figure 17** et formation des plis



Figure 17. D' défaut d'emboutissage : Formation des plis

- Dans la deuxième expérience est ajouté le serre-flan et applique prissions faible pour serrage **Figure 18**



Figure 18. Formation des plis a moins la premier expérience

. La pression de serrage est réglée en fonction de l'aspect de l'embouti :

- Si la paroi est sans plis et d'aspect brillant, la pression est adaptée.
 - Si la paroi est bonne mais que les bords supportent des marques de dentures, c'est que la pression est trop faible.
 - S'il se produit un déchirement lors de la descente du poinçon, c'est que la pression est trop importante.
- Dans la troisième expérience est appliqué pression adapté pour serrage la **figure 19**



Figure 19 . pièce sans plis

Les tôles métalliques, vues leurs caractéristiques dimensionnelles (rapport très faible entre l'épaisseur et les dimensions de la tôle dans son plan), sont très sensibles au flambement.

Ceci se traduit au cours de la déformation de la tôle par la formation de plis Ce phénomène est dû aux contraintes de compression qui se développent au cours de la mise en forme et qui agissent dans le plan de la tôle comme des efforts de flambement Il est d'autant plus prononcé que l'effort de serrage est faible. De plus, ces contraintes de compression sont d'autant plus grandes que le diamètre initial du flan est grand par rapport au diamètre du poinçon .

- Dans la quatrième expérience est applique une force plus grand pour serrage la **figure 20**



Figure 20 . défaut la rupture

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 ,Une solution complémentaire consiste à diminuer le frottement entre les outils et la tôle, tout en augmentant cet effort de serrage.

- Dans la cinquième expérience la (**D**) de flan correspond à (**d**)de matrice et utilise la serre flan et applique une force adapté pour serrage **la figure 21**



Figure 21. la pièce final

Dans la sixième expérience nous avons changé l'épaisseur de :0.6 mm **la figure 22**



Figure 22. la pièce de épaisseur 0.6 mm

La pièce est déformé mais la pression de serre flan ne pas suffisant

3.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous présentons les caractéristiques générales et la conception de machine et mode de fonctionnement jusqu'à obtenir une pièce finie avec représentés les phénomènes qui se forment dans le procédé (la rupture et les plis)

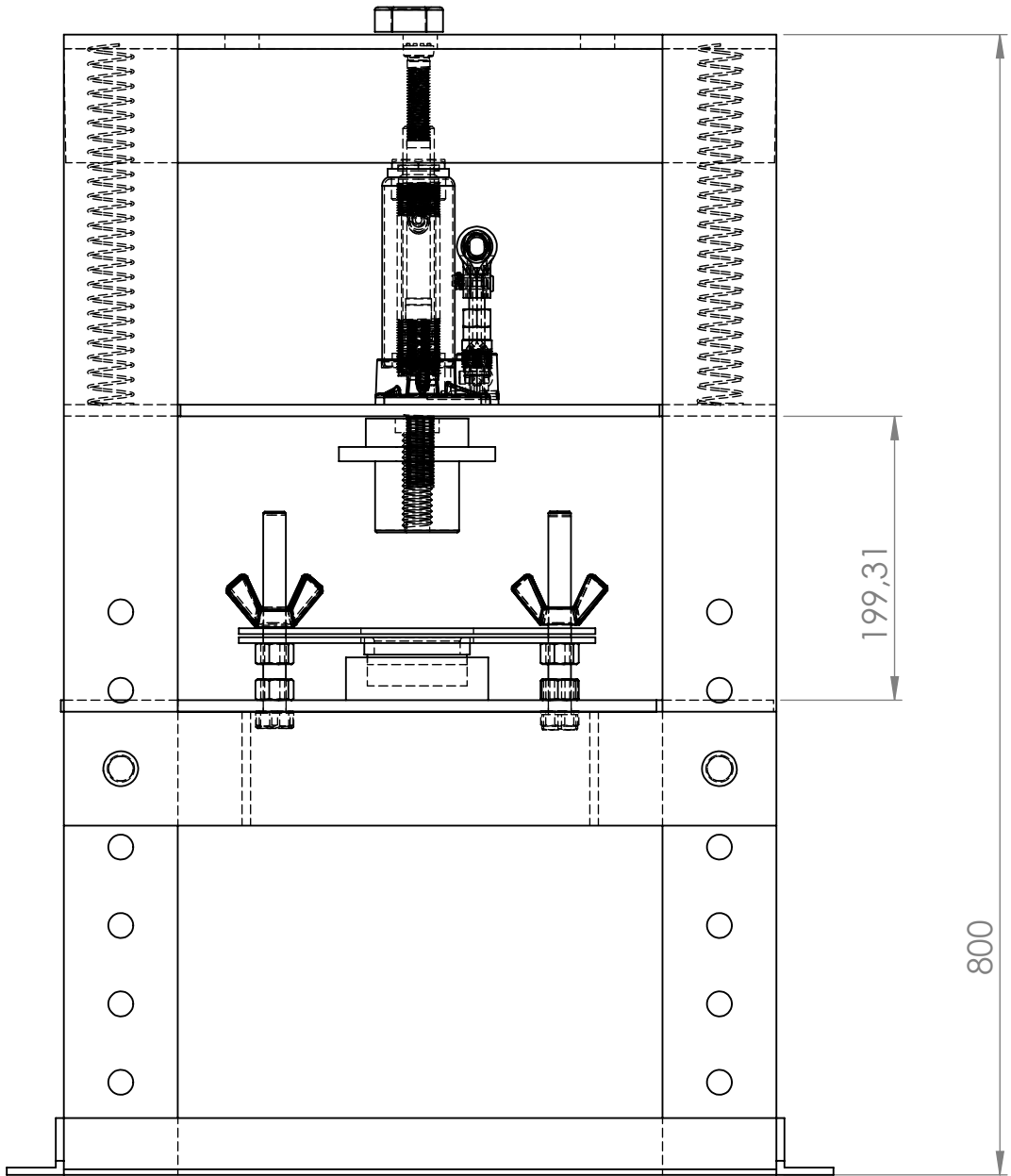
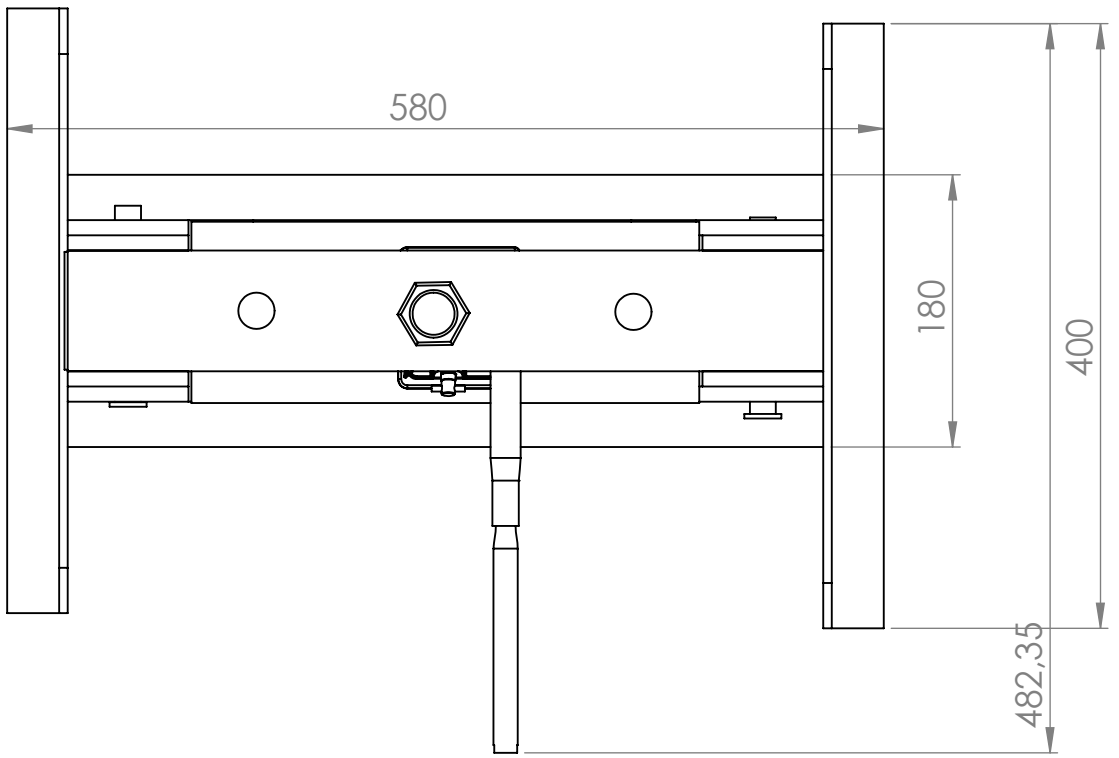
La qualité de la pièce finale est liée à plusieurs facteurs, dont les plus importants sont:

