

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

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**  
**FACULTÉ DE TECHNOLOGIE**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

**MASTER**

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : FABRICATION MÉCANIQUE

PAR :

MOUHOUBI LYES

MERZOUK KHIER

**Thème**

---

**Etude et conception d'un moule d'emboutissage pour des tôles  
inferieur à 2mm**

---

Soutenu le 04/ 07 /2019 devant le jury composé de :

Mr. ADJOUADI

Président

Mr. SAHALI

Examineur

Mr HAMRI Okba

Encadreur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2018/2019

## *Remerciements*

*Avant tout, nous tenons à remercier Allah qui nous a dotés d'une grande volonté et qui nous a aidés et nous a donné le courage, la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*Nous remercions nos familles qui nous ont toujours encouragés et soutenu durant toutes nos études.*

*Nous adressons notre reconnaissance et nos remerciements à notre promoteur Mr HAMRI Okba.*

*Nous remercions les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.*

*Nous tenons à remercier Mr BEKKA Djamel, Mr HADJOU et toutes celles et ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus chaleureux.*

*À nos chers parents pour tous les sacrifices consentis à notre égard et leur énorme soutien.*

*Notre sincère gratitude va vers tous ceux qui ont participé de Près ou de loin à ce travail.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma famille et mes amis*

*Lyes*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A toute ma famille et tous mes amis qui m'ont encouragé du*

*début à la fin*

*A tous mes amis.*

*KHIER*

<b>Introduction général.....</b>	
<b>Chapitre I :</b> <b>généralités sur le procédé d'emboutissage</b>	
I.1 Généralités sur la mise en forme des métaux.....	
I.2 Généralités de l'emboutissage industriel.....	
I.2.1 Définitions.....	
I.2.1.2 Modes d'emboutissage.....	
I.2.2 L'emboutissage en température.....	
I.2.2.1 L'emboutissage à froid.....	
I.2.2.2 L'emboutissage à chaud.....	
I.2.3 Intérêts et débouchés.....	
I.2.4. Caractéristique et importance des dimensions des outils.....	
I.2.4.1 Rayon du poinçon.....	
I.2.4.2 Rayon de matrice.....	
I.2.4.3 Jeu entre poinçon et matrice.....	
I.2.4.4 Serre-flan.....	
I.2.5 Tolérances dimensionnelles.....	
I.2.6 Type d'emboutissage.....	
I.2.7 La courbe limite de formage.....	
I.3 Matériaux et formes d'emboutis.....	
I.3.1 Comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage.....	
I.3.2 Formes des pièces emboutis.....	
I.3.3 Essais d'emboutissage.....	

I.3.3.1 Essais d'expansion Biaxiale.....	
I.3.3.2 Essais de rétreint.....	
I.3.3.3 Essais mixtes.....	
I.3.4 Aspects métallurgiques d'emboutissage.....	
I.3.4.1 Prise en compte de directions de laminage.....	
I.3.4.2 Validité de ces critères.....	
Conclusion.....	
<b>Chapitre II :</b>	
<b>Presse d'emboutissage et les paramètres de fonctionnement</b>	
Introduction .....	
II.1 Principe de fonctionnement.....	
II .2 Le nombre d'effets .....	
II.2.1.1 Presses simple effet .....	
II.2.1.2 Presses double effet .....	
II.2.1.3 Presses triple effet .....	
II.3 Le mode d'entraînement .....	
II.3.1 Presses mécaniques .....	
II.3.2 Presses hydrauliques .....	
II.3.3 Servopresses .....	

<b>Chapitre III :</b>	
<b>Les condition d’emboutissage</b>	
III.4 Aspects opératoires .....	
III.4.1 Le jeu entre le poinçon et la matrice.....	
III.4.2 Le rayon sur la matrice.....	
III.4.3Arrondi sur le poinçon .....	
III.4.4 La vitesse d’emboutissage.....	
III.4.5 La pression du serre–flan.....	
III .5 Paramètres liés à la tôle .....	
III.5.1 La taille de flan .....	
III.5.2 La lubrification.....	
III.5.3 Nombre de passes.....	
Conclusion.....	
<b>Chapitre IV :</b>	
<b>Conception du moule</b>	
Introduction.....	
IV.1. Description et présentation de l’outil "CAO" SolidWorks.....	
IV.2. Le fonctionnement du logiciel SolidWorks.....	
IV.3. Présentation finale de la conception.....	
IV.4. Caractéristique du moule.....	
IV.5. Modélisation de la pièce .....	
IV.6.1. La Première Partie .....	

IV.6.2. Deuxième partie .....	
IV.6.3. Les éléments d'assemblage .....	
IV.7. Le mode de fonctionnement du moule .....	
IV.8. Différentes calculs sur le moule .....	
IV.9. Etude de résistance sur solidworks .....	
<b>Conclusion.....</b>	
<b>Bibliographie</b>	
<b>Annexes</b>	

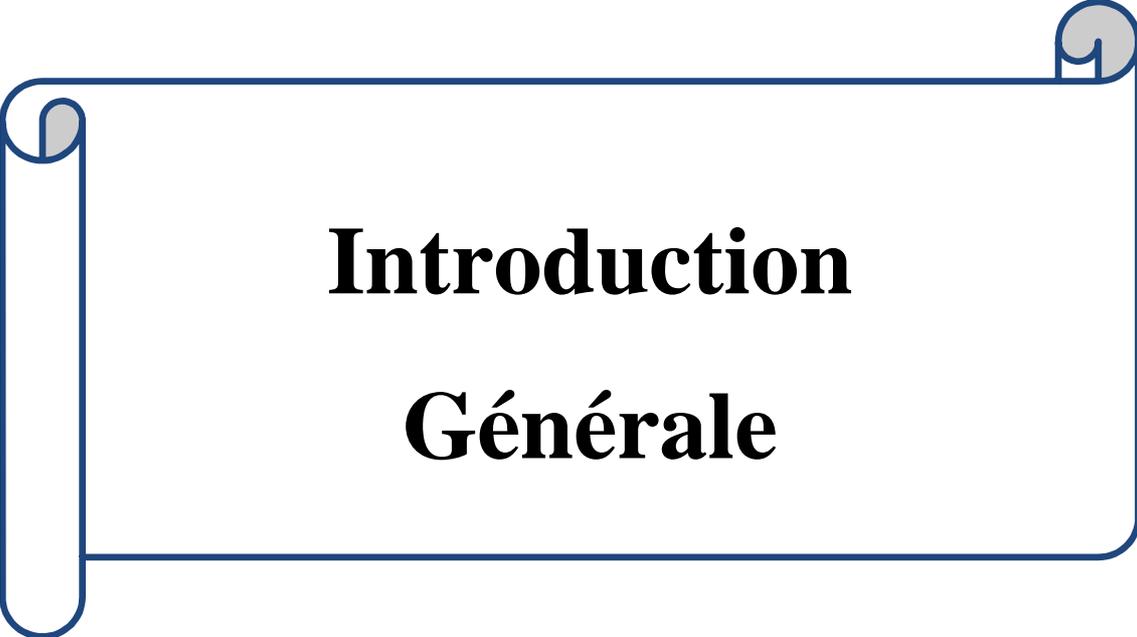
## *Index des figures*

Figure I.1. Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques.....4	<b>4</b>
Figure I.2. Procédé d'emboutissage.....5	<b>5</b>
Figure I.3. Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan.....5	<b>5</b>
Figure I.4. Retour élastique.....6	<b>6</b>
Figure I.5. Outils d'emboutissage d'aile d'une voiture (Documentation STAMPAK, Société QUANTECH).....6	<b>6</b>
Figure I.6. Ligne de presses d'emboutissage.....7	<b>7</b>
Figure I.7. Le procédé d'emboutissage en chiffres.....8	<b>8</b>
Figure I.8. a) Emboutissage par expansion, b) Emboutissage profond avec rétreint.....11	<b>11</b>
Figure I.9 L'emboutissage a chaud.....12	<b>12</b>
Figure I.10 a) emboutissage en expansion b) emboutissage en retreint.....16	<b>16</b>
Figure I.11. Mode principal de déformation d'une pièce emboutie.....17	<b>17</b>
Figure I.12. Courbe limite de formage pour différents domaines.....18	<b>18</b>
Figure I.13. Modes de déformation dans le repère des déformations principales majeure et mineure.....19	<b>19</b>
Figure I.14. Plissement dans la partie libre de l'embouti .....20	<b>20</b>
Figure I.15. Les modes de déformation sur un embouti.....20	<b>2</b>
Figure I.16. Emboutissage renversé.....22	<b>22</b>
Figure I.17. Emboutissage de pièce demi sphérique.....23	<b>23</b>
Figure I.18. Emboutis rectangulaires.....23	<b>23</b>
Figure I.19. Principaux modes de déformation en emboutissage illustrés par des emboutis servant à des essais de caractérisation.....24	<b>24</b>
Figure I.20. Essai Swift.....25	<b>25</b>
Figure I.21. Essai Fukui et rupture caractéristique.....26	<b>26</b>
Figure I.22. Hauteur relative des cornes.....28	<b>28</b>
Figure II.23 Presse simple effet hydraulique .....32	<b>32</b>
Figure II.24 Presse double effet mécanique (schéma très simplifié).....33	<b>33</b>
Figure II.25 Presse triple effet.....35	<b>35</b>
Figure II.26 Différents cycles d'une presse mécanique et genouillère .....36	<b>36</b>

Figure II.27 Principe de la presse hydraulique.....	37	<b>37</b>
Figure II.28 Variation de l'arrondi sur la matrice.....	41	<b>41</b>
Figure II.29 le rayon sur le poinçon.....	42	<b>42</b>
Figure II.30 exemple de traçage avec l'application du théorème de GULDEN.....	47	<b>47</b>
Figure II.31 Nombre de passes.....	50	<b>50</b>
Figure VI .32: les trois concepts de base .....	56	<b>56</b>
Figure VI.33 : schéma du moule sous SolidWorks.....	56	<b>56</b>
Figure VI.34 : produit final .....		<b>?</b>
Figure VI .35: le poinçon.....	58	<b>58</b>
Figure VI .36: matrice du moule.....	58	<b>58</b>
Figure VI.37 : Tige de guidage.....	59	<b>59</b>
Figure VI.38 : Tige de guidage.....	59	<b>59</b>
Figure VI .39: Ressort .....	60	<b>60</b>
Figure.VI.40 : Caractéristique de l'acier.....		<b>?</b>
Figure VI.41 : Distribution du coefficient de sécurité obtenu dans l'ensemble de la pièce.....		<b>?</b>
Figure VI.42 : Déplacement statique des forces sur le poinçon.....		
Figure VI.43 : Déplacement statique des forces sur la matrice.....		
Figure VI.44 : distribution de coefficient de sécurité sur la matrice.....		
Figure VI.45 : illustration des charges appliquées sur le moule.....		

## *Index des tableaux*

Tableau 1. Caractéristiques des différentes catégories de tôles.....	<b>21</b>
Tableau 2 : vitesses d'emboutissage pour différent matériaux.....	<b>43</b>
Tableau 3 : pression spécifique.....	<b>44</b>
Tableau 4 : calcul des efforts et énergies nécessaires pour une opération d'emboutissage.....	<b>45</b>
Tableau 5 : calcul des surfaces élémentaires.....	<b>48</b>
Tableau 6 quelques valeurs des coefficients de réduction pour différents types de métaux.....	<b>50</b>



**Introduction**  
**Générale**

### **Introduction générale**

Le présent travail représente une initiative de recherche et d'investigation sur la simulation numérique de l'emboutissage des tôles minces en vue de l'optimisation des paramètres géométriques et mécaniques de ce procédé. La réussite d'une opération d'emboutissage nécessite la maîtrise de nombreux paramètres liés au type de matériau, à la géométrie des outils et de la tôle, aux conditions opératoires (efforts appliqués, vitesse, lubrification). Elle requiert une connaissance approfondie des modes de sollicitations que subit le métal. Il en résulte que le contrôle de l'écoulement de la matière par l'intermédiaire du serre-flan, est un art nécessitant des personnes de métier très qualifiées afin d'empêcher la formation des plis et des déchirures de la pièce, en ajustant localement et en fonction du temps la pression de serrage. Le glissement de la tôle peut être contrôlé en utilisant soit des joncs de retenue ou un serre-flan déformable voire flexible.

Notre objectif principal est d'étudier et montrer, par une simulation numérique d'emboutissage en utilisant le logiciel solidwork's, 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 profondeur d'emboutissage, sur des pièces embouties, ce travail n'a pas été achevé, faute de moyens, mais les projections futures de la continuité de ce travail sont mises en clair.

Un des aspects principaux de ce travail consiste à établir une étude de sensibilités des principaux paramètres qui influent directement sur la qualité du produit fini. Plusieurs applications académiques et industrielles ont été étudiées, elles représentent des benchmarks de validation de l'étude de sensibilités de quelques paramètres tels que : l'effort de serrage, taille de flan, frottement,...

Le plan de rédaction du 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. Ce chapitre sera finalisé par une prise en compte de directions de laminage et Validité de ces critères.

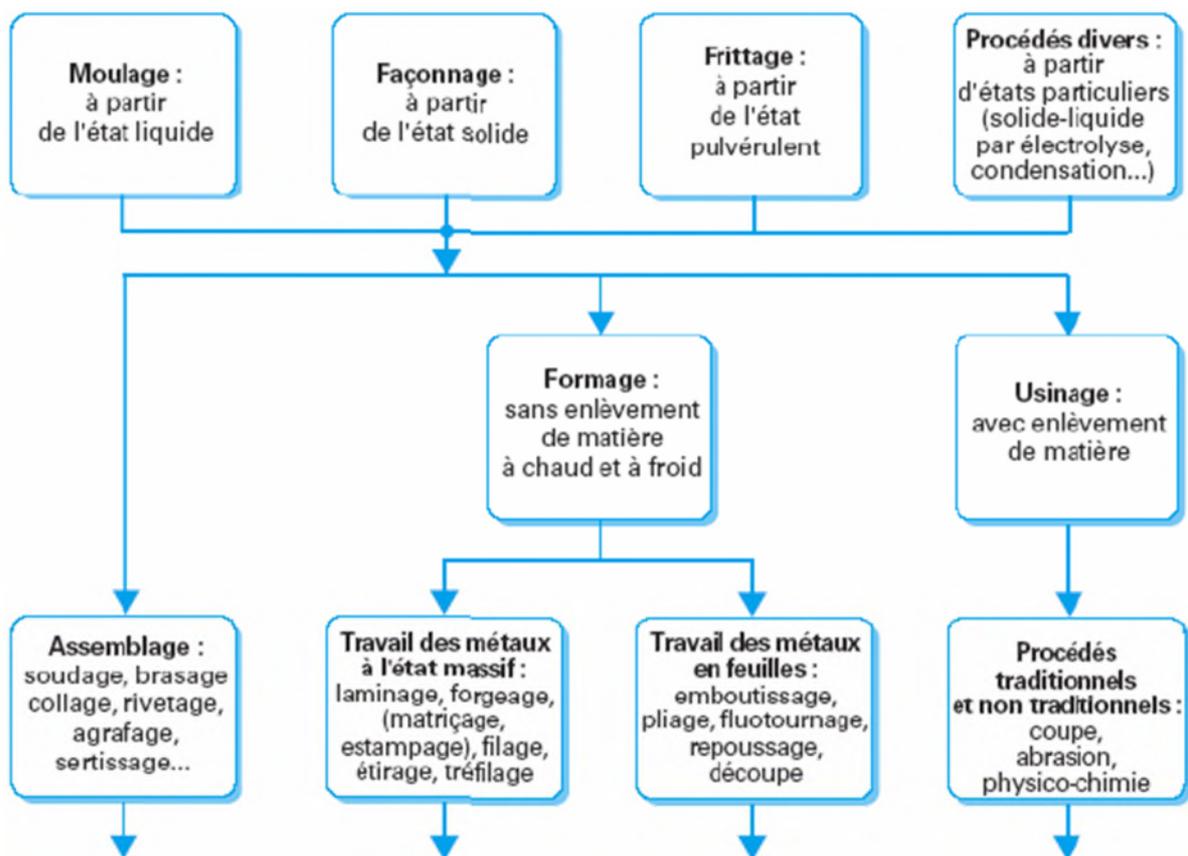


# **Chapitre I**

## **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 (le moulage, 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 [1].



. Figure I.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) :

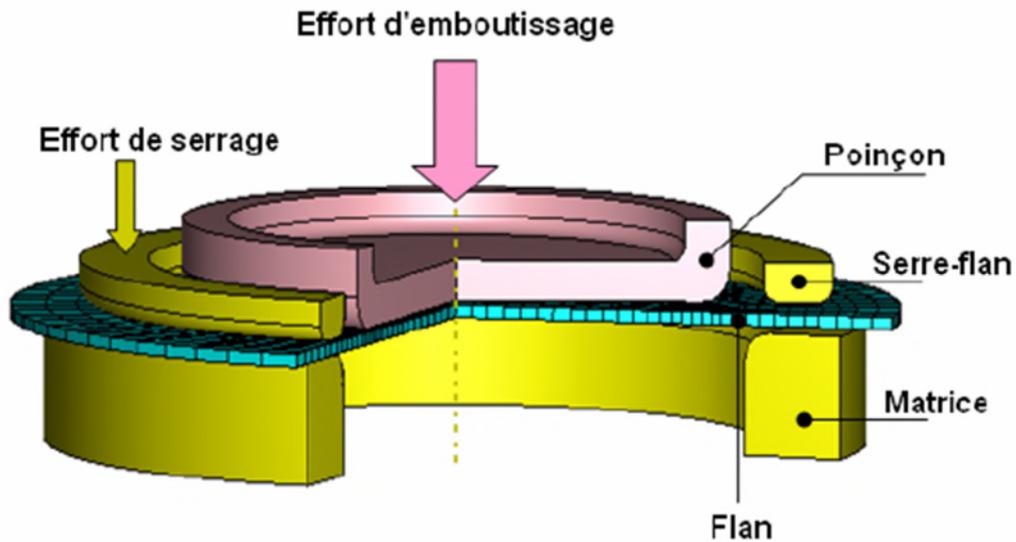


Figure I.2 : Procédé d'emboutissage.

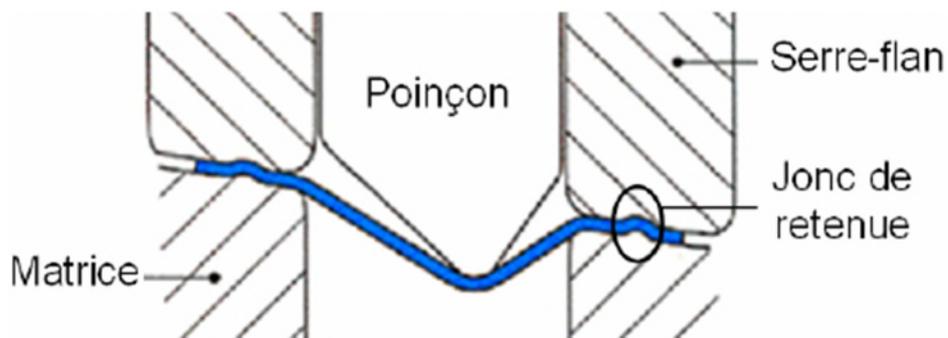


Figure I.3 : Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan.

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).

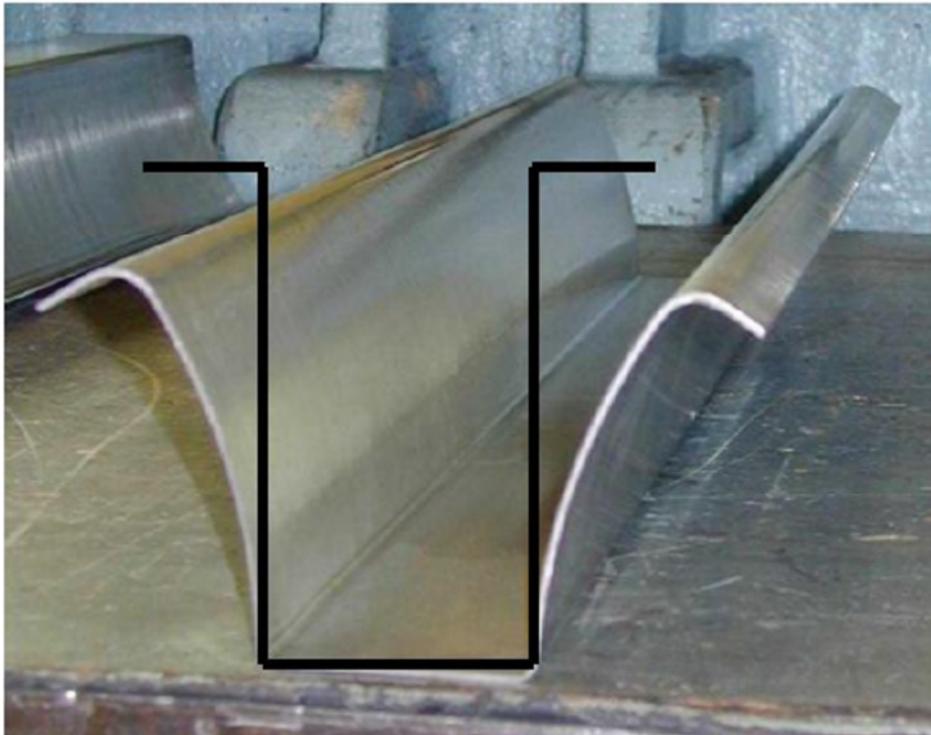


Figure I.4 : Retour élastique.

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.

