

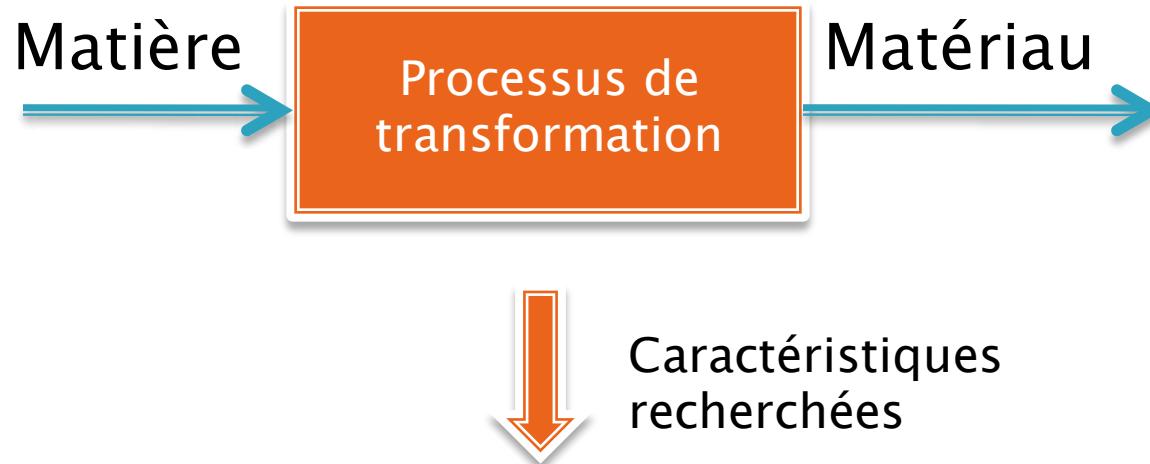


Généralités sur la mise en forme des métaux

Cours présenté par M. EL JAI
ENSAM-Meknès
2015/2016

Présenté par M. EL JAI

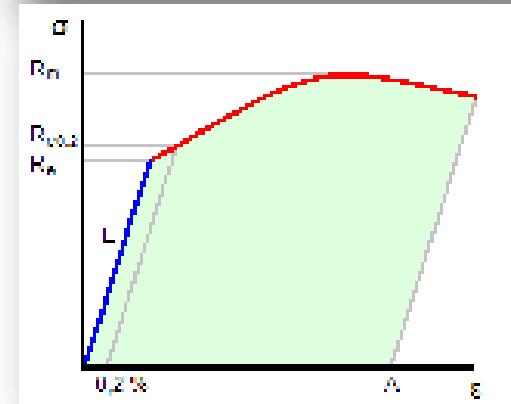
Introduction



- Une forme plus proche de la forme finale,
- des caractéristiques mécanique précises,
- des propriétés physico-chimiques déterminées,
- une coût de production optimal

Introduction

- Une forme plus proche de la forme finale,
- des caractéristiques mécanique précises,
- des propriétés physico-chimiques déterminées (corrosion, usure...),
- un coût de production optimal (réduction des charges directes et indirectes en MP, MO et fonctionnement)



Introduction

Connaissance :

- Des matériaux,



- Des procédés



Procédés fabrication

Classification

Les assemblages :
Soudage,
mécanique,
collage...

La fonderie



La mise en forme par
déformation plastique



L'usinage :
Enlèvement de
matière



Le frittage
métaux en
poudre



Procédés de mise en forme

Mise en forme par
déformation plastique

A chaud
A mi-chaud
A froid

Difficultés de l'étude

- Les vitesses de formage sont souvent élevées,
- vitesse non homogène dans toute la pièce,
- phénomènes rarement stationnaires : évolution des conditions de contact et de température,
- la thermique : thermo-dépendance de la loi d'écoulement,
- évolution de la structure et texture du métal : fibrage.

Production des aciers

Matière Première

Barres, profilés, tubes,
cornières...



Tôles, métaux en feuilles



Production des aciers

- ▶ schéma

Schéma

Procédés de mise en forme par déformation plastique

- ✓ Le forgeage libre
 - ✓ Le laminage (feuilles)
 - ✓ L'estampage
 - ✓ Le filage
 - ✓ L'extrusion, la frappe à froid
- ~~L'estampage~~
- ✓ L'emboutissage
 - ✓ Le pliage, découpage,
 - ✓ Le fluotournage
 - ✓ ...
-
- Pièces massives (volumiques)
- Métaux en feuilles

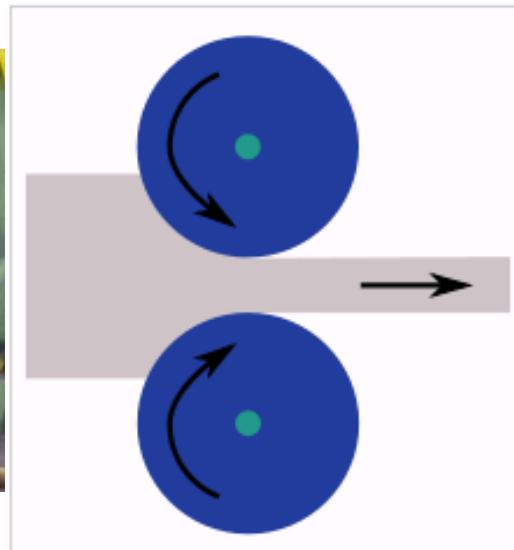
Procédés de mise en forme par déformation plastique

Pièces massives

Forgeage libre

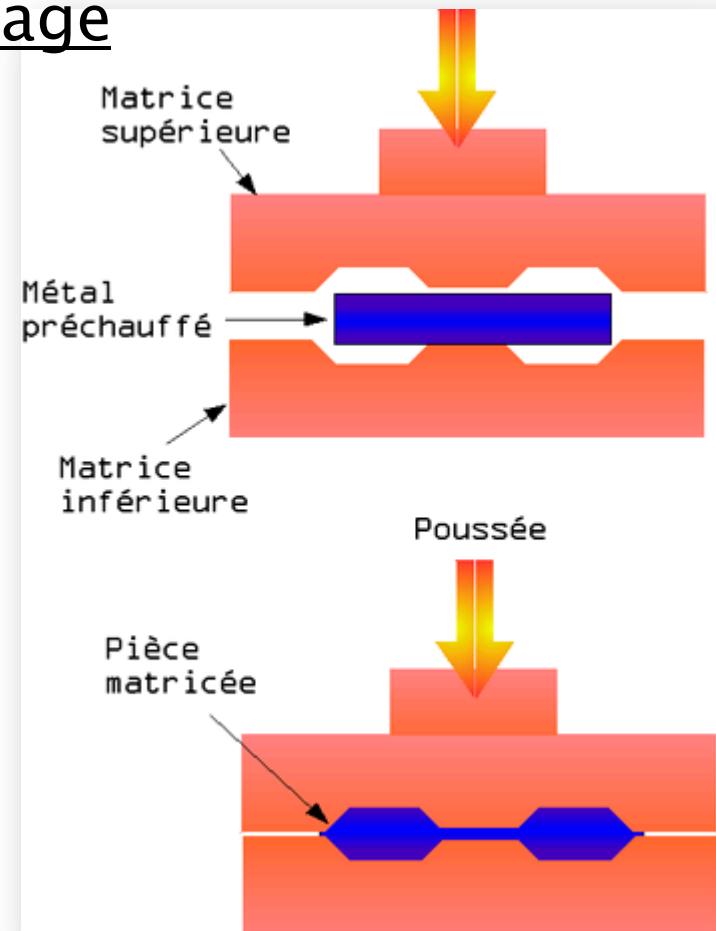


laminage



Principe du laminage : le métal subit une réduction d'épaisseur par écrasement entre les deux cylindres

Estampage/Matriçage



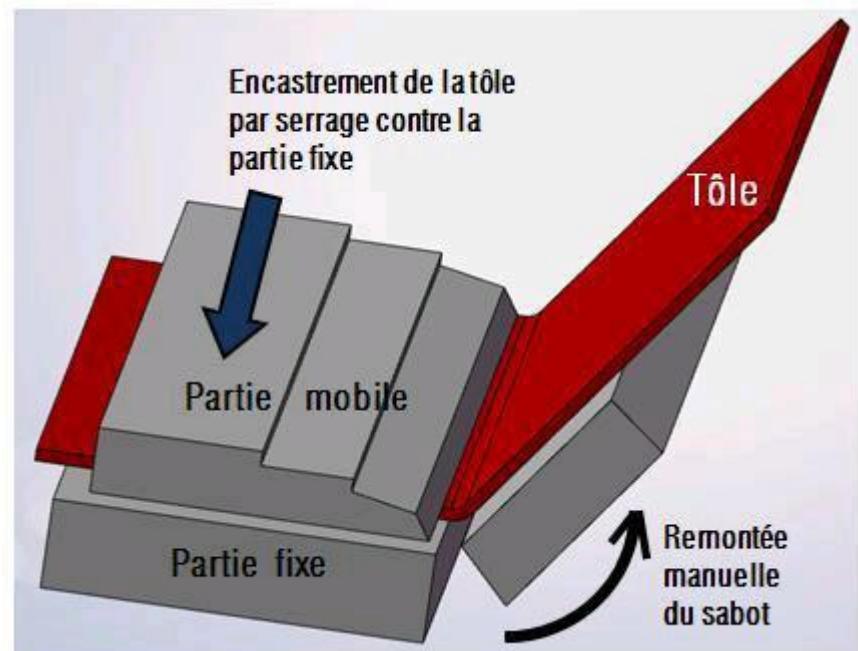
Procédés de mise en forme par déformation plastique

Métaux en feuille

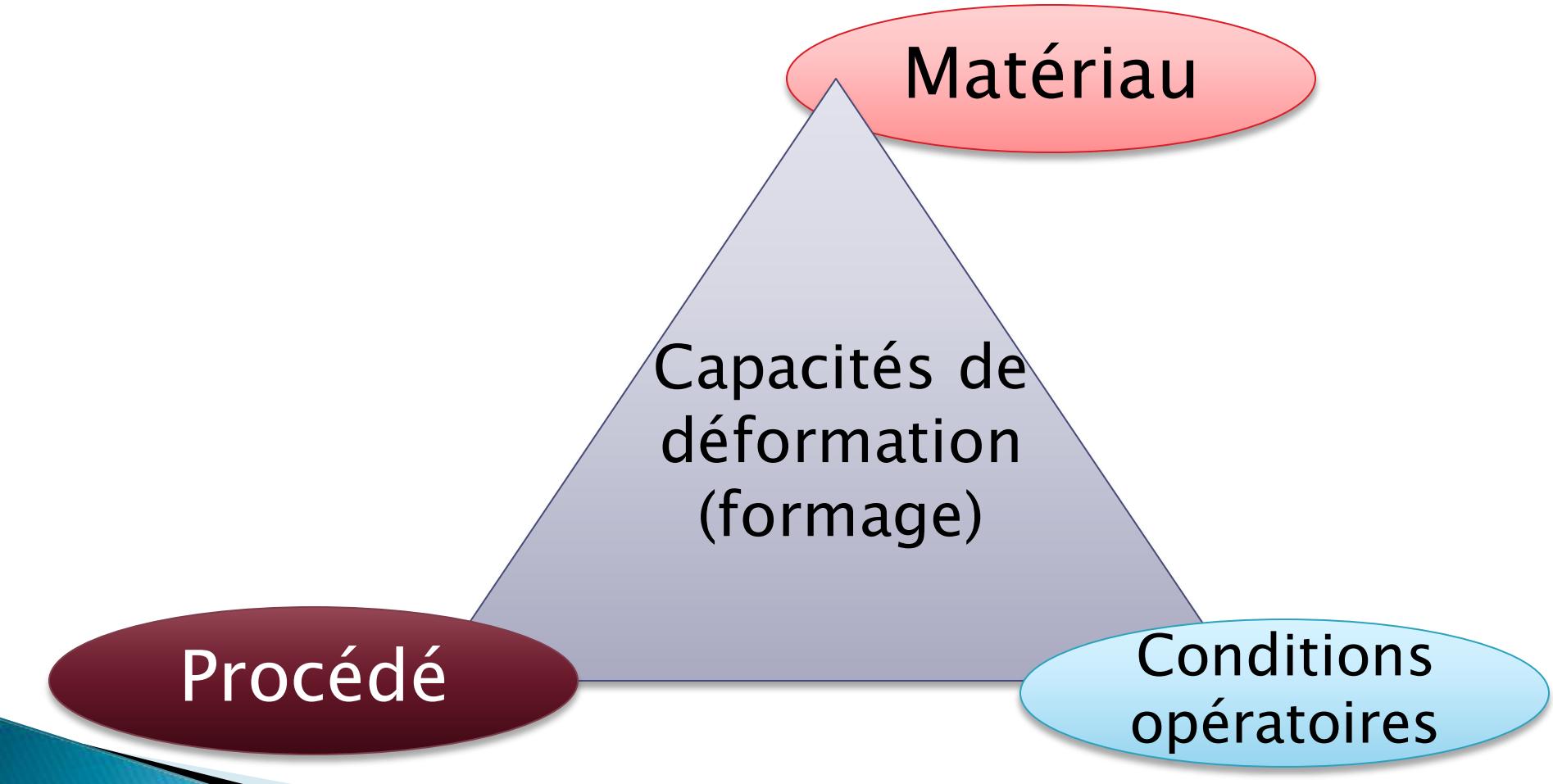
Emboutissage



pliage



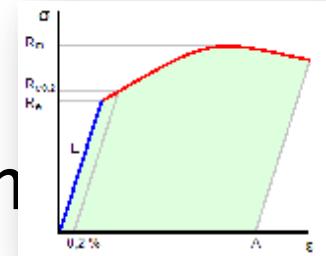
Procédés de mise en forme par déformation plastique



Procédés de mise en forme par déformation plastique

Matériaux

- Choix des matériaux donnée (résistance majeure à la fatigue, à l'usure, vibrations...),
- Matériau existant dans le marché ou import de l'extérieur (**facteur coût**),
- Matériau qui peut être formé par un procédé existant en atelier (ébauche),
- Matériau qui peut être usiné à l'atelier pour former la pièce finie...



Procédés de mise en forme par déformation plastique

Procédé

- Choix du procédé **le plus économique** pour former la pièce,
- Etude de la puissance nécessaire pour former la pièce (Force et vitesse)



Faisabilité en atelier ou sous-traitance



Procédés de mise en forme par déformation plastique

Conditions opératoires

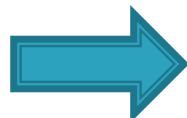
- Formage à chaud ou à froid (**consensus entre énergie de chauffage et énergie de formage**)
- Préparation de la matière première (**décapage, dégraissage, séchage, traitements thermiques...**)
- Préchauffage de l'outillage (si nécessaire),
- Cycles de production, cadence,

Paramètres influents (fromage)

Comportements des matériaux ont été identifiés puis modélisés :

- à partir d'essais mécaniques,
- par approche microscopique qui consiste à modéliser les mécanismes en s'intéressant aux liaisons atomiques.

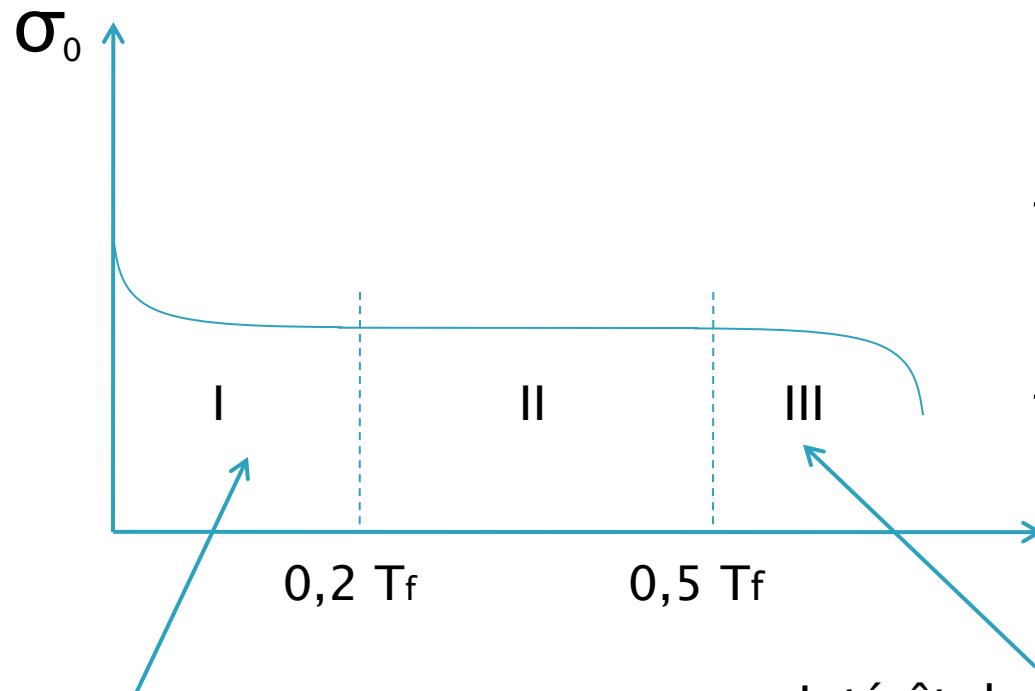
Essai de traction



- Influence de la T°
- // // / déformation
- // // / vitesse de déformation

Paramètres influents (formage)

Influence de la température



T_f : Température de fusion du matériau

- Déformation à chaud si $T > 0,5 T_f$. 631°C pour les aciers, 193°C pour les alliages d'Al, 1554°C pour le Tungstène...



Intérêt de la mise en forme à chaud
(moindre effort)

Energie de chauffage

Paramètres influents

Influence de la déformation (écrouissage)

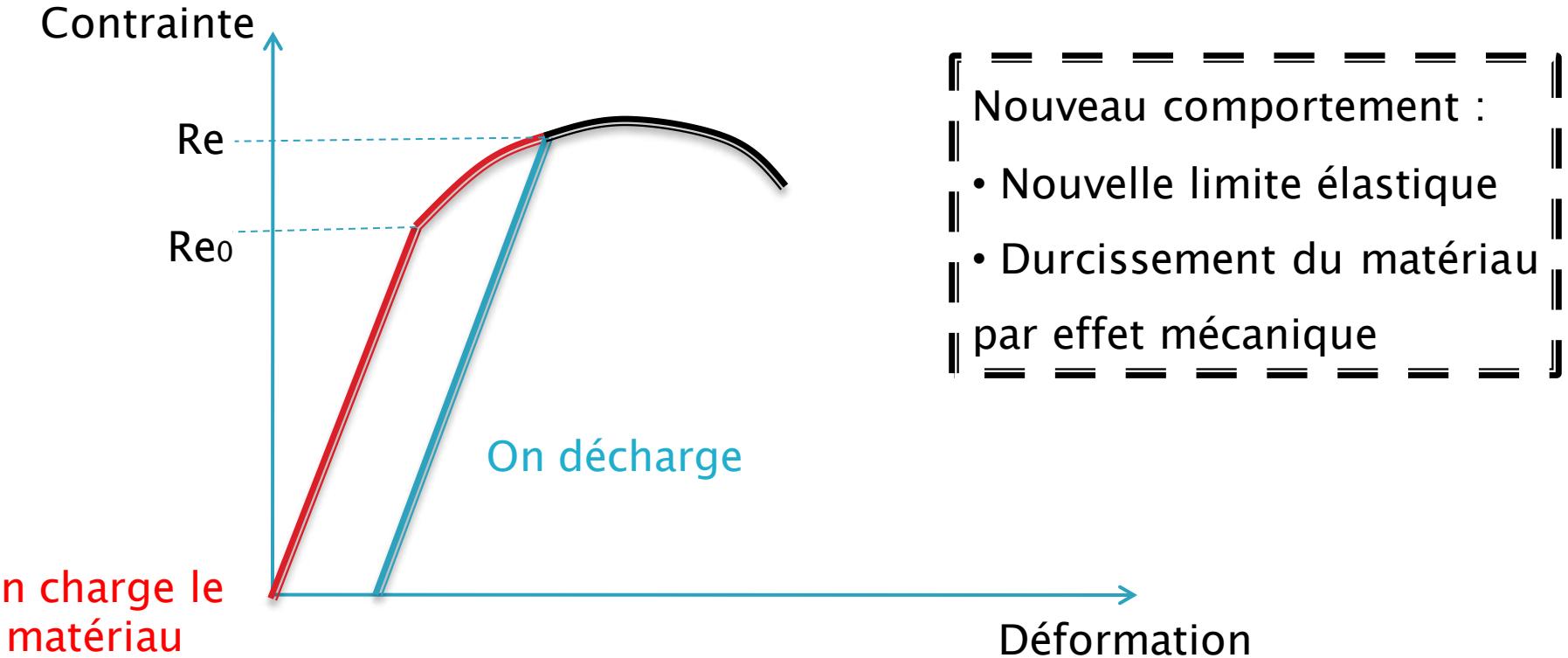
L'effet de la déformation peut être directement mis en évidence par un essai de traction : Phénomène d'écrouissage



C'est l'augmentation de la contrainte d'écoulement au fur et à mesure de la déformation.