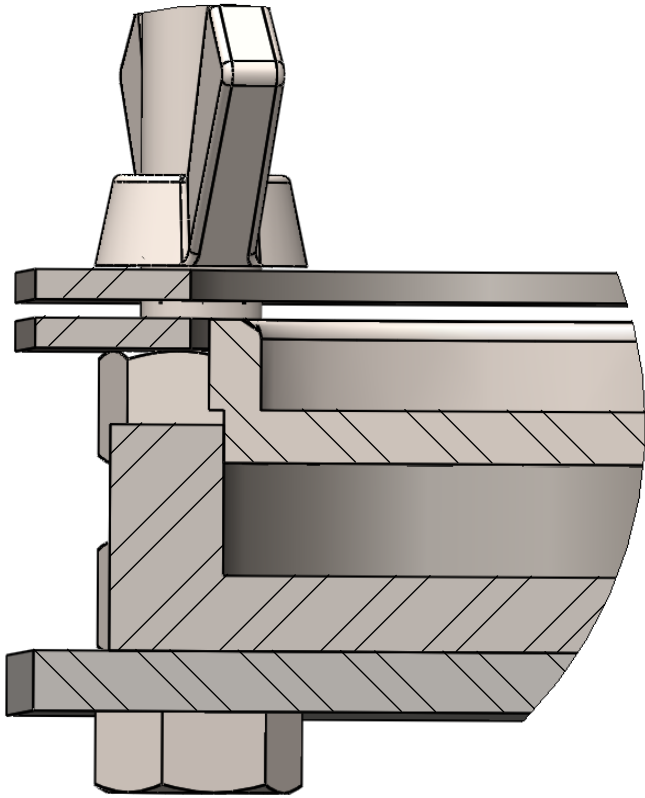
- le jeu entre le poinçon et la matrice
- Le rayon sur la matrice .
- Le rayon sur le poinçon .
- La vitesse d'emboutissage .
- La pression du serre-flan .
- L'effort d'emboutissage

Et dans les expériences nous avons remarqué que chaque augmentation de l'épaisseur de flan doit augmenter la force de formage pour déformer la pièce et la force de serrage pour éviter les déchirements et la contraire aussi, notre emboutisseuse a été capable de résister à toutes les contraintes, il est valide pour travailler dans la limite admissible.

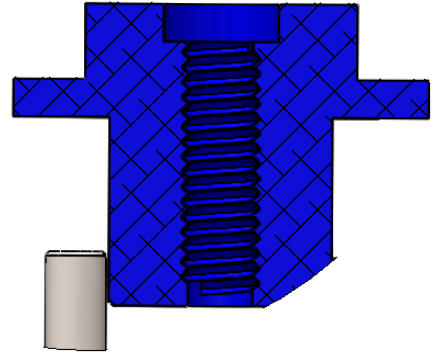
Enfin la machine em2018 est réalisable et donne des résultats acceptables

Annexes

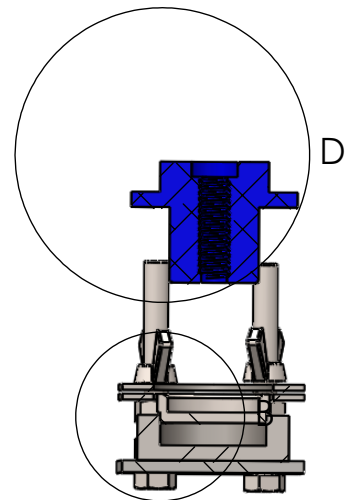
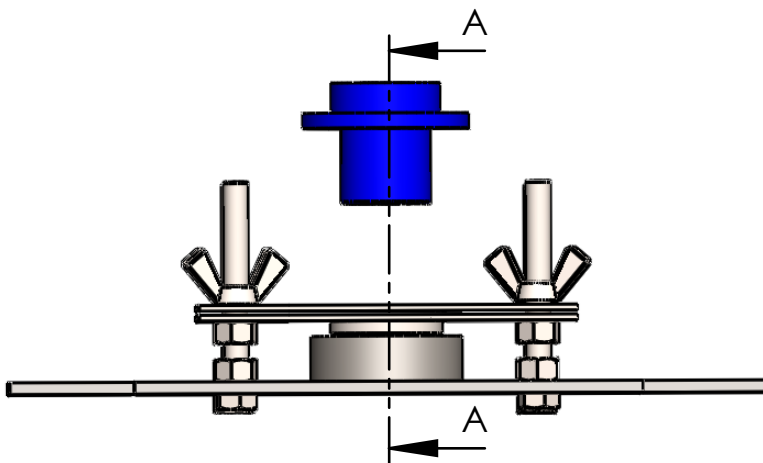