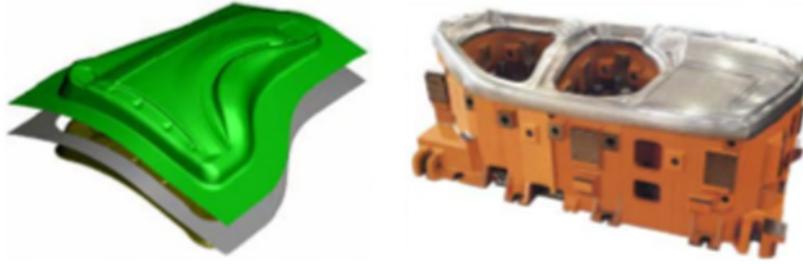


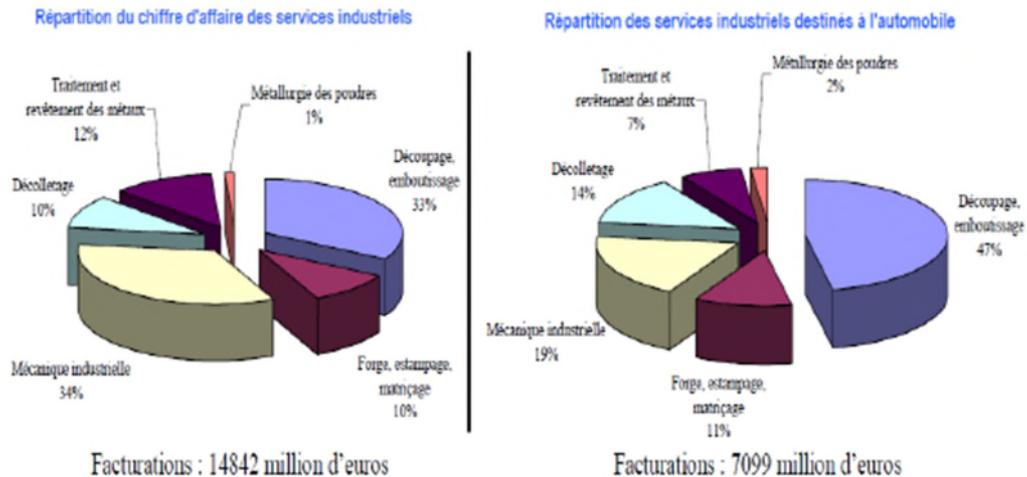
Figure I. 5 : Outils d'emboutissage d'aile d'une voiture

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 I.6 : Ligne de presses d'emboutissage.

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

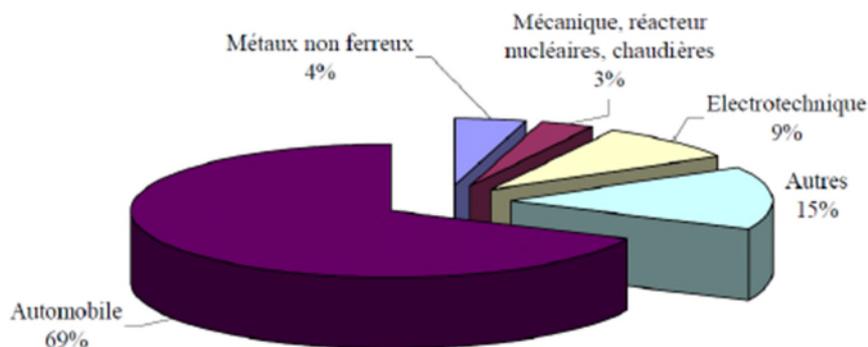


Figure I.7 : Le procédé d'emboutissage en chiffres.

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 .

Comme pour tous les procédés de mise en 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.

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 développé des aides à la conception des outils et autres outils d'analyses et de simulation.

Nous pouvons répertorier des méthodes géométriques, expérimentales et analytiques sur des formes simples. Plus proche de nous, l'ordinateur et l'avènement de la méthode des éléments finis, qui ont permis le développement du calcul numérique, ont mené à la création de logiciels permettant la simulation de crashes, via la recherche militaire, et le calcul des structures. A partir de ces codes, des progiciels de simulation numérique d'emboutissage des tôles sont apparus.

## **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.

### **I.2.1.2 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 :

**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 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.

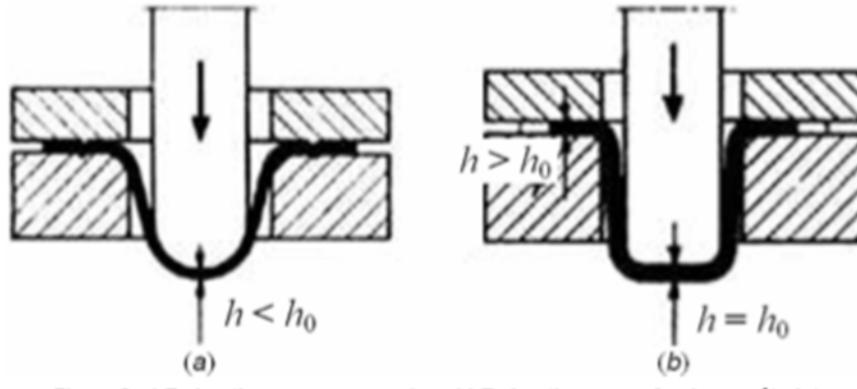


Figure I. 8 : a) Emboutissage par expansion, b) Emboutissage profond avec rétreint

**Remarque :**

— L'épaisseur de la pièce finie diffère de l'épaisseur du flan, l'épaisseur du fond de la pièce étant proche de celle du flan. Aux endroits de passage du fond à la paroi latérale on peut constater un amincissement de 10 à 25%, et près de la face d'about un épaissement de 15 à 25%.

— Le critère industriel de faisabilité de pièces automobiles est donné par :

$-25\% \leq \text{épaisseur de variation} \leq +15\%$  : 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 [04]

## I.2.2 L'emboutissage en température :

Il existe deux techniques d'emboutissage :

### 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'érouissage 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.

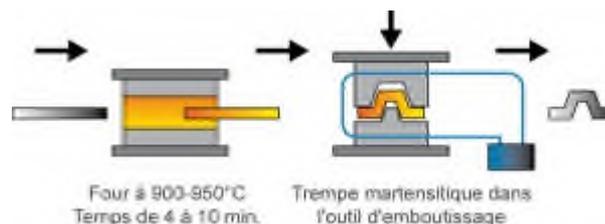


Figure I.9 : L'emboutissage a chaud

## **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) [6].

L'écrouissage 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. Caractéristique et importance des dimensions des outils :**

L'outil qui exécute une opération dans la gamme de fabrication d'une pièce peut être monté seul ou groupé sur une même presse. Dans tous les cas de groupage d'outils, on détermine les efforts nécessaires à chacun d'eux ; cela permet d'une part de vérifier que l'effort nominal de la presse est suffisant, et d'autre part de disposer ces outils de façon que le point d'application de l'effort résultant soit le plus près possible de l'axe du coulisseau de la presse [07].

La fabrication des outillages d'emboutissage est généralement assurée sur machines – outils conventionnels tout en prenant en considération le critère économique qui est le coût horaire machine et le coût de la matière, assurant ainsi la facilité des opérations d'usinage. L'outil ne doit pas être une source d'accident pour l'opérateur. Il faut donc lui assurer une

alimentation aisée et une extraction facile des pièces, de sorte que le temps de l'action manuelle sous l'outillage soit très court.

**I.2.4.1 Rayon du poinçon :**

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.[8]

**I.2.4.2 Rayon de matrice :**

D'une manière générale, le rayon de la matrice  $r_m$  est :  $5e \leq r_m \leq 10e$  [8] une valeur plus précise  $r_m$  est donnée par [R.Martin 73] est :

En première passe 
$$r_m = k \cdot \sqrt{D - d} \cdot e \dots\dots(I-1)$$

Avec  $k = 0.8$  pour un acier doux,

$k = 0.9$  pour l'aluminium

En deuxième passe 
$$r_m = (d_1 - d_2) / 2 \dots\dots(I-2)$$

Avec  $d_1$  :  $\varnothing$  en première passe ;

$d_2$  :  $\varnothing$  en deuxième passe.

**I.2.4.3 Jeu entre poinçon et matrice :**

Le jeu radial entre poinçon et matrice doit être plus grand que l'épaisseur nominale du métal embouti, pour tenir compte des tolérances sur l'épaisseur des métaux en feuilles.

$$e < j e \sqrt{(D/d)}$$

Avec  $\sqrt{(D/d)} = \sqrt{B}$  tient compte de l'épaississement de la tôle en fin d'emboutissage (déformations en retrait  $j \leq 1,2 \cdot e$  [9])

### I.2.4.4 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 empêchent 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. Des joncs de retenue sont également utilisés lors des opérations de calibrage par étirage des pièces, types cônes, paraboles, etc.

### I.2.5 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. A 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 150 MPa), de leur forte anisotropie ( $R > 2$ ), de leur forte écrouissabilité et de leur allongement important [10].

**I.2.6 . Type 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 :

**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 I.10–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 I.10–b) montre un emboutissage profond avec rétreint du métal glissant sous le serre-flan, l'épaisseur entre serre-flan et matrice peut augmenter. Ce qui nécessite des mises au point de la sécurité plus importantes

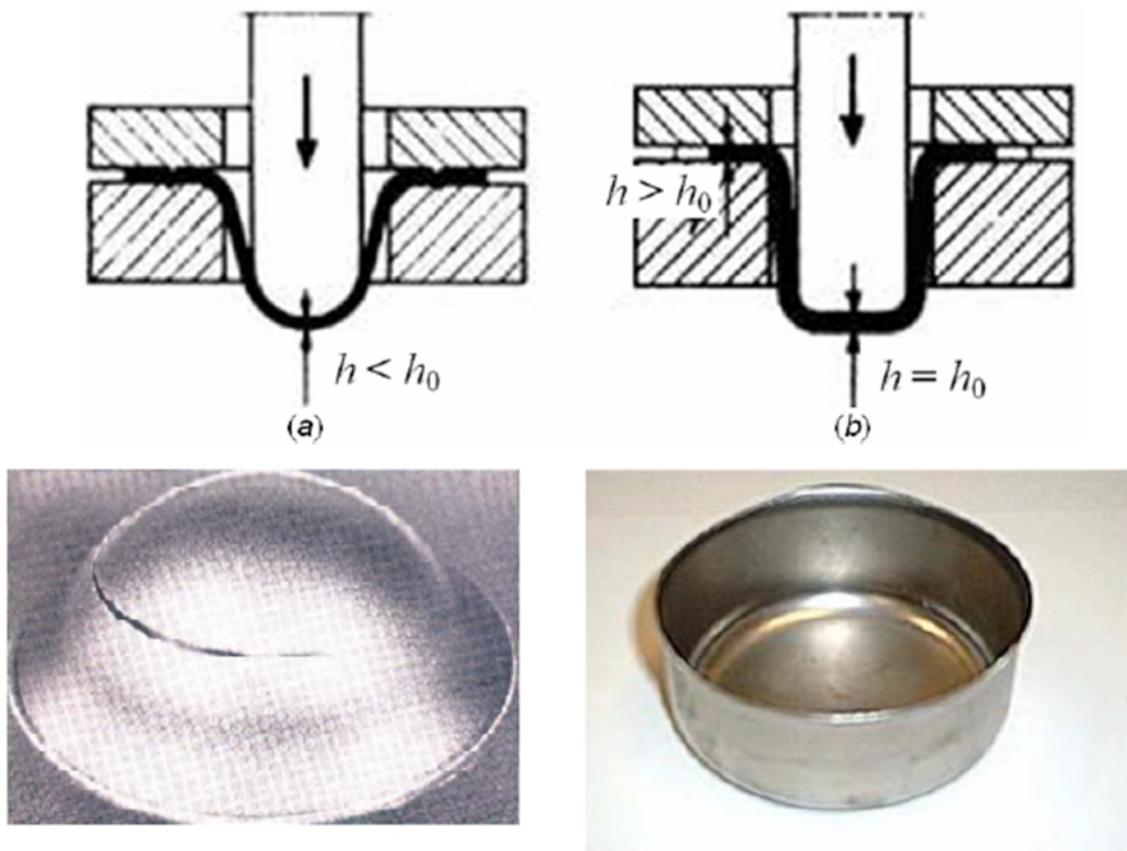


Figure I.10 : a) emboutissage en expansion b) emboutissage en retreint

Dans la pratique, les deux modes de déformation coexistent lors de l'emboutissage. Une pièce emboutie quelconque est obtenue par combinaison de ces deux types extrêmes d'emboutissage (Figure I.11). L'expansion s'exerce en général dans la zone de contact avec le poinçon, le rétreint dans la zone située sous le serre-flan. Lors de la mise au point du procédé, il faut trouver le meilleur compromis entre le rétreint (formation de plis) ou l'expansion (casses ou strictions)

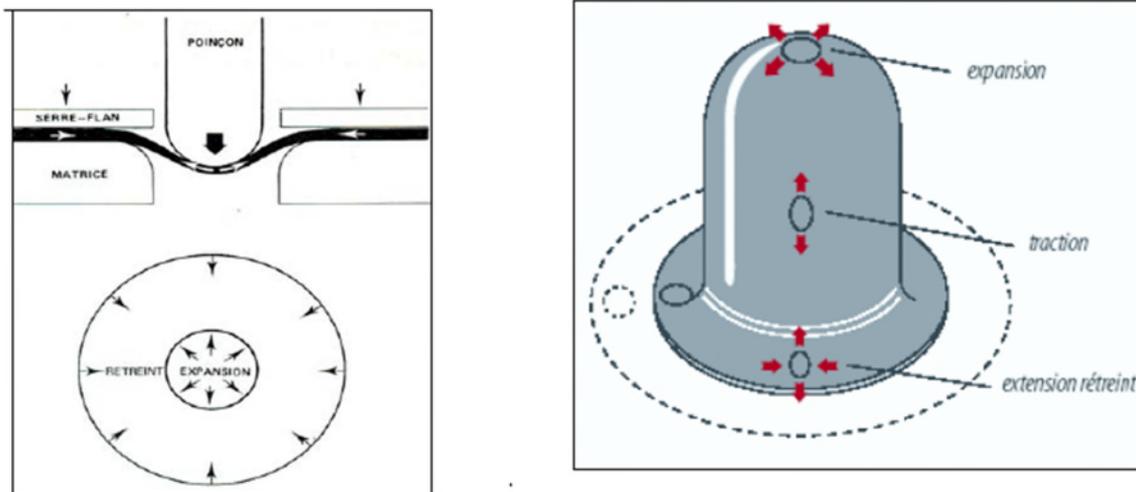


Figure I.11 : Mode principal de déformation d'une pièce emboutie

## I.2.7 La courbe limite de formage :

La courbe qui forme la frontière inférieure du secteur C'est la courbe limite de formage [10]. La courbe décrit le niveau de la contrainte pour laquelle le matériau réel peut résister l'échec, le fendage ou le ridage se produit. après un principe de base l'expérience assure que le composant ne cassera pas si le niveau de contrainte ne devrait pas excéder 80% du niveau de la courbe limite de formage [11] .

Les différents secteurs du diagramme sont :

- A. Des capacités de formage du matériau.
- B. Danger de la rupture .
- C. Le matériau a fendu.

D. Amincir grave.

E. Risque du retour élastique.

F. Tendance au ridage.

G. Rides entièrement développées.

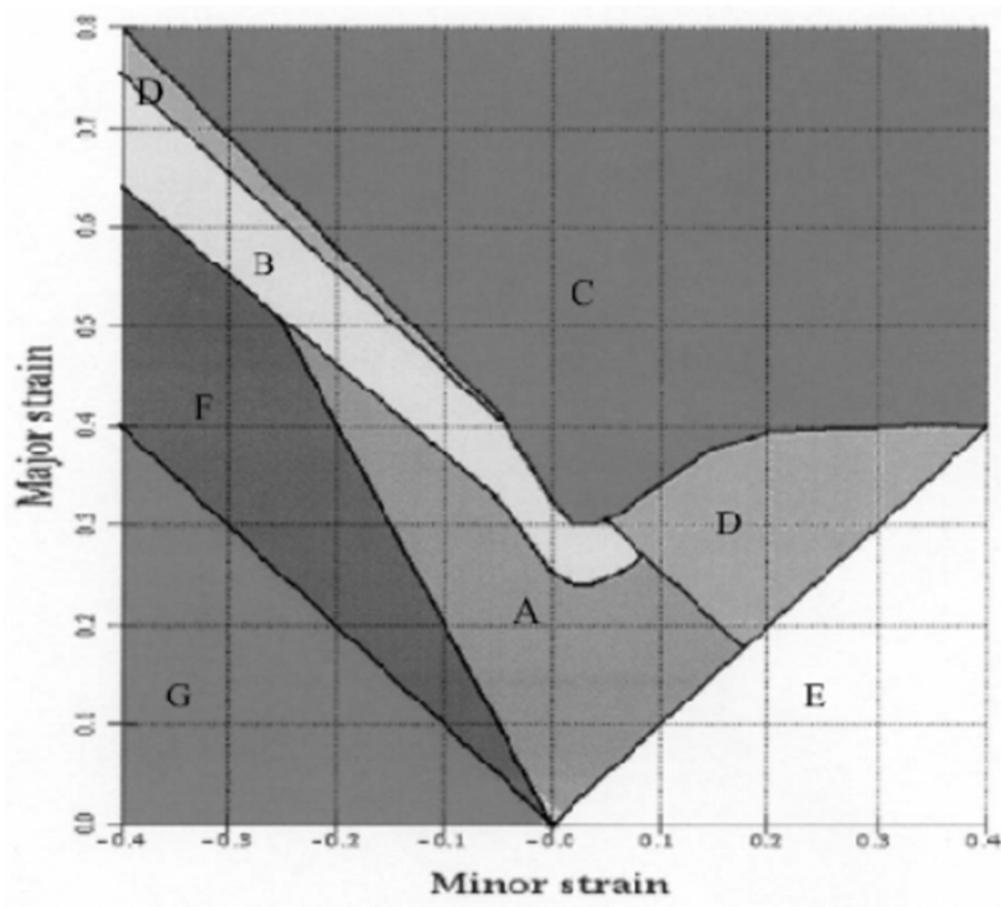


Figure .I.12 : Courbe limite de formage pour différents domaines

**I.3. Matériaux et formes d'emboutis :**

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

**I.3.1 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 désignerons généralement sous le nom plis ou à des amincissements conduisant à la rupture.

Pour un 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 [12] (Figure I.13)

- \* Expansion bi axiale .
- \* Traction uniaxiale .
- \* Cisaillement pur .
- \* Rétreint .
- \* Compression uni axiale.

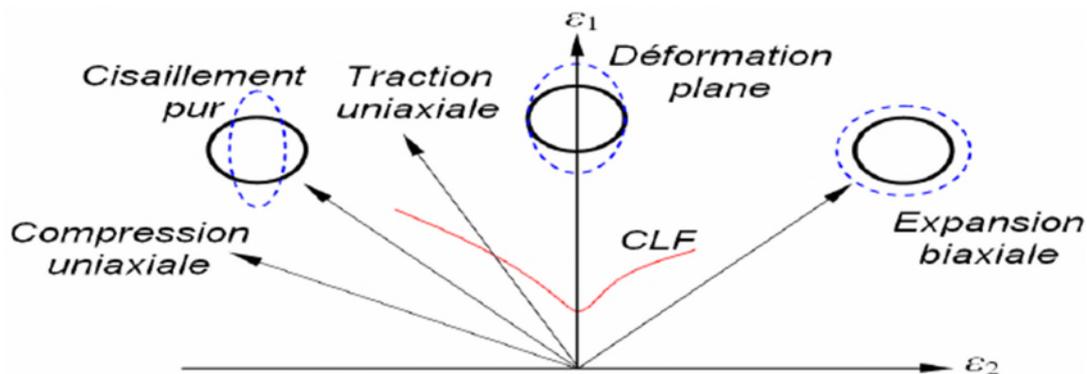


Figure I.13 : Modes de déformation dans le repère des déformations principales majeure et mineure.

Dans le cas d'un godet conique (Figure I.14), 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 I.14-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 électroformage). Mais cela n'est bien sûr pas toujours possible. Les métaux en feuille sont très sensibles à ces modes de déformation.

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

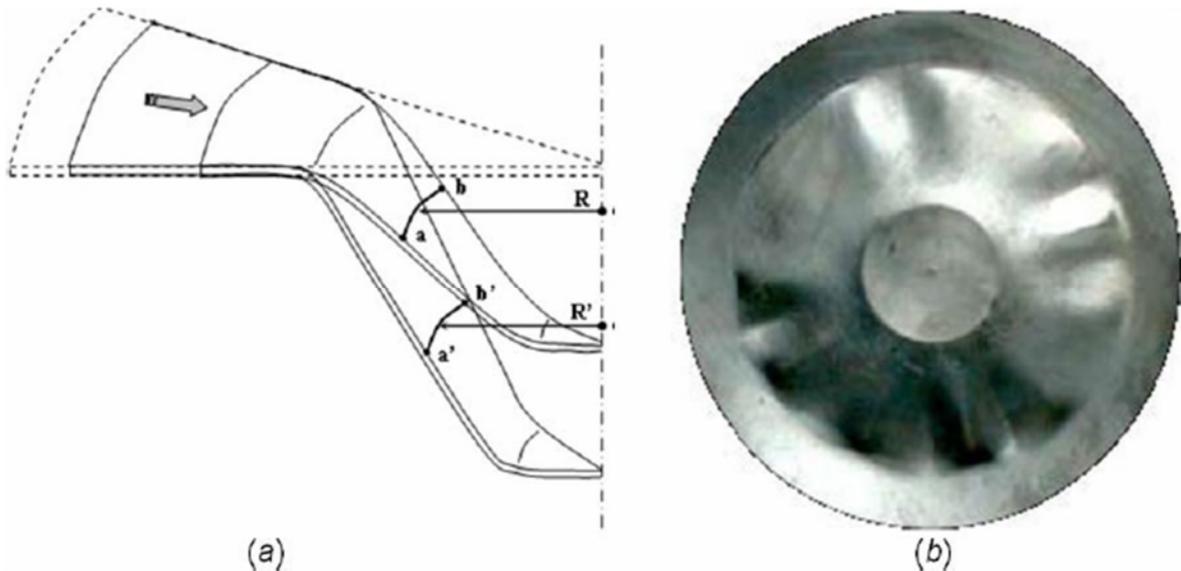


Figure I.14 : Plissement dans la partie libre de l'embouti.