Paramètres influents

Influence de la déformation (écrouissage)

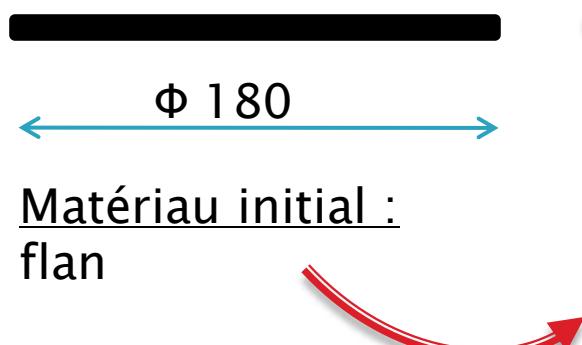


Paramètres influents

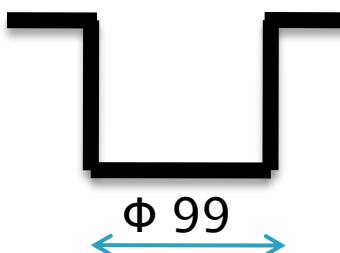
Influence de la déformation (écrouissage)

Application :

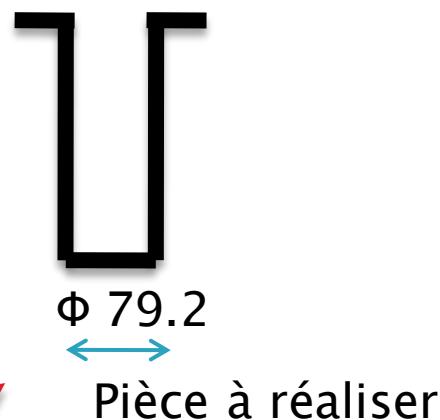
Il est demandé de réaliser un emboutissage de $\Phi 100$ en plusieurs passes (matériau XC 42) :



Première passe :
déformation plastique
→ écrouissage



N autres passes :
Plus d'écrouissage, si
on continue de
déformer → rupture de
la pièce



Solution



Paramètres influents

Influence de la déformation (écrouissage)

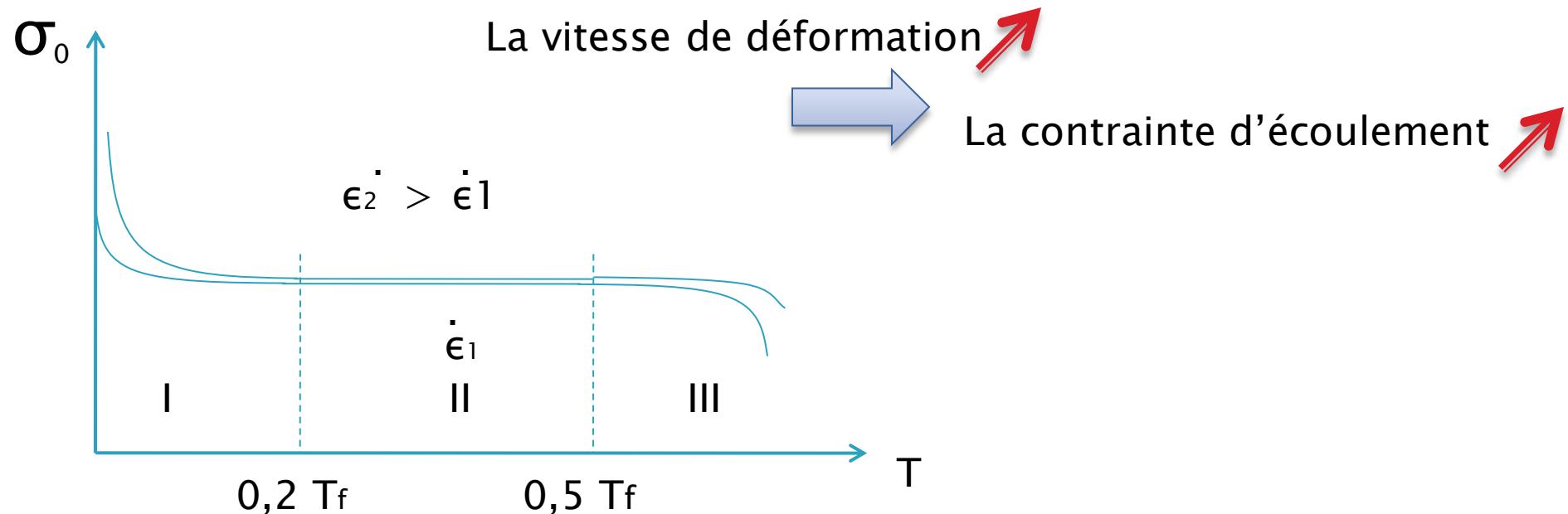
Application :

Il faut réaliser un essai d'emboutissage pour caractériser le matériau.

Choix du matériau, du procédé et du mode opératoire convenables.

Paramètres influents

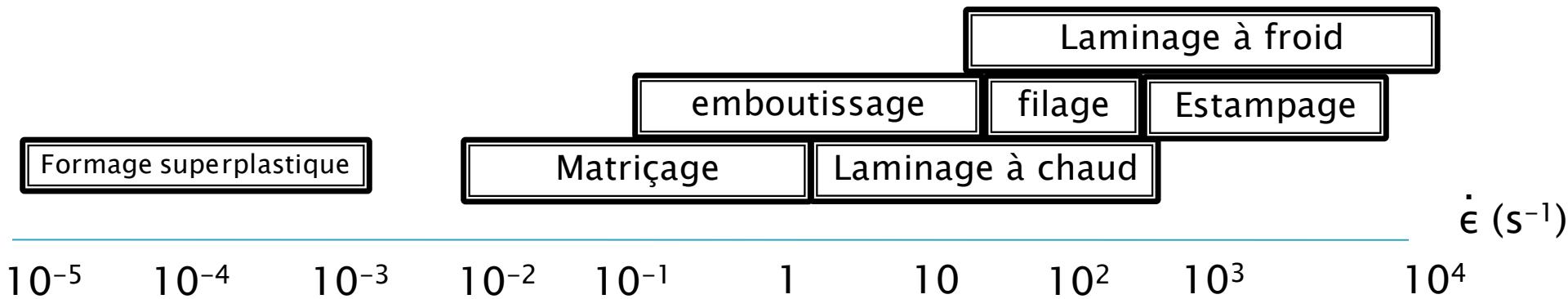
Influence de la vitesse de déformation



- A chaud, ce phénomène est beaucoup plus sensible,
- Etat pâteux (pâte) de la matière (rapproché à un fluide ayant une viscosité élevée)
- Comportement viscoplastique sensible à la vitesse d'écoulement .

Paramètres influents

Influence de la vitesse de déformation



Résumé

- A partir du cahier des charges client (dimensions, matériau, contraintes...),
- Tenir compte :
 - Du matériau utilisé (nuance, écrouissage ou pas, traitements thermiques...),
 - Du procédé avec lequel la pièce va être réalisée (type de machine, cadence, outillage...),
 - Des paramètres de fabrication (températures, vitesses, lubrification...)
 - Du mode opératoire (ex : nombre de passes, préchauffage, traitements thermiques pré et post-opératoires...),
- Contrôle de la qualité des pièces : (contrôle dimensionnel, état de surface, caractéristiques mécaniques et physico-chimique, paramètres esthétiques...)



Pliage des métaux en feuilles

Cours présenté par M.EL JAI
ENSAM-Meknès
2015/2016

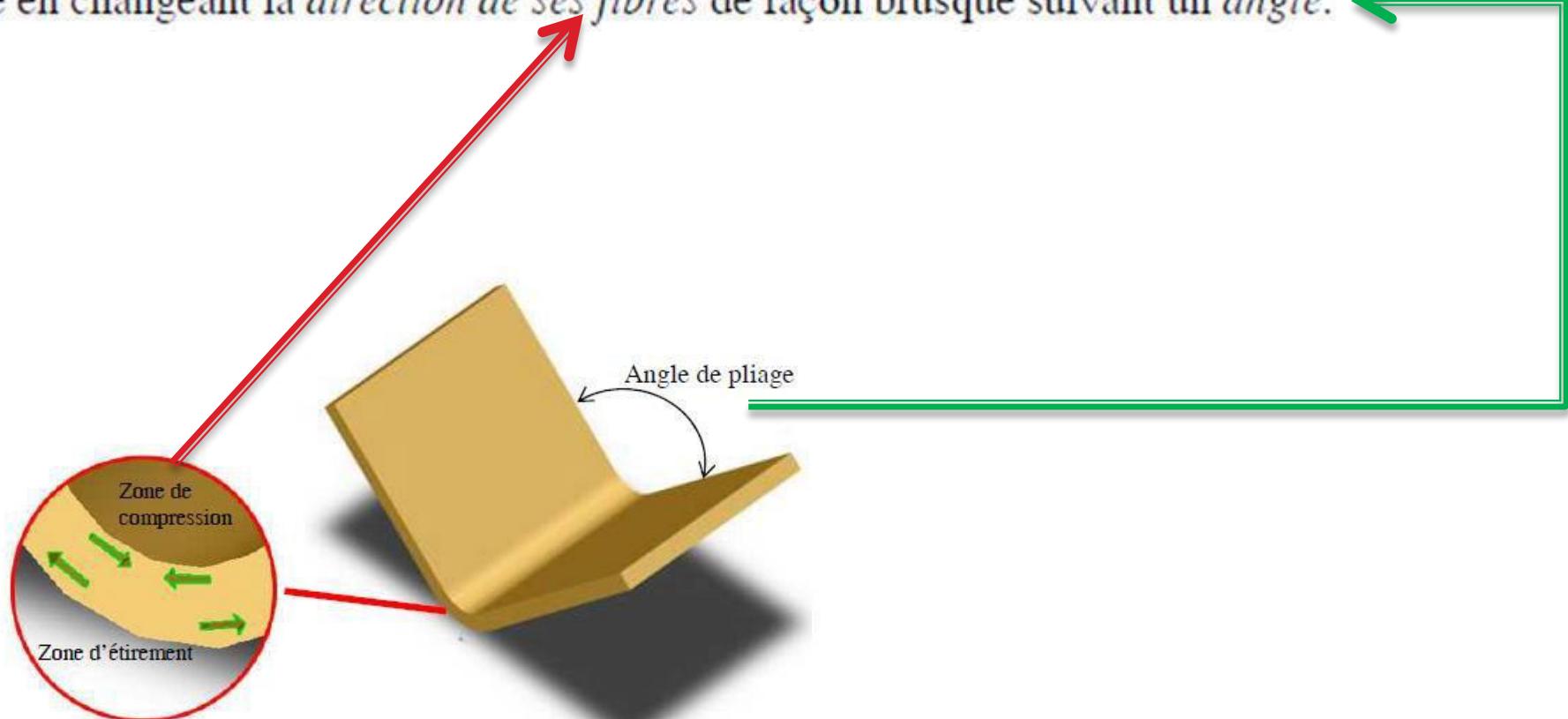
Introduction

Qu'est ce que le
pliage ?

Introduction

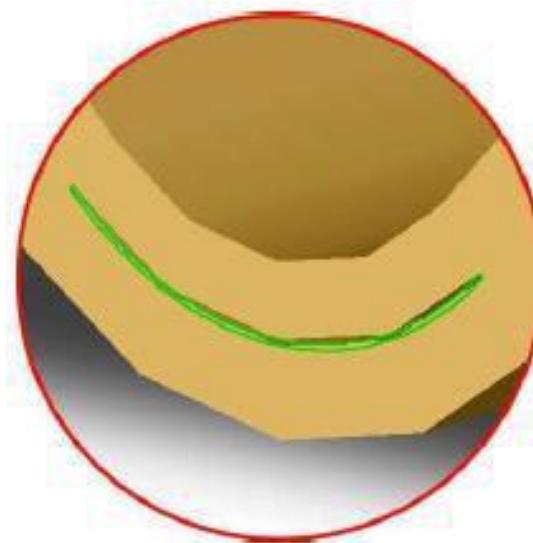
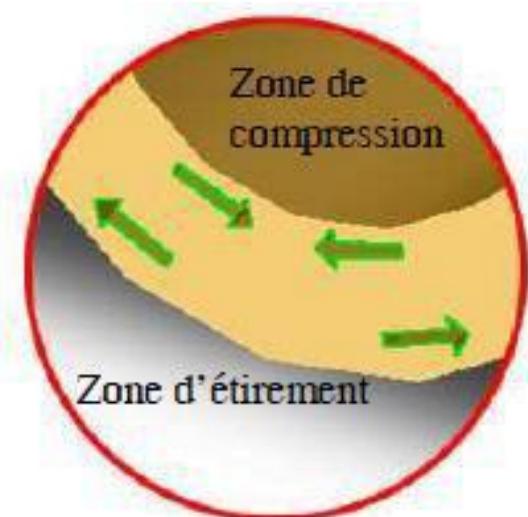
$< 0,2 \text{ Tf}$

Le pliage est une opération de *conformation à froid* qui consiste à déformer une tôle plane en changeant la *direction de ses fibres* de façon brusque suivant un *angle*.



1. Au niveau des fibres, que se passe-t-il?

Entre les deux zones de déformations, la fibre neutre qui ne subit aucun allongement ni raccourcissement sera la base de notre calcul de la *longueur développée*.

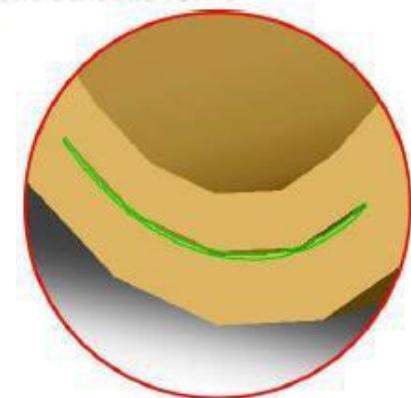


Fibre neutre

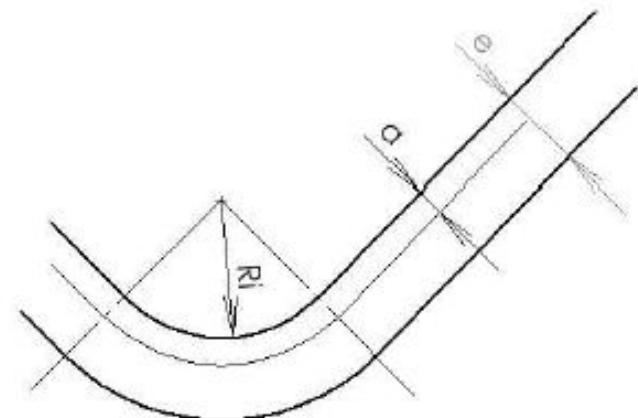
1. Au niveau des fibres, que se passe-t-il?

En effet, si nous savons déterminer la longueur de cette fibre qui ne subit aucune déformation après pliage, nous trouverons la longueur de la tôle avant pliage.

- Tableau du positionnement de la fibre neutre :
Elle se situe à la distance *a* du bord intérieur.
Suivant le rapport R_i/e , a varie comme suit:

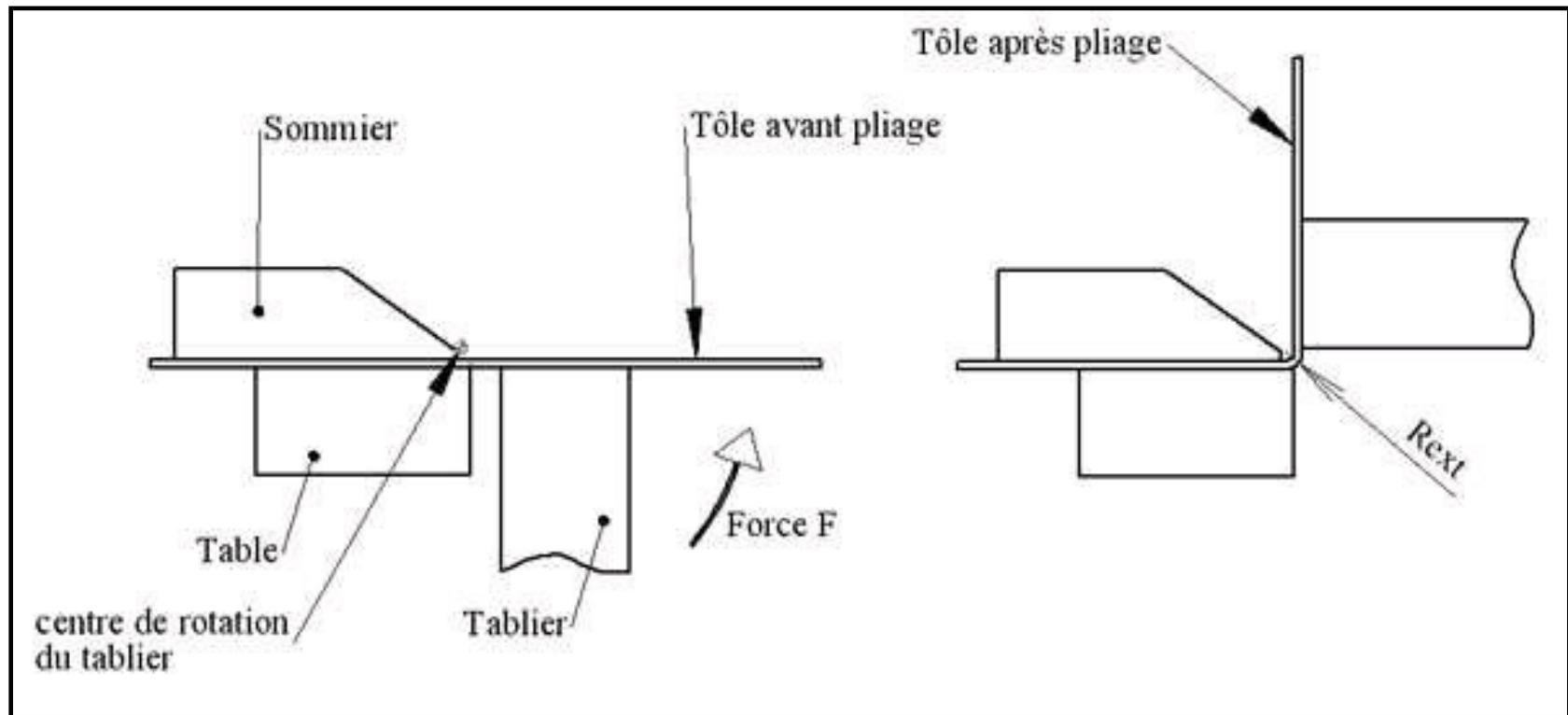


R_i / e	environ 1	environ 2	environ 3
a	$e/3$	$2e/5$	$e/2$



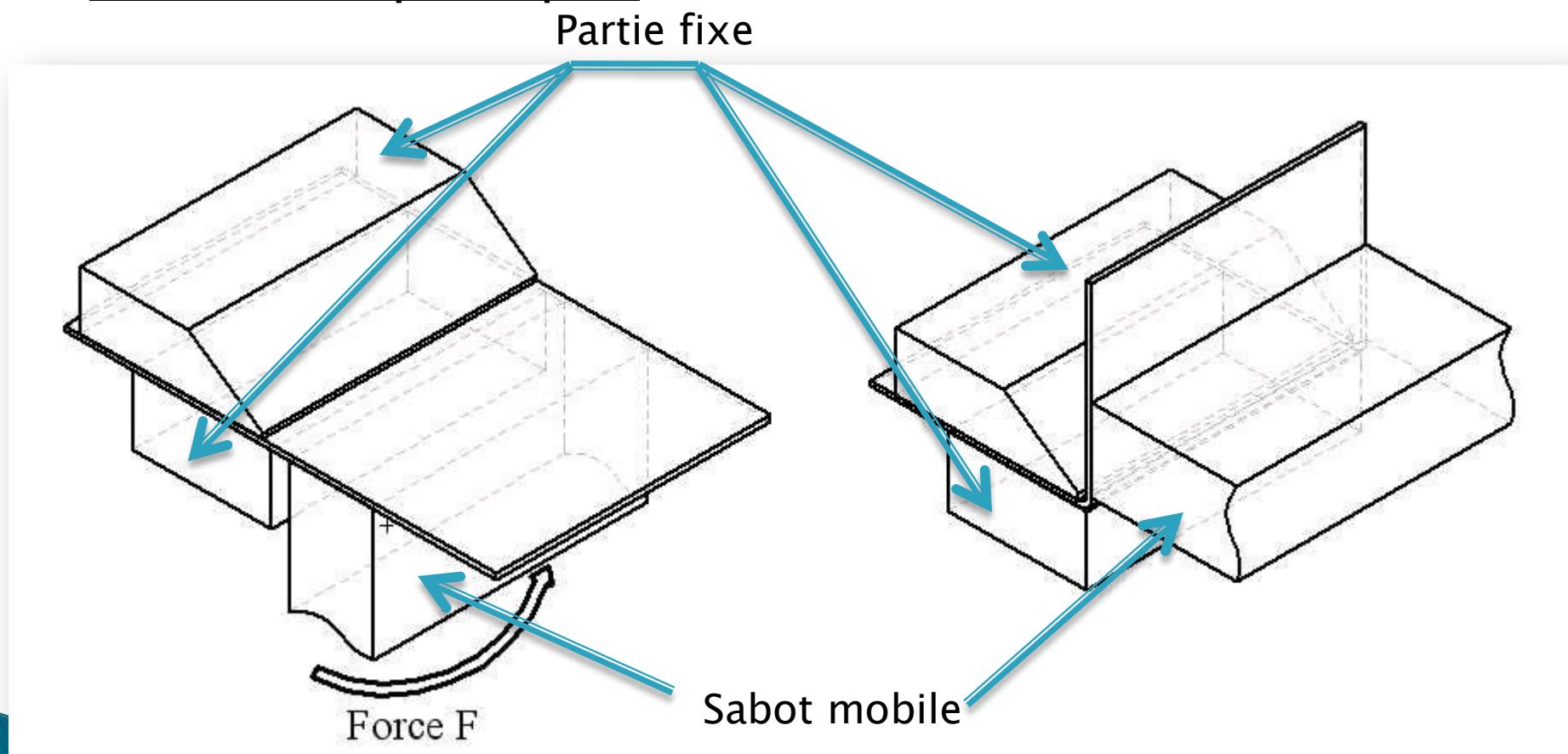
2. Types de pliage (plieuse à tablier)

Schéma de principe :