DÉTAIL B
ECHELLE 1 : 1



DÉTAIL D
ECHELLE 1 : 2



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

A

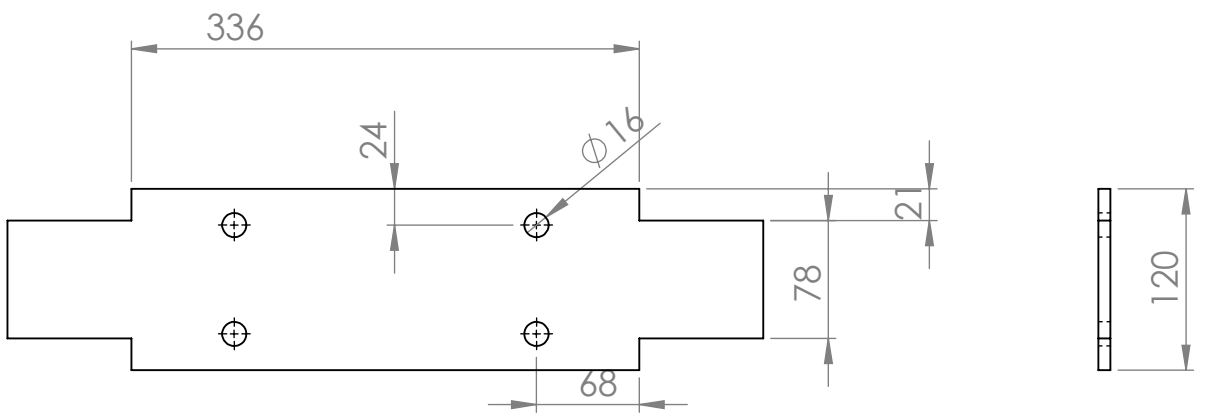
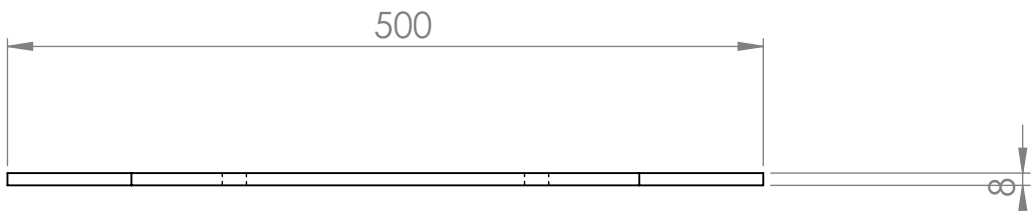
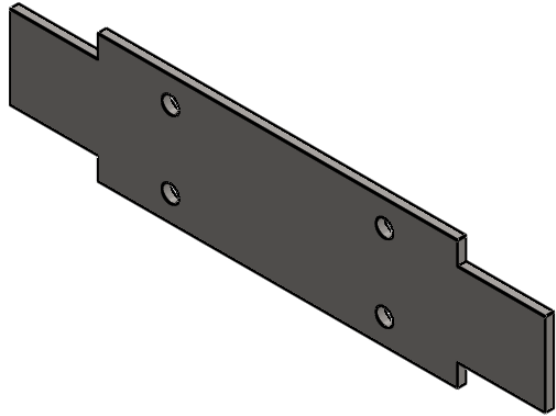
A

4

3

2

1



ECHELLE:
NOM

1:5
TABLE DE MATRICE

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

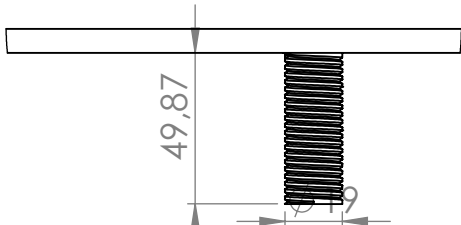
C

B

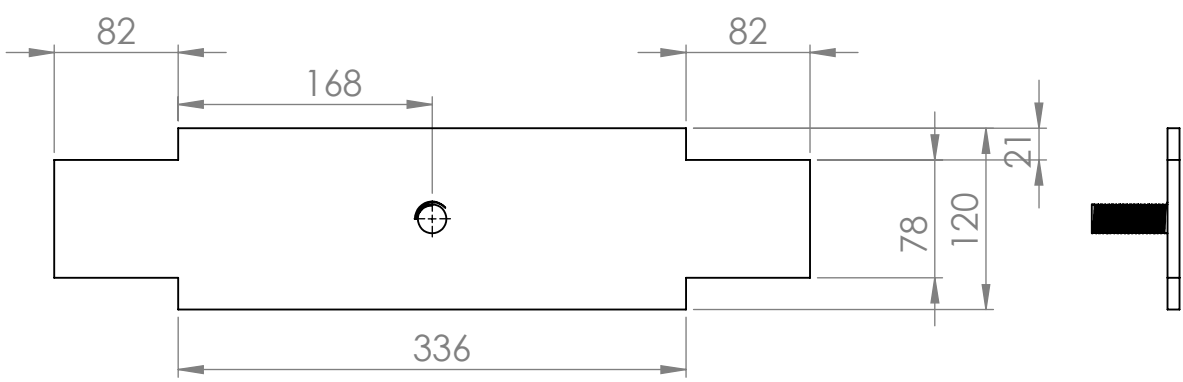
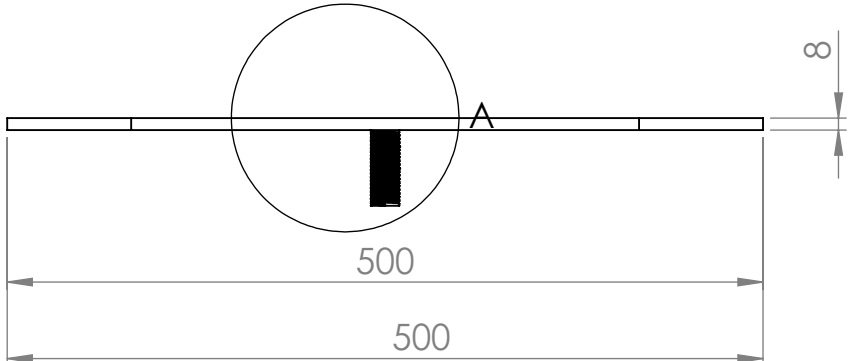
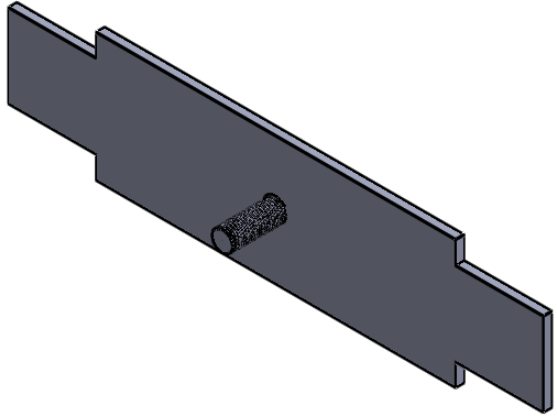
B