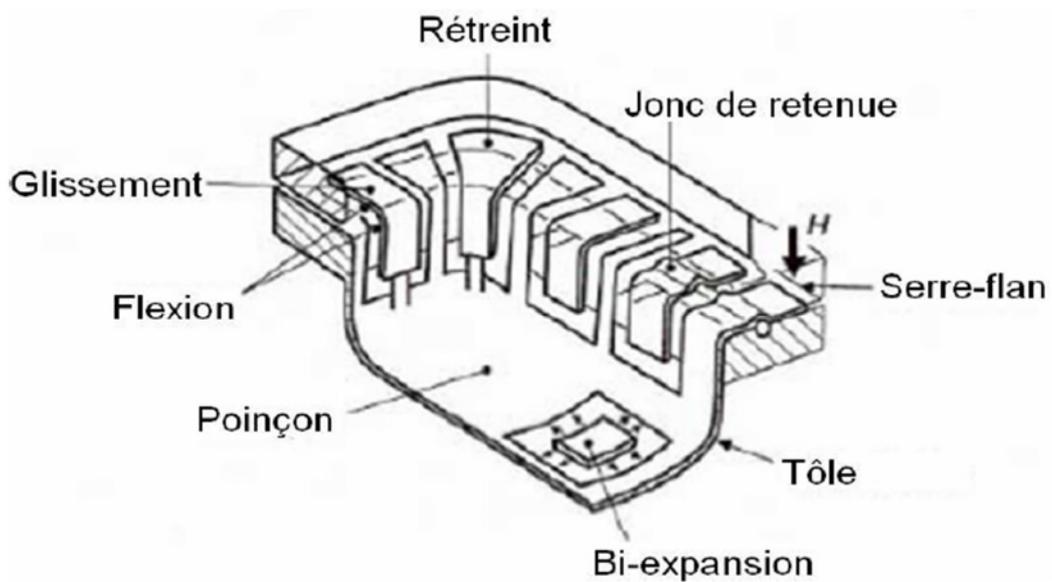


Figure I.15 : Les modes de déformation sur un embouti.

## a- Les aciers :

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

	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

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes catégories de tôles.

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

## 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'écroutissant à l'emboutissage, l'étirage le plus profond ne s'obtient qu'avec les qualités les plus douces. On peut toutefois obtenir des emboutis peu profond avec des qualités plus dures.
- **Le cuivre** : non allié à un autre élément, le cuivre rouge possède d'excellentes qualités d'emboutissage extra profond, souvent supérieures à celles du laiton ou de l'acier spécial.
- **Le zinc** : il s'emboutit facilement mais, dans le cas d'emboutissage de forme complexe, il est nécessaire de le chauffer entre 100° et 150°C.

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

### I.3.2 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.

**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.

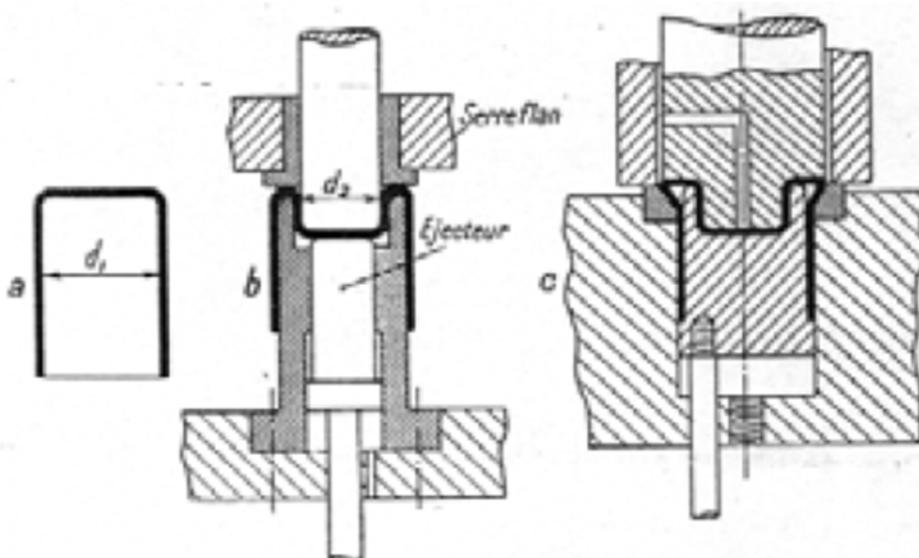


Figure I.16 : Emboutissage renversé.

**Forme conique:** La forme conique ne peut être obtenue qu'après au moins 4 passes. Cette technique permet d'obtenir des formes qu'il aurait été impossible à former en une seule passe.

**Forme demi-sphérique :** L'emboutissage d'une demi-sphère est difficile en raison de la formation de plis, mais il est possible en une seule passe si la matrice est munie d'un bourrelet.

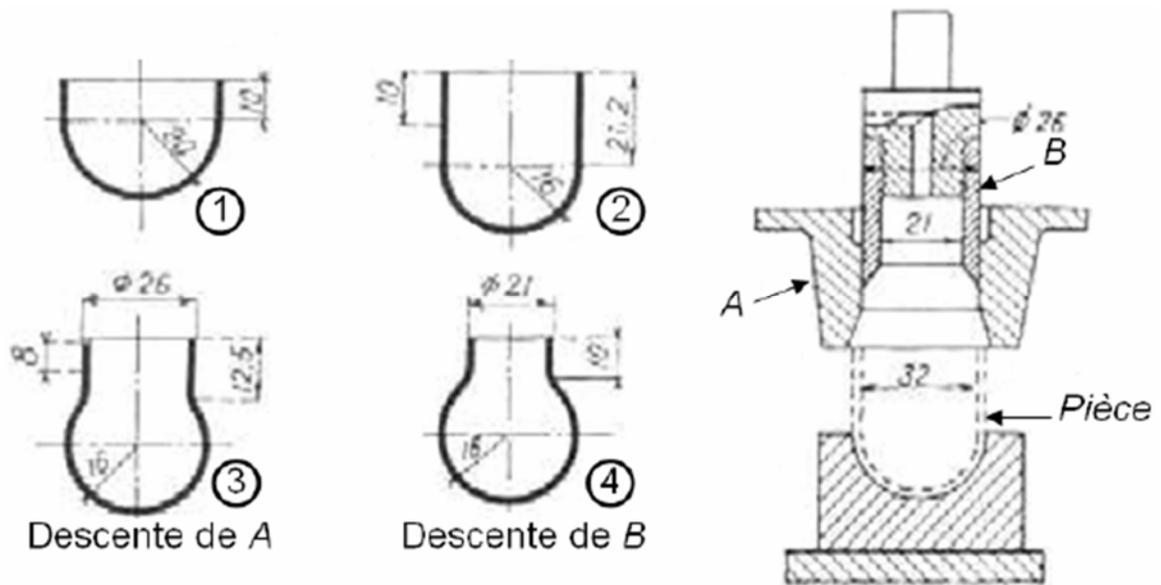


Figure I.17 : Emboutissage de pièce demi sphérique.

**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 I.18 : Emboutis rectangulaires.

### I.3.3 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. [13] ,[14] ,[15]

Les Figure I.19 et I.20 , représente les principaux modes de déformations tels qu'ils apparaissent sur des emboutis servant à des essais de caractérisation (essais Swift, Erichsen, etc.) .

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  $\epsilon_1$  et l'axe X (horizontal)est  $\epsilon_2$  .

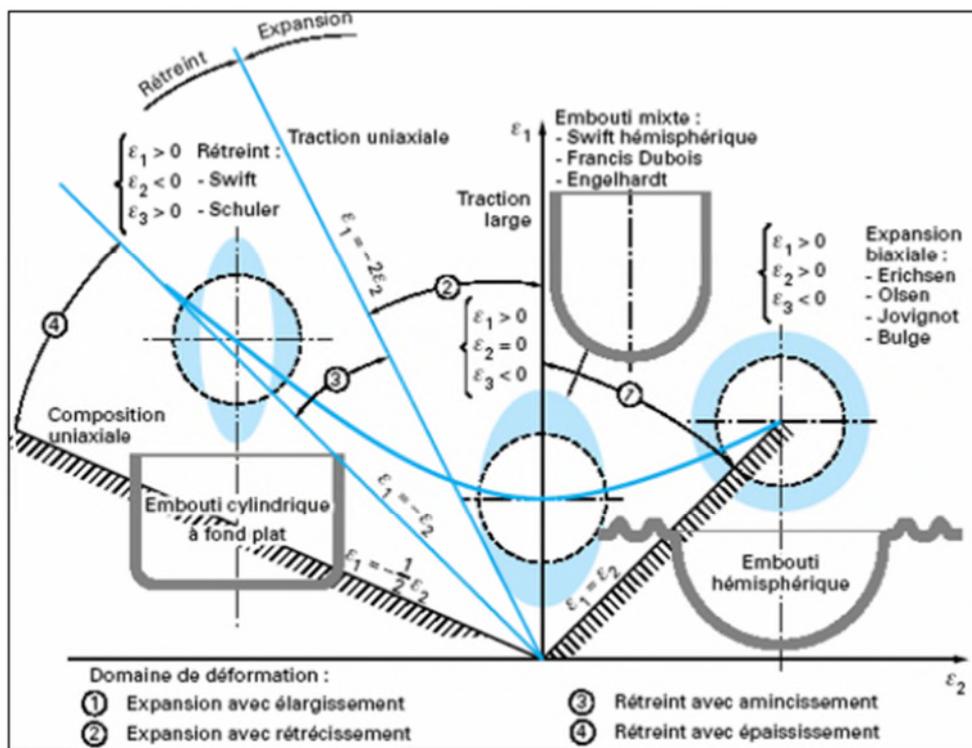


Figure I.19 : Principaux modes de déformation en emboutissage illustrés par des emboutis servant à des essais de caractérisation

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  $\epsilon_1$  et  $\epsilon_2$  . Le domaine de l'expansion est défini par la surface comprise entre les demi-droites :

- $\epsilon_1 = \epsilon_2$  et  $\epsilon_1 = -2\epsilon_2$

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

- Et  $\epsilon_1 = -2\epsilon_2$  et  $\epsilon_1 = -1/2\epsilon_2$

Dans le mode de déformation en rétrécissement, on notera, en particulier, l'augmentation

d'épaisseur au sommet de la jupe de l'embouti ( $\epsilon_3 > 0$ ), alors que dans le mode en expansion il y a amincissement de l'épaisseur du flan sous le nez du poinçon ( $\epsilon_3 < 0$ ).

### **I.3.3.1 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.3.3.2 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).

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, le flan est transformé en coupelle cylindrique (Figure 19).

Le but de cette expérimentation est de caractériser le rapport entre le diamètre  $d$  du poinçon et le diamètre  $D$  du flan.

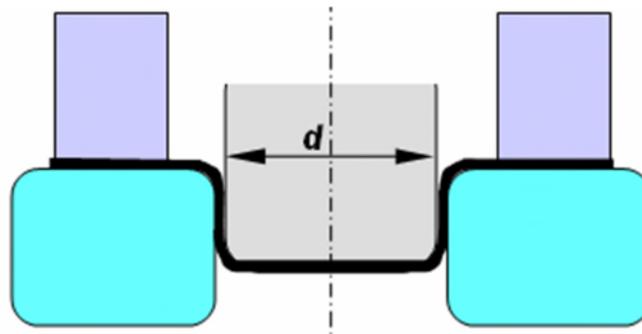


Figure I.20 : Essai Swift

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.3.3.3 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 .
- 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 I.21).

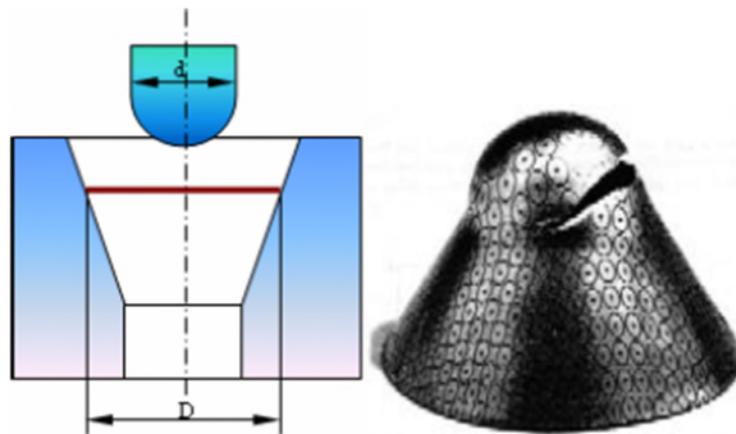


Figure I.21: Essai Fukui et rupture caractéristique

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.3.4 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.[15] ,[11]

### **I.3.4.1 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],[7]. 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 *Lankforda* décidé de baser le second critère d'emboutissabilité, qui est une proportionnalité entre la déformation rationnelle dans le sens de la largeur  $\epsilon_2$  et celle dans le sens de l'épaisseur  $\epsilon_3$ , définie par le coefficient d'anisotropie :

$$\bullet \quad r = \frac{\ln\left(\frac{b}{b_0}\right)}{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)} = \epsilon_2 / \epsilon_3$$

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  $45^\circ$ , à  $90^\circ$  et dans le sens de laminage (direction  $0^\circ$ ). Ainsi, on définit le coefficient d'anisotropie moyen :

$$\bullet \quad r_m = \frac{1}{4} ( r_0 + r_{90} + 2r_{45} )$$

Et le coefficient moyen d'anisotropie plane :

$$\bullet \quad \Delta r = \frac{1}{2} ( r_0 + r_{90} - r_{45} )$$

Pour les aciers inoxydables on lui préfère souvent la formule :

$$\bullet \quad \Delta r_m = [ (r_0 - r_m)^2 + (r_{90} - r_m)^2 + (r_{45} - r_m)^2 ]$$

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  $\Delta r$  présente une bonne corrélation avec la hauteur des cornes observées sur embouti (Figure I.22).

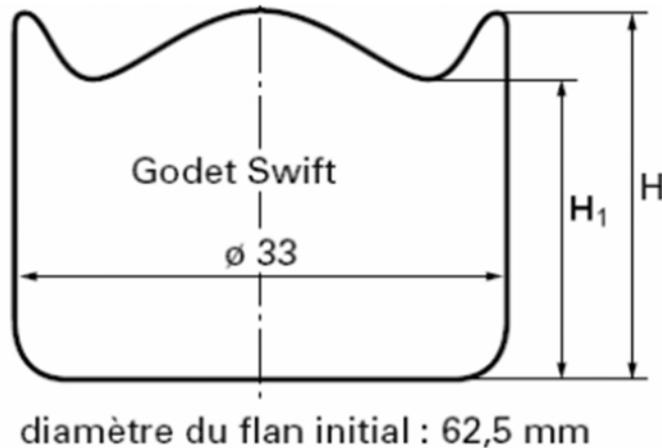


Figure I.22 : Hauteur relative des cornes

### I.3.4.2 Validité de ces critères :

Afin de déterminer les caractéristiques des coefficients d'écroûissage et d'anisotropie, plusieurs études ont été effectuées parmi lesquelles celle de l'emboutissage.

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 caractérisées 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 faut déduire 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'emboutissage de fortes valeurs permettent de faire toutes les pièces alors que celles à faibles valeurs aboutissent à des casses.

### **I.4 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 emboutissables, du comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage et des différentes formes des pièces embouties, a été faite. Ensuite, nous avons montré les différentes caractéristiques du procédé telles que : les modes de déformation lors de l'opération du procédé et leur mesure, les différents essais du procédé, l'aspect métallurgique et les différents paramètres entrant en jeu liés aux outils et à la tôle. Finalement, une présentation succincte du procédé de formage incrémental.



# **Chapitre II**

**Type de Presses d'emboutissages**

### **Introduction :**

Dans ce chapitre nous présenterons les différents types de presse d'emboutissage et leurs fonctionnement qui nous permettent d'aboutir à un embouti de bonne qualité.

### **II.1 Principe de fonctionnement :**

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies d'outillages spéciaux qui comportent, dans le principe, trois pièces : une matrice, en creux, épouse la forme extérieure de la pièce, un poinçon, en relief, épouse sa forme intérieure en préservant l'épaisseur de la tôle et un serre-flan entoure le poinçon, s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon, des joncs sont parfois utilisés pour freiner le glissement de la tôle (retenue de l'acier) poinçon serre flan matrice pièce emboutie, maintenir la tôle tout en lui permettant de fluer, le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique en l'appliquant contre le fond de la matrice. Le flan peut glisser entre le serre-flan et la matrice. Phase 4 : le poinçon et le serre-flan sont relevés [16].

### **II.2 Le nombre d'effets :**

La définition du nombre d'effets est un sujet controversé. Normalement, on ne devrait compter comme effets que les mouvements de coulisseau qui sont moteurs ; on ne doit pas considérer les serre-flans passifs ou les éjecteurs comme des effets à part entière. Les anglo-saxons utilisent d'ailleurs des expressions qui sont moins discutables : ils parlent de *single action* pour le simple effet et de *double action* pour le double effet. Le mot *action* est indiscutablement plus clair.

Dans ce domaine, nous distinguerons trois cas [17]:

#### **II.2.1.1 Presses simple effet :**

Le coulisseau portant la matrice est motorisé mais le serre-flan ne l'est pas. Il repose par l'intermédiaire de chandelles (traversant la table) sur une plaque d'appui posée sur un dispositif appelé coussin qui oppose une résistance. Il peut s'agir d'un vérin hydraulique d'un vérin pneumatique, de ressorts, de caoutchouc, etc. (La figure II.23) représente un montage simple effet sur une presse hydraulique, avec dans ce cas un coussin hydraulique, qu'on appelle aussi *marquette* et parfois *outil à étirer* car il peut induire par frottement un allongement de la tôle. Le vérin supérieur reçoit l'huile sous pression et pousse vers le bas le coulisseau supportant la matrice.

Quand elle vient toucher le flan, celui-ci repousse le serre-flan qui, appuyé par les chandelles sur le vérin du coussin, oppose une résistance due au fait que l'huile présente dans le coussin est chassée sous pression. C'est cette résistance qui induit la force de serrage du flan ; elle est en général constante (réglée avant de commencer l'emboutissage) mais parfois aussi modifiable au cours du formage, ce qui peut permettre des ajustements utiles pour des pièces complexes.

Comme on le voit, le serre-flan est passif, il ne reçoit pas d'énergie venant de la pompe. On doit noter que si l'on modifie la vitesse du coulisseau, la force de serre-flan est également modifiée puisque les conditions d'éjection de l'huile sont différentes.

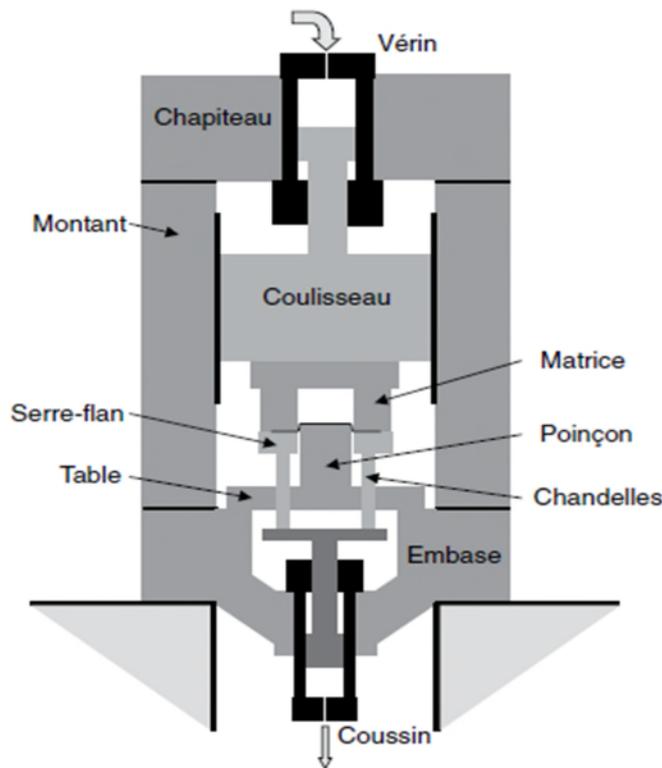


Figure II.23 : Presse simple effet hydraulique

Il faut faire maintenant une observation très importante : le coulisseau repousse le serre-flan qui lui oppose une force destinée à maintenir le flan. Il faut donc en tenir compte dans le dimensionnement de la presse. Si, par exemple, il faut pour faire une pièce un effort de serre-flan de 1 MN, le coulisseau devra pouvoir fournir la force nécessaire au formage plus cette force de serre-flan. En général, on considère que les deux forces sont sensiblement équivalentes, ce qui implique que la force nominale de la presse devra être le double de celle de serre-flan, soit 2 MN dans ce cas.

### II.2.1.2 Presses double effet :

Il y a dans ce cas deux coulisseaux glissant l'un dans l'autre, comme le montre (la figure II.24) Le coulisseau extérieur est celui qui porte le serre-flan et il est mû indépendamment du coulisseau intérieur qui porte le poinçon. Ce dernier est appelé coulisseau plongeur. On observe donc qu'il existe deux différences fondamentales entre la presse simple effet et la presse double effet :

- le serre-flan de la seconde est susceptible de suivre une cinétique indépendante de celle du coulisseau portant le poinçon,
- le poinçon est en haut alors qu'il est en bas sur les presses simple effet.