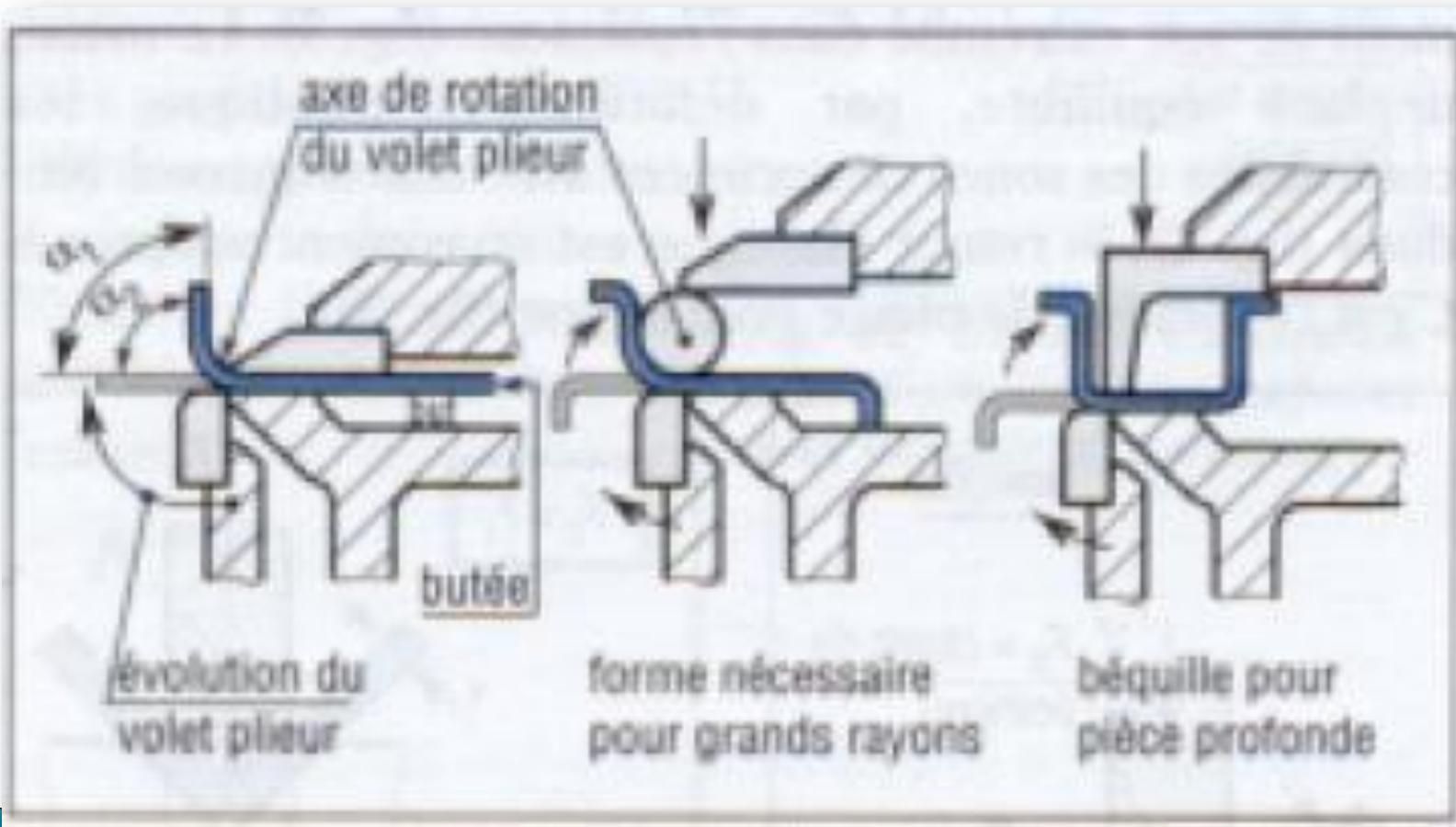
2. Types de pliage (plieuse à tablier)

Schéma de principe :



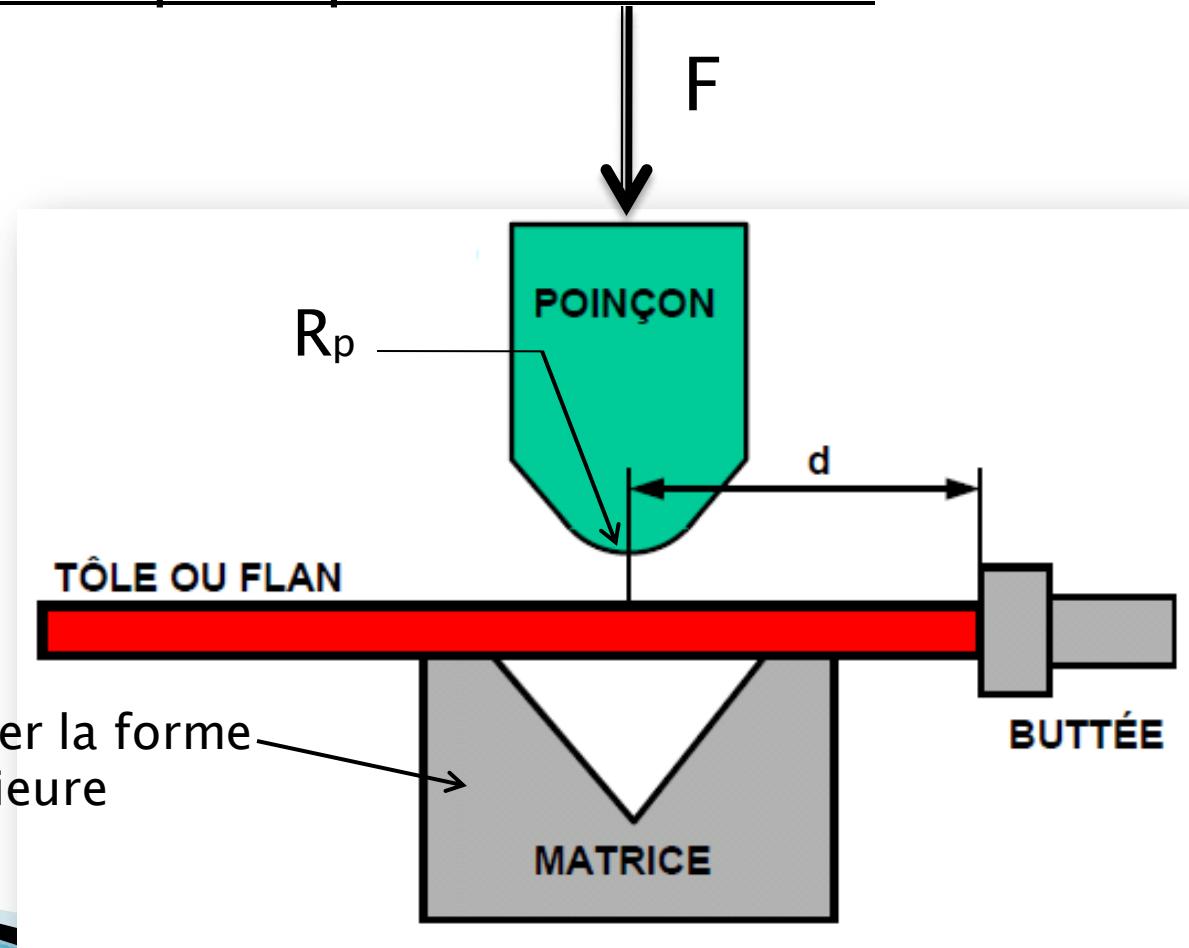
2. Types de pliage (plieuse à tablier)

Réalisation de pli à rayon important ou de profondeur :



2. Types de pliage (plieuse en V)

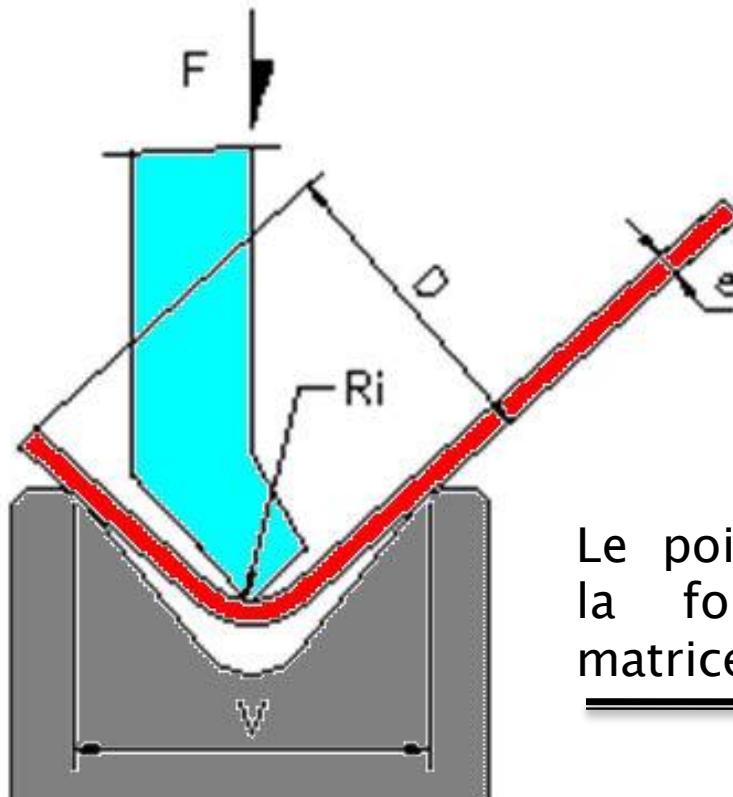
Schéma de principe et définitions :



2. Types de pliage (plieuse en V)

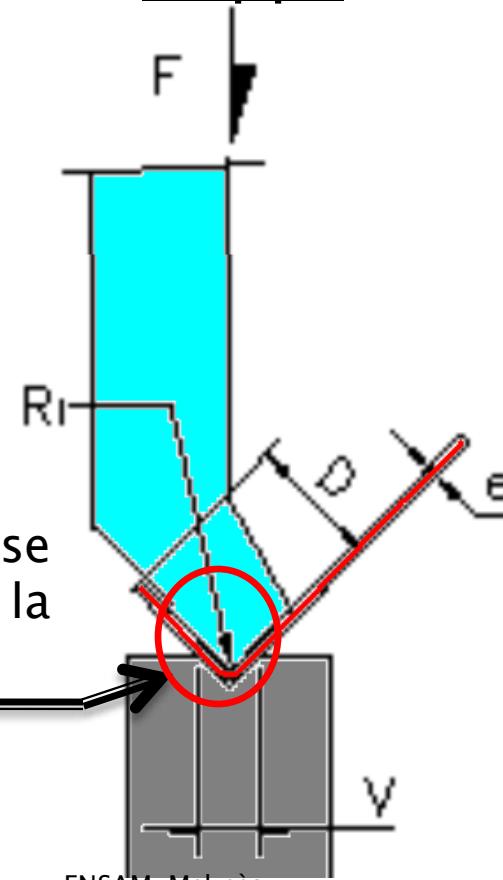
Schéma de principe et définitions :

Pliage en l'air



Le poinçon épouse
la forme de la
matrice

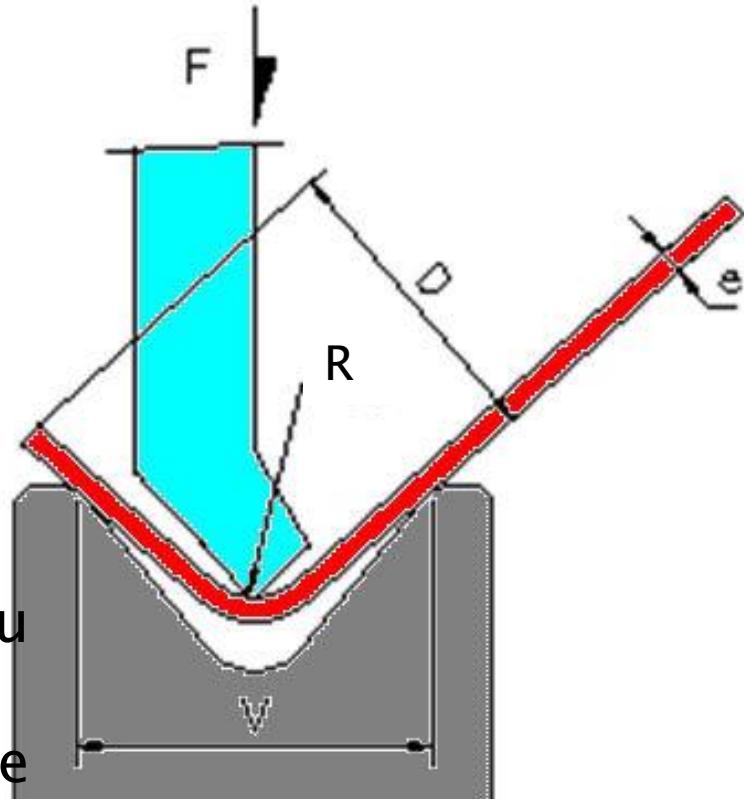
Pliage avec
frappe



2. Types de pliage (plieuse en V)

Pliage en l'air

- La force de pliage F dépend :
 - ✓ du métal à plier
 - ✓ du rayon de pliage R
 - ✓ de la largeur du V
 - ✓ de la longueur du pli L
 - ✓ de l'épaisseur de la tôle
- Le rayon R est supérieur au rayon du poinçon R_p
 - Le retour élastique doit être compensé par un angle de pliage plus petit que l'angle final.

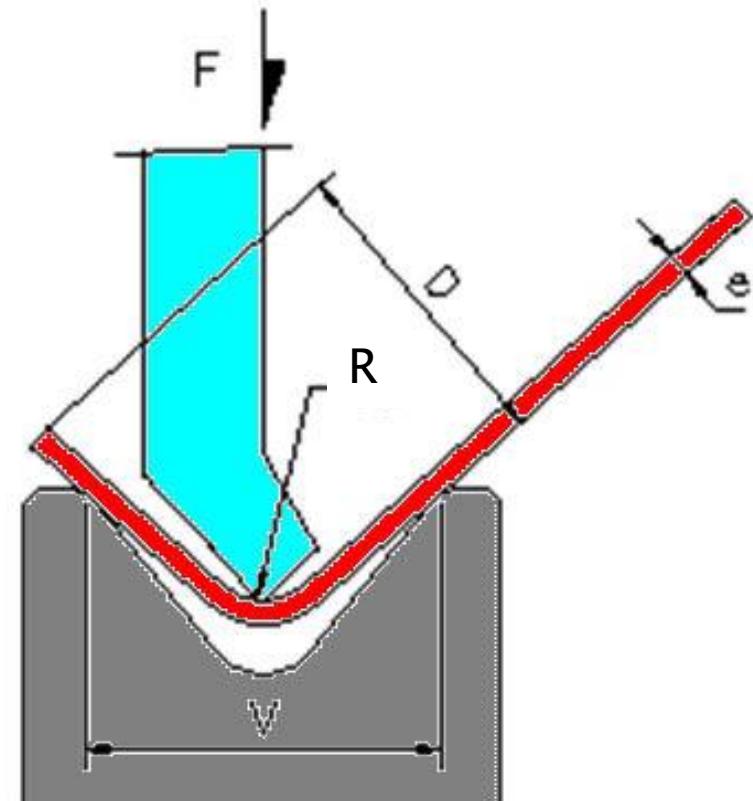


2. Types de pliage (plieuse en V)

Pliage en l'air

- Formule pratique :

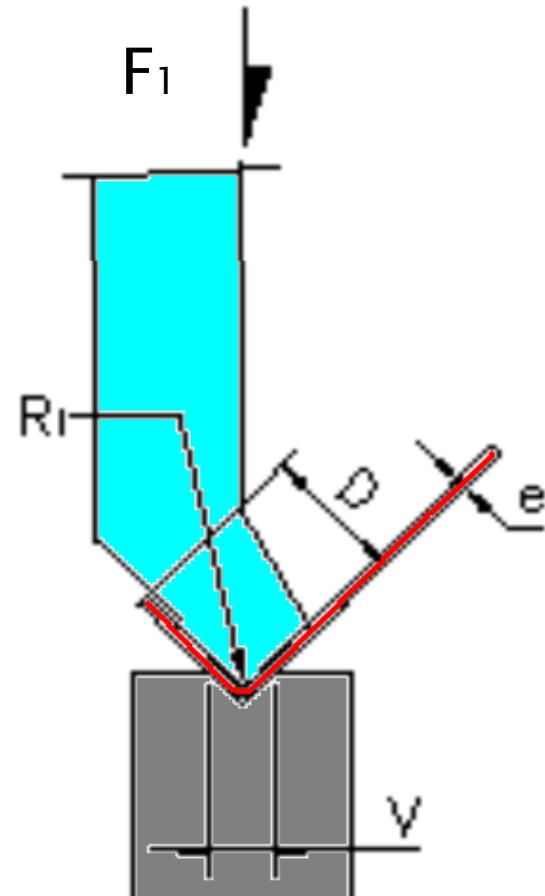
$$F = 5 L e^2 R_m / 3V$$



2. Types de pliage (plieuse en V)

Pliage avec frappe

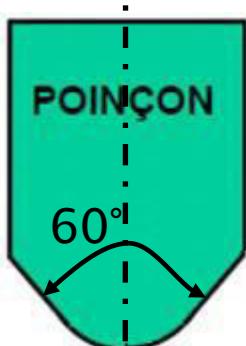
- F_1 est plus grande que F
- En pratique on calcule F et on prend $F_1 = 2 \text{ à } 2,5 F$



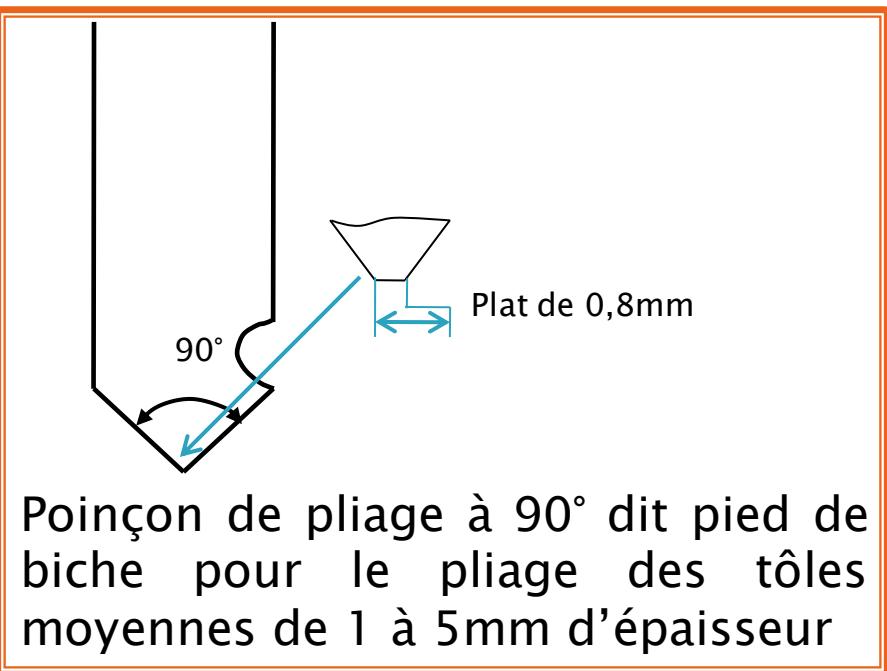
2. Types de pliage (plieuse en V)

Outillage : exemple de poinçon de pliage

la forme des poinçons est adaptée à l'épaisseur des tôles à plier et à la dimension des rayons de pliage :



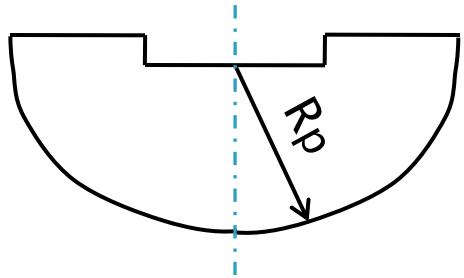
Poinçon de pliage à 60° pour le pliage des tôles fortes de 5 à 10mm d'épaisseur



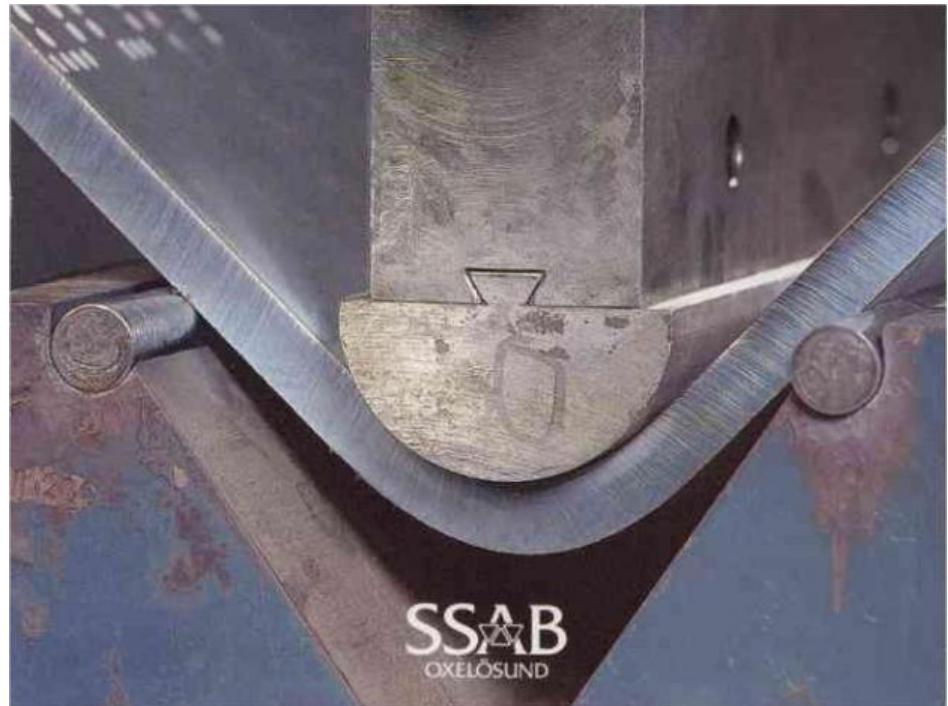
Poinçon de pliage à 90° dit pied de biche pour le pliage des tôles moyennes de 1 à 5mm d'épaisseur