A

A



DÉTAIL A
ECHELLE 2 : 5



ECHELLE:
NOM

1 : 5
TABLE DE VIREN

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

A

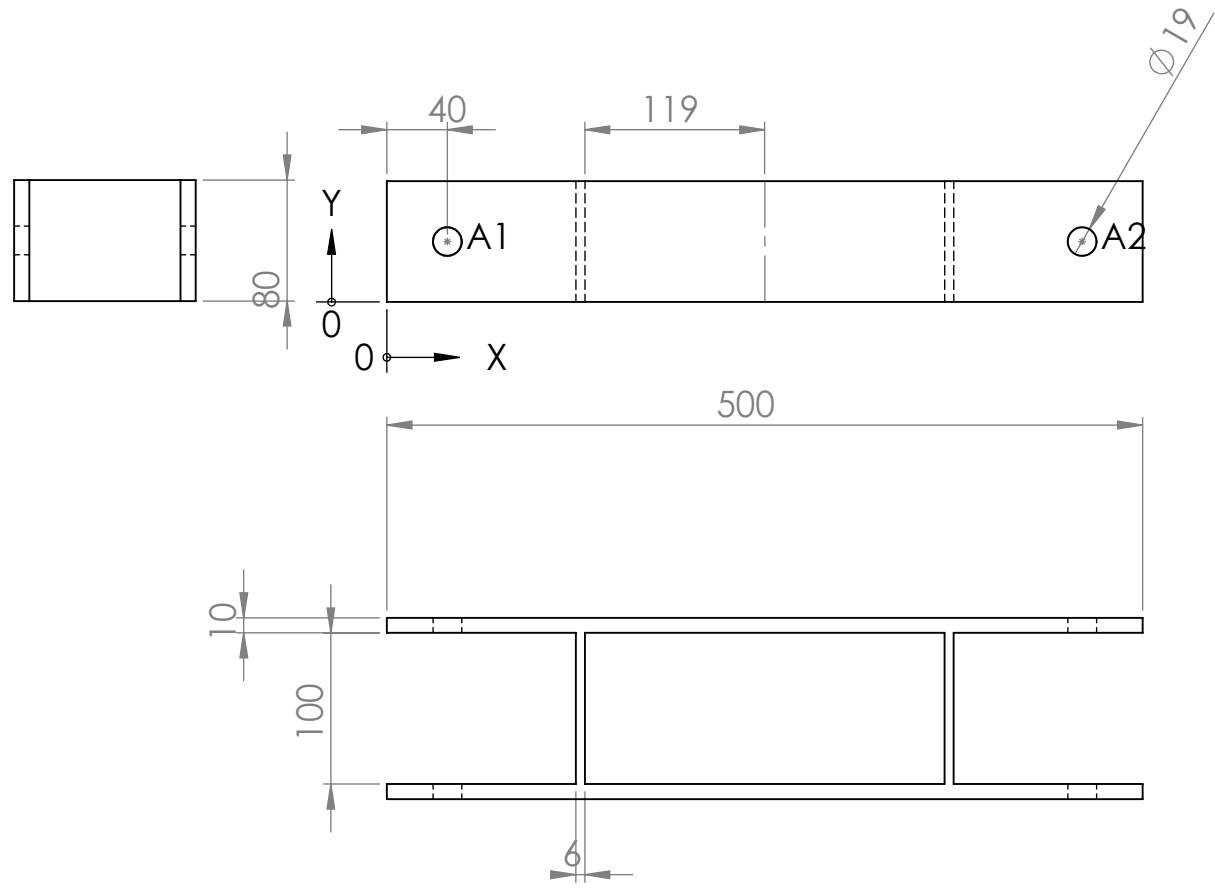
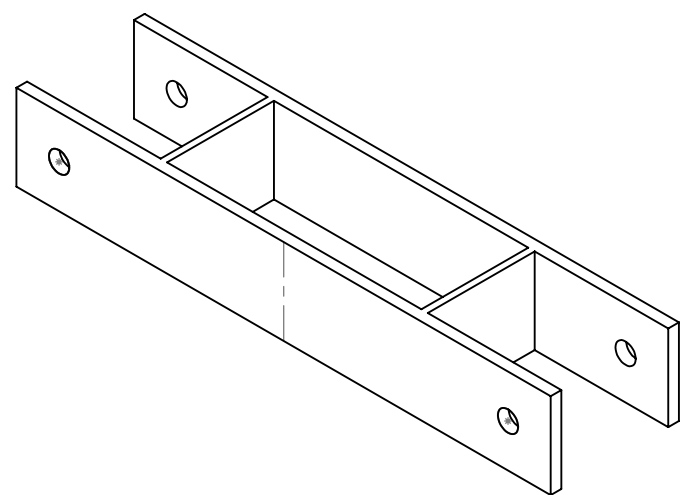
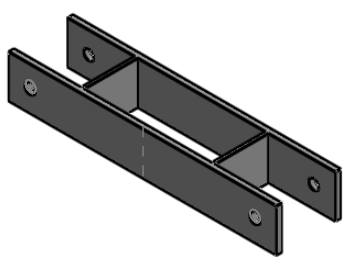
A