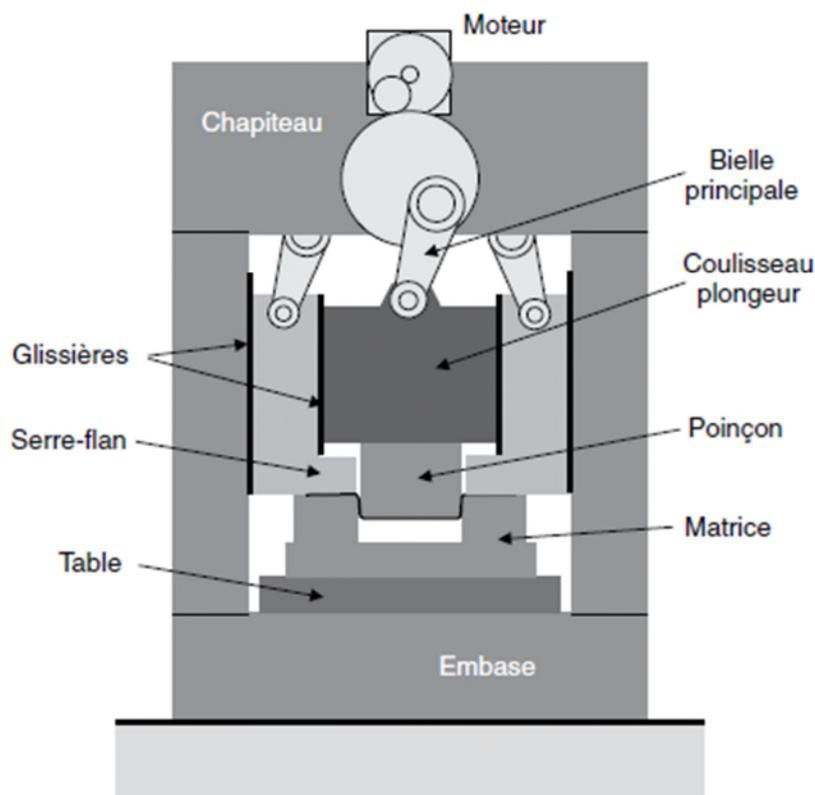


Figure II.24 : Presse double effet mécanique (schéma très simplifié)

Remarquons bien que le fait d'être à double effet ne signifie pas du tout qu'une telle presse permet de faire deux opérations successives ; cela permet seulement d'avoir une meilleure gestion de la force de serre-flan au cours de l'emboutissage.

Pour cette raison les presses double effet sont réputées capables de fabriquer des pièces plus compliquées que les presses simple effet.

### II.2.1.3 Presses triple effet :

Elles sont rares et destinées à un cas bien précis : quand la pièce nécessite trois opérations d'emboutissage-réemboutissage, mais pas plus. Il est alors rentable de n'avoir qu'une seule presse intégrant les trois outils, beaucoup plus complexe et donc plus chère qu'une presse normale, bien sûr, mais moins chère que trois presses.

On les utilise pour des corps emboutis cylindriques assez profonds, par exemple des filtres à huile de camion ou des corps d'extincteurs (on soude deux pièces en opposition dans ce dernier cas).

➤ Les avantages sont les suivants :

- gains sur l'investissement (moins cher que trois presses),
- gain de place car une seule presse,
- meilleur centrage du flan et des pièces car ils restent toujours dans le même outillage,
- pas de transfert entre presses,
- la surface extérieure des pièces est moins soumise au frottement.

➤ Parmi les inconvénients, on peut citer :

- plus grande complexité de la machine,
- plus grande difficulté de réglage,
- difficulté dans la recherche des anomalies de fonctionnement (le coup par coup est difficile à réaliser)[16].

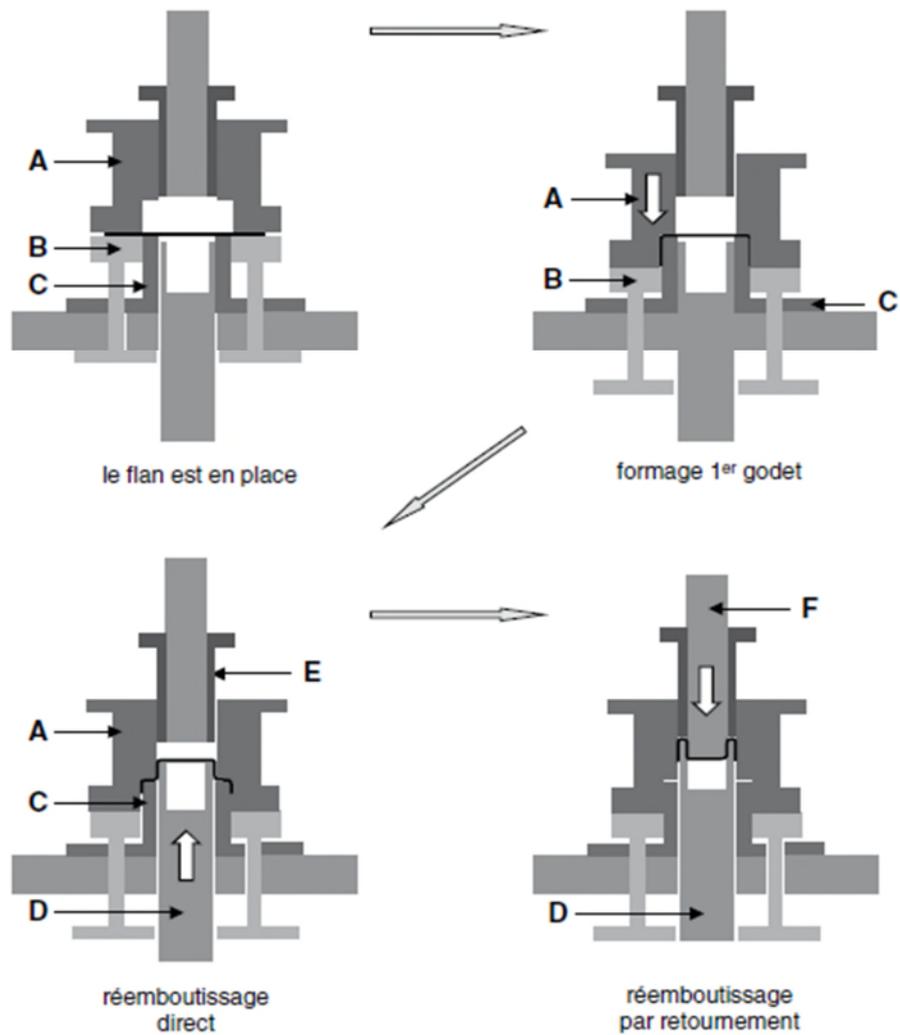


Figure II.25 : Presse triple effet

### II.3 Le mode d'entraînement :

Il existe aujourd'hui trois façons de motoriser une presse et l'on distingue :

- les presses mécaniques,
- les presses hydrauliques,
- les servopresses.

### II.3.1 Presses mécaniques :

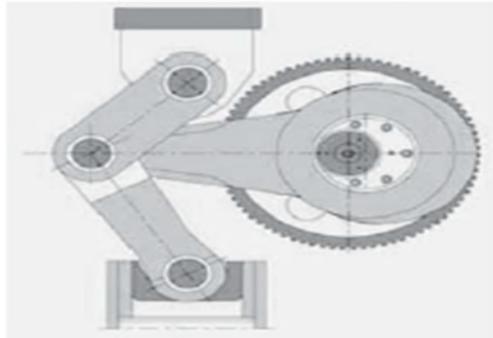


Figure II.26 : Différents cycles d'une presse mécanique et genouillère

Un moteur électrique entraîne un volant d'inertie et, via un embrayage à disque, tout un système d'excentriques, bielles et manivelles qui transforment le mouvement rotatif en mouvement de translation plus ou moins sinusoïdal (le schéma simplifié de la figure II.26 ne montre pas tous ces éléments).

La connaissance du couple délivré à l'excentrique par le moteur ne suffit pas à quantifier l'énergie disponible car il faut y ajouter l'énergie cinétique emmagasinée dans le volant d'inertie. L'avantage d'avoir un volant est que celui-ci délivre en très peu de temps l'énergie qu'il a emmagasinée pendant la majeure partie du cycle.

Cela permet de se contenter d'une puissance électrique installée relativement faible. Étant donné que le mouvement du coulisseau est donné par un système d'excentrique ou bielle-manivelle, la force que peut appliquer ce coulisseau n'est pas constante au cours du cycle.

Elle est faible quand le coulisseau est à mi-course et théoriquement infinie au point mort bas (PMB).

Il convient donc de savoir à quel point du cycle est mesurée la force disponible, qu'on appelle alors force nominale de la presse. Les standards fixent cette mesure à une distance (mesurée en pouces) du PMB qui dépend du type d'entraînement utilisé et de la capacité de la presse. Par exemple, une presse de 1,5 MN à engrenage à excentrique est capable de délivrer cette force à partir d'une distance de 12,7 mm au-dessus du PMB, mais pas avant.

### II.3.2 Presses hydrauliques :

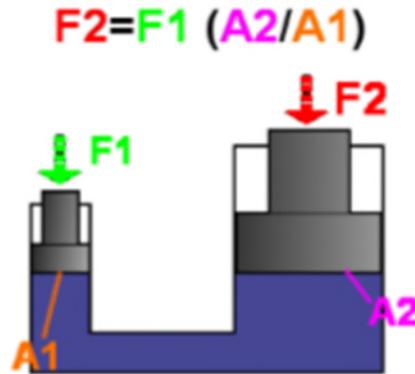


Figure II.27 : Principe de la presse hydraulique

(La figure II.27) représentait une presse simple effet hydraulique. Il va de soi que les mêmes actions sont obtenues en double effet avec l'apport d'un ou plusieurs vérins supplémentaires pour le serre-flan.

Notons d'abord que le problème des vitesses se pose différemment pour les presses hydrauliques. L'énergie que peut délivrer une pompe hydraulique ne peut pas, évidemment, dépasser celle qu'elle reçoit de son moteur (il n'y a pas d'effet d'inertie).

Si l'on désire une grande vitesse de déplacement du coulisseau, la pression disponible sera plus faible que pour une vitesse faible. La force sera donc réduite. Là encore, il faut étudier le diagramme de variation des forces résistantes pour juger de la cadence qui pourra être atteinte sur une presse donnée. Cette fois, la force nominale de la presse ne dépend pas de la position du coulisseau mais de sa vitesse. Le contrôle de la pompe ainsi que des systèmes de valves permettent de modifier assez facilement la vitesse du (ou des) coulisseau(x), en particulier en permettant :

- une vitesse d'approche rapide car il n'y a pas d'effort à exercer,
- une vitesse de travail lente au moment où l'effort demandé est élevé.

L'étude des cinétiques d'emboutissage montre que les cadences qu'on peut atteindre sont, pour des presses classiques :

- plus élevées en presse mécanique pour des pièces profondes,
- plus élevées en presse hydraulique pour des pièces peu profondes<sup>1</sup>.

### **II.3.3 Servopresses :**

Il s'agit d'une technologie très récente : une dizaine d'années environ. L'idée de base consiste à remplacer le classique moteur électrique à induction, l'embrayage et le volant d'inertie, par un ou des servomoteur(s) en prise directe avec le mécanisme donnant le mouvement alternatif. Il peut s'agir de bielles, genouillères, ou d'autres mécanismes. La consommation totale d'énergie est réduite car le moteur ne tourne que pendant le mouvement du coulisseau. La vitesse de déplacement de celui-ci est presque infiniment modulable, ce qui permet :

- de régler une approche très rapide,
- de ralentir le coulisseau juste à l'instant de l'attaque (réduit le bruit et les chocs pour la découpe),
- de régler la vitesse de travail au mieux vis-à-vis du matériau embouti,
- de maintenir le coulisseau au PMB pour parfaire la frappe,
- de remonter très rapidement le coulisseau,
- de régler les courses avec une extrême précision (de l'ordre du 1/100 mm).

Les avantages revendiqués sont donc nombreux mais semblent plutôt d'ordre économique (consommation globale d'électricité plus faible, augmentation des cadences). Il n'apparaît pas clairement, au vu des résultats actuellement connus, de grand bénéfice sur le plan de la qualité du formage<sup>1</sup>.

Parmi les inconvénients, il faut noter le fait que la puissance installée doit être beaucoup plus élevée que pour une presse mécanique classique car il faut fournir une grande énergie instantanée durant certaines phases de l'emboutissage. Des moyens de stockage additionnels externes de l'énergie sont donc envisagés pour les presses de grosse capacité (utilisation de condensateurs, d'un volant d'inertie...). On est également obligé de (re)mettre un frein en cas d'arrêt d'urgence.

Ces presses sont encore peu répandues au moment de la publication. Elles sont très indiquées pour l'emboutissage à chaud des aciers au bore car elles permettent une vitesse d'approche élevée limitant le refroidissement du flan et un maintien facile au point mort bas pour la trempe dans l'outil [17].

### **Conclusion :**

Ces différents type de presse d'emboutissage nous aides a fabriquer plusieurs pièces qu'on peut pas les produire sur le tour ou la fraise.



# **Chapitre III**

**Calcul théorique des moules de poinçonnages**

## ***Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages***

---

### **Introduction :**

Ce chapitre consiste à présenter les principes paramètre d'emboutissage qui nous permettent d'aboutir à un embouti de bon qualité.

### **III.1 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. Ces réglages doivent tenir compte de la nature de la tôle, ainsi que de la forme souhaitée.

Une presse, ou une machine de traction ayant pour objectif la réalisation d'emboutis, sont composées d'une matrice, d'un poinçon et d'un serre flan. Cet outillage offre déjà plusieurs possibilités de réglages :

- La pression du poinçon ;
- La vitesse du poinçon ;
- La pression de serrage des serres flan ;
- Le jeu entre le poinçon et la matrice...

A ces paramètres, il faut ajouter la lubrification, la taille optimale de la tôle ainsi que son épaisseur.

Ces réglages doivent être précis car ce sont eux qui déterminent la qualité du produit final, mais doivent également tenir compte du besoin de rentabilité de l'entreprise. En effet, si la vitesse de poinçon est trop faible, la durée de mise en forme d'une pièce dépasserait son niveau de rentabilité.

#### **III.1.1 Le jeu entre le poinçon et la matrice :**

Lorsque l'espace 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.

## Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages

- Apparition de plis sur la paroi de l'embouti.

Inversement, si l'épaisseur du flan est plus grande que l'espace existant entre le poinçon et la matrice, il se produit un écrasement et un amincissement indésirables de la paroi. Il est courant d'utiliser des tables donnant le jeu en fonction de l'épaisseur du flan  $h$ . Elles sont basées sur les formules suivantes :

- Pour l'acier :  $Jeu = h + 0.07 (10h)^{1/2}$
- Pour l'aluminium :  $Jeu = h + 0.02 (10h)^{1/2}$
- Pour métaux non ferreux :  $Jeu = h + 0.04 (10h)^{1/2}$

### III.1.2 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 (Figure II.28), l'emboutissage n'est pas viable. On observera pour  $r_m = 0$  un déchirement du flan et pour  $r_m = (D-d)/2$  la formation de plis [8].

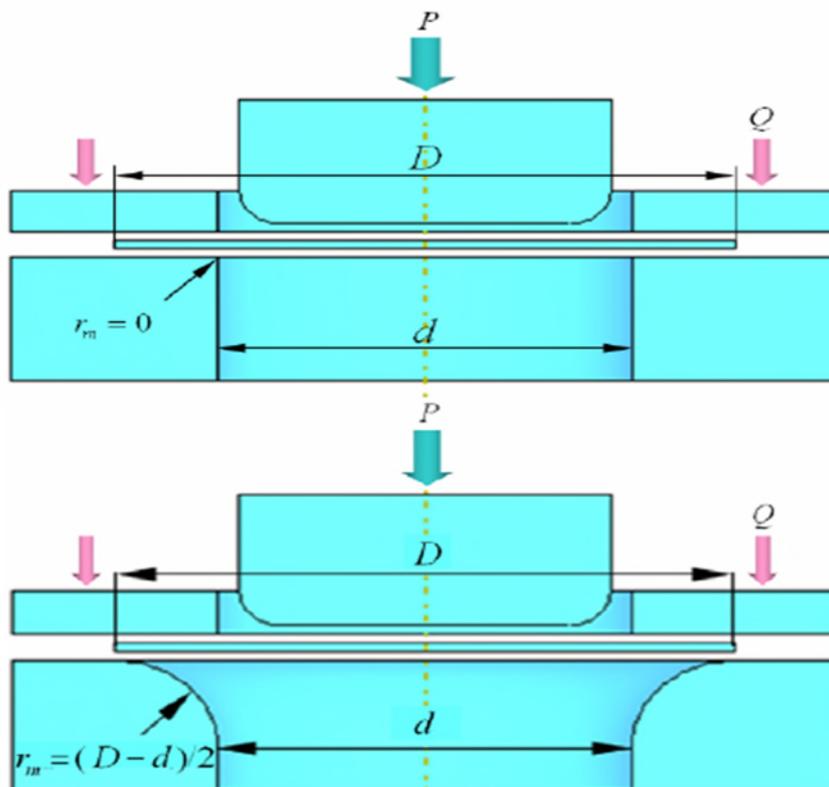


Figure III.28 : Variation de l'arrondi sur la matrice.

## Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise la relation de Kaczmarek donnant [8] :

❖ Pour l'acier :

$$r_m = 0.8 [(D - d)h]^{1/2} \quad (11)$$

❖ Pour l'aluminium :

$$r_m = 0.9 [(D - d)h]^{1/2} \quad (12)$$

$D$  diamètre du flan ( $mm$ ),  $d$  diamètre de l'embouti ( $mm$ ) et  $h$  épaisseur du flan ( $mm$ ).

### III.1.3 Arrondi sur le poinçon :

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.

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec le rayon trop faible de poinçon subit une diminution d'épaisseur (**1**), après emboutissage, le défaut se retrouve sur la surface latérale de l'embouti (**2**) (figure II.29). Le rayon ( $R_p$ ) est limité entre  $5e$  et  $10e$

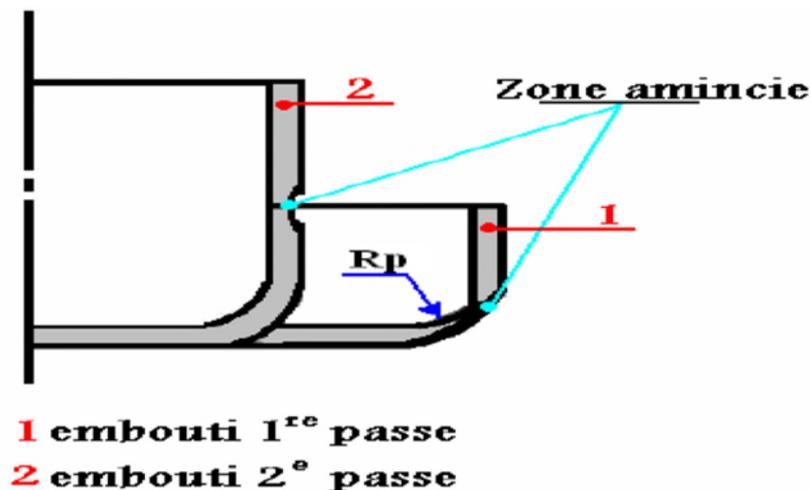


Figure III.29 : Le rayon sur le poinçon

### **III.1.4 La vitesse d'emboutissage:**

Elle se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle.

Les transformations que subit le métal à froid entraînent un écrouissage de celui-ci dépendant de cette vitesse. Une vitesse trop faible, tend donc 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 *BLISS1*, il existe une vitesse optimale pour chaque métal [18].

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

Tableau III.2 : Vitesses d'emboutissage pour différent matériaux

Une Société française d'origine américaine fabrique des presses hydrauliques et mécaniques.

### **III.1.5 La pression du serre-flan :**

La suppression des plis est un des objectifs majeurs de l'emboutissage.

#### **a) Serre-flan :**

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  $d < 0.95D$  ou  $h < 0.2(D - d)$ .

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 :

## ***Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages***

— 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. Ainsi, pour un embouti cylindrique de diamètre  $d$  et de flan de diamètre  $D$ , l'effort de serrage appliqué sur le serre-flan sera :

$$F_s = (\pi/4)[D^2 - d^2] p \quad (\text{daN})(13)$$

Où  $p$  pression spécifique [19] :

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

Tableau III.3: Pression spécifique

Il est également possible de faire appel à une installation pneumatique ou hydraulique offrant un réglage de la pression plus facile qu'avec un dispositif à ressort ou en caoutchouc.

### **b) 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 de la qualité de la tôle. Il dépend également de la pression de serre-flan, de la vitesse d'emboutissage, de l'arrondi de la matrice, du jeu entre poinçon et matrice et de la lubrification [20][21]

### ***Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages***

---

. Il est difficile de tenir compte de tous ces facteurs dans la détermination de l'effort du poinçon, c'est pourquoi il est commun d'employer la formule simplifiée suivant :  $P = \pi d h k R_m$  (14)

Avec  $k$  coefficient en fonction de  $d/D$ ,  $h$  épaisseur du flan,  $R_m$  résistance à la rupture en traction , l'effort est déterminé d'après le tableau 6 [22]

## Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages

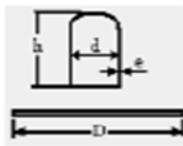
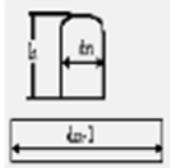
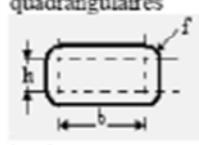
Opération	Effort (N)	Energie (J)	Observations																					
<p>Pièces cylindriques</p> <p>1) 1<sup>re</sup> passe</p> 	$F_E = K \cdot \pi \cdot d \cdot e \cdot R_r$ Cet effort s'applique au $\frac{1}{3}$ de la hauteur de l'embouti à partir du fond	$WE = \frac{K_1 \cdot h \cdot F_E}{1000}$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; background-color: #f0f0f0;"> <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>k<sub>1</sub></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> <p>Remarque : si k et k<sub>1</sub> ne se trouvent pas dans ce tableau, on les détermine par la méthode d'interpolation linéaire.</p>	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 <sub>1</sub>	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 <sub>1</sub>	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64																		
<p>2) n-ième passe</p>  <p>h = hauteur</p>	$F_{E,n} = 0,5 F_{E,n-1} + Q \cdot d_n \cdot \pi \cdot e \cdot R_r$ (RPR : Résistance à la traction de la tôle)	$WE = \frac{K_1 \cdot h \cdot F_E}{1000}$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; background-color: #f0f0f0;"> <tr> <td>d<sub>n</sub>/d<sub>n-1</sub></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 <sub>n</sub> /d <sub>n-1</sub>	0,70	0,75	0,80	0,85	Q	0,80	0,60	0,50	0,35											
d <sub>n</sub> /d <sub>n-1</sub>	0,70	0,75	0,80	0,85																				
Q	0,80	0,60	0,50	0,35																				
<p>Pièces ovales ou quadrangulaires à grands rayons de coins.</p>	<p>comme pièces cylindriques en remplaçant <math>\pi d</math> par le périmètre et en prenant pour valeur de k, dans les tableaux de la colonne «observations». Celle ne correspondant pas à</p> $d/D$ mais à $1,13 \sqrt{\frac{s}{S}}$ avec s section du poinçon et S surface du flan	<p>comme pièces cylindriques</p>																						
<p>Pièces quadrangulaires</p>  <p>h = hauteur L = 2(a + b)</p>	$F_E = e \cdot R_r (2k_A \cdot r + k_B \cdot L)$ L'effort max. s'applique au 1/3 de la hauteur de l'embouti	$WE = \frac{0,7 \cdot h \cdot F_E}{1000}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- K<sub>A</sub> = 0,5 pour les emboutis peu profonds = 2 pour les emboutis dont h = 5 à 6r</li> <li>- K<sub>B</sub> = 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</li> </ul>																					
<p>Pièces quelconques</p>	$FE = p \cdot e \cdot Rr$	$WE = \frac{h \cdot F_E}{1000}$																						

Tableau III.4: Calcul des efforts et énergies nécessaires pour une opération d'emboutissage

## Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages

### III.2 Paramètres liés à la tôle :

**III.2.1 La taille de flan :** IL est important de déterminer la taille du flan primitif pour d'une part économiser la matière et d'autre part faciliter l'emboutissage. La détermination des dimensions du flan a pour base l'égalité des volumes de l'embouti et du flan primitif.