2. Types de pliage (plieuse en V)

Outillage : exemple de poinçon de pliage

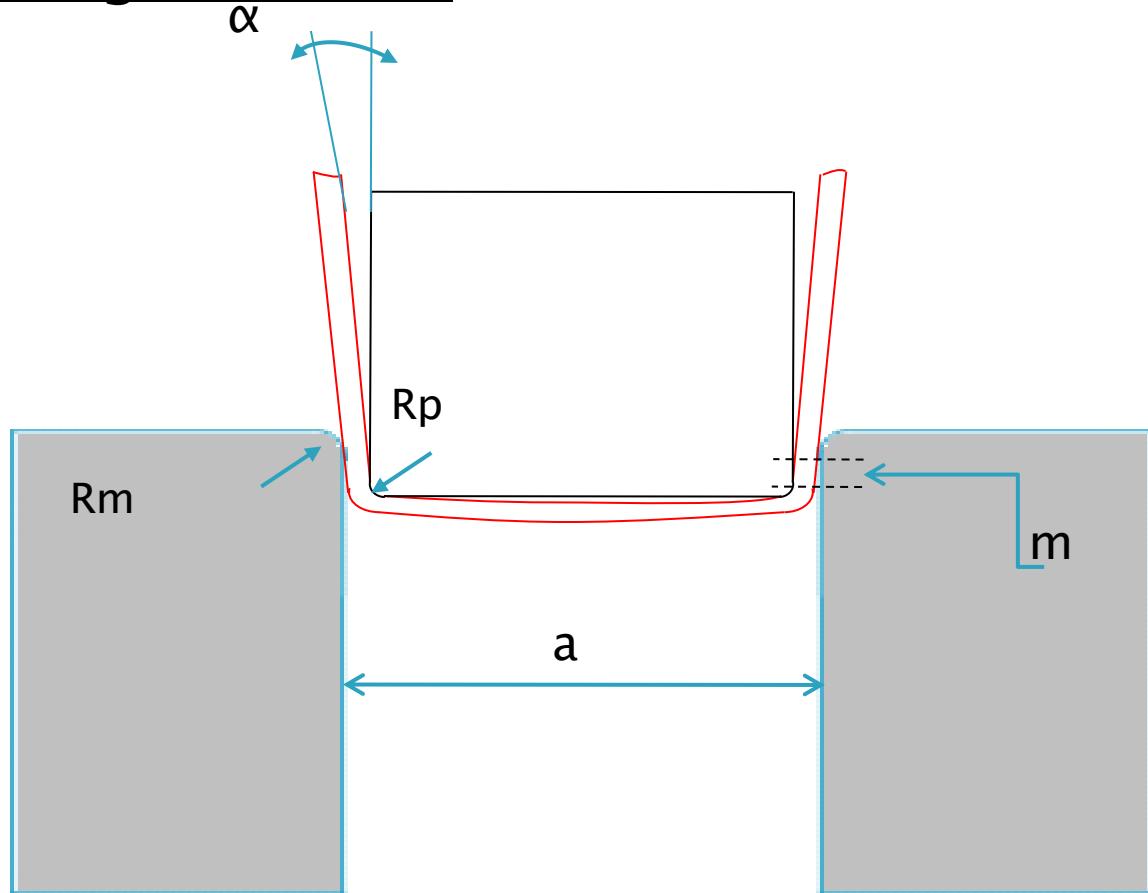


Pour le pliage des tôles fortes d'épaisseur supérieure à 10mm les rayons R_p sont importants. Varient entre 10 à 30 mm



2. Types de pliage (plieuse en U)

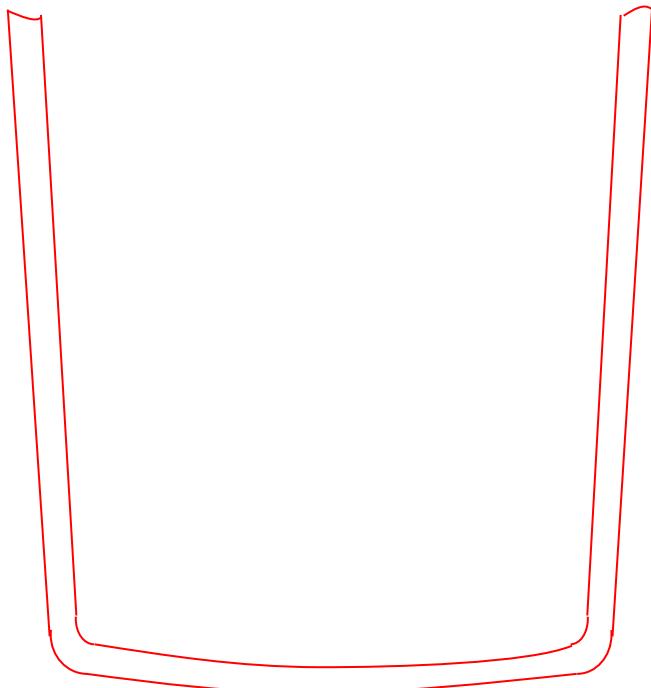
Pliage en l'air :



Rm: Rayon matrice
Rp : rayon poinçon
m : croisement
 $m=4e$
 α : rémanence
a : largeur du pli
L : Longueur du pli
H : course de pliage

2. Types de pliage (plieuse en U)

Pliage en U en l'air :

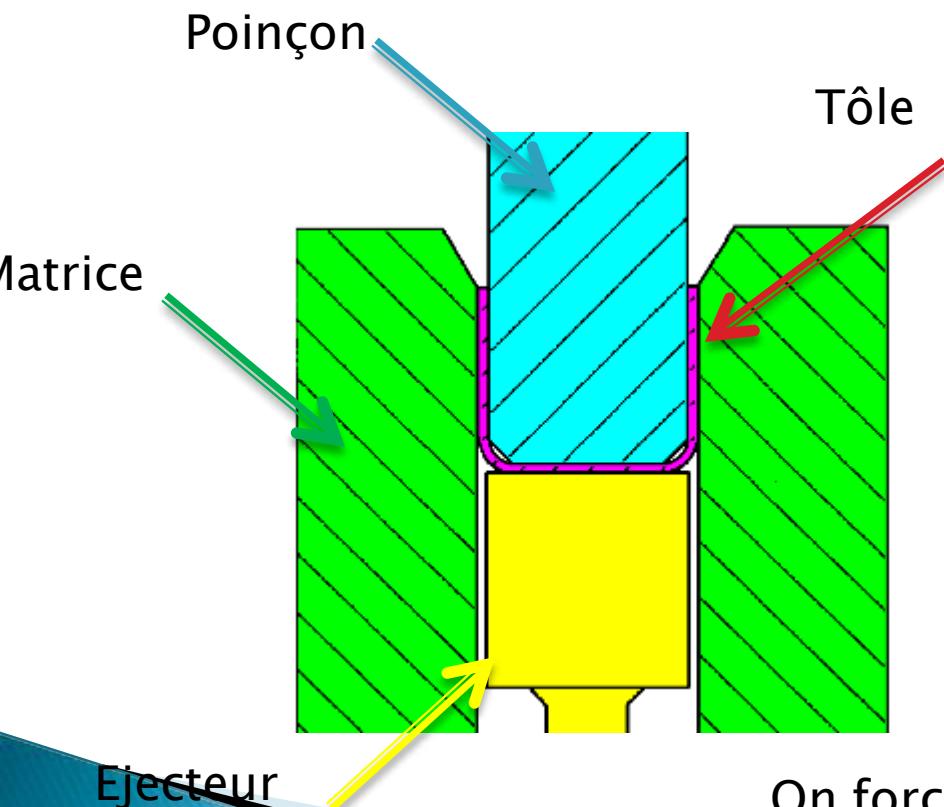


- Le fond de la pièce est bombé,
- L'effort de pliage est donné par la formule pratique :
$$F = \frac{2}{3} R_m L e (1 + e/a)$$

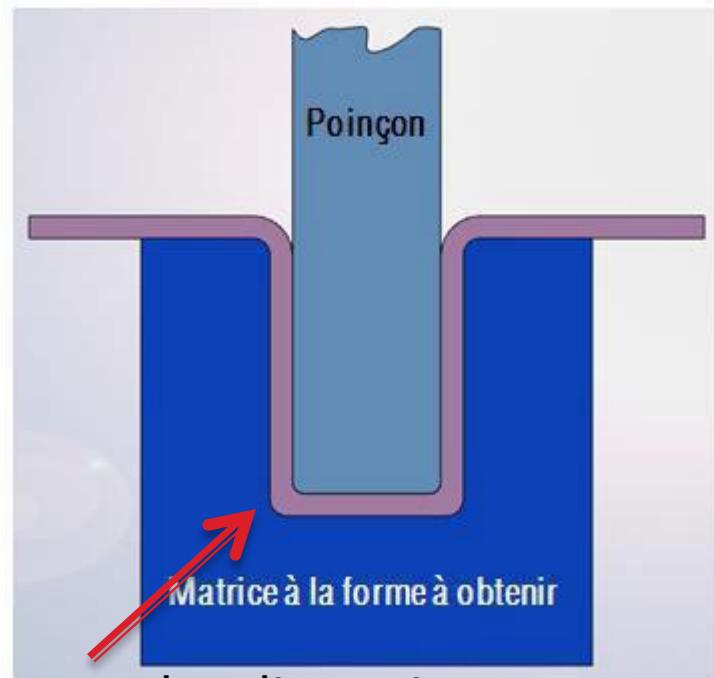
2. Types de pliage (plieuse en U)

Pliage en U avec frappe :

Frappe au fond de la pièce



Frappe sur les rayons de pliage

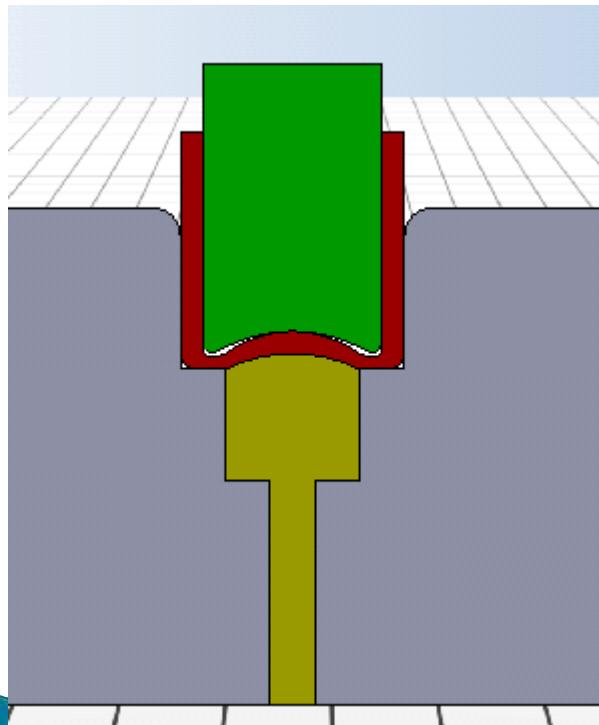


On force la forme et les dimensions des rayons extérieurs des plis

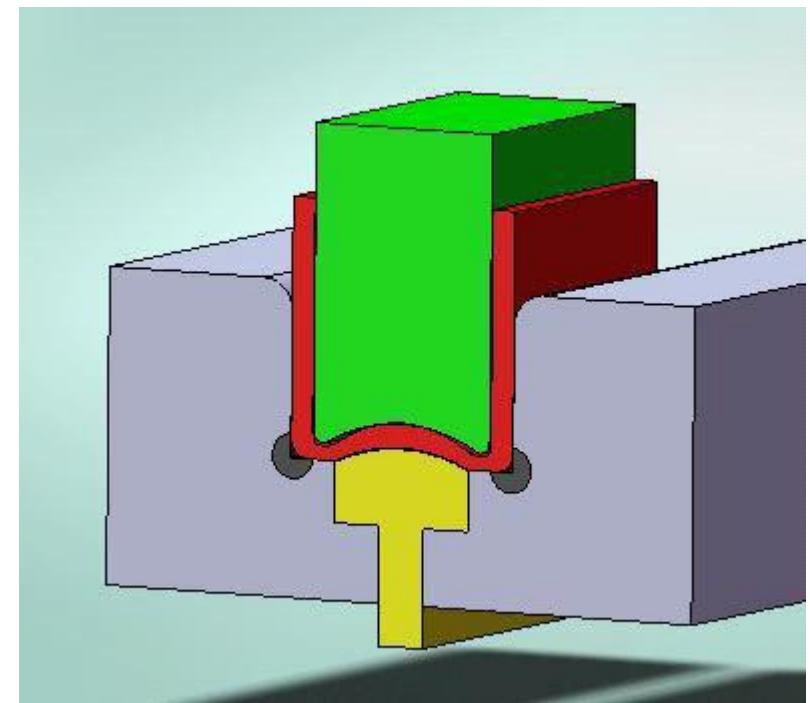
2. Types de pliage (plieuse en U)

Pliage en U avec frappe :

Fléchissement sur fond de matrice



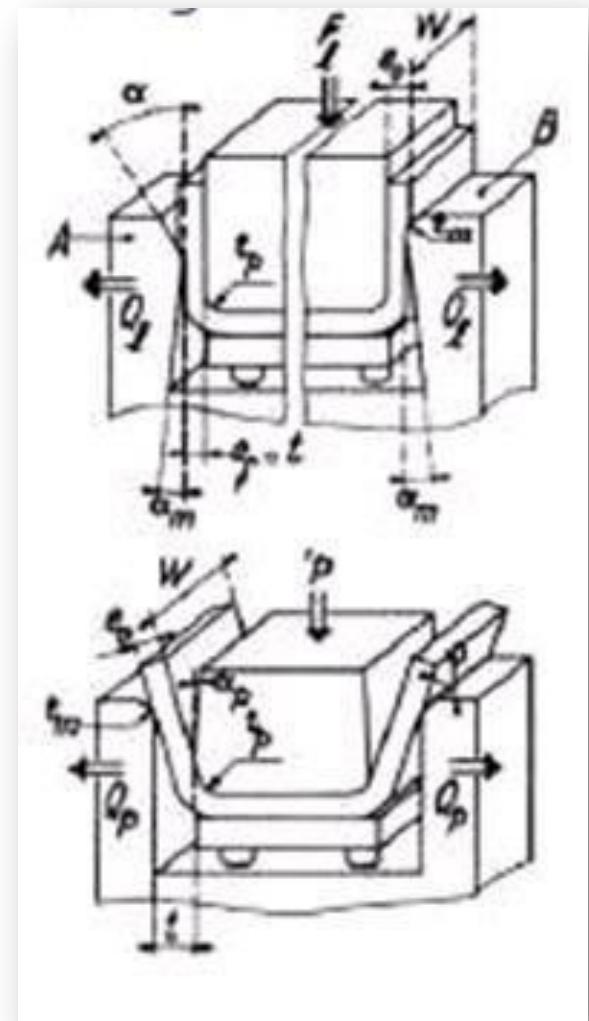
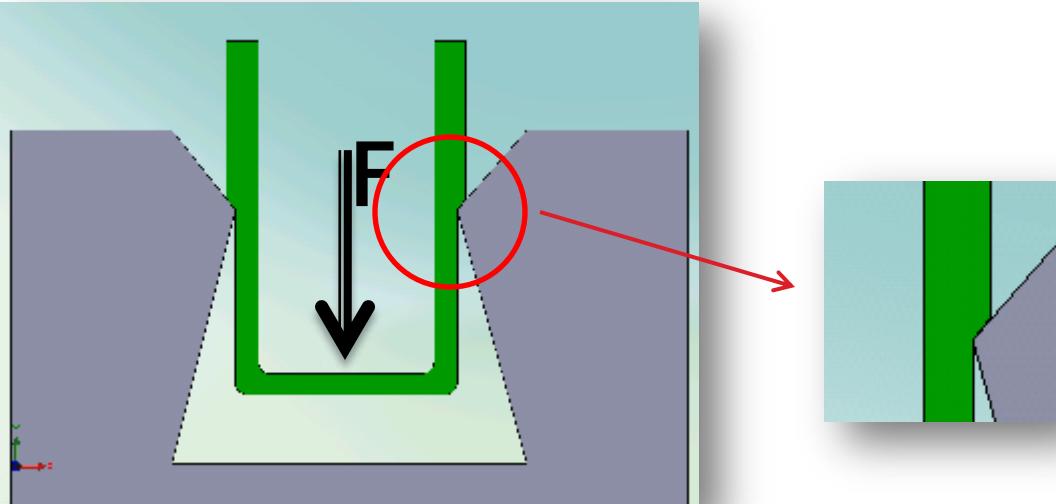
Fléchissement sur élastomère



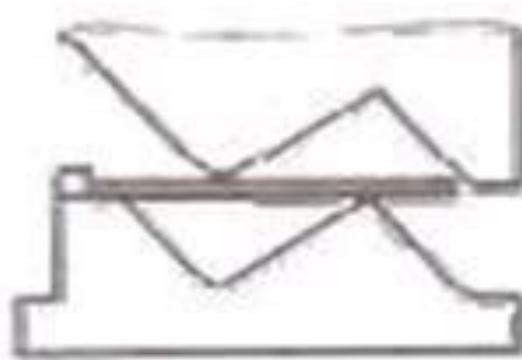
2. Types de pliage (plieuse en U)

Pliage en U avec frappe :

Pliage en U avec étirage



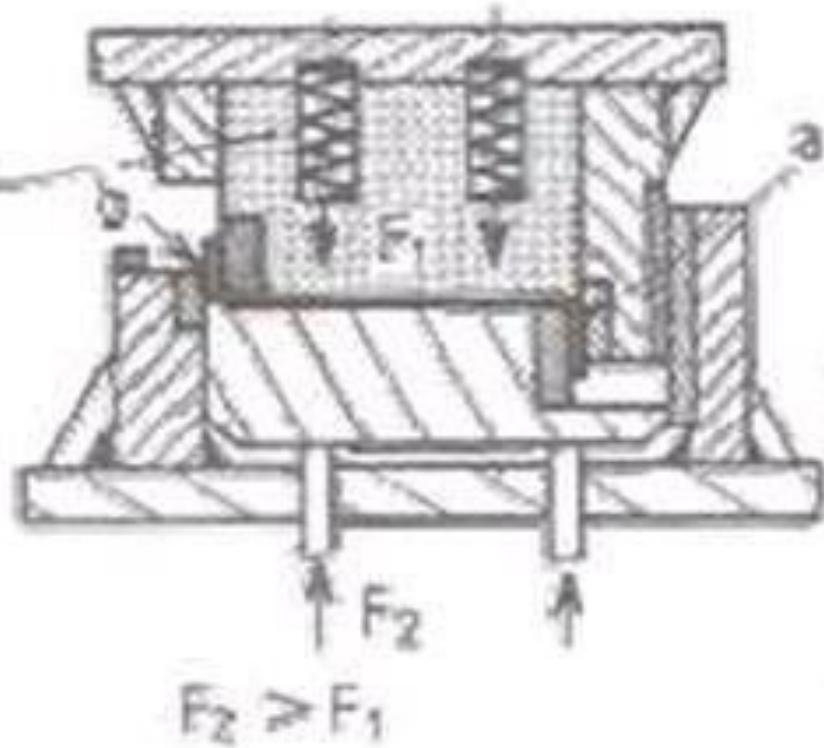
2. Types de pliage (pliageen Z)



simple...flex



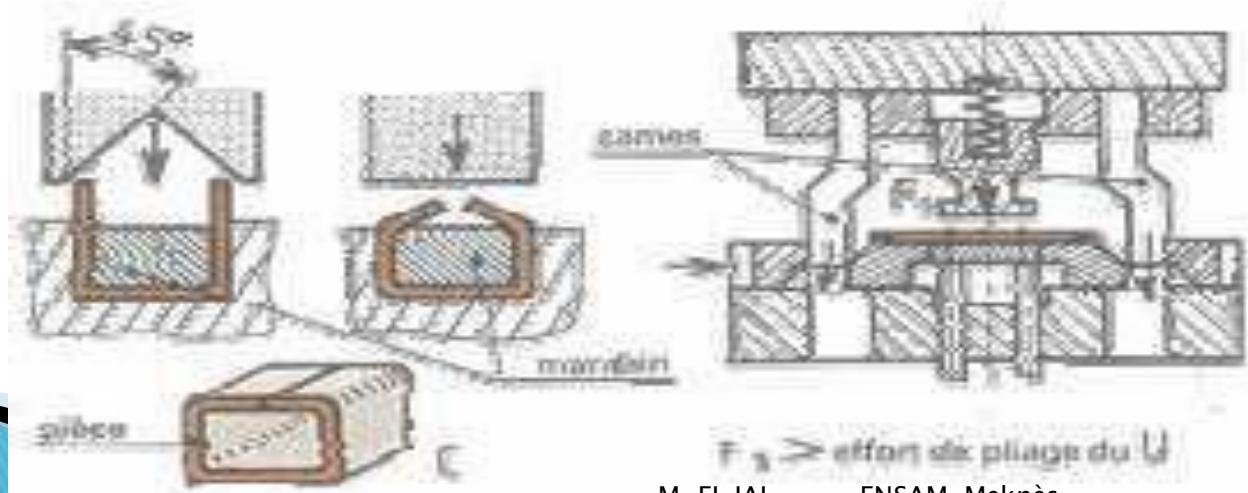
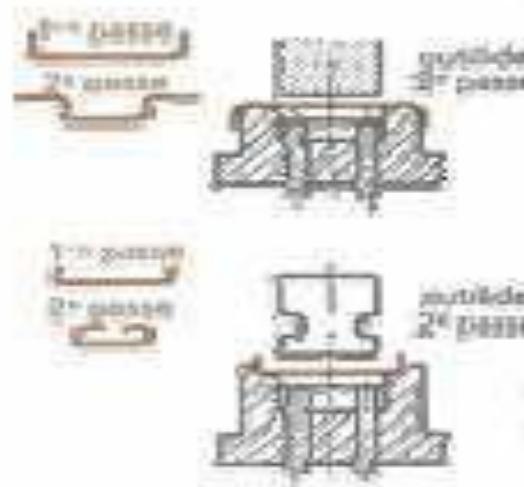
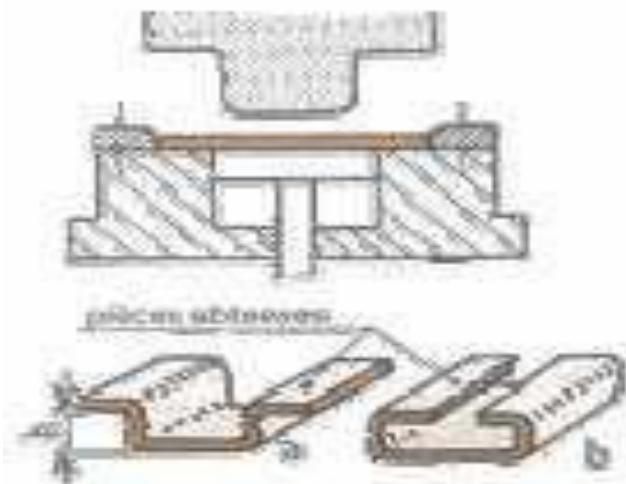
pince étrangle