4

3

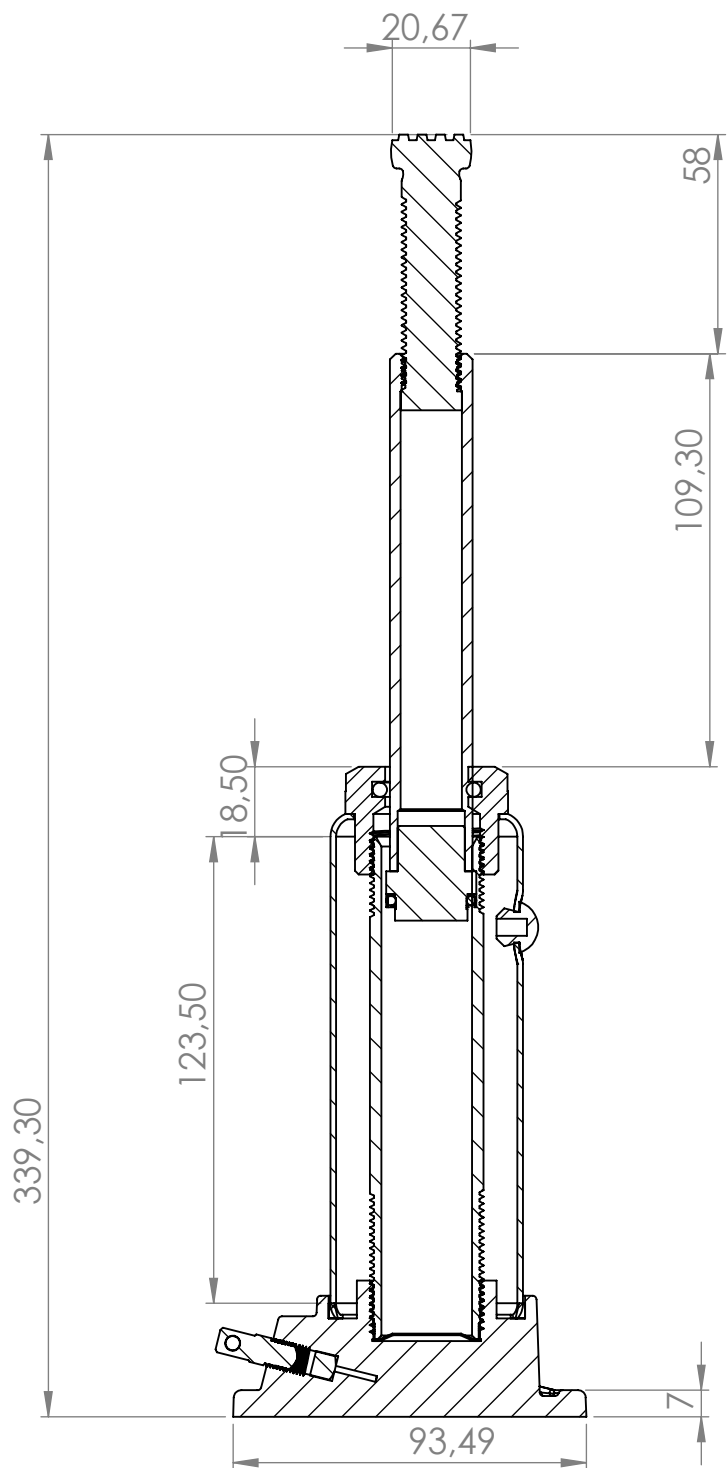
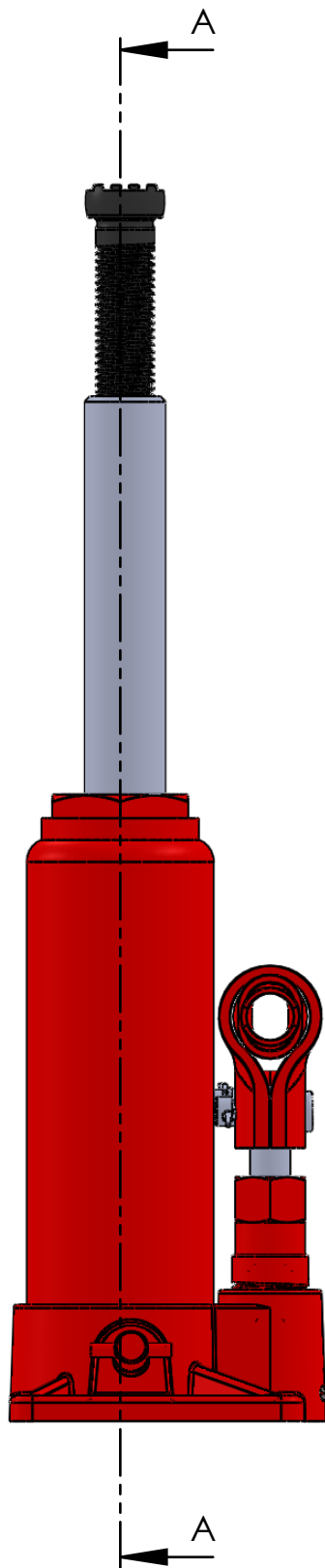
2

1



REPERE	POSITION X	POSITION Y	TAILLE
A1	40	40	$\phi 19$ A TRAVERS TOUT
A2	460	40	$\phi 19$ A TRAVERS TOUT

echelle:	1: 5
titer	table de base



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2

A	ECHELLE	1:2	A
	QUANTITÉ	1	
	NOM	le vérin	
4			1
	3	2	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