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

- Méthode analytique.
- Méthode graphique.

Des hypothèses doivent être prises 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.

#### **a) Méthode graphique (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.

Dans le cas de la (figII.30), 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 :  $r^2 = 2R \sum_{i=1}^n I_i ; \quad i= 1,2,3,4,5,6,7,8$

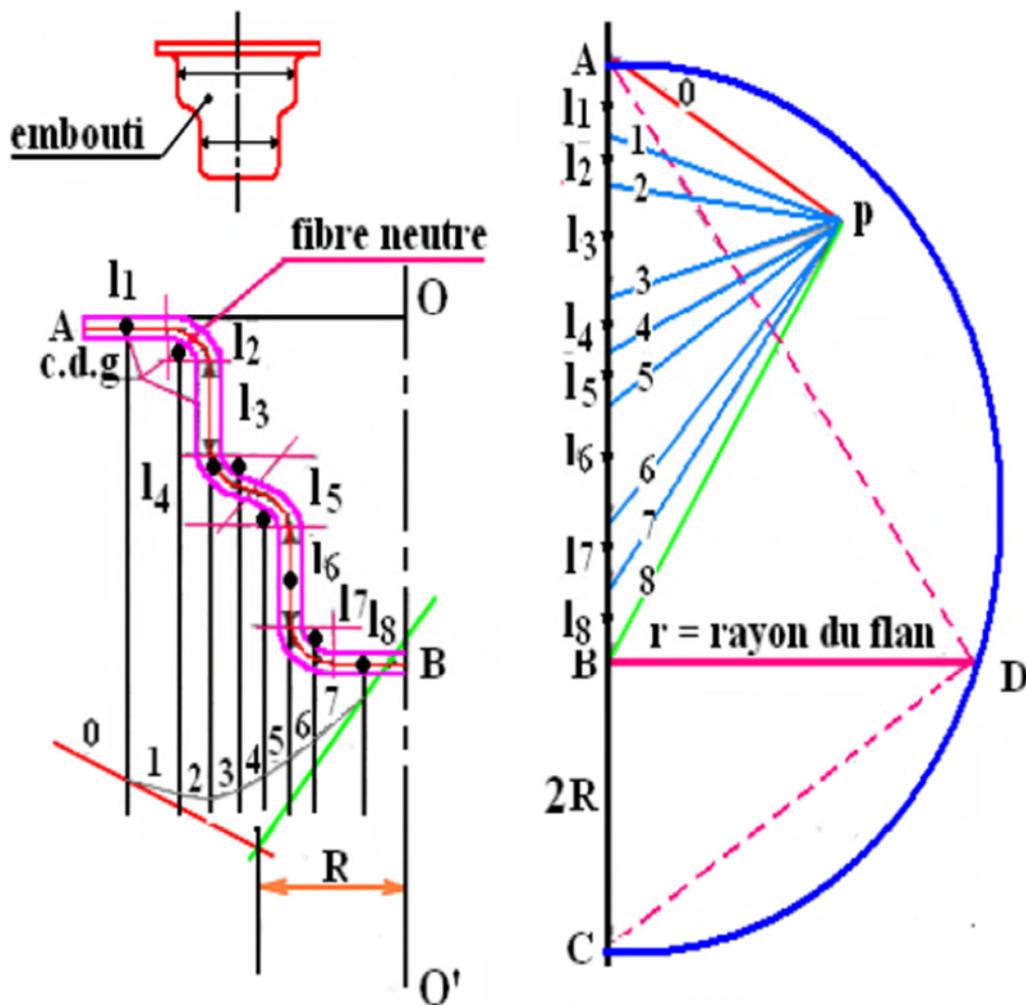


Figure II.30 : Exemple de traçage avec l'application du théorème de GULDEN

### b) Méthode analytique

On répartit la pièce en éléments avec la concordance d'éléments du tableau (tableau 5) [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

## Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages

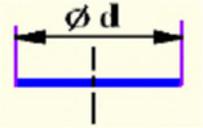
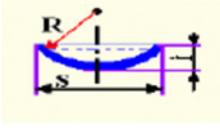
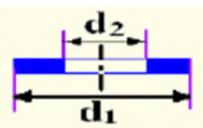
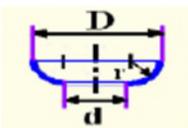
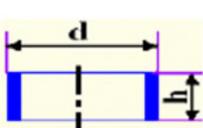
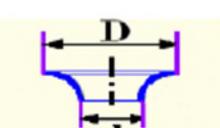
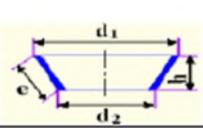
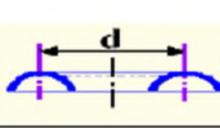
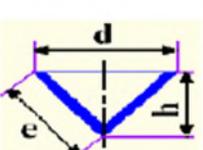
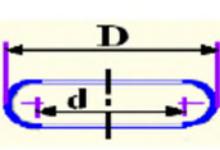
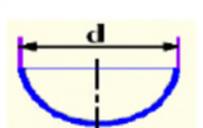
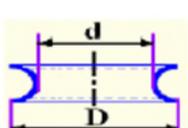
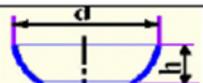
Elément		$\frac{4}{\pi} S$	Elément		$\frac{4}{\pi} S$
1		$d^2$	8		$4d.i$ ou $8R.i$ ou $(S^2 + 4i^2)$
2		$d_1^2 - d_2^2$	9		$2\pi r.(d + 1,3r)$ ou $2\pi r.(D - 0,7r)$
3		$4dh$	10		$2\pi r.(d + 0,7r)$ ou $2\pi r.(D - 1,3r)$
4		$2.e.(d_1 + d_2)$ ou $2.(d_1 + d_2) \sqrt{h^2 + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}}$	11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

Tableau 5 : calcul des surfaces élémentaires

### III.2.2 La lubrification:

Parmi les techniques permettant de maîtriser le frottement, l'adhésion et l'usure entre deux corps, la lubrification est certainement la plus courante et la plus anciennement pratiquée. Elle consiste à intercaler entre les deux corps, un troisième corps de faible scission et de contrainte de rupture faible.

## ***Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages***

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

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

### **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 localisée

### **III.2.3 Nombre de passes :**

- 1<sup>ère</sup> passe :

Le diamètre  $d_1$  de la première passe est égal au produit du coefficient  $m_1$  par le diamètre du

$$\text{Flan } D_f: d_1 = m_1 + D_f$$

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

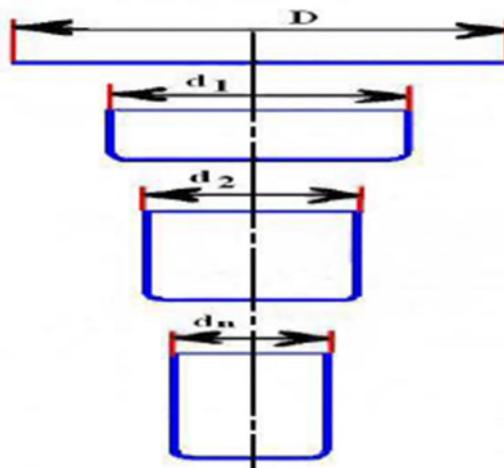


Figure II.31 : Nombre de passes

## ***Chapitre III Calcul théorique des moules de poinçonnages***

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 6) [23]

<b>MATIERE</b>	<b><math>m_1</math></b>	<b><math>m_2</math></b>
<b>tôle d'emboutissage</b>		
<b>Ordinaire</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>
<b>Spéciale</b>	<b>0,55</b>	<b>0,75</b>
<b>tôle acier inoxydable</b>		
<b>Austénitique</b>	<b>0,51</b>	<b>0,8</b>
<b>Ferritique</b>	<b>0,57</b>	<b>0,8</b>
<b>Cuivre</b>	<b>0,58</b>	<b>0,85</b>
<b>Laiton</b>	<b>0,53</b>	<b>0,75</b>
<b>aluminium recuit</b>	<b>0,50</b>	<b>0,80</b>
<b>duralumin recuit</b>	<b>0,55</b>	<b>0,9</b>

Tableau 6 : quelques valeurs des coefficients de réduction pour différents types de métaux

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons montré que l'opération d'emboutissage possède évidemment des limites et des paramètres, et il est évident que, sous certaines conditions, le processus peut échouer : d'une part en tension par rupture, plissement et le retour élastique.

Afin d'éviter le problème il faut qu'on optimise 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 IV**

**Etude et conception du moule d'emboutissage**

**Introduction :**

Ce chapitre consiste une conception d'un moule d'emboutissage pour des colliers de serrages de tuyauterie ( pièce hémisphérique ) sur solidWoks version 2014, en étudiant les déférentes facteurs liée a la conception :

- ✓ 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.

**IV.1. Description et présentation de l'outil "CAO" SolidWorks :**

SolidWorks est un outil de conception de modélisation volumique paramétrée .

Le logiciel SolidWorks 2014 a été choisi pour ses capacité à réaliser différentes formes de notre moule ; de plus il nous a permis d'enregistres le dessin sous différents formats (STEP ,STL, DWG).

**IV.2. Le fonctionnement du logiciel SolidWorks :**

SolidWoks est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : La pièce, l'assemblage et la mise en plan (Figure VI 32).

Toute les modifications d'un quelconque niveau peut se répercutes sur les fichiers concernés.

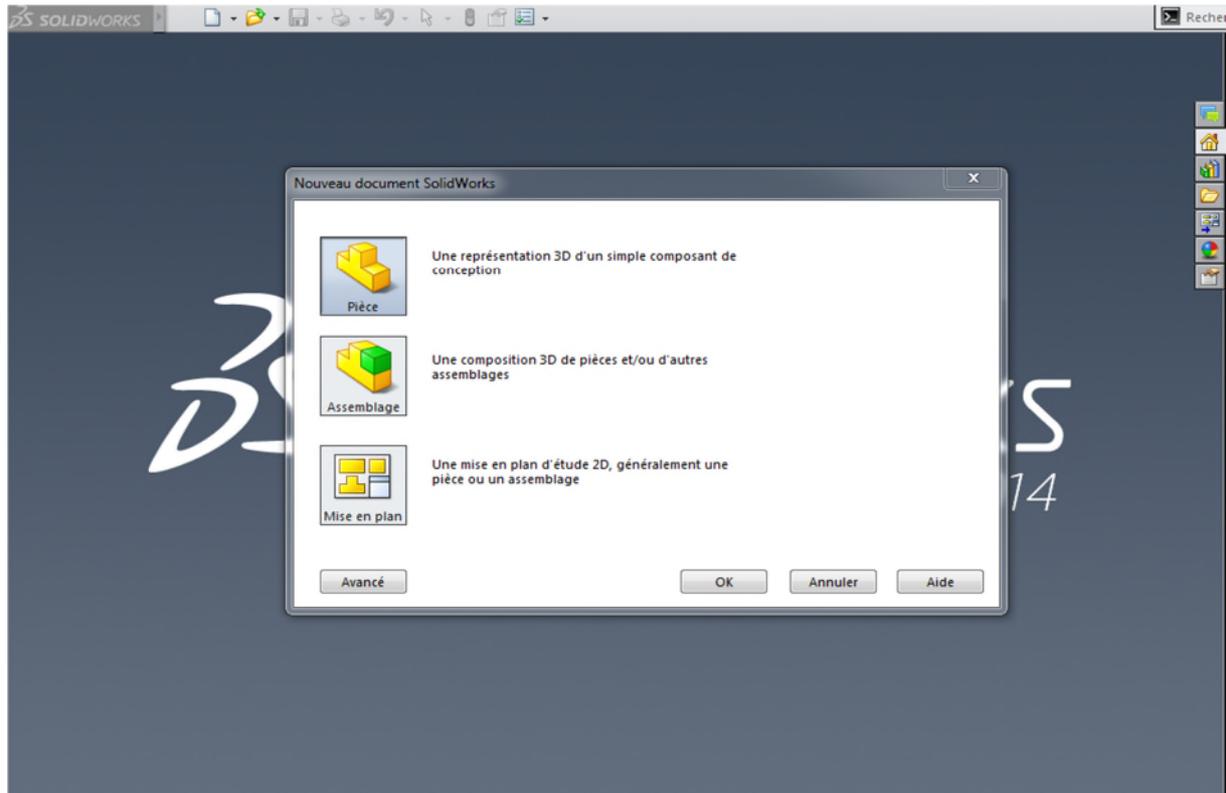


Figure VI .32 : les trois concepts de base

**IV.3. Présentation finale de la conception :**

La figure VI présent notre moule d'emboutissage et ses déférentes composants

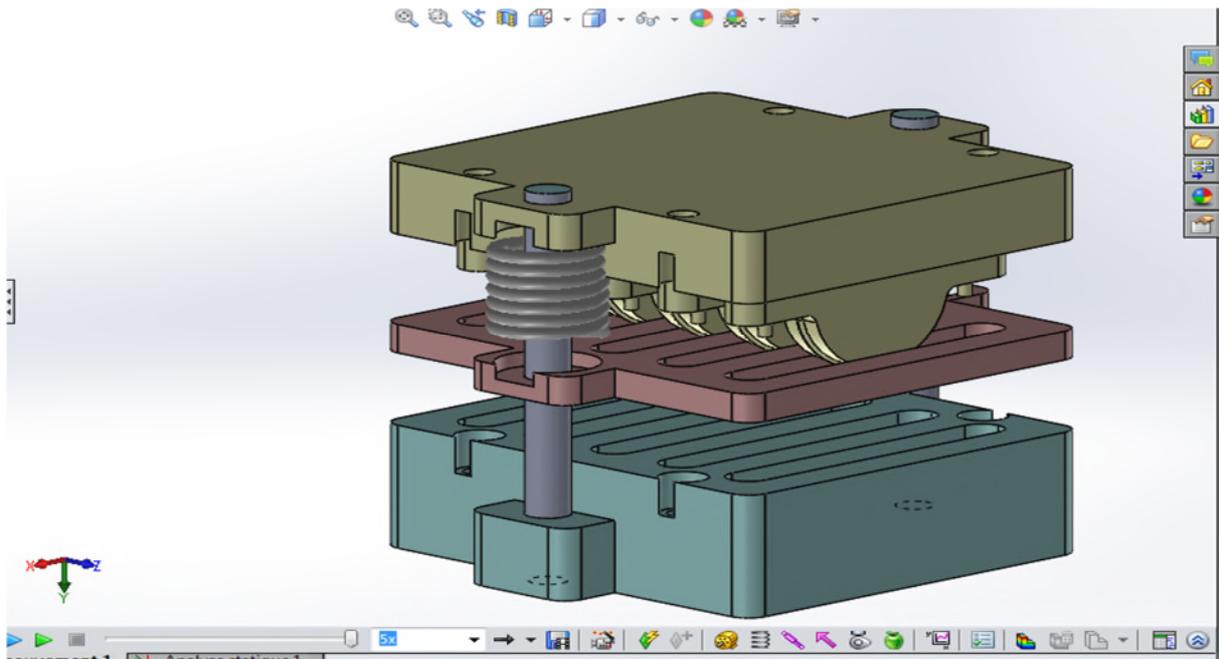


Figure VI.33 : schéma du moule sous SolidWorks.

**IV.4. Caractéristique du moule:**

- **Moule** : moule d'emboutissage
- **Sous-ensembles** : deux parties
- **Mode de fonctionnement** : les fonctions liées à la partie fonctionnelle (partie 02) :

Presse, découpage, emboutissage,

- **Modes d'emboutissage** : type rétreint
- **Technique d'emboutissage** : L'emboutissage à froid
- **l'épaisseur max de flan** : 0.7 mm
- **Forme de matrice** : hémisphérique
- **Nombre des éléments** : 12 éléments - partie I :6 pièces - partie II 6 pièces
- **Démentions hors tout** : 130x110x87 mm
- **Le poids total** : 12 kg
- **Le poids de partie 01** : 5 kg
- **Le poids de partie 02** : 7 kg
- **Les pièces démontables** : 12
- **La force supporte maximale** : 1 tonnes

**IV.5. Modélisation de la pièce :**

Figure VI.34 : produit final.

## IV.6.1. La Première Partie :

La figure VI représente la partie male du moule ou bien la partie mobile (le poinçon)

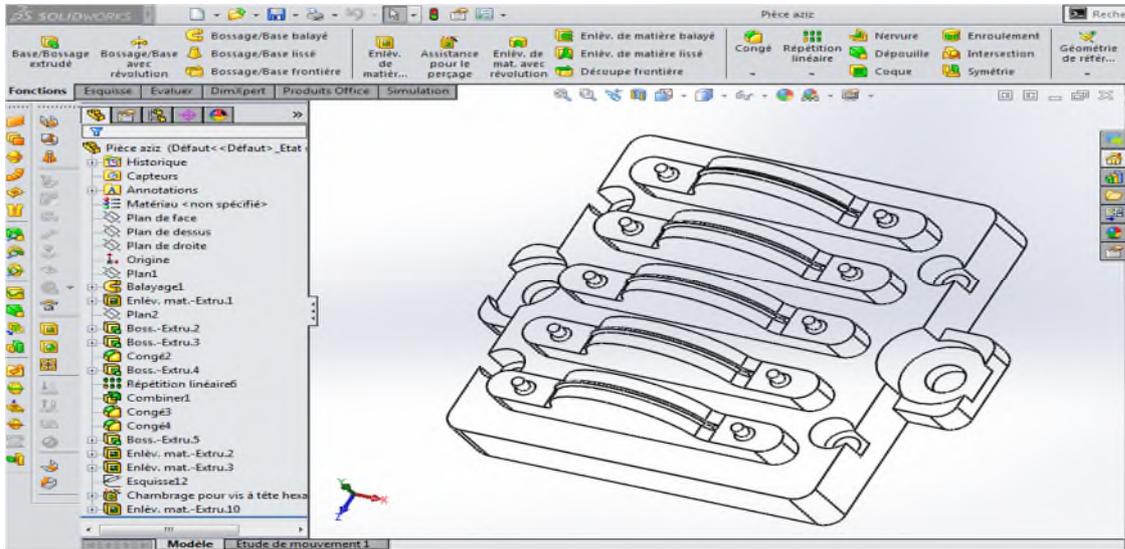


Figure VI .35: le poinçon.

## IV.6.2. Deuxième partie :

La figure VI.35 représente la matrice du moule ou bien la partie fixe

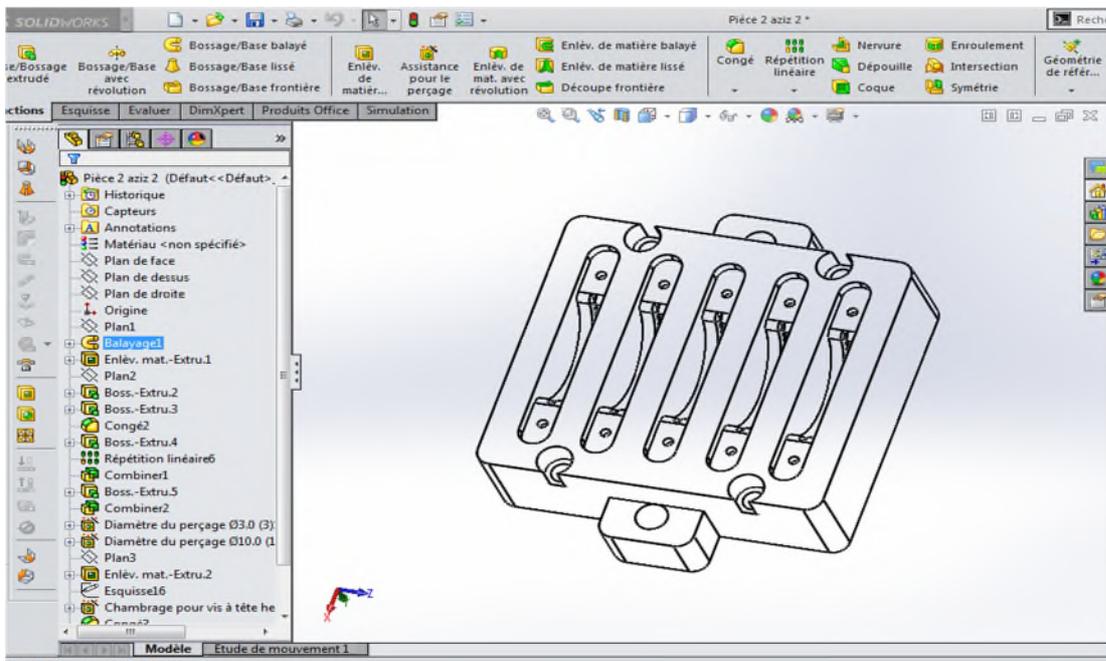


Figure VI .36: matrice du moule.