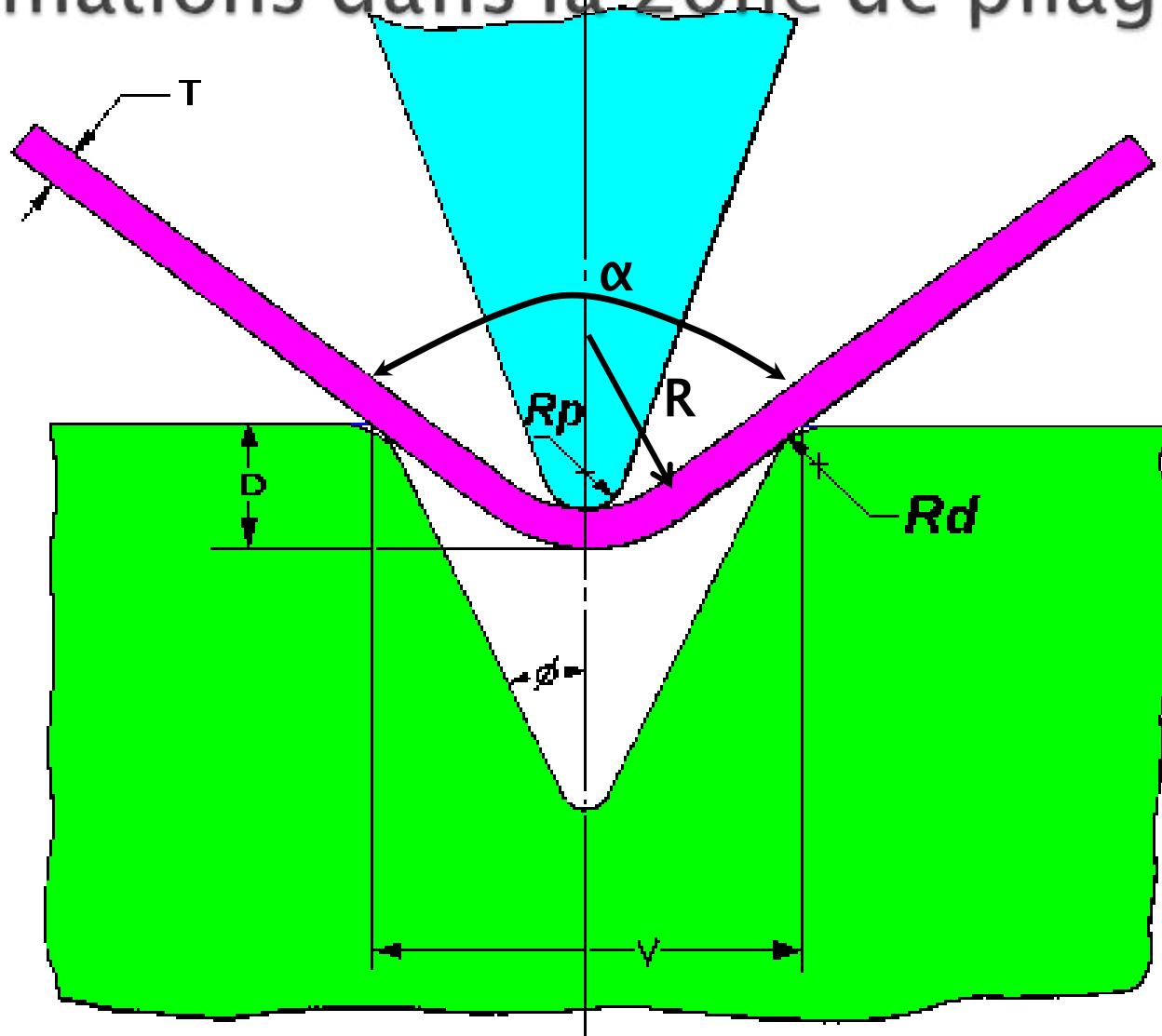
$$F_2 \geq F_1$$

2. Types de pliage (profilage)

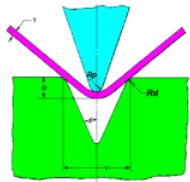
Réalisation de profil fermés ou semi-fermés :



3. Etude des contraintes et des déformations dans la zone de pliage



3. Etude des contraintes et des déformations dans la zone de pliage



- La fibre extérieure de la tôle est allongée.
On l'appelle **fibre tendue**.
- La fibre qui ne subissant ni allongement ni raccourcissement est appelée **fibre neutre**.
- on suppose (comme hypothèse) que la fibre neutre est à mi-épaisseur de la tôle.
- Le rayon de pliage de la fibre neutre est $R+e/2$.

3. Etude des contraintes et des déformations dans la zone de pliage

Soit L la longueur de la fibre tendue

$$L = \alpha (R + e)$$

Soit l la longueur de la fibre neutre

$$l = \alpha (R + e/2)$$

Avec α l'angle de pliage en radian

$$\text{Allongement } A\% = \frac{(L - l)}{l} = \alpha \frac{(R+e) - \alpha(R+e/2)}{\alpha(R + e/2)} \times 100$$



$$A\% = \frac{e}{2 R + e} \times 100$$

3. Etude des contraintes et des déformations dans la zone de pliage

Pratiquement : la fibre neutre se déplace en fonction du rapport R/e

Si $R/e \gtrsim 3$

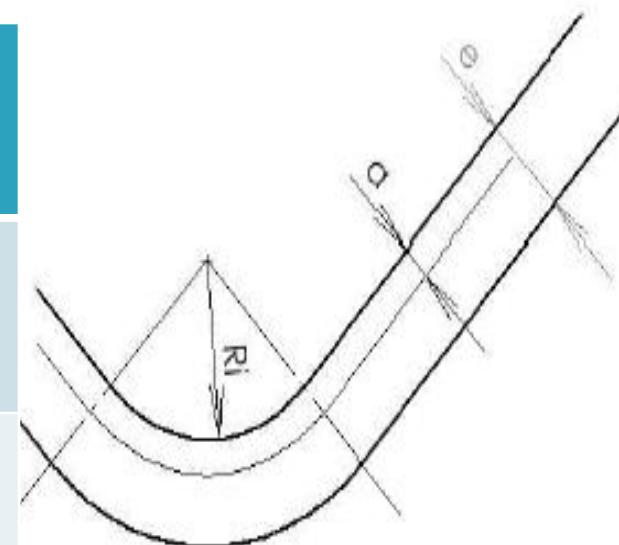
$$V \approx e/2$$

Si $R/e \approx 2$

$$V \approx 2e/5$$

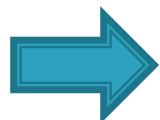
Si $R/e \approx 1$

$$V \approx e/3$$

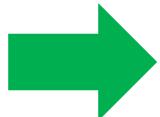


Modification des formules : $L = R+e$ et $I = R+v$

3. Etude des contraintes et des déformations dans la zone de pliage



$$A\% \text{ géométrique} = [(e-v)/(R+v)] \times 100$$



$A\% \text{ géométrique} < A\% \text{ admissible par la tôle}$
(matériaux)

La pièce peut être
réalisée

4. Conduite d'une étude de pliage

Situation 1 : rayon de pliage imposé par le dessin de définition

Vérifier : si $A\% < 0,8 \%A$ (allongement du matériau)

sinon modifier la nuance de la tôle ou le dessin (rayon) de la pièce tel que R mini réponde aux conditions suivantes :

$$A\% = (e - v) / (R + v) \rightarrow R = (e - v) / A\% - v$$

4. Conduite d'une étude de pliage

Situation 2 : le rayon n'est pas imposé

- Calcul du rayon mini admissible par la tôle
- Calcul du V : ouverture de la matrice : $V=6$ à 8 e
- Choix du rayon directement supérieur

4. Conduite d'une étude de pliage

Il existe plusieurs sortes, souvent dépendants des machines utilisées (Presse plieuse Amada, LVD, Colly, etc. ...). L'abaque suivant est tiré d'une presse-plieuse Promécam.

	6	8	10	12	16	20	25	35	40	50	63	V
	4	5,5	7	8,5	11	14	17, 5	22	28	35	45	b mini
Ep.	1	1,3	1,6	2	2,6	3,3	4	5	6,5	8	10	r i
1	110	80	70									
1,5			150	130	90							
2				220	170	130						
2,5					260	210	170					
3						300	240	190				
4							420	340	270			
5								520	420	330		
6									600	480	380	F (Kn/m)

5. Correction du retour élastique

- On cherche à obtenir un angle de pliage α et un rayon de pliage R.
- On réalise une angle α_1 et le rayon R_1 :

$$\alpha_1 = K \alpha$$

et

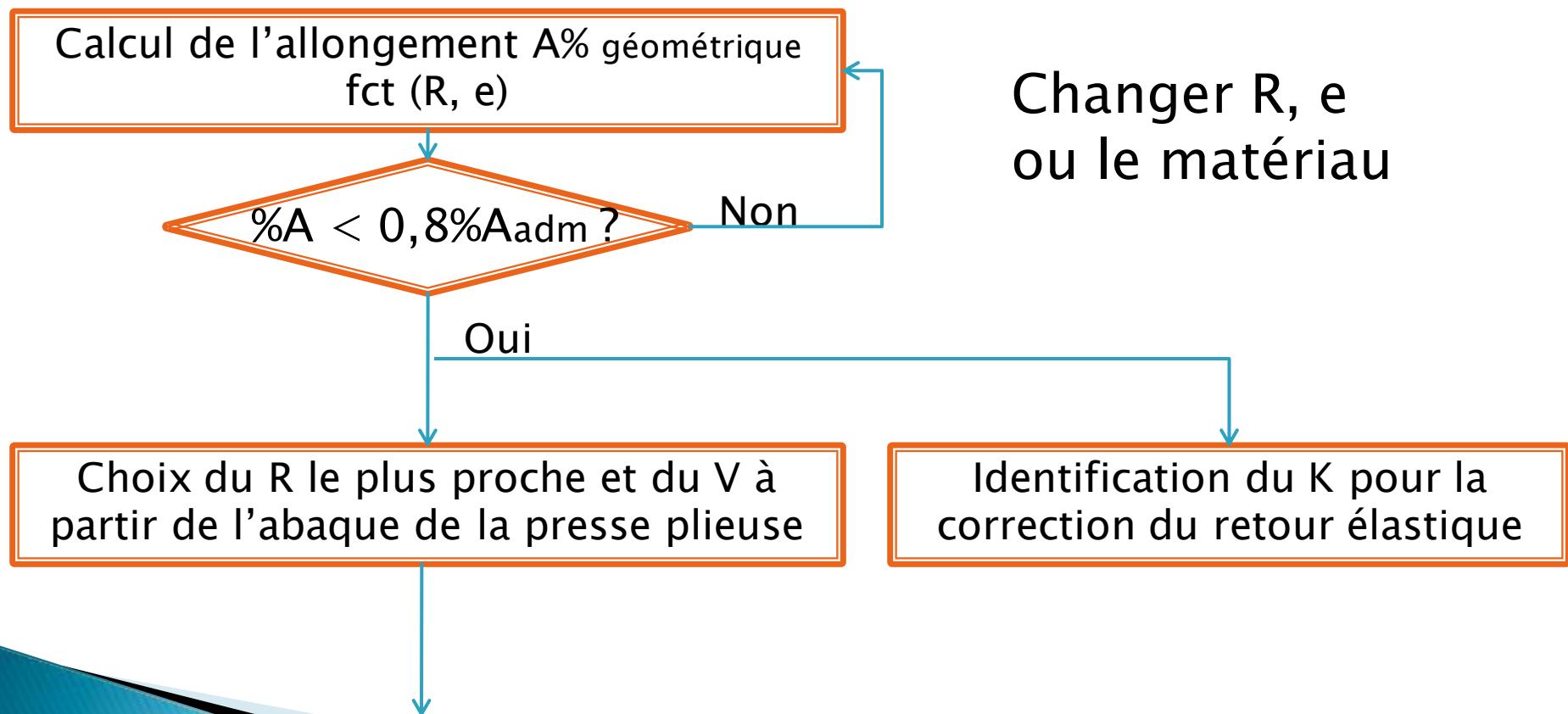
$$R_1 = K R$$

K

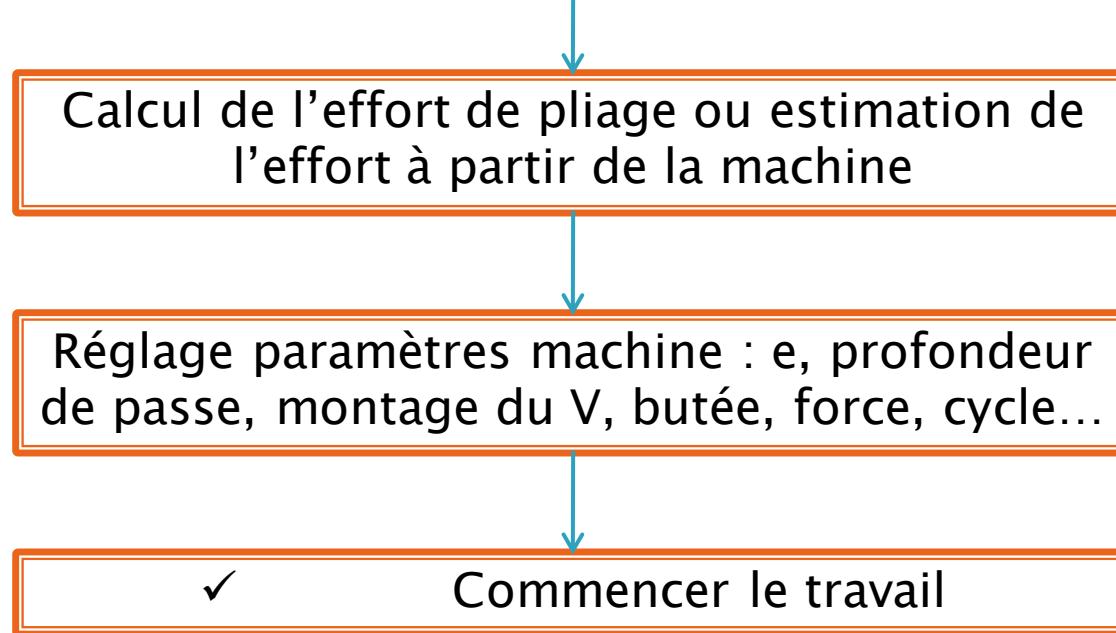
		alu	Acier doux	laiton
R/e	1	0,99	0,99	0,98
	2	0,99	0,99	0,97
	4	0,99	0,98	0,95
	10	0,99	0,95	0,92
	40	0,96	0,85	0,82

Résumé

A partir du cahier des charges client (dimension et matériau) :



Résumé



Des Questions?

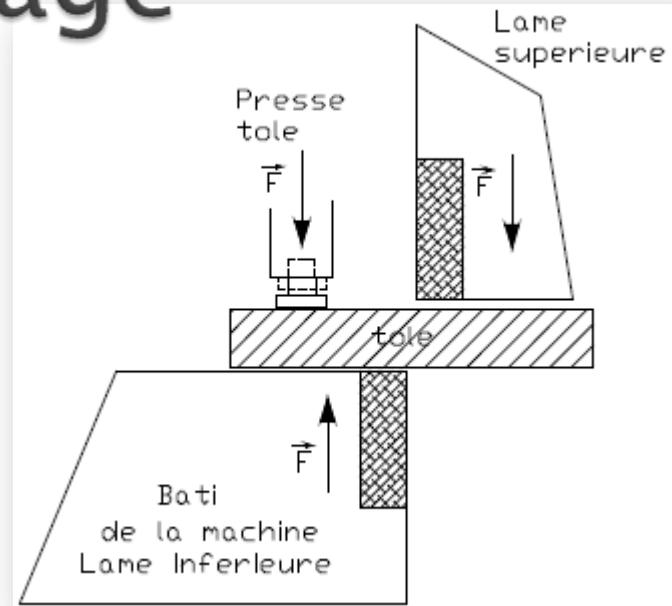
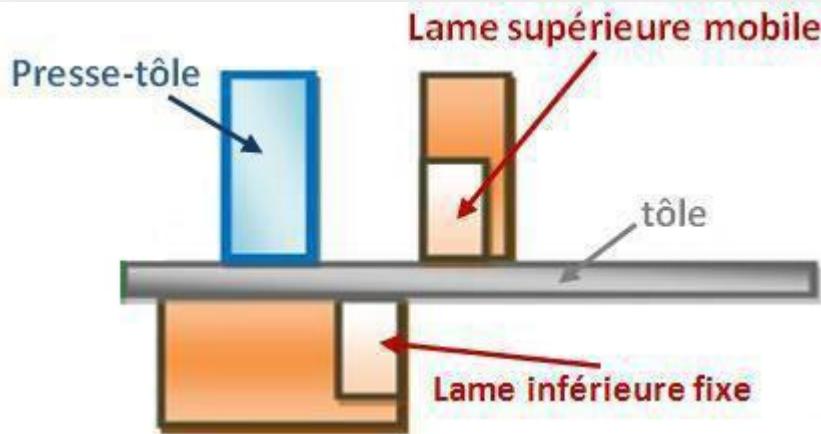




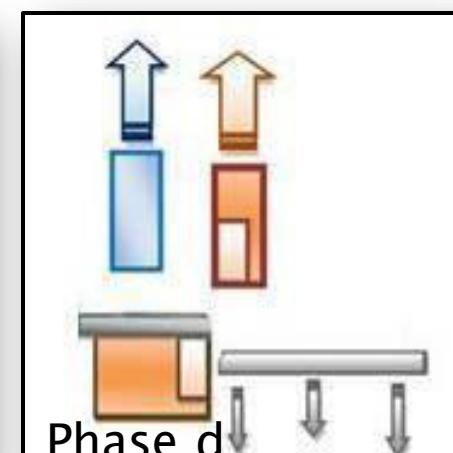
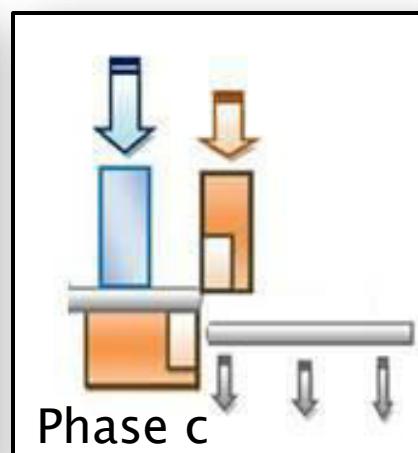
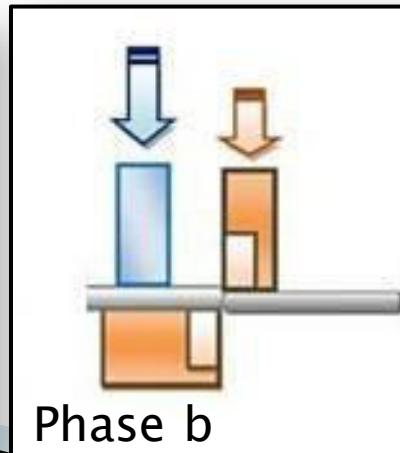
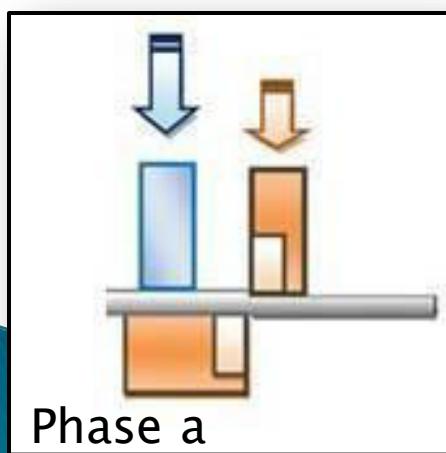
Cisaillage et poinçonnage des métaux en feuilles

Cours présenté par M.EL JAI
ENSAM-Meknès
2015/2016

1. Principe du cisailage



Séquence de déroulement d'une opération de cisailage



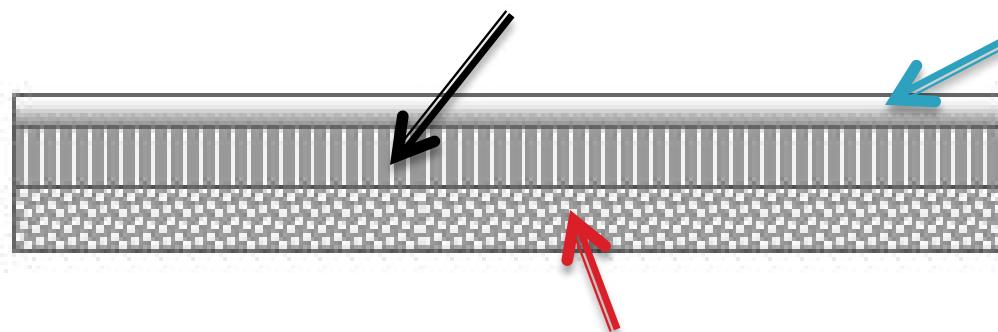
2. Etude de déformations

Sous l'action des contraintes imposées par la partie active de la lame, il se produit :

1. une déformation élastique
2. une déformation plastique ponctuelle
3. une apparition de fissures et propagation
4. une phase d'arrachement final

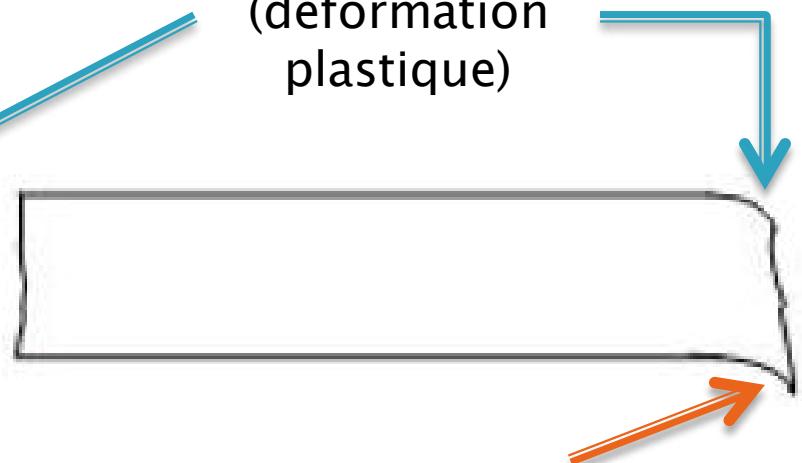
2. Etude de déformations (Aspect d'une coupe)

zone lisse et brillante caractérisée par des stries parallèles fines (cisaillement)