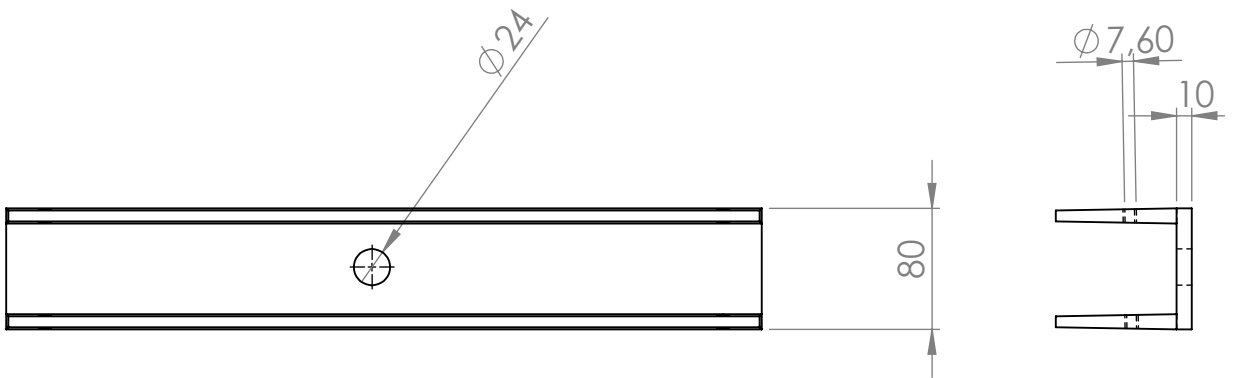
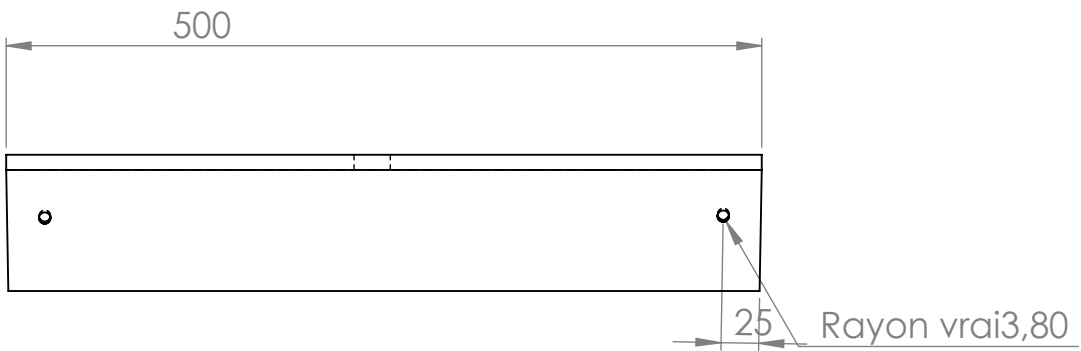
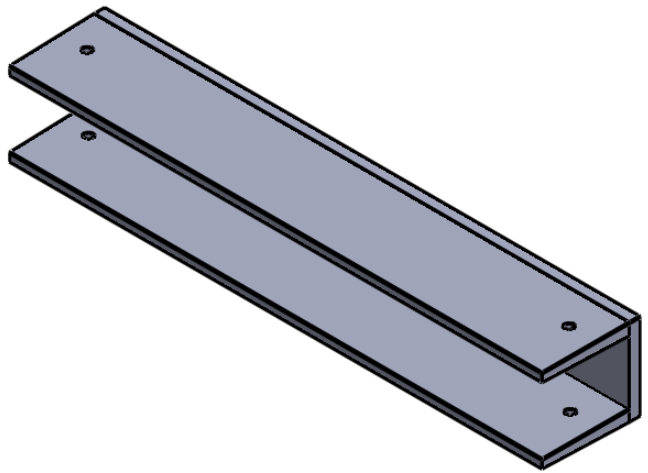
C

B

B

A

A



ECHELLE
 QUNTITÉ
 NOM

1:5

1

TOLE DE DESSO

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

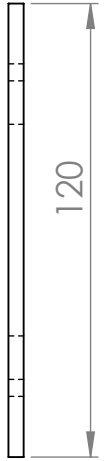
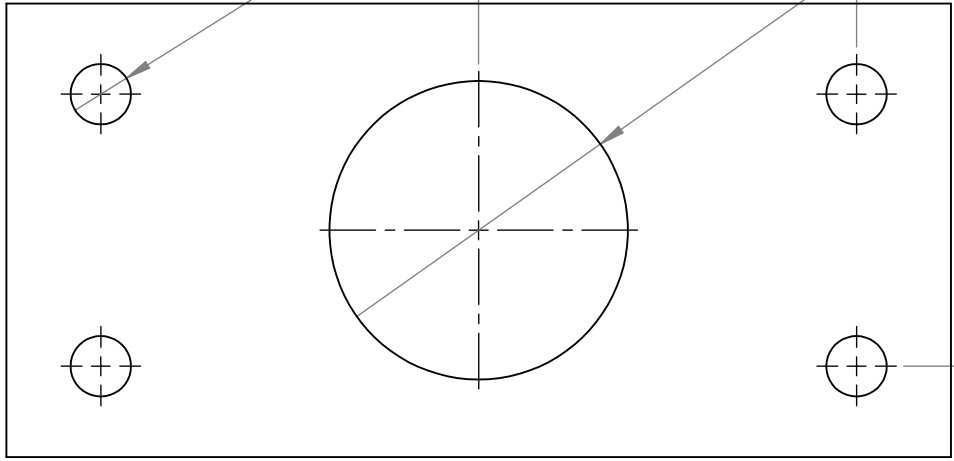
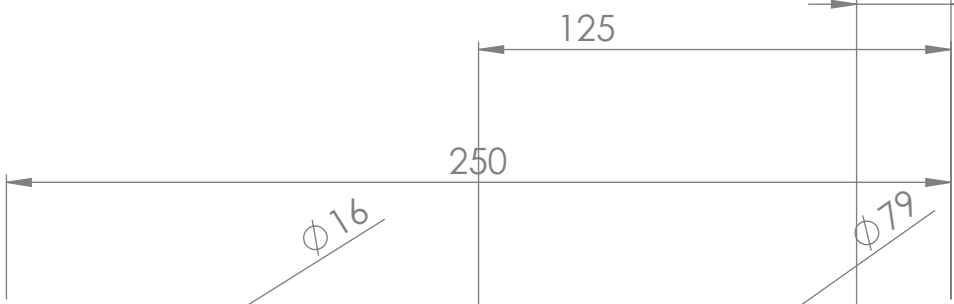
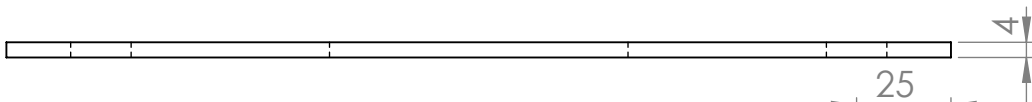
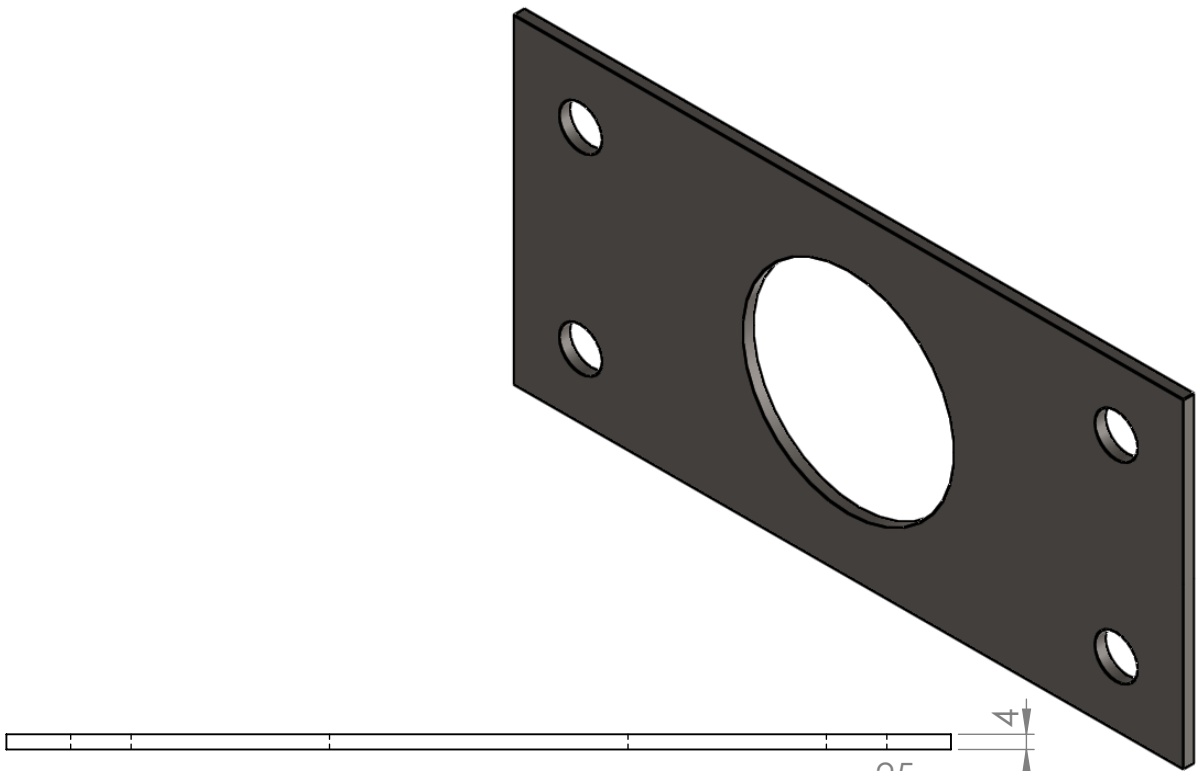
D