### IV.6.3. Les éléments d'assemblage :

- **Les tiges de guidage** : rassemble les deux partie ( poinçon matrice)

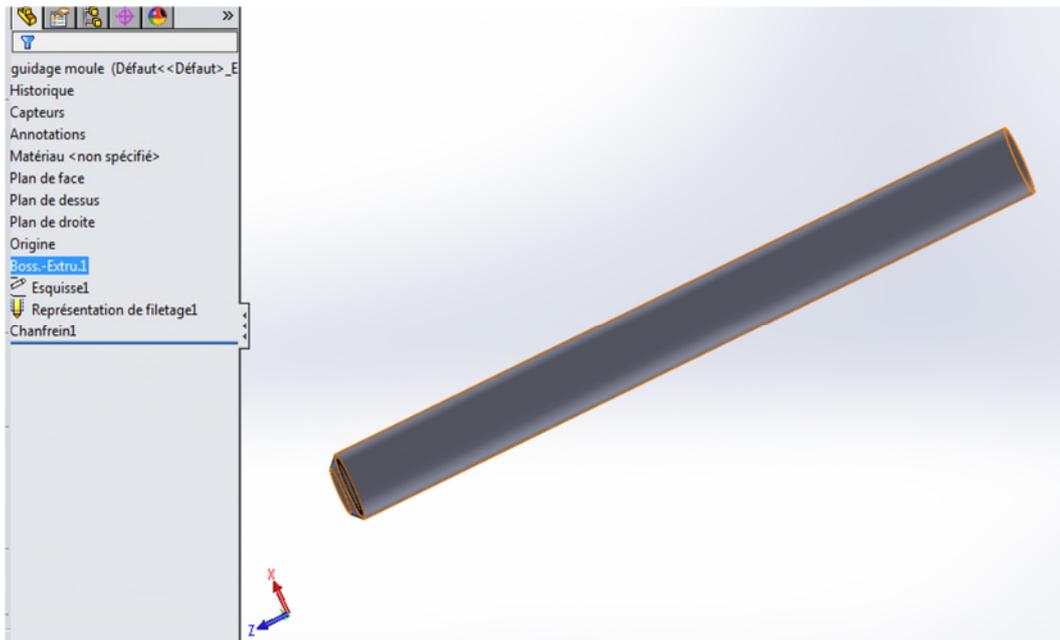


Figure VI.37 : Tige de guidage

- **Le serre-flan** : Consiste à empêcher la formation de plis sur le rebord du flan en exerçant une pression appropriée

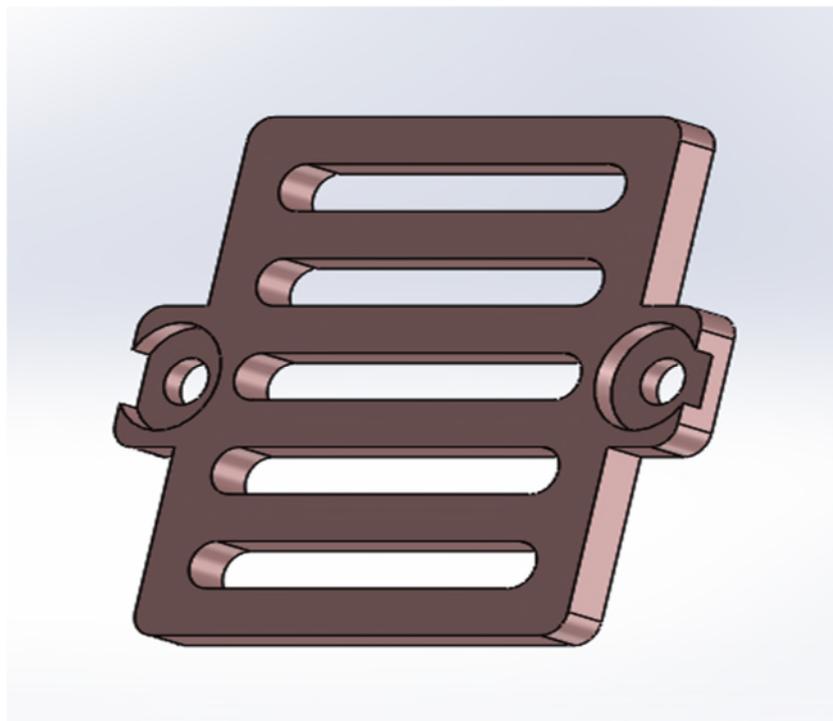


Figure VI.38 : serre-flan

➤ **Les ressorts :**

Leur montage est entre le serre-flan et l'empreinte male afin de maintenir le flan, et de résister à l'effort d'emboutissage et pour le meilleur choix on a calculé sa rigidité, son module d'élasticité, sa déformation, et la tension du matériel de ressort en torsion .

Calcul de ressort :

- $K = E d^4 / 64 * N * D = M_f / \alpha$

K : raideur

E : module de young

d : diamètre du file

N : nombre de rotation

D : diamètre du ressort

- Contrainte max :  $\sigma = K_f (32 * h * F / \pi * d^3) \leq Rpe$

h : hauteur du ressort

F : force d'emboutissage

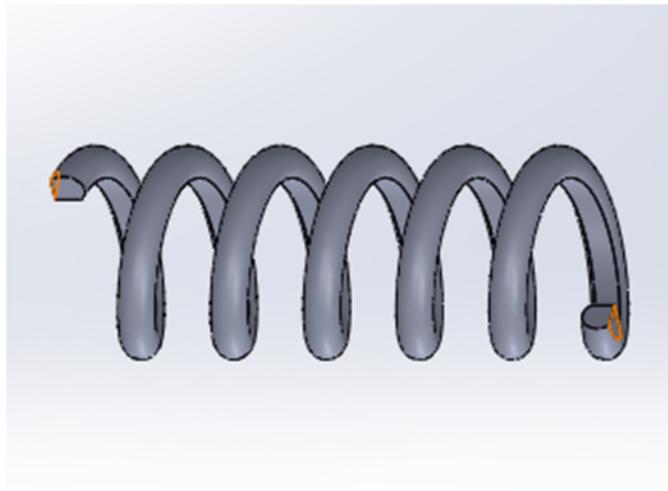


Figure VI .39: Ressort

**IV.7. Le mode de fonctionnement du moule :**

La matrice, en creux, épouse la forme extérieure de la pièce un poinçon, en relief, épouse sa forme intérieure en réservant l'épaisseur de la tôle un serre-flan entoure le poinçon, s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon. des jons sont parfois utilisés pour freiner le glissement de la tôle (retenue de l'acier)  
Poinçon Serre flan Matrice Pièce emboutie

L'entrée de la matrice doit être très arrondie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de rétreint.

**IV.8. Différentes calculs sur le moule :****a - 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.

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise la relation de Kaczmarek[17]

$$\diamond \text{ Pour l'acier : } r = 0.8[(D - d1) \cdot e]^{1/2}$$

r : rayon de la matrice

D : diamètre du flan (mm)

d1 : diamètre de l'embouti (mm)

e : épaisseur du flan (mm)

$$r = 0.8[(110 - 80) \cdot 0.6]^{1/2}$$

$$r = 3.39 \text{ mm}$$

**b - Le rayon 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 limité entre 5e et 10e **Figure**

$$E = 0.8 \text{ alors } 4 < R_p < 8$$

**c- 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]

$$F_s = \left(\frac{\pi}{4}\right) [D^2 - (d + Rm)^2] P$$

$$F_s = (\pi/4) (12100 - 6953.89)*2.5$$

$$F_s = 10104.36 \text{ N/mm}$$

**d- Effort d'emboutissage :**

En pratique on utilise la formule suivante

$$F = \text{PI.d.e.R.K.}$$

F (en daN)

d = diamètre du poinçon (en mm).

D = diamètre du flan (en mm)

e – épaisseur de la tôle (en mm)

R – résistance à la rupture par traction de la tôle (en daN/mm<sup>2</sup>)

K= coefficient fonction du rapport d/D.

$$\text{Ou } F = m*g$$

Donc :

$$m = 1 \text{ tonnes} = 1000 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \text{ la gravité}$$

$$F = 1000*9.81 = 9810 \text{ N}$$

**e - Le jeu entre poinçon et la matrice :**

Lorsque l'espace 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.

➤ Pour l'acier :  $Jeu = h + 0.07(10h)^{1/2}$ .

h : épaisseur de la tôle

$$J = 0.6 + 0.07 (10 \cdot 0.6)^{1/2}$$

$$J = 0.77 \text{ mm}$$

**f- La vitesse d'emboutissage :** Elle se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Les transformations que subit le métal à froid entraînent un écrouissage de celui-ci dépendant de cette vitesse. Une vitesse trop faible, tend donc 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 *BLISS1*, il existe une vitesse optimale pour chaque métal : Pour l'acier : 200 mm/s et pour les aciers doux : 280 mm/s.

### IV.9. Etude de résistance sur solidworks :

Choix de notre matériau se fait basé sur sa caractéristique pour réaliser notre moule.

The screenshot displays the SolidWorks material selection interface. On the left, a tree view shows various material categories, with '1.2083 (X42Cr13)' selected under 'DIN Acier (pour outils)'. On the right, the 'Propriétés du matériau' dialog box is open, showing the following properties:

Propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	210000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de Poisson	0.28	S.O.
Module de cisaillement	79000	N/mm <sup>2</sup>
Masse volumique	7740	kg/m <sup>3</sup>
Limite de traction	1500	N/mm <sup>2</sup>
Limite de compression		N/mm <sup>2</sup>
Limite d'élasticité	1200	N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de dilatation thermique	1.1e-005	/K
Conductivité thermique	14	W/(m·K)
Chaleur spécifique	440	J/(kg·K)
Rapport d'amortissement du matériau		S.O.

Figure.VI.40 : Caractéristique de l'acier.

Nom du modèle: Pièce aziz  
 Nom de l'étude: Analyse statique 1(-Défaut-)  
 Type de tracé: Coefficient de sécurité Coefficient de sécurité3  
 Critère : automatique  
 Distribution du coefficient de sécurité: CS Min = 18

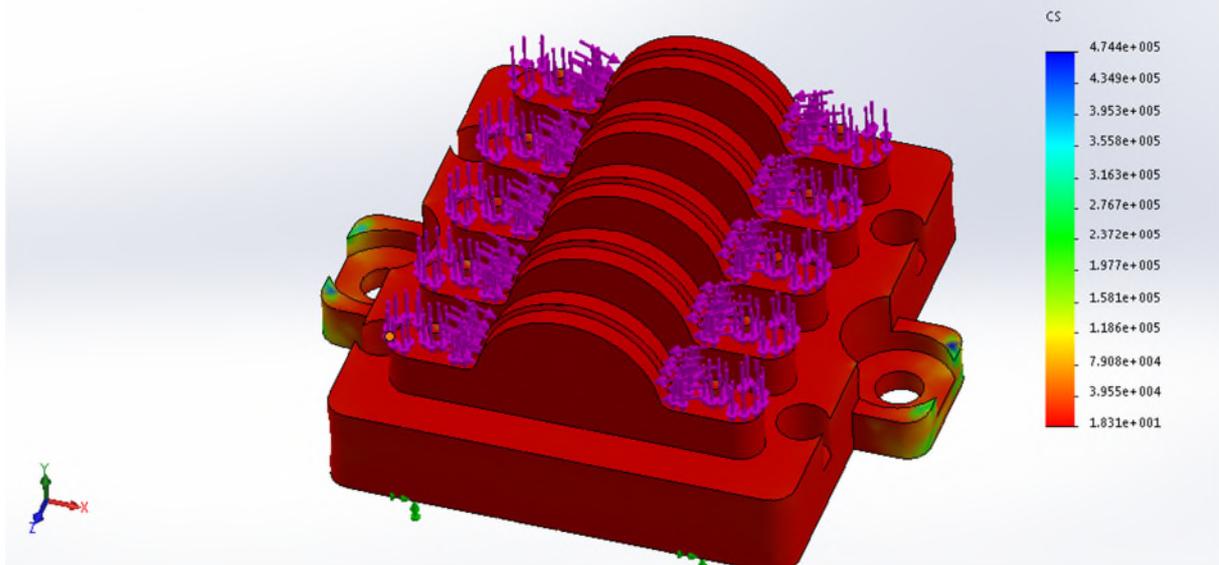


Figure VI.41 : Distribution du coefficient de sécurité obtenu dans l'ensemble de la pièce.

La figure VI.41 montre la distribution de coefficient de sécurité sur tout le volume de la pièce allant de la valeur minima (indiqué en rouge ) ver la valeur maximal (indiquer en bleu) d'où notre coefficient de sécurité et de 18 nous peuvent dire que la résistance de notre pièce et nettement bonne.

Nom du modèle: Pièce aziz  
 Nom de l'étude: Analyse statique 1(-Défaut-)  
 Type de tracé: Déplacement statique Déplacements2  
 Echelle de déformation: 1

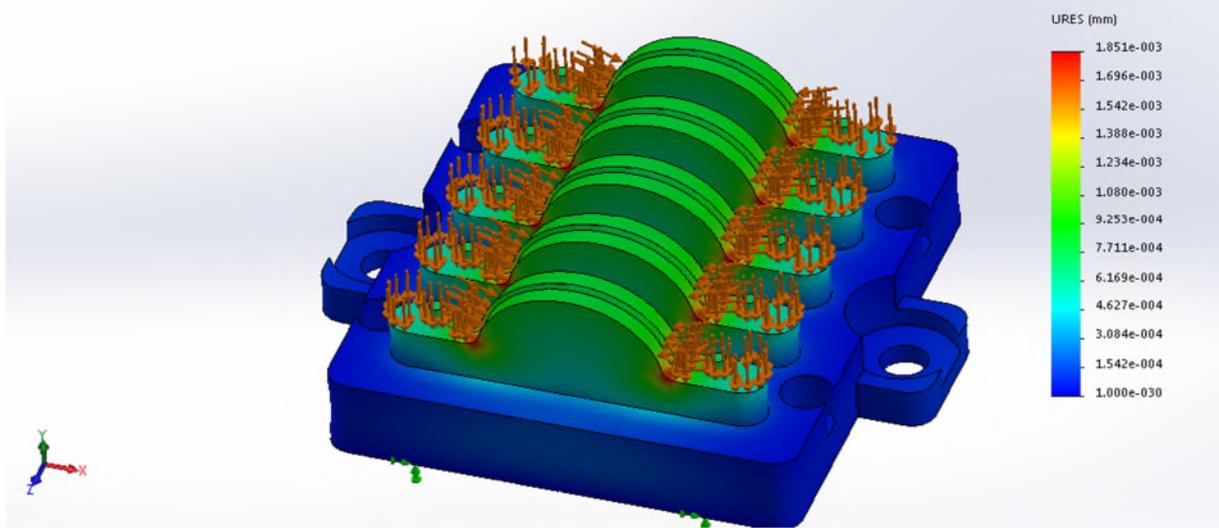


Figure VI.42 : Déplacement statique des forces sur le poinçon.

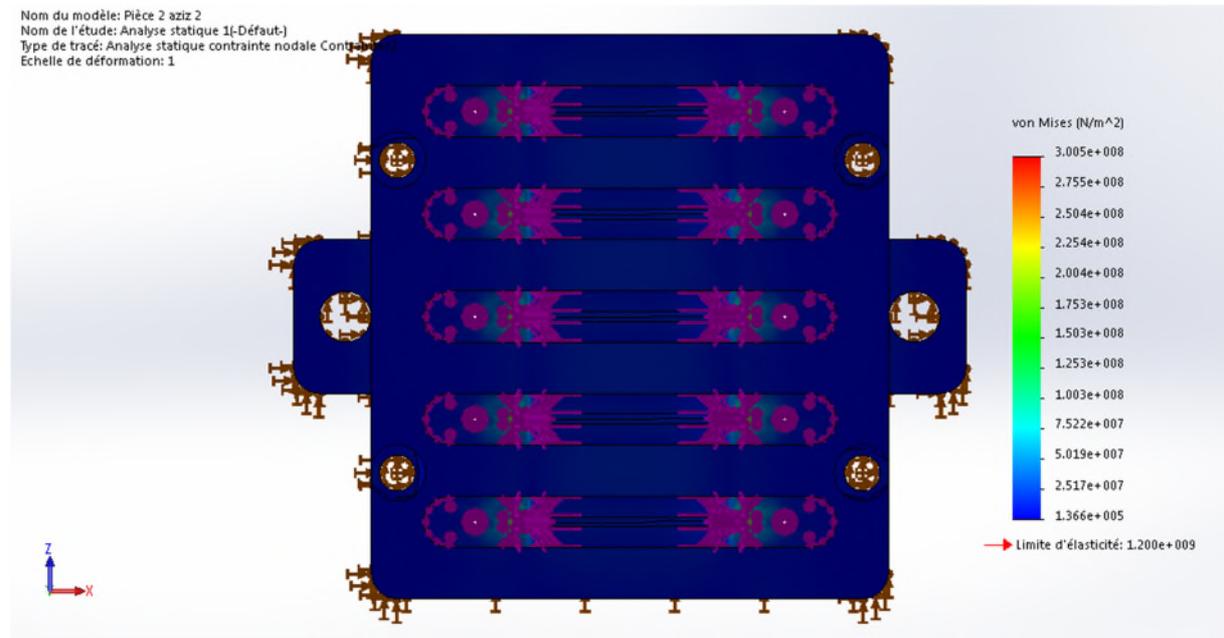


Figure VI.43 : Déplacement statique des forces sur la matrice.

Les figures VI.42 et 43 montre la distribution des force sur zone de transition allant de la valeur minima (indiqué en rouge) ver la valeur maximal (indiquer en bleu) d'où notre limite d'élasticité et de (1.2) nous pouvons dire que la résistance de notre pièce et nettement bonne.

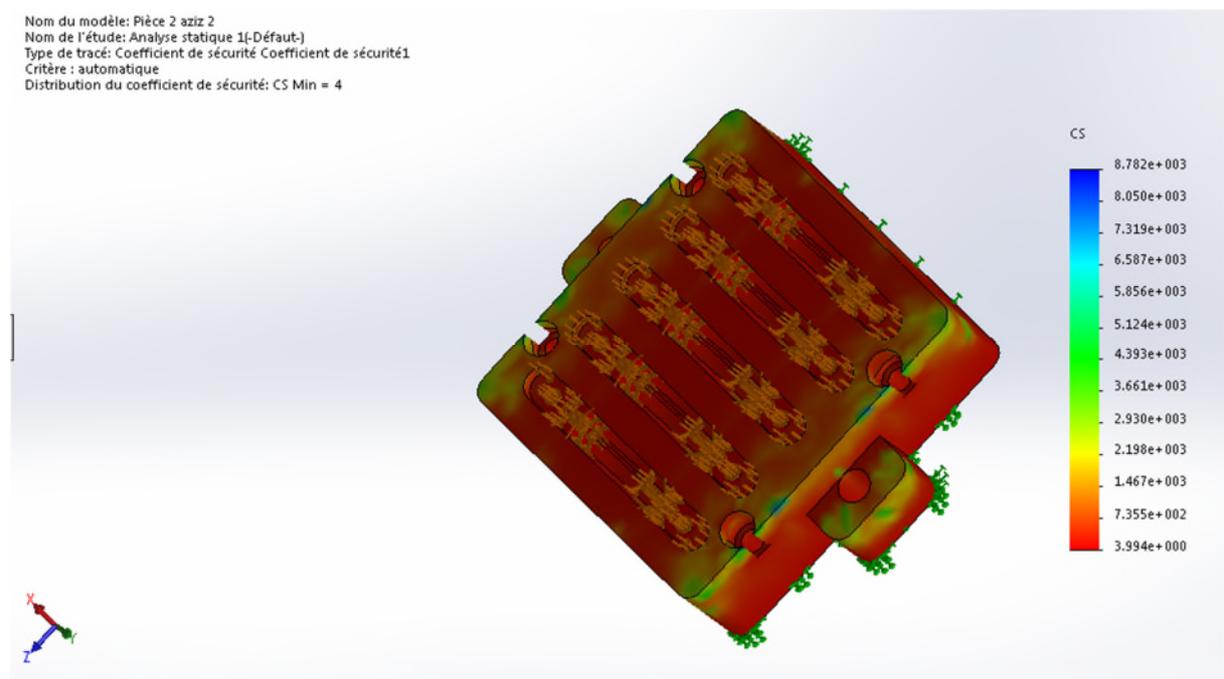


Figure VI.44 : distribution de coefficient de sécurité sur la matrice.

La figure VI.44 montre la distribution de coefficient de sécurité sur tout le volume de la pièce allant de la valeur minima (indiqué en rouge ) ver la valeur maximal (indiquer en bleu) d'où notre coefficient de sécurité et de 4 nous peuvent dire que la résistance de notre pièce et nettement bonne.