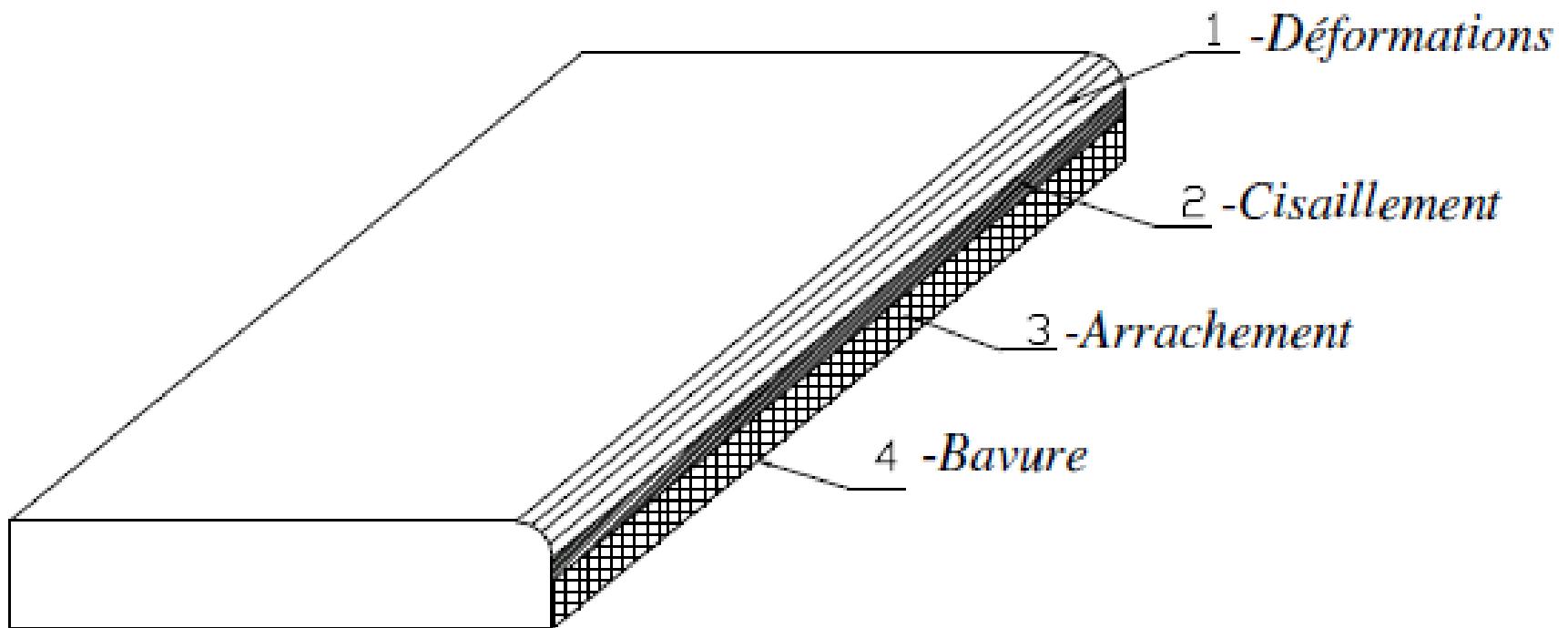
zone d'aspect rugueux ⇔ zone de rupture d'une éprouvette de traction

Zone arrondie (déformation plastique)

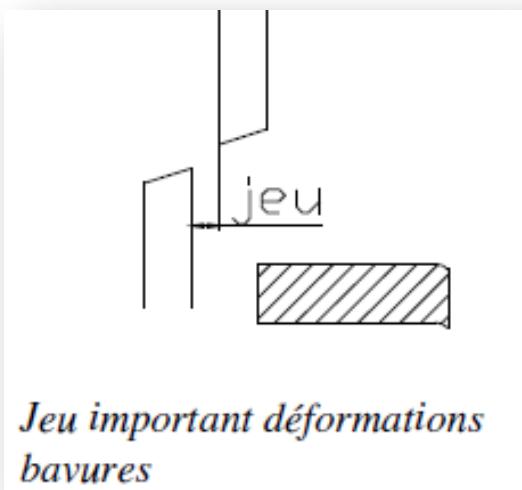


Bavure

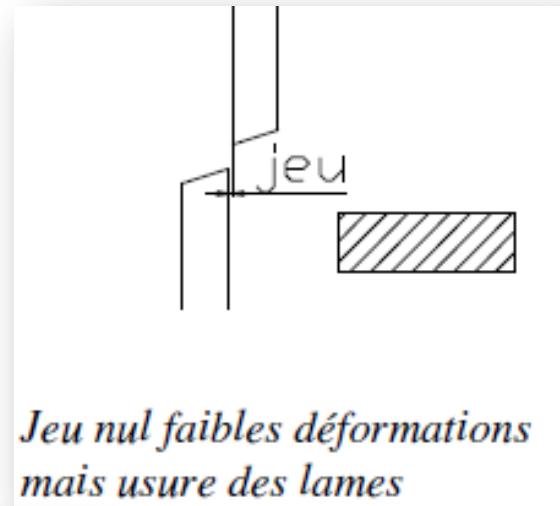
2. Etude de déformations (Aspect d'une coupe)



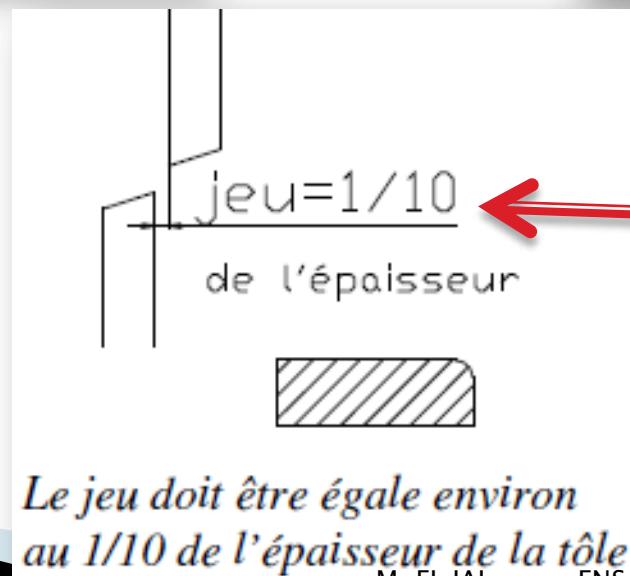
3. Paramètres de cisaillement (jeu entre les lames)



Jeu important déformations bavures



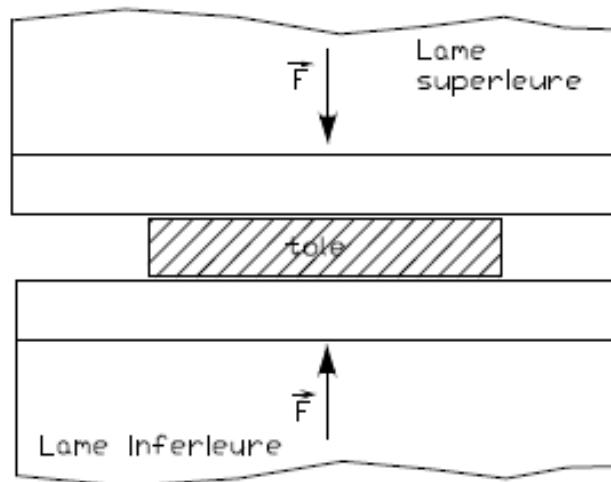
Jeu nul faibles déformations mais usure des lames



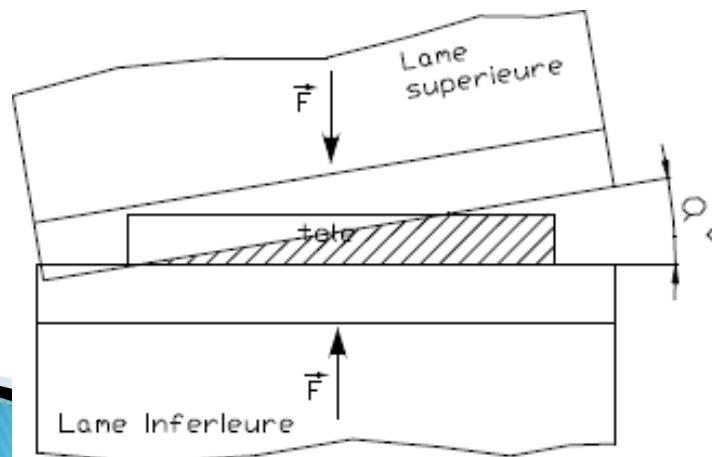
En fonction du matériau

Le jeu doit être égale environ au 1/10 de l'épaisseur de la tôle

3. Paramètres de cisaillement (Angle d'attaque)

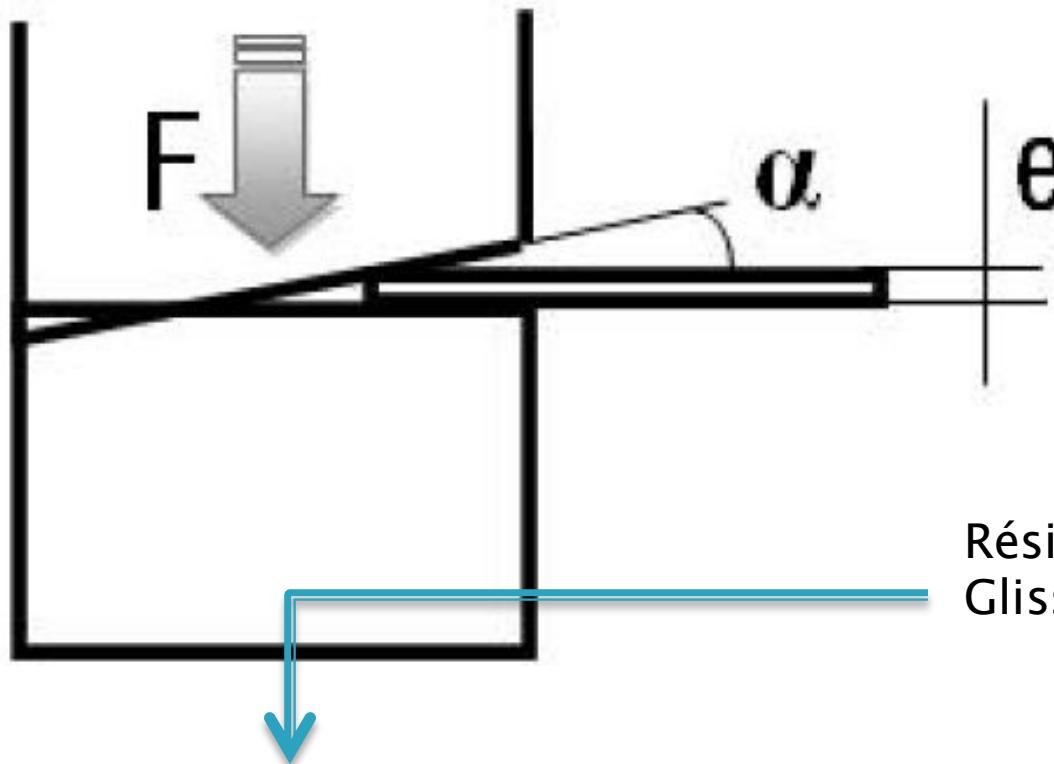


Sans angle d'attaque l'effort de coupe est très important



Avec un angle d'attaque l'effort de coupe est très réduit

3. Paramètres de cisaillage (Effort de cisaillage)



$$F = \frac{R_g \times e^2}{2 \times \tan \alpha}$$

Résistance au
Glissement =
 $R_m/2$

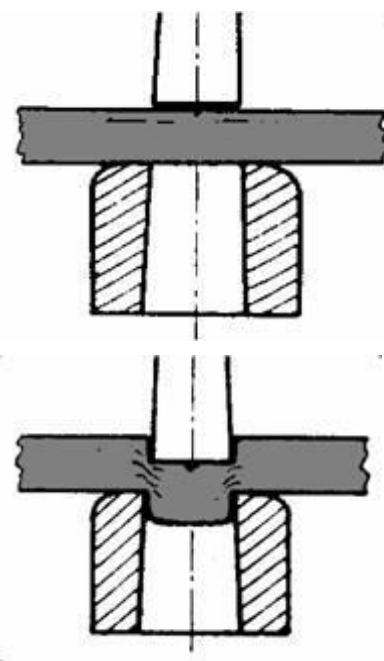
Application

Calculer la force pour un matériau dont la résistance au glissement est de 18,5 dan/mm², une épaisseur de 2 mm et un angle d'attaque de 4°.

$$F = \frac{18,5 \times 2^2}{2 \times \tan 4} \rightarrow F = \rightarrow 529 \text{ daN}$$

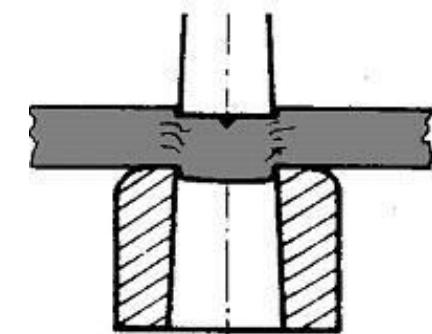
4. Poinçonnage

le poinçonnage est un cisaillage de forme fermée.

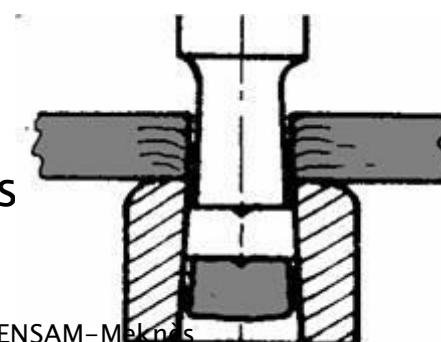


1 : Légère contrainte de compression

2 : Fibres superficielles coupées
Fibres internes en extension



3 : Forte contrainte de compression,
dépassemement de la limite élastique



4 : Rupture par extension des fibres

4. Poinçonnage (Effort de cisaillement)



$$F = R_g \times \pi D \times e$$

Des Questions?



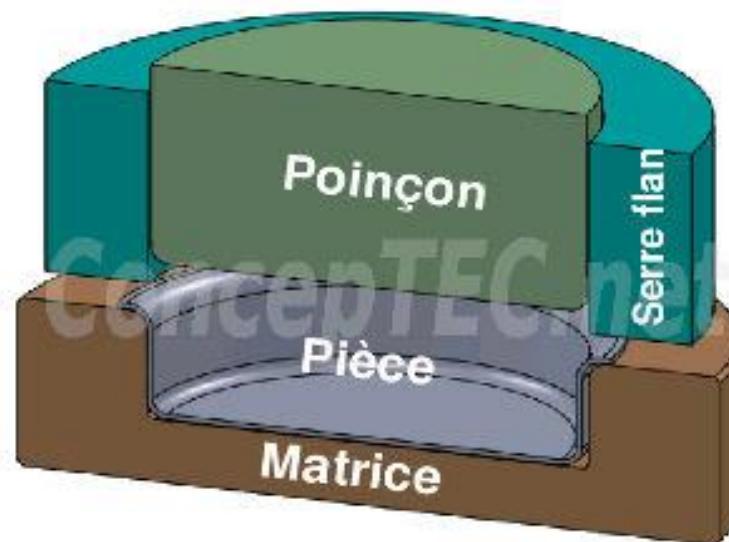


Procédé d'emboutissage

Cours présenté par M. EL JAI
ENSAM-Meknès
2015/2016

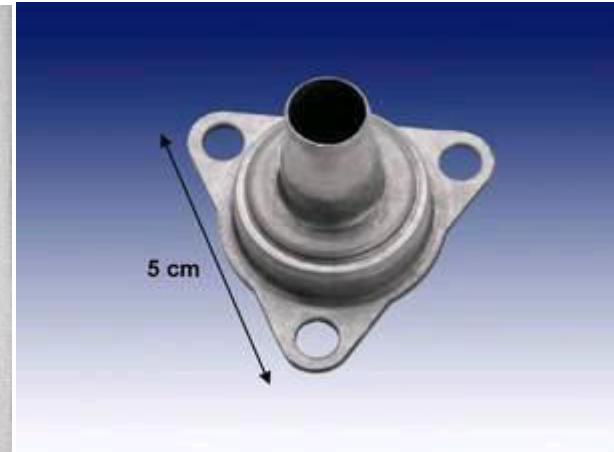
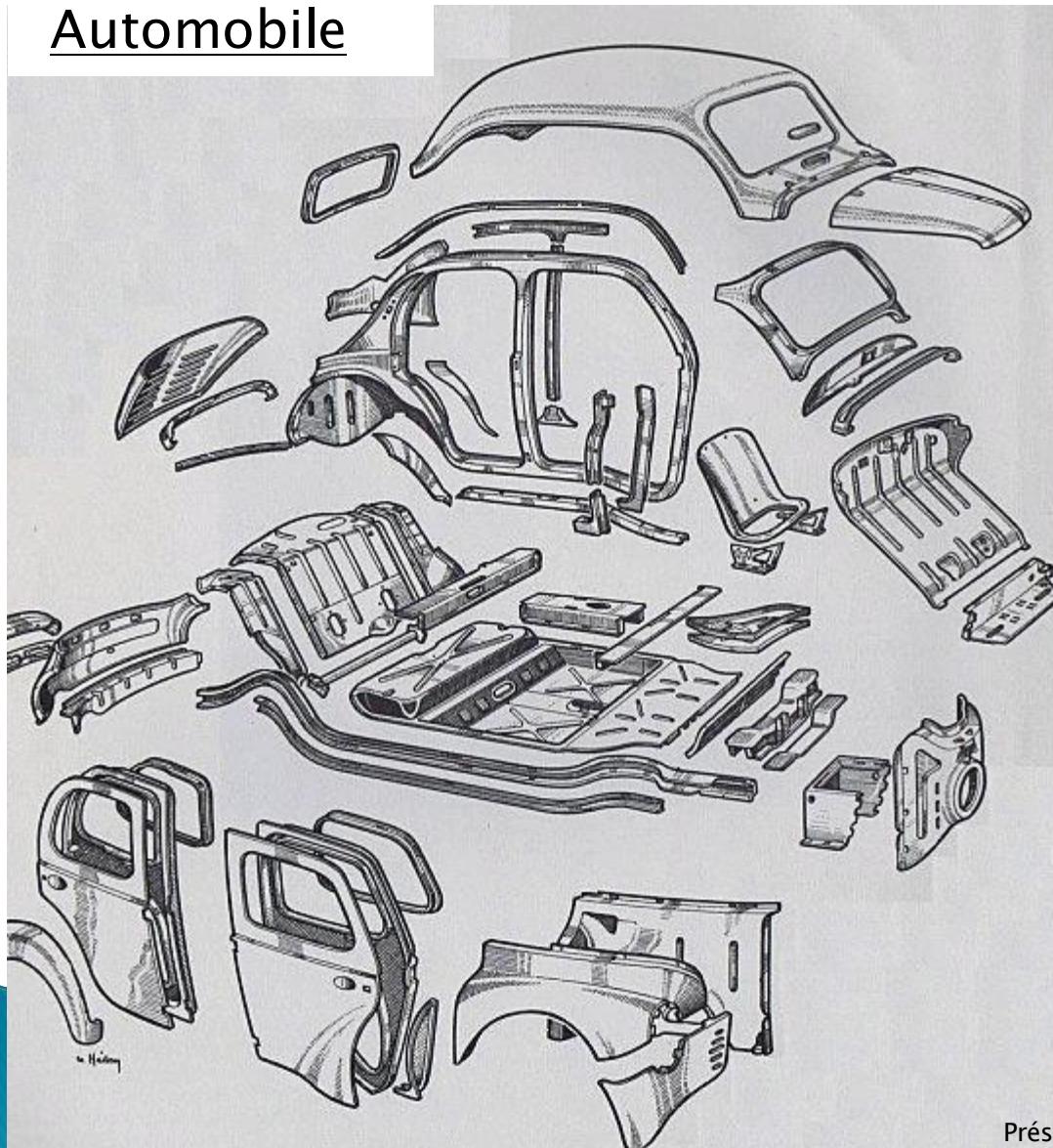
A. Généralités : 1. Définitions

L'emboutissage est un procédé de **formage par déformation plastique**, à chaud ou à froid, visant à transformer une **tôle plane** en une **pièce plus ou moins creuse**, de surface non **développable**.

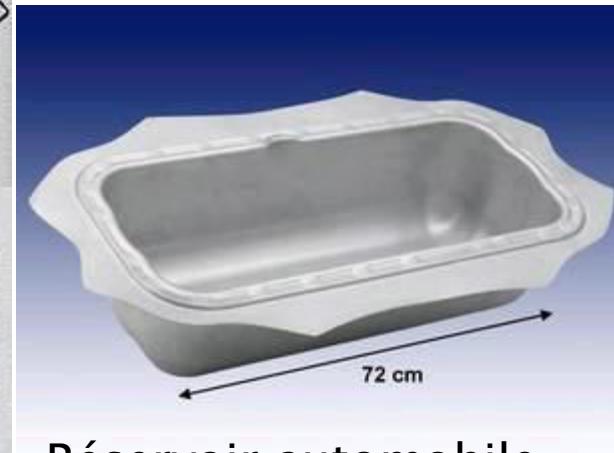


A. Généralités : 1. Définitions (Appl.)

Automobile



Composant pour
lève vitre



Réservoir automobile

A. Généralités : 1. Définitions (Appl.)

Agroalimentaire



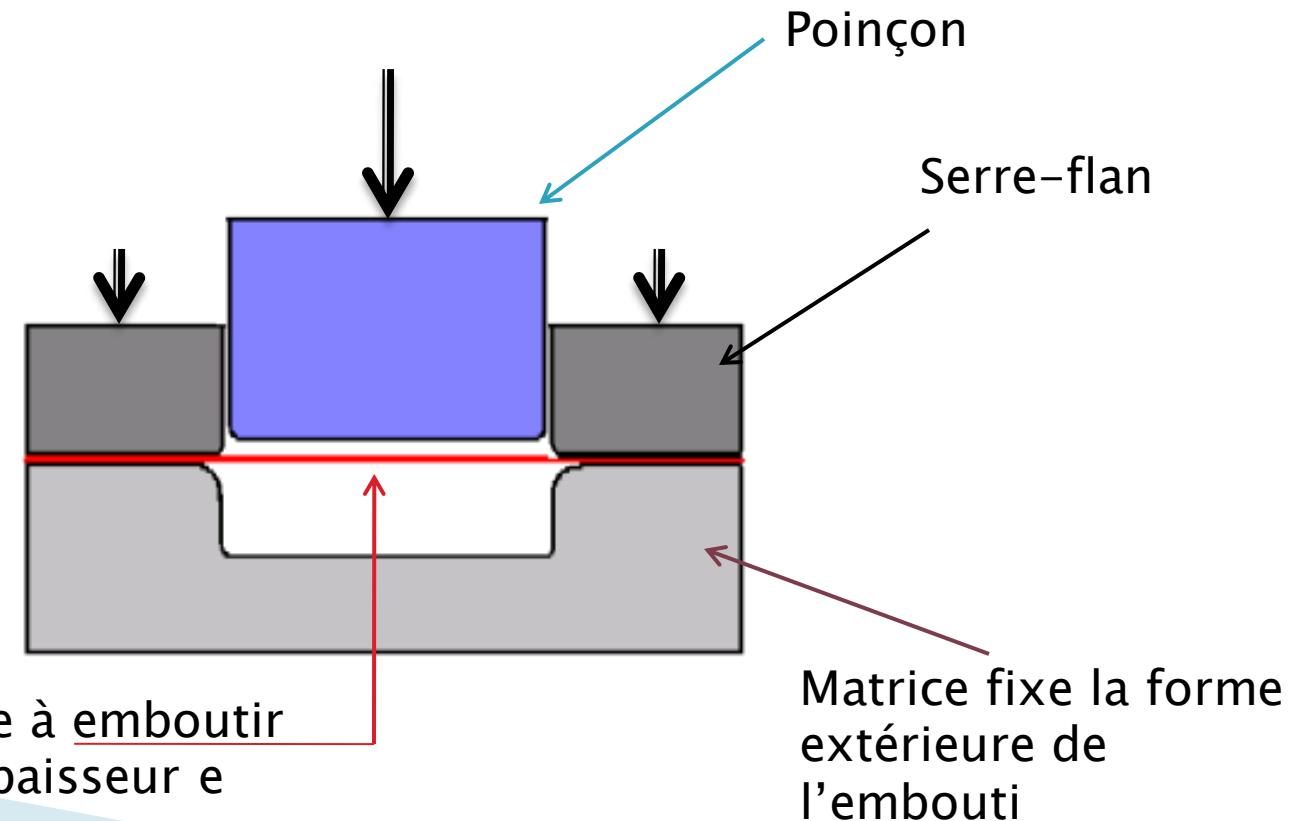
Matériel médical : utilisé pour la radiographie



A. Généralités : 1. Définitions

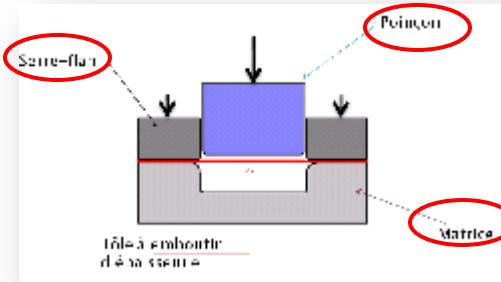
Machines utilisées : Presses hydrauliques ou mécaniques.