C

C

B

B



ECHELLE:	1:2
QUANTITE	2
NOM	SERRE FLAN

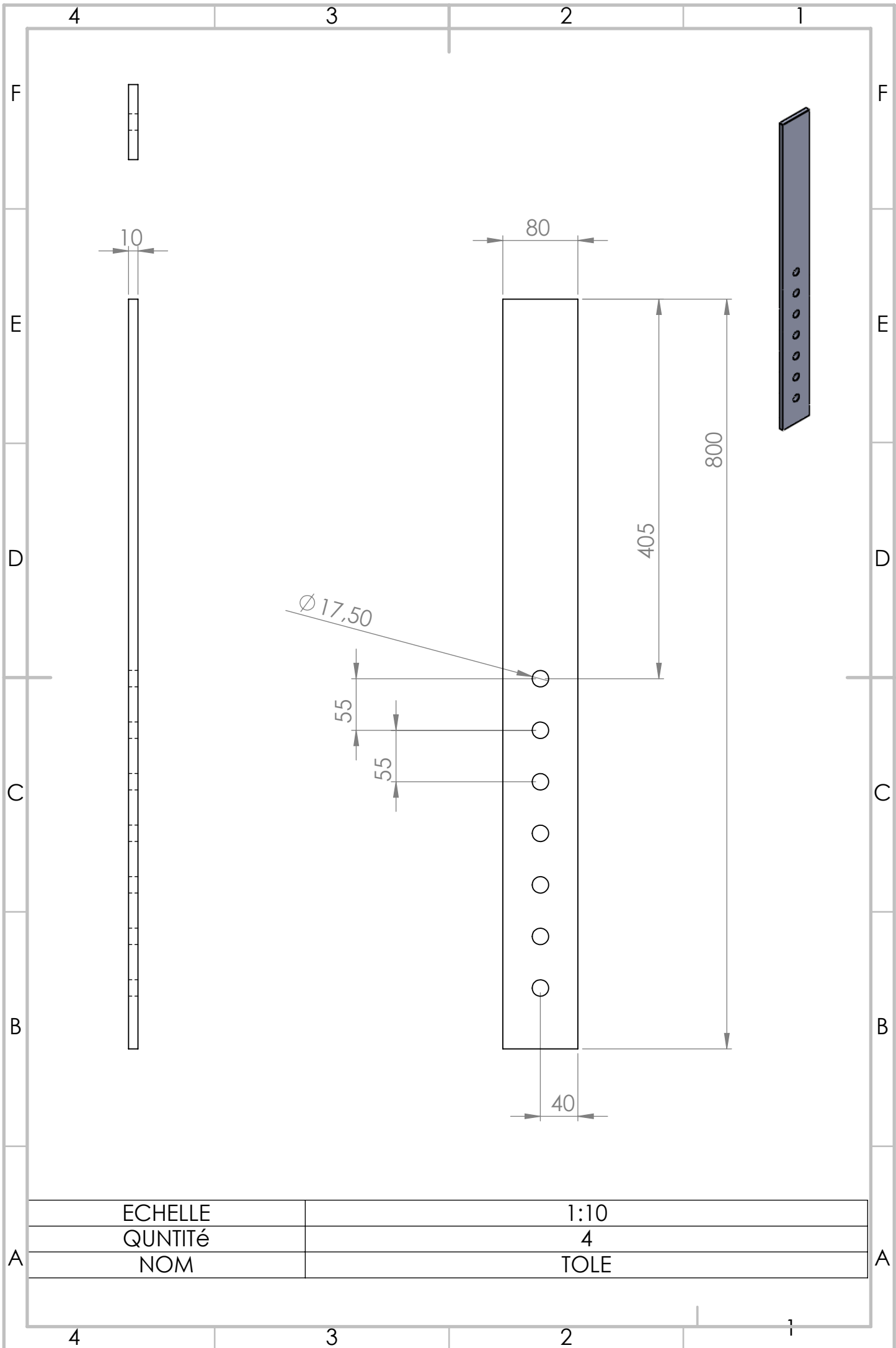
4

3

2

1

A



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

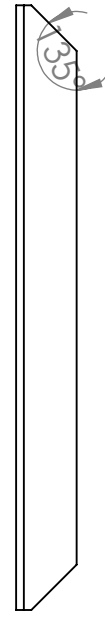
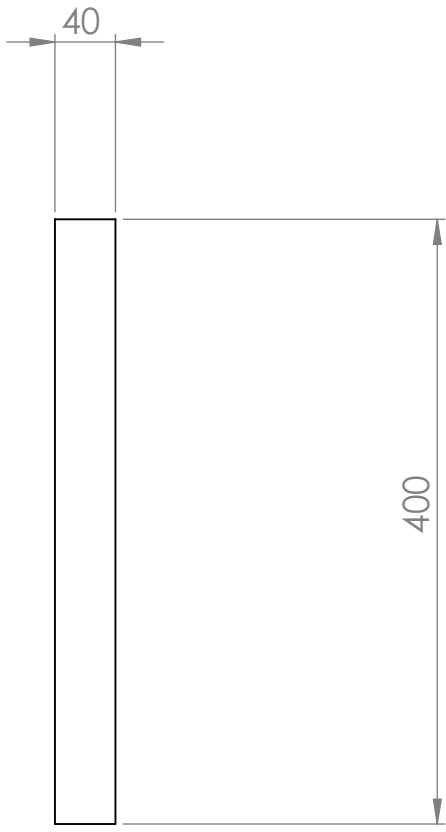
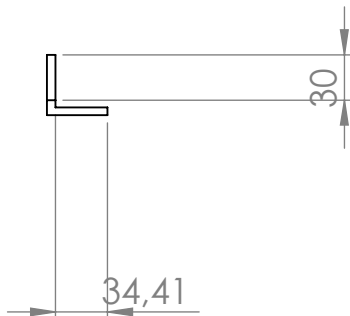
C

B

B

A

A



ECHELLE
 QUNTITÉ
 NOM

1:5
 2

TOLE 1 DE TABLE

4 3 2 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

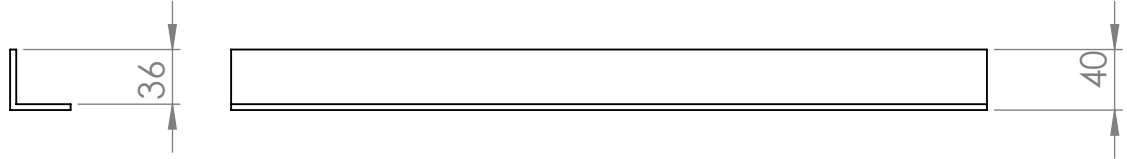
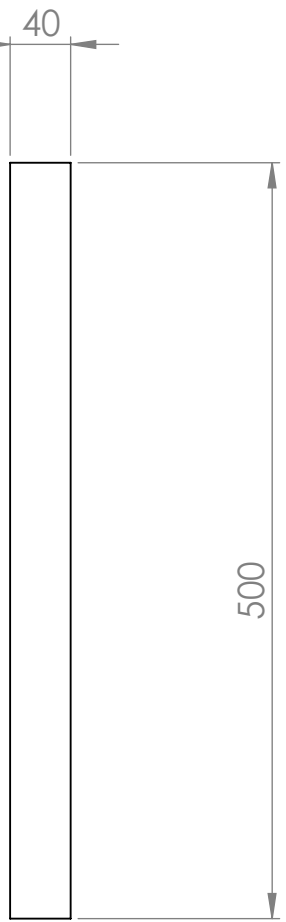
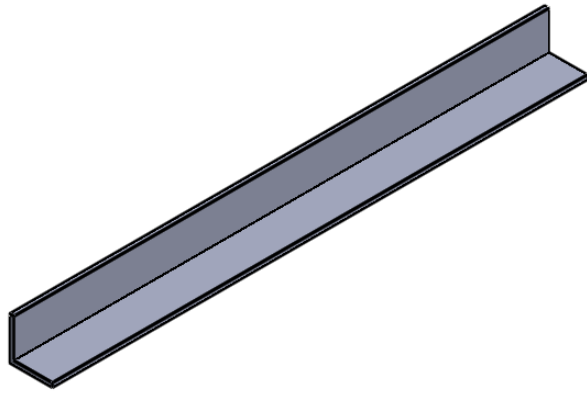
B

40

500

36

40



ECHELLE:
 QUANTITE
 NOM

1:5
 2
 TOLE DE TABLE

A

4

3

2

1

Résumé

Dans ce travail, nous avons présenté l'étude et la réalisation d'emboutisseuse . Nous avons expliqué dans le premier l'importance de machin dans l'industrie et les caractéristique technique et dans le deuxième chapitre nous avons expliqué les règles et les équations les plus importantes

Dans le troisième chapitre, nous étudions la technique de la machine que nous avons fabriquée, après avoir étudié toutes les données et la conception par ordinateur en utilisant le programme SolidWorks et en clarifiant comment cela fonctionne.

Mots clés : Emboutissage, tôle mince ,emboutisseuse, logiciel :solide works

ملخص

في هذا العمل تطرقنا لدراسة وتصنيع آلة السحب العميق حيث وضحنا في الفصل الأول كل ما يتعلق بها من خصائص

عامة صناعيا و تقنية ، وفي الفصل الثاني وضحنا اهم القواعد و المعادلات التي تضبط عمل الآلة

لنقوم في الفصل الثالث بدراسة تقنية للآلة التي قمنا بصناعتها، بعد دراسة كل المعطيات والتصميم بواسطة الحاسوب

باستخدام برنامج الصوليد ووركس وتوضيح طريقة عملها

كلمات مفتاحية : السحب العميق , تشكيل الالواح المعدنية, ضاغط هيدروليكي ,البرنامج :صوليد ووركس

Abstract

In this work we discussed the study and manufacture of the deep drawing machine where we explained in the first chapter all related to the general characteristics of industrial and technical, and in the second chapter we explained the most important rules and equations that control the manufacture of the machine and the characteristics of each piece

In the third chapter, we study the technique of the machine that we manufactured, after studying all the data and designing by computer using the SolidWorks program and clarifying how it works.

Key word : deep drawing ,shute métal ,logiciel :solide works