Nom du modèle: Assemblage moule  
Nom de l'étude: Analyse statique 1(-Défaut-)  
Type de maillage: Maillage volumique

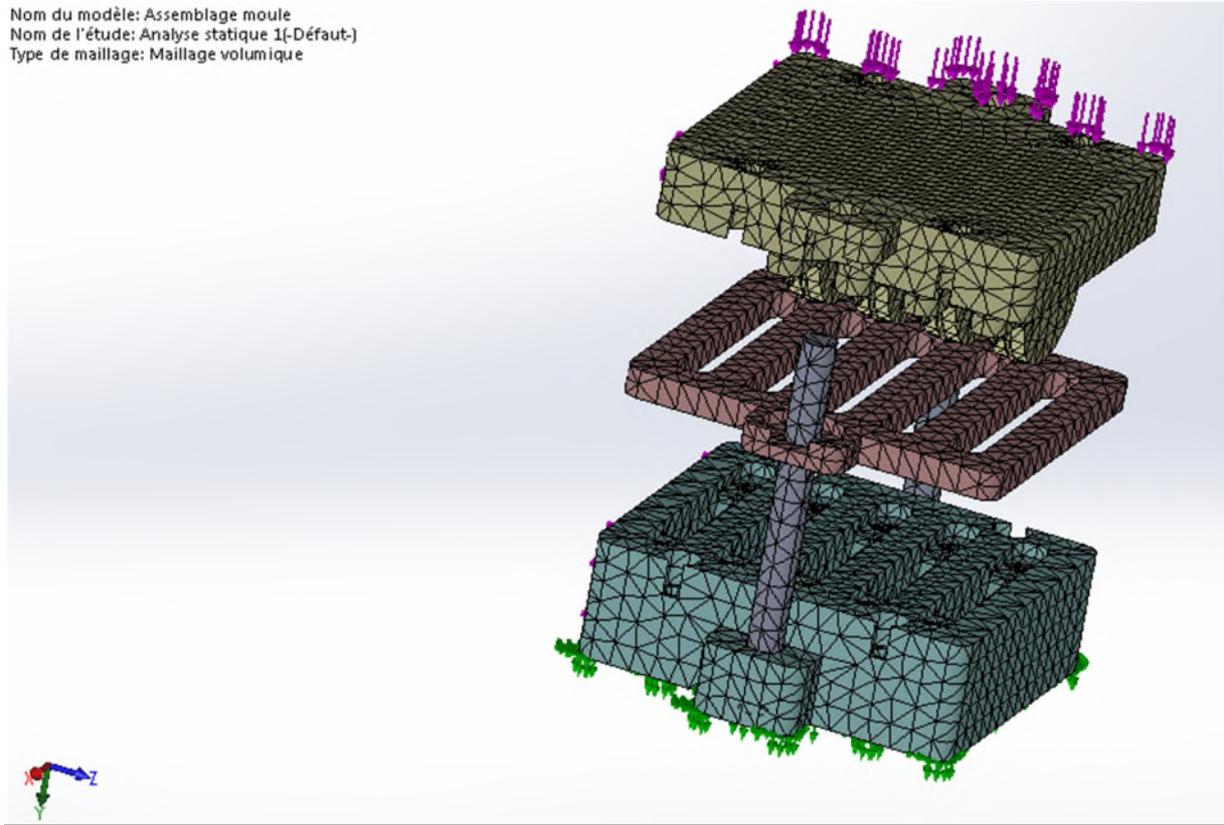


Figure VI.45 : illustration des charges appliquées sur le moule



# **Conclusion générale**

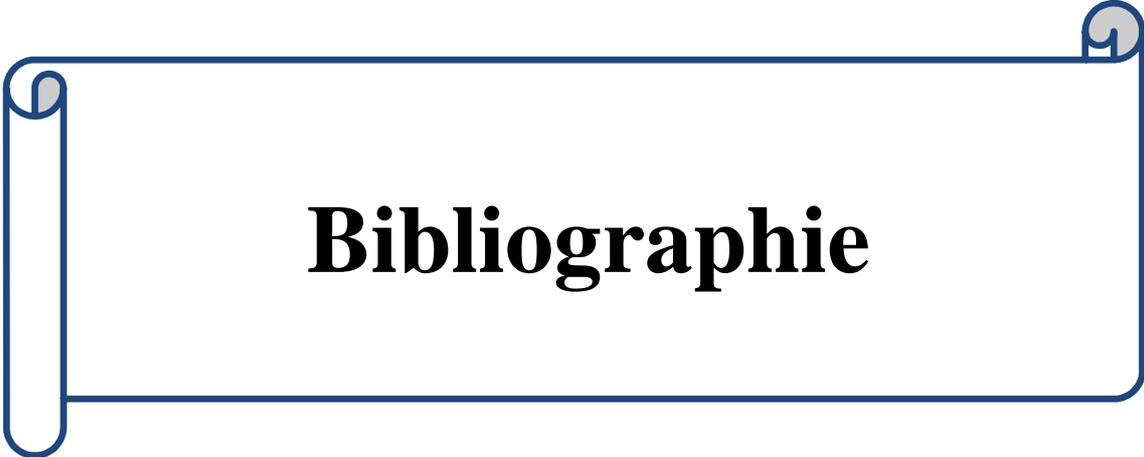
### **Conclusion générale :**

L'étude exposée dans ce mémoire mène à étudier un moule d'emboutissage pour collier de fixation pour tuyaux.

En premier temps, nous avons présenté une étude bibliographique pour décrire le procédé d'emboutissage pour le situer parmi l'ensemble des procédés de mise en forme existants et montrer son importance sur le plan économique : (utilisation en industrie, les essais de caractérisation, les paramètres du procédé, les défauts rencontrés dans ce procédé...), une présentation du procédé d'emboutissage incrémental a été faite. Ceci nous a permis de comprendre la mise en œuvre du procédé afin de pouvoir mener à bien la suite de notre recherche concernant l'étude de sensibilités.

Ensuite, nous avons étudié l'influence des paramètres d'emboutissage telle que l'effort d'emboutissage, le jeu entre poinçon et matrice, diamètre de poinçon ... etc. Sur la qualité de l'embouti.

En terminant avec une simulation numérique sous SolidWorks 2014 pour les différentes parties du moule comme les déplacements statiques, le coefficient de sécurité et la limite d'élasticité pour nous aider à réaliser notre moule.

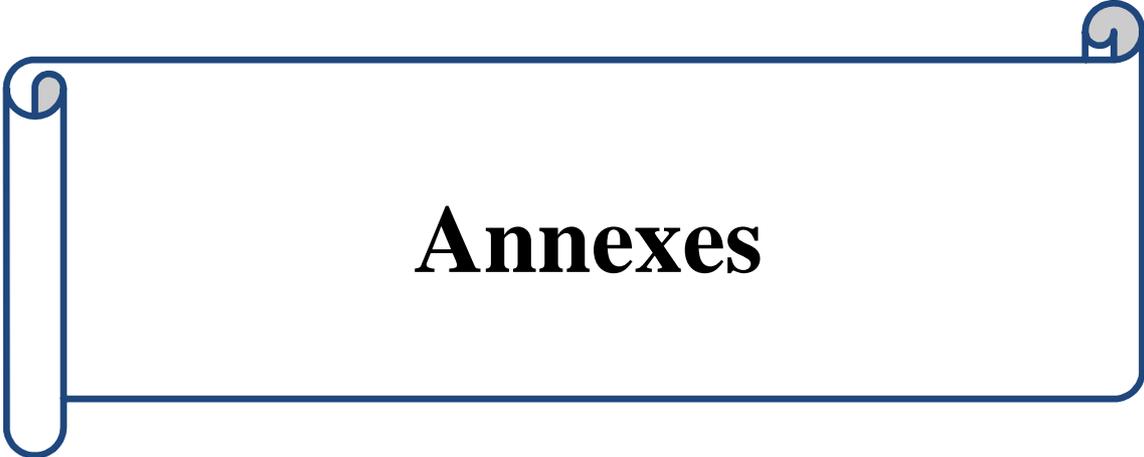


# **Bibliographie**

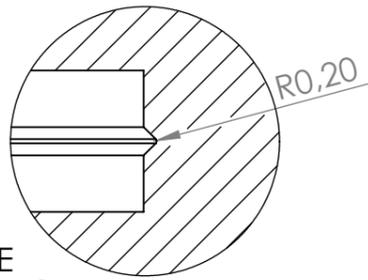
### **Bibliographie :**

- [1] É. Felder, *Procédés de mise forme : Introduction*, Techniques de l'ingénieur, M 3000, 2000.
- [2] K. Siegert, Research and Development in the Field of Sheet Metal Forming Technology of the Institute for Metal forming Technology (IFU) of the University of Stuttgart, in *New Developments in Sheet Metal Forming* ISBN 3-88355-292-5, Klaus Siegert (Editor) : 277-308, Fellbach, Germany, 23-24 May 2000.
- [3] *Service des Études et des Statistiques Industrielles* (Sessi) du Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie; La sous-traitance en chiffres (métaux, plastiques, caoutchouc, électronique), Dossiers sectoriels, téléchargeable <http://www.industrie.gouv.fr/sessi/>, 2004
- [4] É. Felder, *Tribologie de l'emboutissage*, Techniques de l'ingénieur, M 7535, 1994
- [5] É. Felder, *Procédés de mise forme : Introduction*, Techniques de l'ingénieur, M 3000, 2000.
- [6] B. Wassilieff, *Emboutissage. Règles principales, calculs, exemples*. Edition Dunod, Paris, 1970.
- [7] « *Formage à la presse* » BT2, 7510, PB7510-3
- [8] « *Formage à la presse* » BT2, 7510, PB7510-3
- [9] « *Matériau industriels et Matériaux Métalliques* », S8/62292
- [10] A.Cornet et F. Hlawka, « *Science des matériaux, propriétés et comportement des matériaux du microscopique ou macroscopique* »
- [11] Z. Marciniak, J. L. Duncan, S. J. Hu, «*Sheet metal forming*», Butterworth-Heinemann, 2002
- [13] Col A., *Emboutissage des tôles : Importance des modes de déformation*, Techniques de l'ingénieur, BM 7 510, 2002.
- [14] P. Poloukhine, V. Tiourine, P. Davidkov, D. Vitanov, *Traitement des métaux par déformation*. Mir Moscou, 1987.
- [15] Col A., *Emboutissage des tôles : Importance des modes de déformation*, Techniques de l'ingénieur, BM 7 510, 2002.

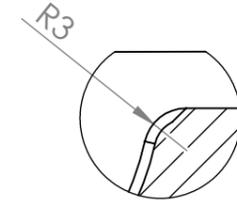
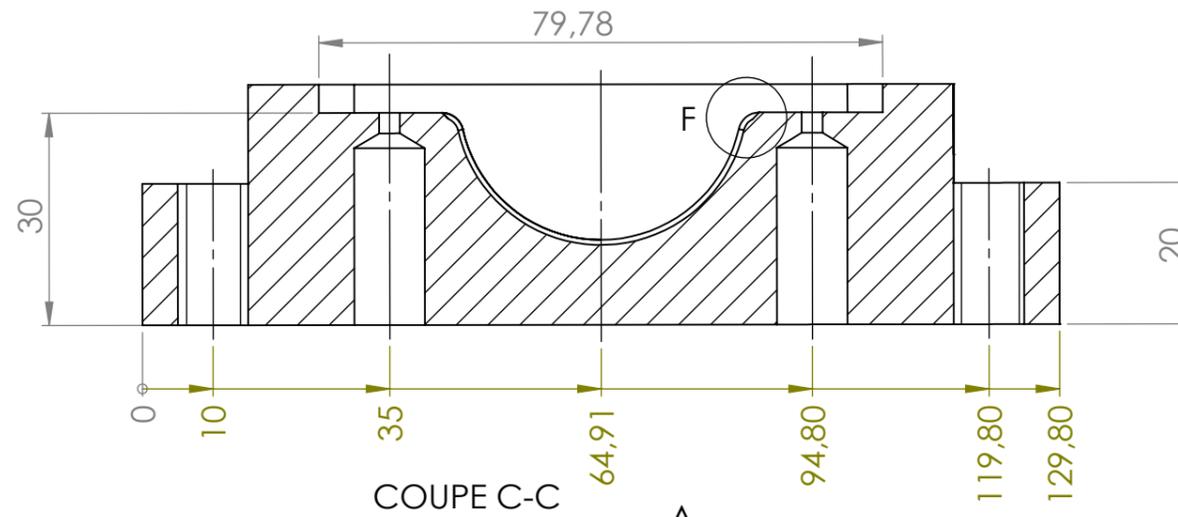
- [16] [Alain\_Col]\_L-'emboutissage\_des\_aciers Les presses et les outils RONDE OUSTAU F., *Conception et mise au point d'une gamme d'emboutissage*, Les Techniques de l'Ingénieur, B 7540.
- [17] [Alain\_Col]\_L-'emboutissage\_des\_aciers Les presses et les outils *Metal Forming Handbook*, Schuler, Springer Editions, 1998. LEBRETON C., TOUSSAINT H., « Évolution des aciers à outils et des revêtements en découpage-emboutissage », Conférences du CETIM, décembre 2004. PEYRE J.-P., LEBRETON C., « Évolution des matériaux utilisés pour la réalisation d'outillages de découpage-emboutissage », Conférences du Cetim, décembre 2003.
- [18] darbi rezkellah et mihoubi ishak ,étude et réalisation d'une emboutisseuse des tôles de faible épaisseur 2018.
- [19] ] darbi rezkellah et mihoubi ishak ,étude et réalisation d'une emboutisseuse des tôles de faible épaisseur 2018.
- [20] ] darbi rezkellah et mihoubi ishak ,étude et réalisation d'une emboutisseuse des tôles de faible épaisseur 2018.
- [21] ] darbi rezkellah et mihoubi ishak ,étude et réalisation d'une emboutisseuse des tôles de faible épaisseur 2018.
- [22] ] darbi rezkellah et mihoubi ishak ,étude et réalisation d'une emboutisseuse des tôles de faible épaisseur 2018.



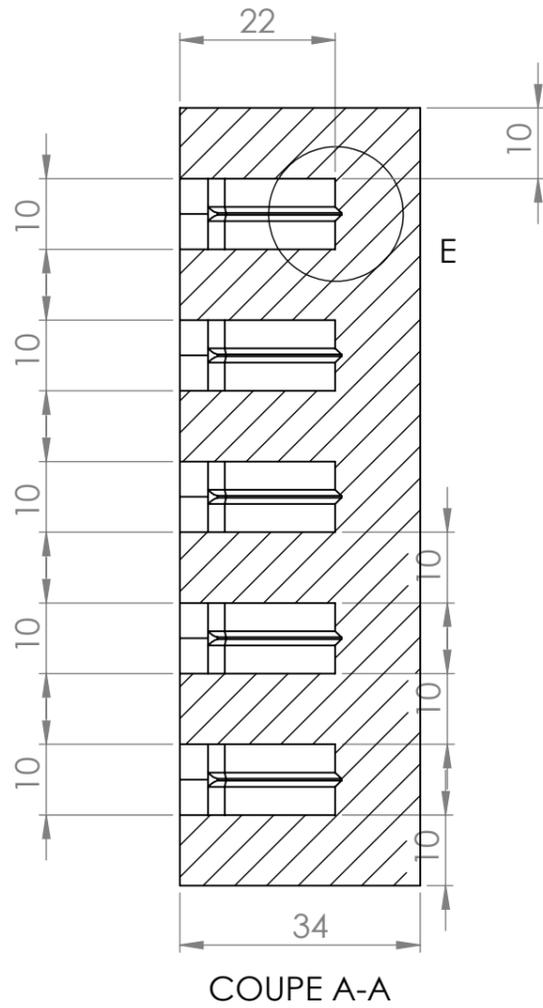
# **Annexes**



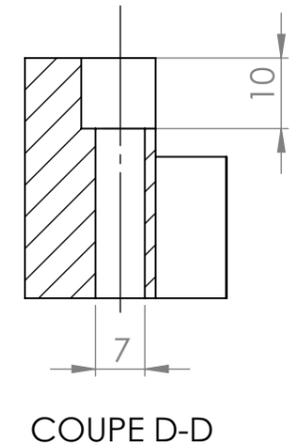
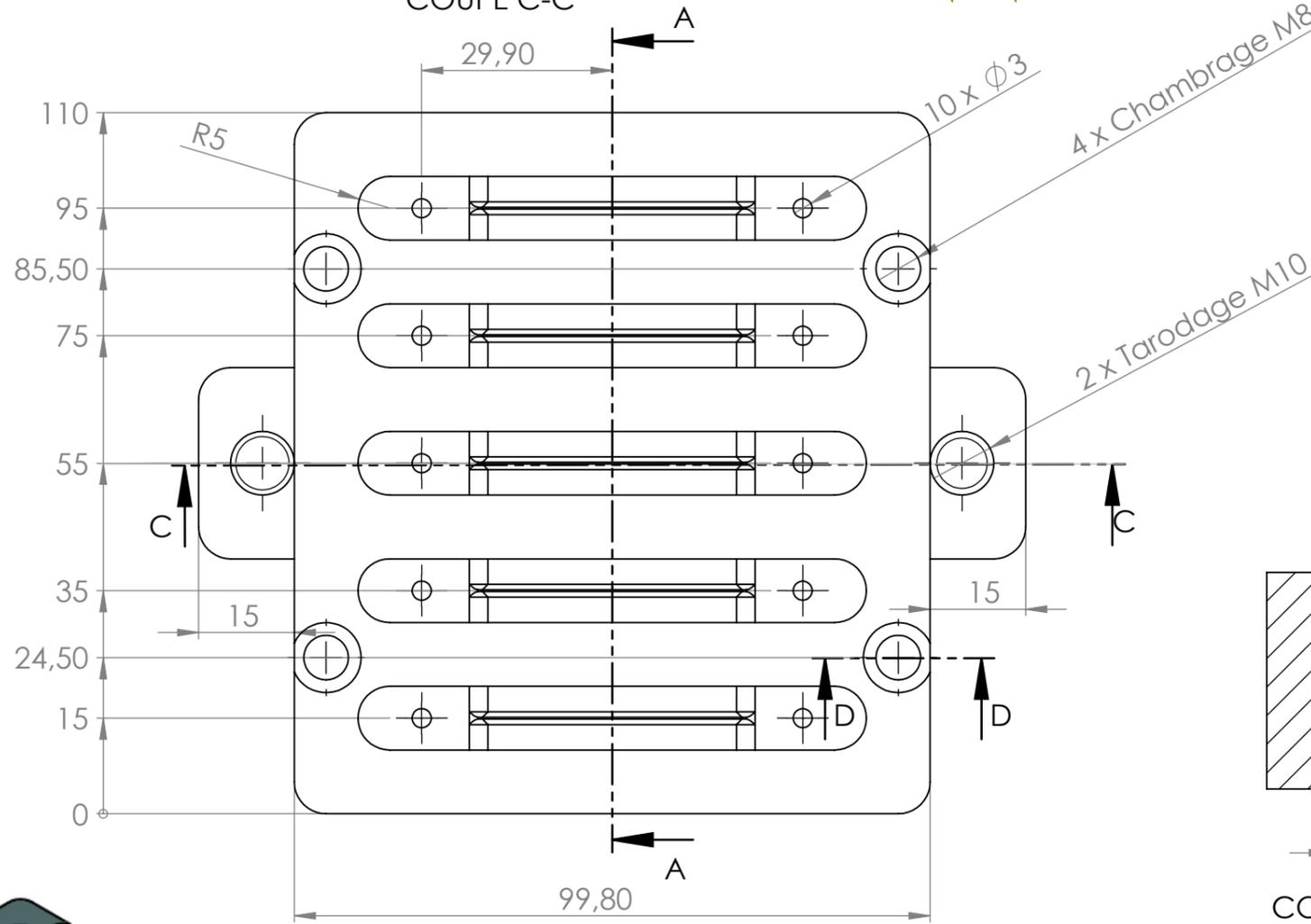
DÉTAIL E  
ECHELLE 2 : 1