Outilage :



A. Généralités : 1. Définitions

Outilage :



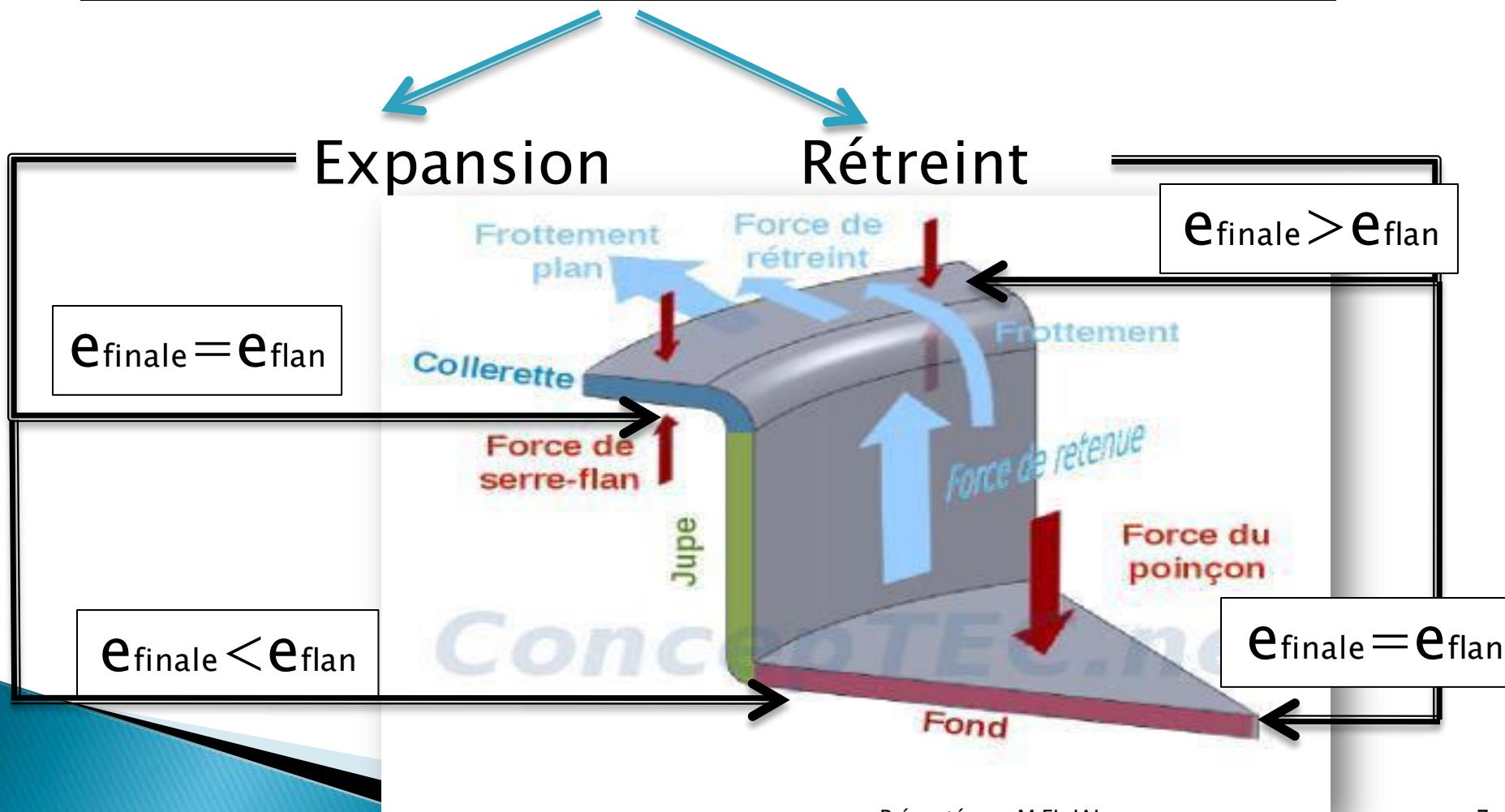
Un poinçon : coulissant sur l'axe vertical déforme la tôle.

Une matrice : sert d'appui à la tôle et lui donne la forme extérieure finale au retour élastique près.

Un serre-flan : Maintient la tôle (flan) afin d'assurer un écoulement homogène du métal et prévenir les risques de plis ou d'autres défauts de l'emboutissage.

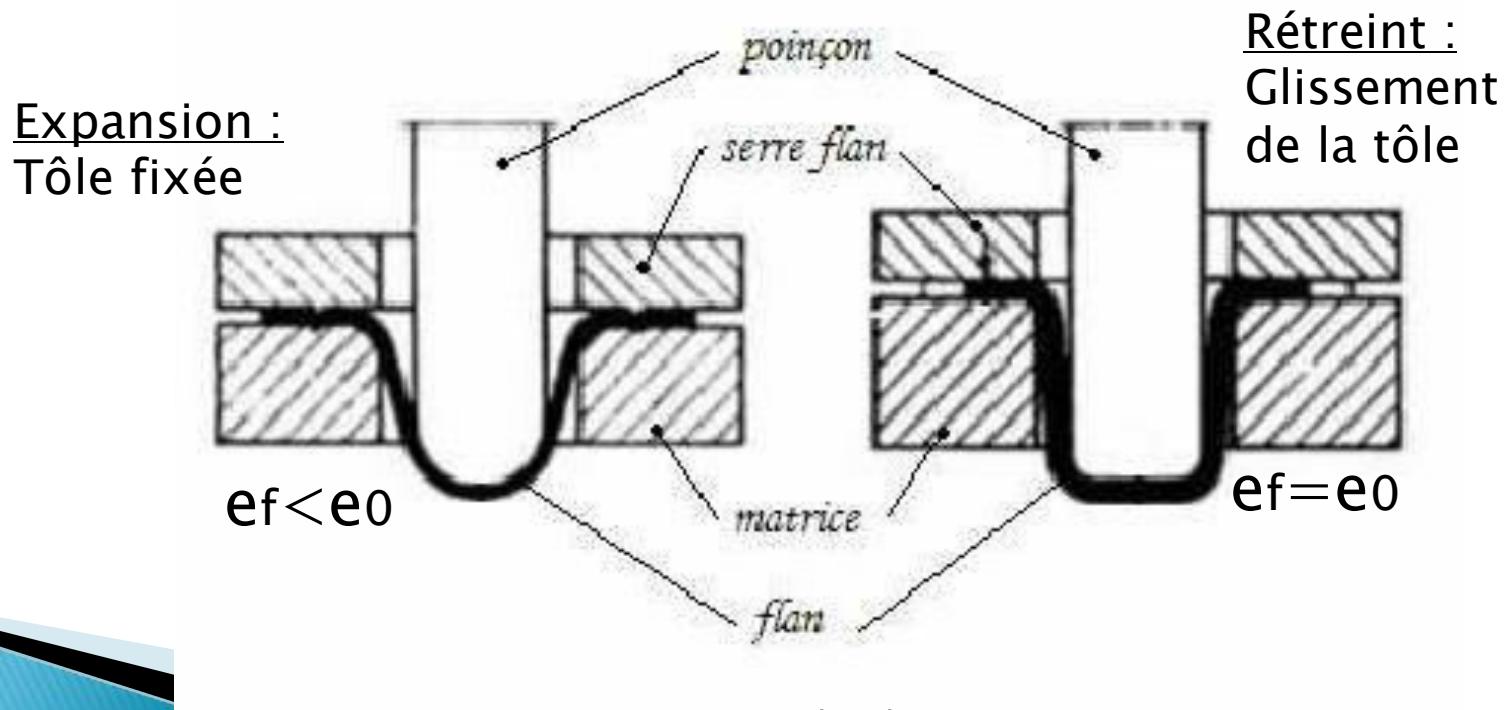
A. Généralités : 1. Définitions

Modes de déformation et efforts mis en œuvre :



A. Généralités : 1. Définitions

Etude : Trouver un **compromis entre ces deux modes de déformations** afin d'optimiser l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre-flan.



A. Généralités : 2. Emboutissage en Température

	À froid (T° ambiante)	À Chaud (flan et matrice)
Utilisation	<u>Outilage</u> : double effet/ Simple effet (cas petite profondeur/peu d'effort de serrage)	<ul style="list-style-type: none">Sur presses hydrauliques,Simple ou double effet,
Avantages	<ul style="list-style-type: none">Meilleure précision dim.,Coûts limités,Évite l'oxydation des tôles	<ul style="list-style-type: none">facilite la déformation,pièces profondes,évite l'écrouissage et les contraintes résiduelles,
Limitations et inconvénients	<ul style="list-style-type: none">Plusieurs passes pour les épaisseurs importantes,Écrouissage : durcissement élevé+baisse de la ductilité,Création de contraintes résiduelles : risque de rupture par fatigue.	<ul style="list-style-type: none">Cadence moins élevée que l'emboutissage à froid,qualité inférieure (état de surface, dimension),mise au point de techniques de sécurité.

A. Généralités : 3. Intérêts et débouchés

Intérêt économique

- Prix de revient compétitif,
- Production élevée
 - ✓ 100 à 200 p/h : pces de d'envergure carrosserie automobile.
 - ✓ 3000 à 4000p/h : petites pces renfort, capuchons de réservoirs...
- L'écrouissage (durcissement) donne des caractéristiques permettant d'alléger les pièces (bonne résistance mécanique)

Intérêt qualitatif

- Qualité élevée / pièces moulées,
- esthétique supérieure,
- travaux de finition moins lourds à gérer et moins coûteux,
- Large utilisation :
 - ✓ domaines des transports
 - ✓ électroménager
 - ✓ sanitaire
 - ✓ emballage
 - ✓ pièces mécaniques de consommation courante.

B. Les procédés

Classification

1. Nature du moteur :

- Presse mécanique,
- Presse Hydraulique.



2. Forme du bâti :

- Presse à arcade ou à montant droit,
- Presse à col de cygne.



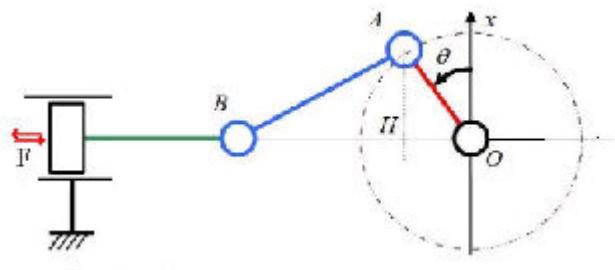
3. Nombre de coulisseaux :

Simple, double, triple...



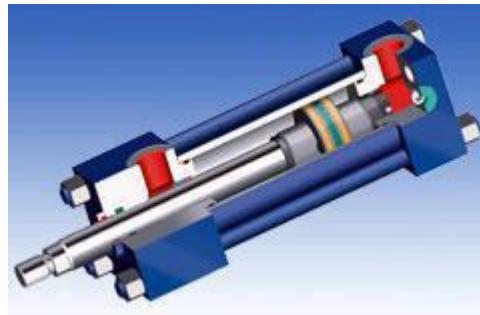
B. Les procédés (1. Nature du moteur)

Presses mécaniques



- mouvement fourni par un système Bielle–manivelle,
- Répandues: coût d'achat moins important/ presses hydrauliques,
- Entretien plus facile,
- Cadences importantes.

Presses Hydrauliques

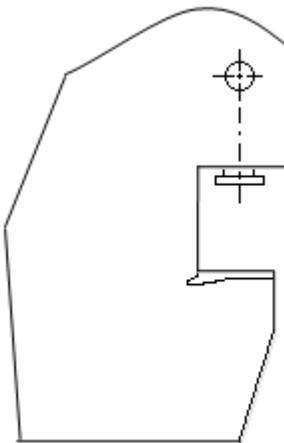


- Cylindre+piston+fluide moteur
- Fluide = huile ou eau
- Tendent de plus en plus à remplacer les presses mécaniques avec l'amélioration de leurs performances.

B. Les procédés (2. La bâti)

A col de cygne

- Sa forme rend la table et les coulisseaux plus accessibles,
- Facilité d'accès (outillage, flan),
- Evacuation plus facile de l'embouti.



Géométrie

B. Les procédés (2. La bâti)

A arcade

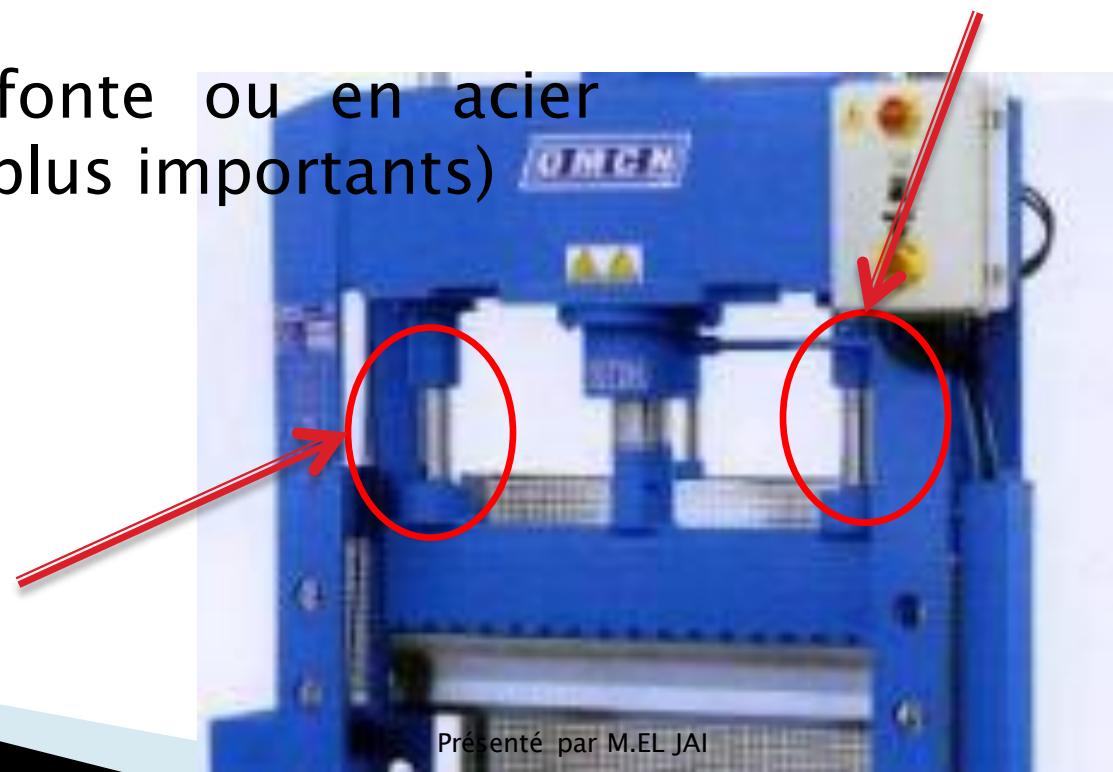
- Meilleure rigidité, effort plus important,
- Mise en forme de grande pièce ou à épaisseur importante.



B. Les procédés (3. Les coulisseaux)

Utilité : Les coulisseaux représentent la partie mobile de la presse, permettent au poinçon d'atteindre la matrice.

Matériaux : en fonte ou en acier (pour des efforts plus importants)



B. Les procédés (3. Les coulisseaux)

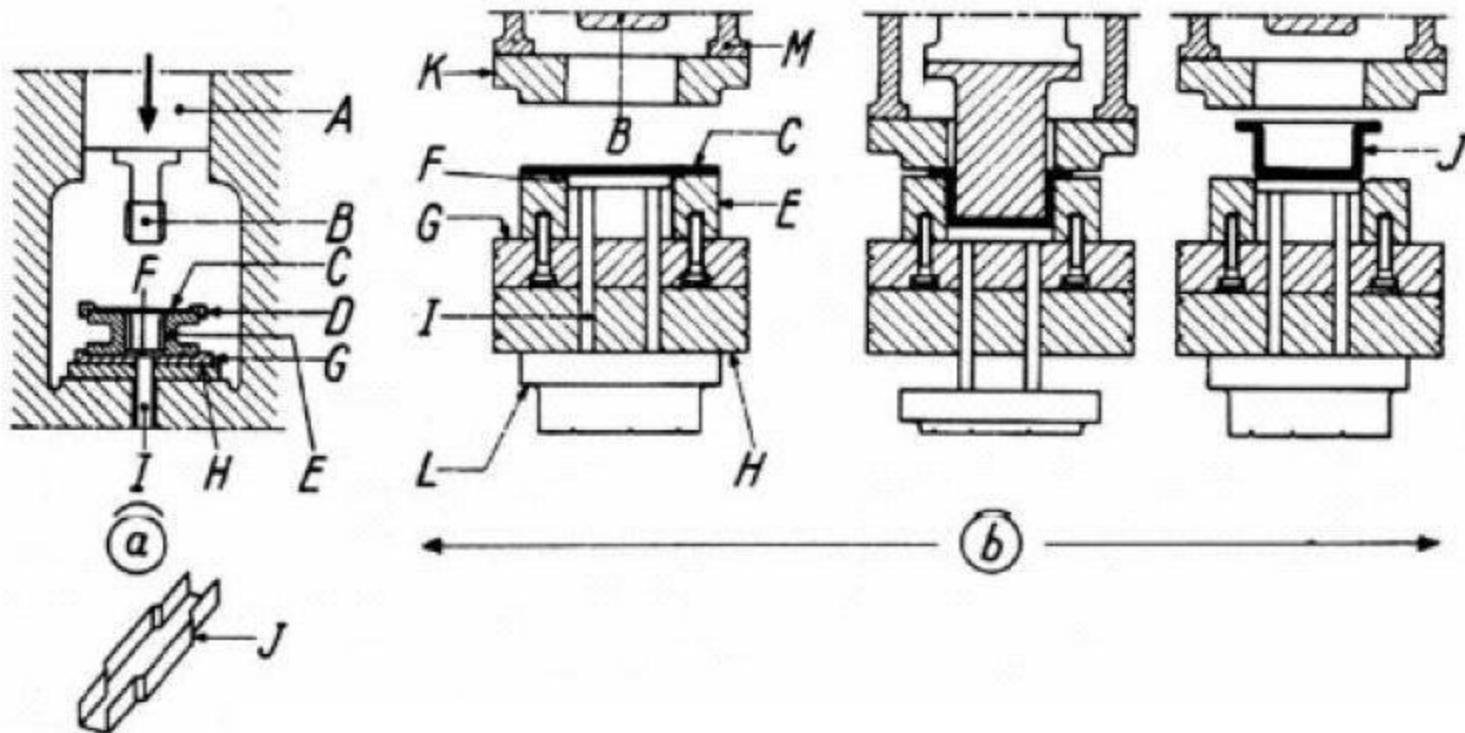
Presse simple effet : ne comporte qu'un seul coulisseau,

Presse double effet :

- Coulisseau serre-flan guidé par le bâti
- Coulisseau poinçon

Presse triple effet : Presse double effet +
coulisseau inférieur (permet de
réaliser des contre-emboutis de petite
profondeur sans change de presse)

B. Les procédés (3. Les coulisseaux)



a) Simple effet

b) double effet

C. Matériaux et formes d'emboutis

1. Matériaux

L'emboutissage permet la mise en forme de nombreux matériaux :

- aciers,
- alliage non ferreux,
- pâtes...

C. Matériaux et formes d'emboutis

Les tôles en aciers

Tôle de fabrication courante : TC

Tôle d'emboutissage : E

Tôle d'emboutissage spécial : ES

	Résistance à la rupture (daN/mm ²)	Allongement (%)
TC	42	24
E	38	30
ES	35	36

C. Matériaux et formes d'emboutis

Remarque : Les aciers doux : $0,1 < \%C < 0,2$

Les aciers Inox : Acier + Chrome+ nickel + Mo...