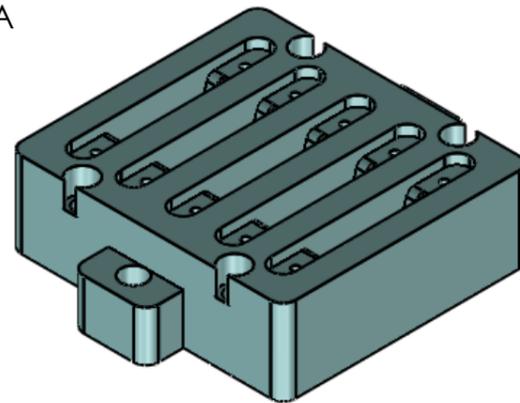
DÉTAIL F  
ECHELLE 2 : 1



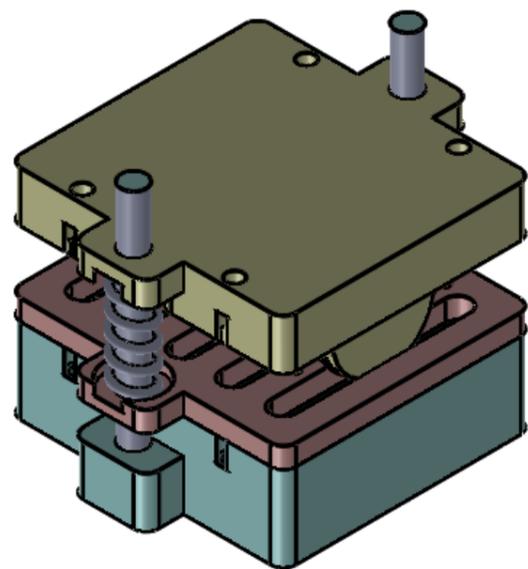
COUPE A-A



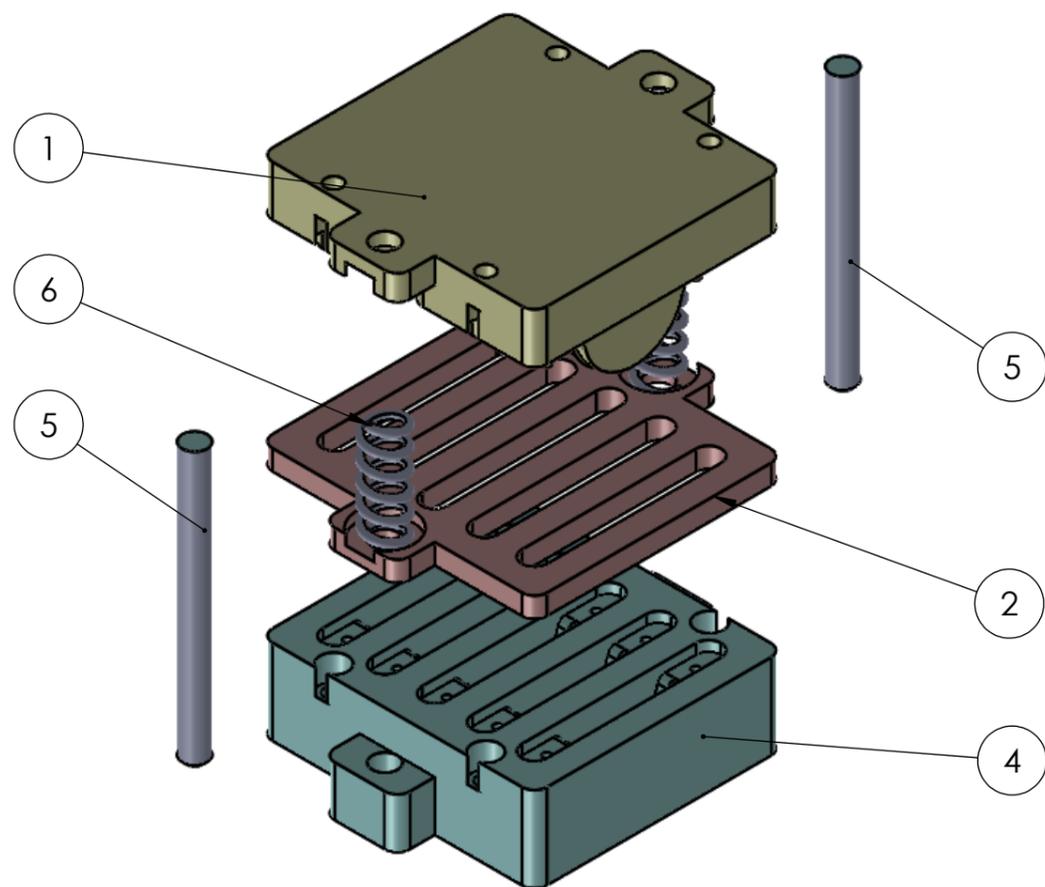
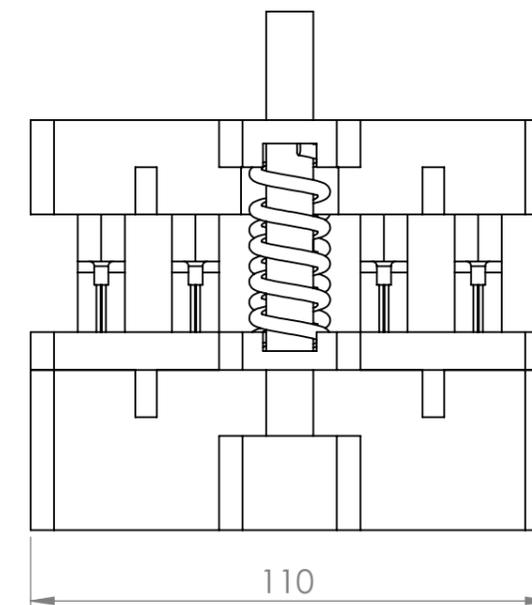
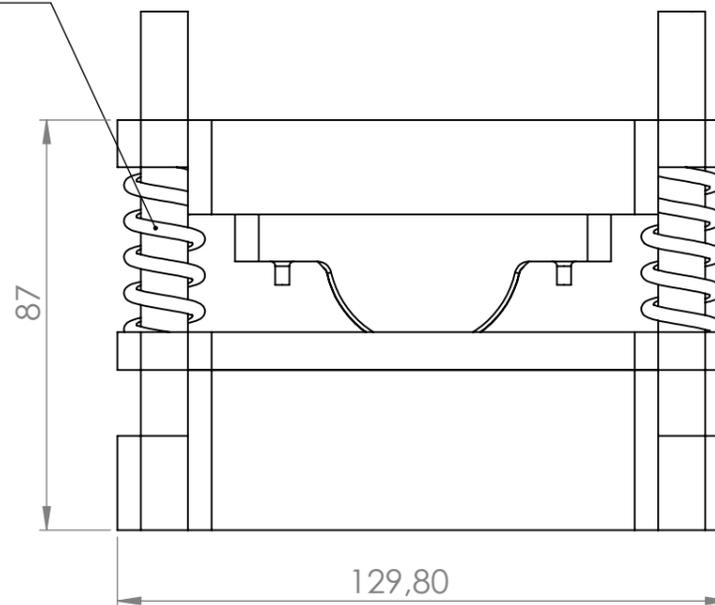
COUPE D-D



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:				FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS		NE PAS CHANGER L'ECHELLE		REVISION	
AUTEUR				NOM		SIGNATURE		DATE		TITRE:	
VERIF.										Empreinte femelle	
APPR.											
FAB.											
QUAL.											
						MATERIAU: <b>42Cd4</b>		No. DE PLAN <b>002</b>		A3	
						MASSE:		ECHELLE:1:1		FEUILLE 1 SUR 1	



2 X Ressort



No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE
1	Matrice male	Mat:42Cd4	1
2	Serre flan	Mat :42Cd4	1
3	.....	.....	...
4	Matrice femelle	Mat:42Cd4	1
5	Axe de guidage	Mat:42Cd4	2
6	ressort	....	2

SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:			FINITION:	CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION
AUTEUR	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE: <b>Assemblage moule</b>		
VERIF.				No. DE PLAN <b>005</b>		
APPR.				Echelle: 1:1		
FAB.				FEUILLE 1 SUR 1		
QUAL.				A3		
				MASSE:		

**Chanfrein 1.5x45deg**

**Filetage M10**

110

15

Ø 10

SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
ETAT DE SURFACE:  
TOLERANCES:  
LINEAIRES:  
ANGULAIRES:

FINITION:

CASSER LES  
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

REVISION

NOM	SIGNATURE	DATE			
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.					

TITRE:

**Axe de guidage**

No. DE PLAN

**004**

A4

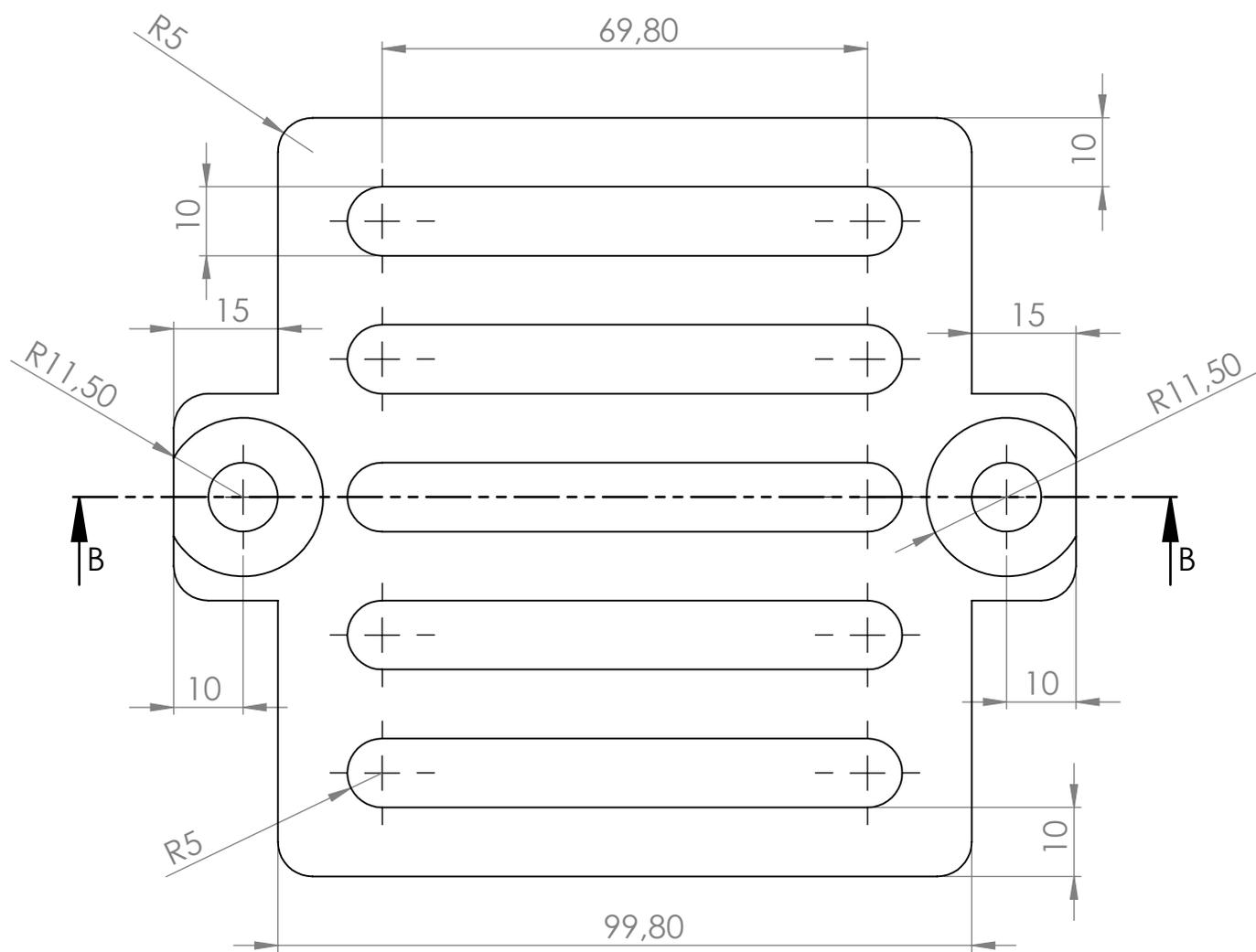
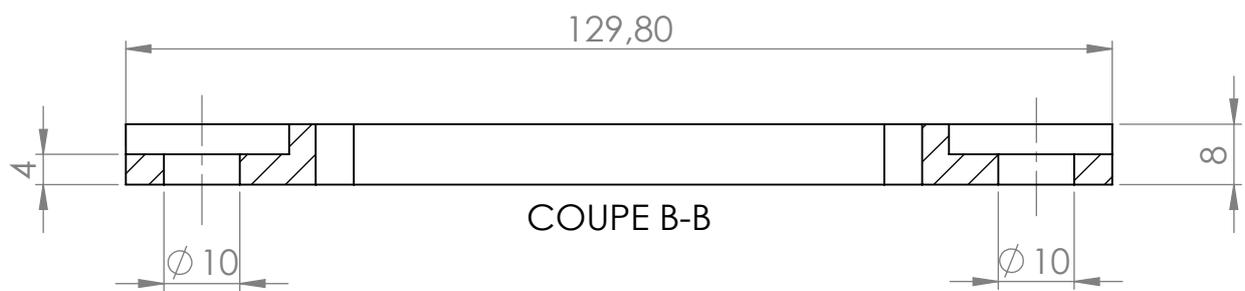
MATERIAU:

**42Cd4**

ECHELLE:1:1

FEUILLE 1 SUR 1

MASSE:



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
ETAT DE SURFACE:  
TOLERANCES:  
LINEAIRES:  
ANGULAIRES:

FINITION:

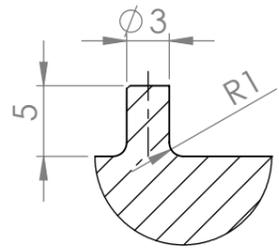
CASSER LES  
ANGLES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

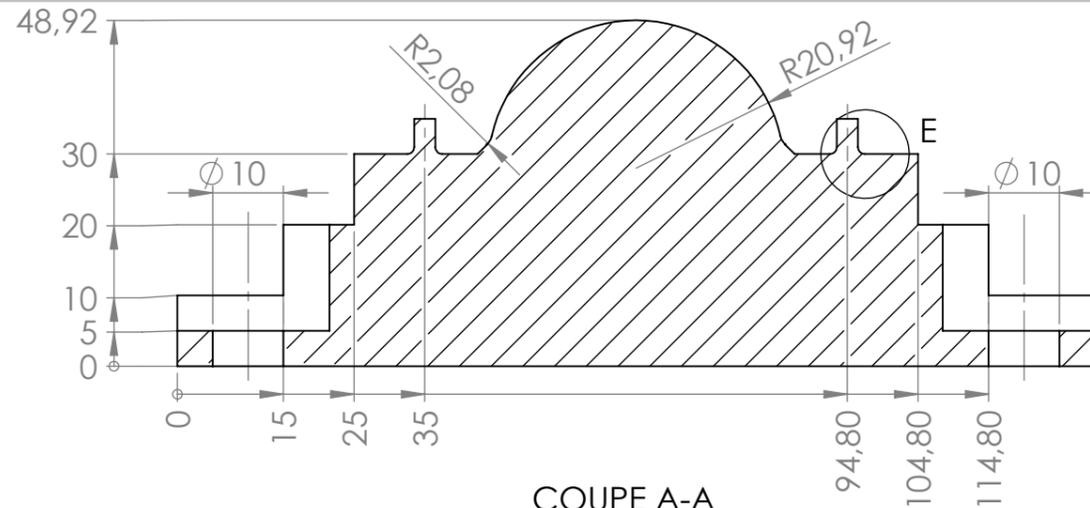
REVISION

	NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR					
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.				MATERIAU:	
				<b>42Cd4</b>	
				MASSE:	

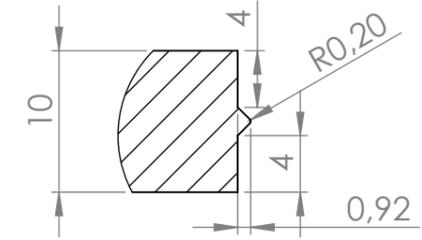
TITRE:	<b>Serre flan</b>	
No. DE PLAN		
ECHELLE:1:1	FEUILLE 1 SUR 1	
		A4



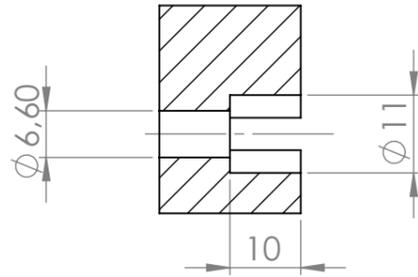
DÉTAIL E  
ECHELLE 2 : 1



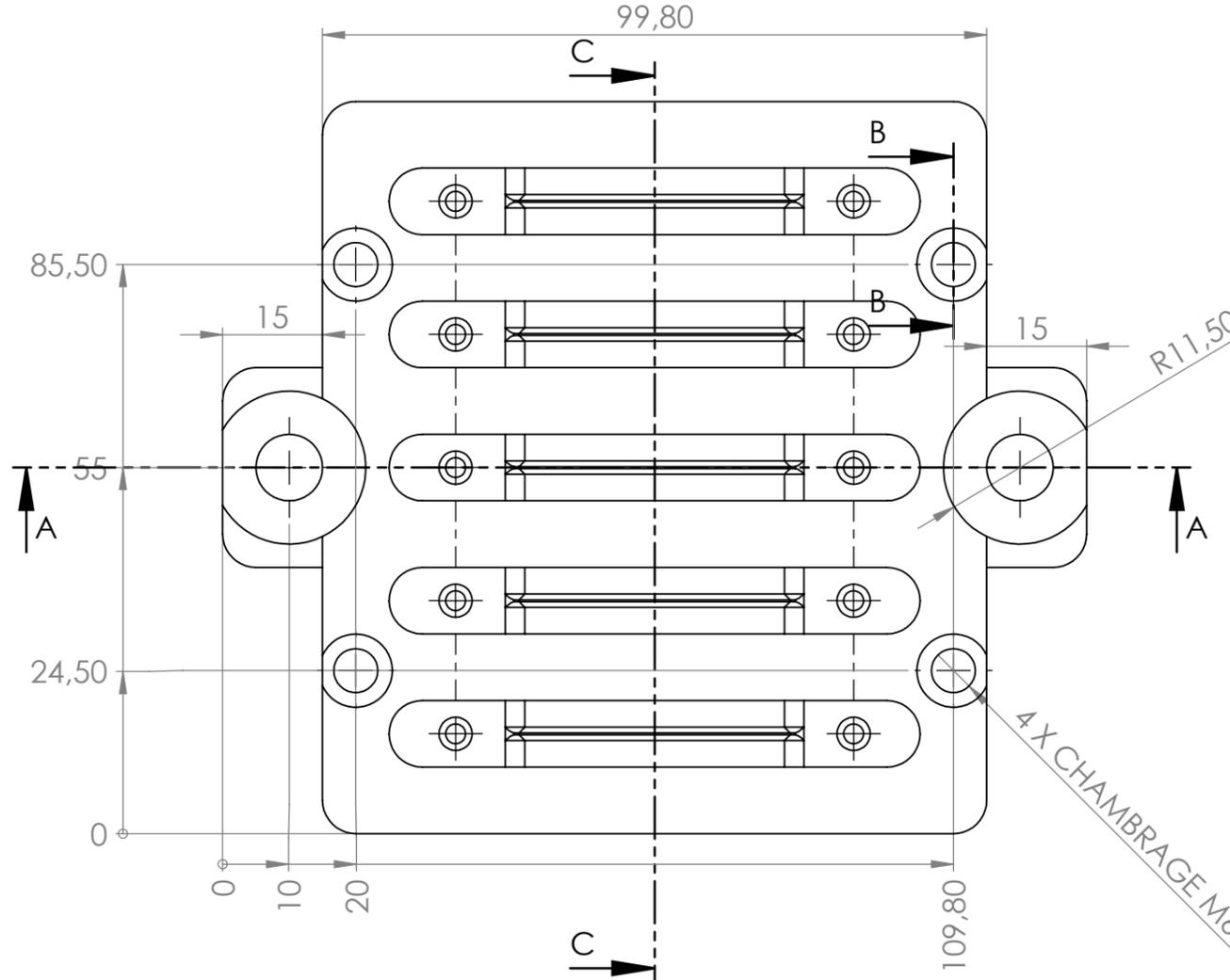
COUPE A-A



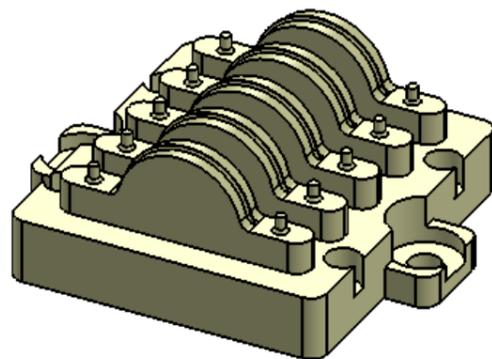
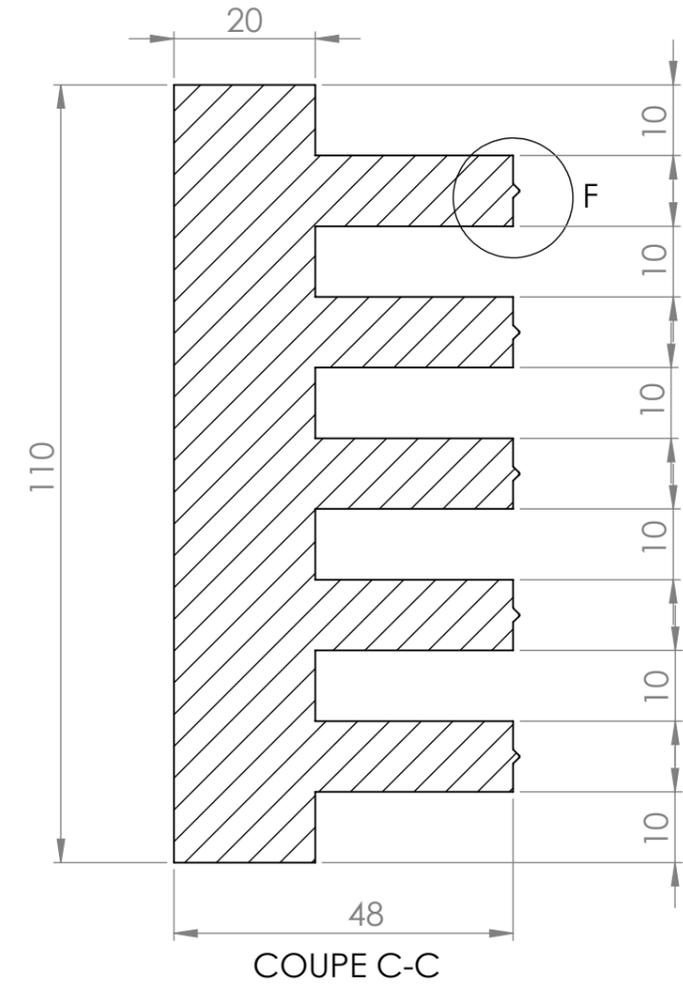
DÉTAIL F  
ECHELLE 2 : 1



COUPE B-B



COUPE C-C



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:				FINITION:	CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION
						TITRE: <b>Empreinte male</b>	
						No. DE PLAN <b>001</b>	
						ECHELLE:1:1	
						FEUILLE 1 SUR 1	
AUTEUR				MATERIAU: <b>42Cd4</b>		A3	
VERIF.				MASSE:			
APPR.							
FAB.							
QUAL.							

## **Résumé :**

Dans ce travail, nous avons présenté l'étude et la conception d'un moule d'emboutissage. Nous avons expliqué en premier l'importance d'emboutissage dans l'industrie, dans le deuxième chapitre nous avons parlé sur les type de presse, dans le troisième chapitre, nous avons expliqué les paramètres et les équations les plus importantes et en quatrième chapitre on a étudié la technique de moule que nous avons étudié, après avoir toutes les données et la conception par ordinateur en utilisant le programme SolidWorks et en clarifiant comment cela fonctionne.

**Mots clés :** Emboutissage, tôle mince, logiciel : Solidworks, moule d'emboutissage.

## **Abstract :**

In this work, we presented the study and design of a stamping mold. We first explained the importance of stamping in the industry, in the second chapter we talked about the type of press, in the third chapter we explained the parameters and the most important equations and in the fourth chapter we studied the mold technique that we study after having all the data and computer design using the SolidWorks program and clarifying how it works.

**Keywords:** Stamping, thin sheet metal, software: Solidworks, stamping mold.