- Comportement différent : Dureté des inox > aciers doux
- Risque de rupture et d'écrouissage en emboutissage
- Vitesses d'emboutissage doivent être plus lentes

C. Matériaux et formes d'emboutis

Les alliages non ferreux

Matériau	Caractéristiques et utilisation
Les Laitons (Cu+Zn)	<ul style="list-style-type: none">• 60/40 : horlogerie, optique, sidérurgie• 78/28 : emboutissage extra profond, fabrication des douilles et cartouches.
L'aluminium et alliages	<ul style="list-style-type: none">• S'écrouissent à l'emboutissage.• L'étirage le plus profond est obtenu avec les classes douces.• Possibilité d'obtention d'emboutis peu profonds et dures.
Le cuivre (non allié)	Emboutissage extra profond

C. Matériaux et formes d'emboutis

Les alliages non ferreux

Matériau	Caractéristiques et utilisation
Le zinc	<ul style="list-style-type: none">• Emboutissage facile,• Chauffage entre 100° et 150° dans le cas de formes complexes
Le nickel et ses alliages	<ul style="list-style-type: none">• Excellentes qualités d'emboutissage,• les plus utilisés : 60–60% Cuivre, 15–20% nickel, 20% zinc.
La magnésium	<ul style="list-style-type: none">• le plus léger des matériaux utilisé en industrie,• A T° ambiante, ne peut être embouti que dans certaines limites,• chauffage entre 200° et 500°C fct de la qualité voulue.
Le titane	<ul style="list-style-type: none">• Chauffage entre 200° et 500°C,• Matrice et poinçon chauffés afin d'éviter les chocs thermiques

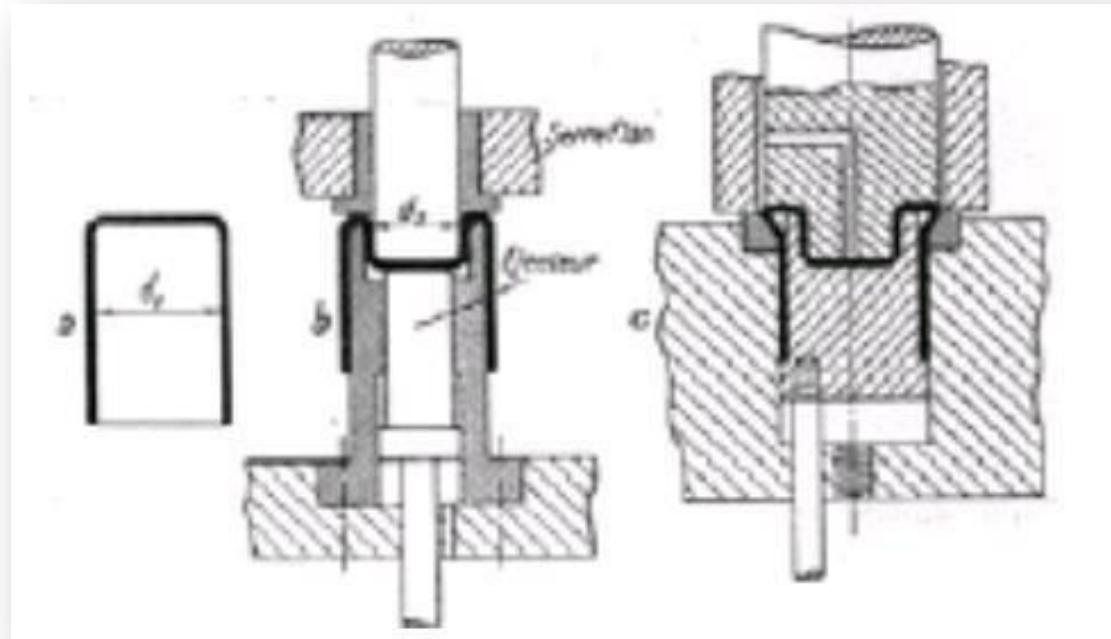
C. Matériaux et formes d'emboutis



mes
héritage.
étapes, c-
u nombre
se faire.

C. Matériaux et formes d'emboutis

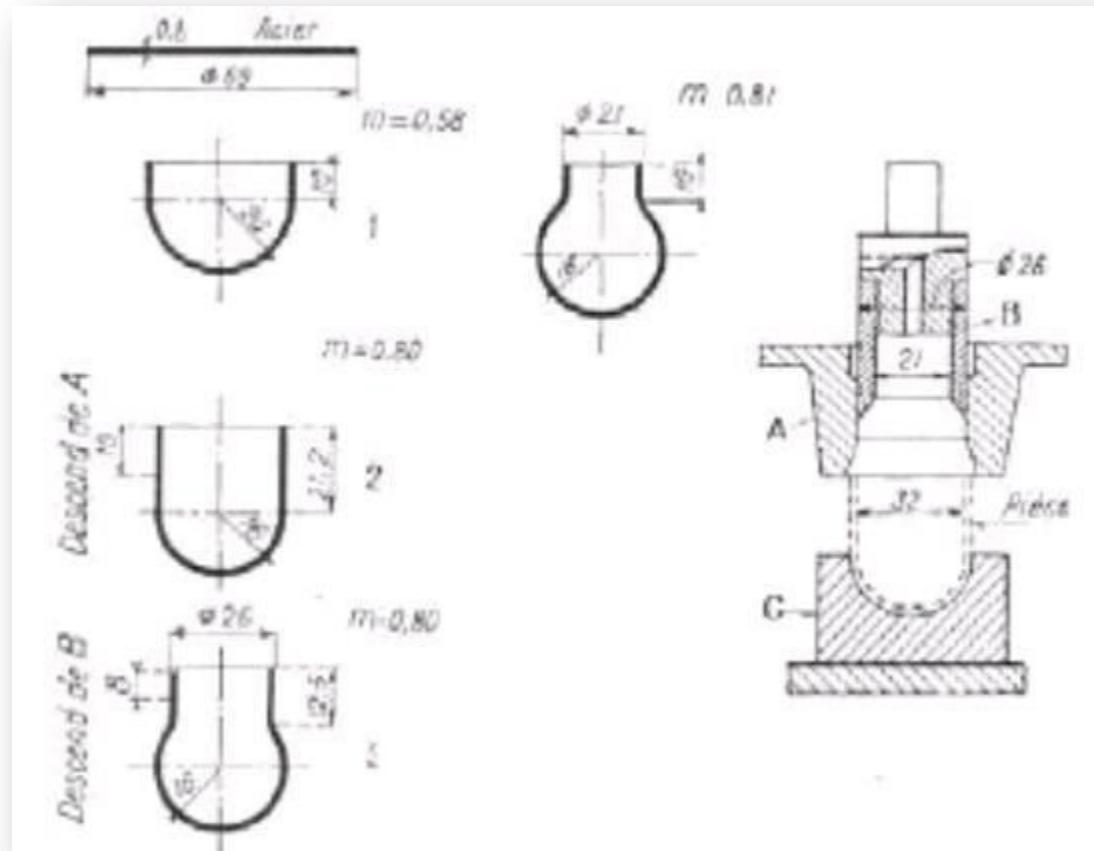
2. Formes (emboutissage cylindrique)



Emboutissage renversé

C. Matériaux et formes d'emboutis

2. Formes (emboutissage sphérique)



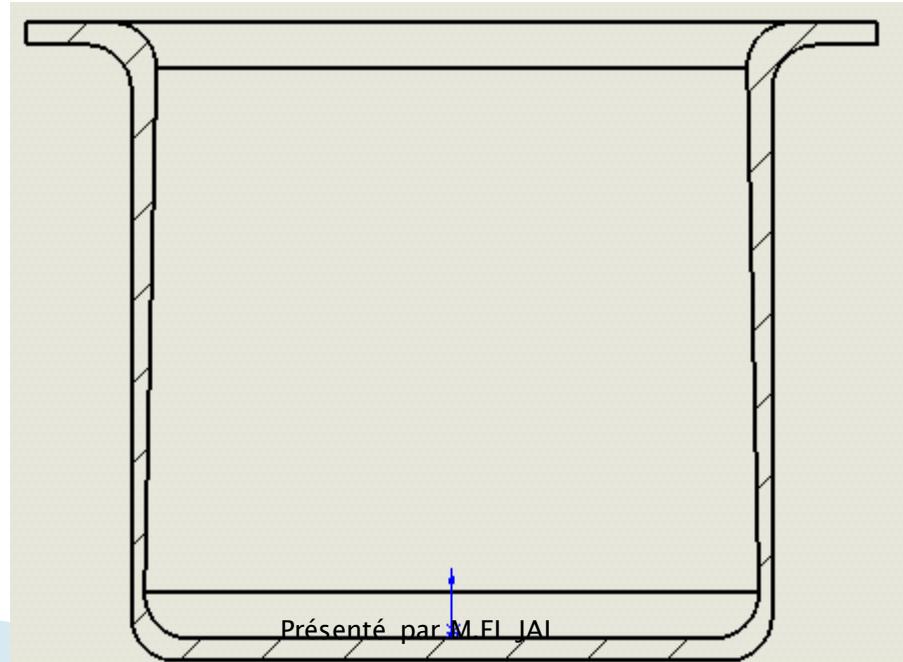
Emboutissage de pièce
demi-sphérique

Présenté par M. EL JAI

D. Emboutissage de pièces cylindriques

Dans l'opération de l'emboutissage on constate que l'épaisseur de paroi d'un embouti varie le long de sa génératrice :

- le fond est peu sollicité et l'épaisseur est conservée,
- l'épaisseur est minimum en bas du fût (expansion),
- elle augmente progressivement du bas du fût vers le bord de la collerette.



D. Emboutissage de pièces cylindriques

Détermination des dimension du flan

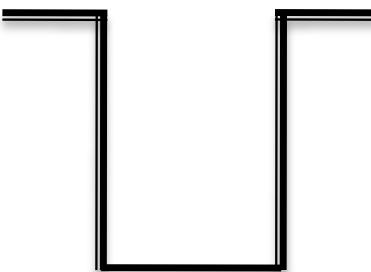
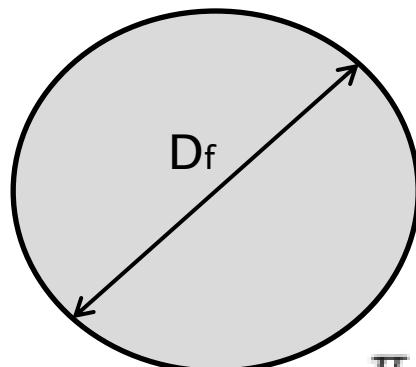
Buts:

- économie de la matière,
- facilité de l'emboutissage,
- réduction du nombre des opérations,
- réduction nombre des outils.

D. Emboutissage de pièces cylindriques

Détermination des dimension du flan

- La surface théorique du flan est égale à celle de l'embouti à fibre moyenne (mi-épaisseur)
- Si les rayons du poinçon et de la matrice sont petits on les néglige lors des calculs, sinon il faut prendre en compte les surface générée par les rayons.



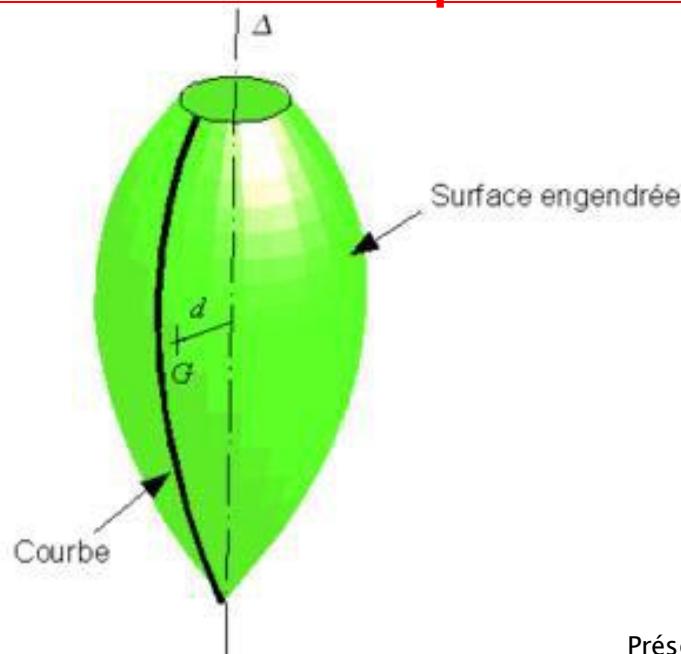
$$\frac{\pi D_f^2}{4} = S = S_1 + S_2 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i$$

D. Emboutissage de pièces cylindriques

Détermination des dimension du flan (rayons importants)

Théorème de Guldin :

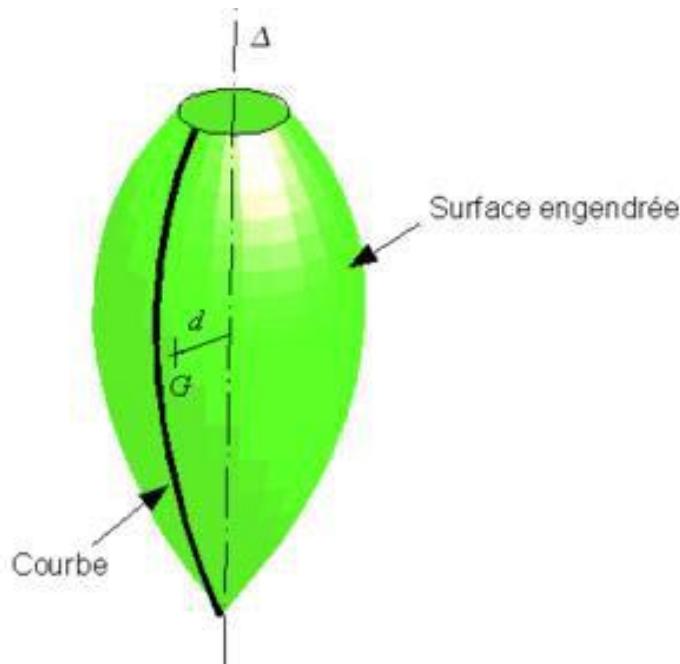
La surface engendrée par une ligne plane tournant autour d'un axe situé dans son plan et ne le traversant pas, est égale au produit de la longueur développée de cette ligne par la circonference décrite par son centre de gravité.



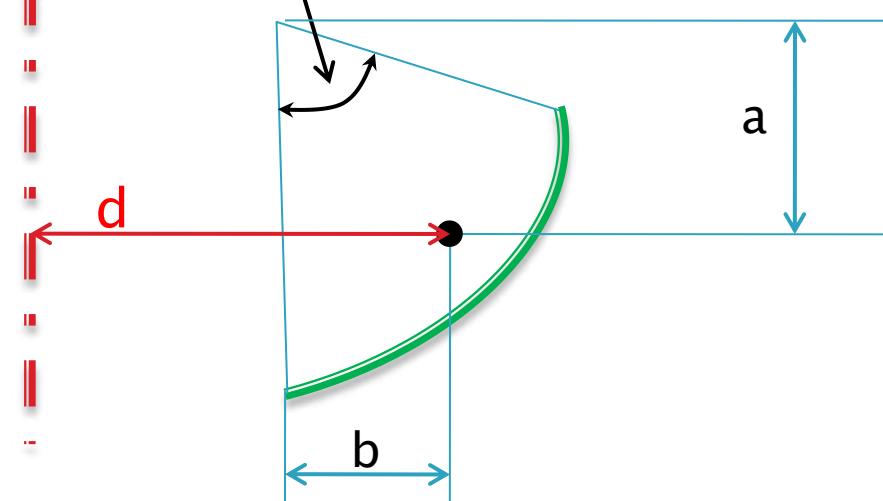
D. Emboutissage de pièces cylindriques

1. Détermination des dimension du flan (rayons importants)

Théorème de Guldin :



$$A = \alpha \cdot d \cdot l$$



Centre de gravité d'un arc de cercle :
 $a = 180 r \sin(\alpha/\pi)$
 $b = a \tan(\alpha/2)$

D. Emboutissage de pièces cylindriques

Exemples:

Pour un embouti cylindrique avec collerette

Surface du flan : $S = \pi D^2 / 4$

Surface de l'embouti :

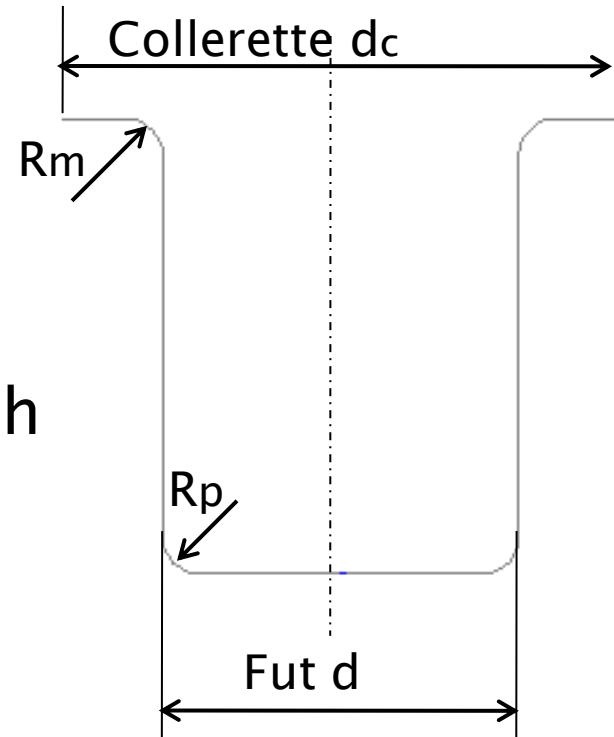
Collerette : $(d_c^2 - d^2) \pi / 4$

Fut : $\pi d h$

Fond : $d^2 \pi / 4$

Somme surf .Embouti : $d_c^2 \pi / 4 + \pi d h$

Diamètre du flan : $D = \sqrt{(d_c^2 + 4 d h)}$



D. Emboutissage de pièces cylindriques

3. Détermination du nombre de passes (embouti cyl.)

➤ L'emboutissabilité d'une tôle est définie par un coefficient limite de réduction de section qui dépend de la nuance (matériau) et de l'état de celle-ci.



En combien de passes peut-on réaliser un embouti de diamètre d à partir d'un flan initial de diamètre D_f ?

D. Emboutissage de pièces cylindriques

3. Détermination du nombre de passes (embouti cyl.)

➤ On définit un coefficient de réduction (section) limite :

- m_1 : pour la première passe (passage de D_f à d_1)
- m_2 : pour les autres passes (indice n de diamètre d_n)

$m_1 = d_1/D_f$: emboutissage d'un métal écrouit en première passe,

$m_2 = d_n/d_{n-1}$: ré emboutissage d'un métal déjà écroui par les passes précédentes.

D. Emboutissage de pièces cylindriques

3. Détermination du nombre de passes (embouti cyl.)

Valeurs pratiques pour une tôle d'épaisseur 1 mm

Norme	Dénomination courante	m1	m2
	Tôle TC emboutissage ordinaire	0,6	0,8
FEP	Tôle XE emboutissage profond	0,55	0,75
FEP	Tôle XES emb. très profond	0,52	0,75
	Tôle acier inoxydable	0,52	0,8
HLE	Tôle à haute limite d'élasticité		
	Cuivre	0,58	0,85
	Laiton	0,53	0,75
	Aluminium recuit	0,55	0,8
	Duralumin	0,55	0,9

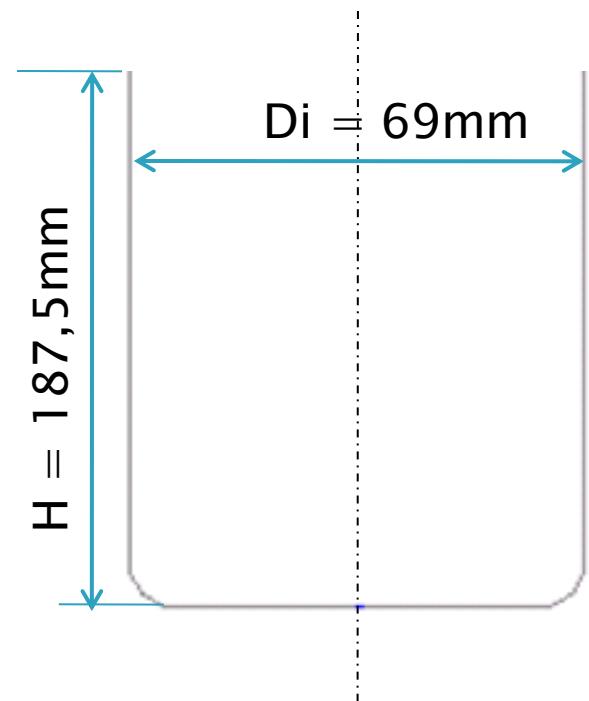
D. Emboutissage de pièces cylindriques

4. Exemple d'application (embouti cylindrique sans collerette)

On veut réaliser un embouti cylindrique;

- Donner le diamètre du flan?
- En combien de passes la pièce sera réalisée?
- Donner le diamètre et hauteur de l'embouti à chaque passe.

Matériau : Tôle d'emboutissage
ordinaire: $m_1 = 0,6$ et $m_2 = 0,8$





Procédé d'estampage

Cours présenté par M. EL JAI
ENSAM-Meknès
2015/2016

Partie I

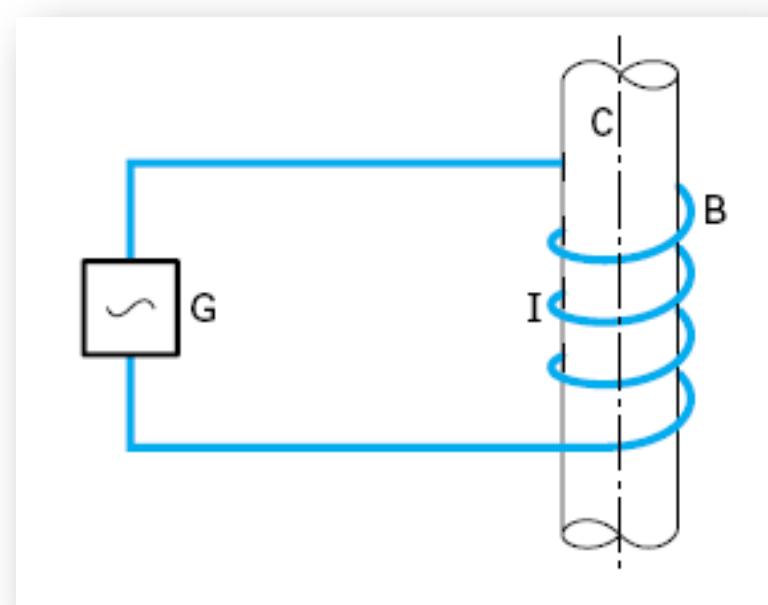
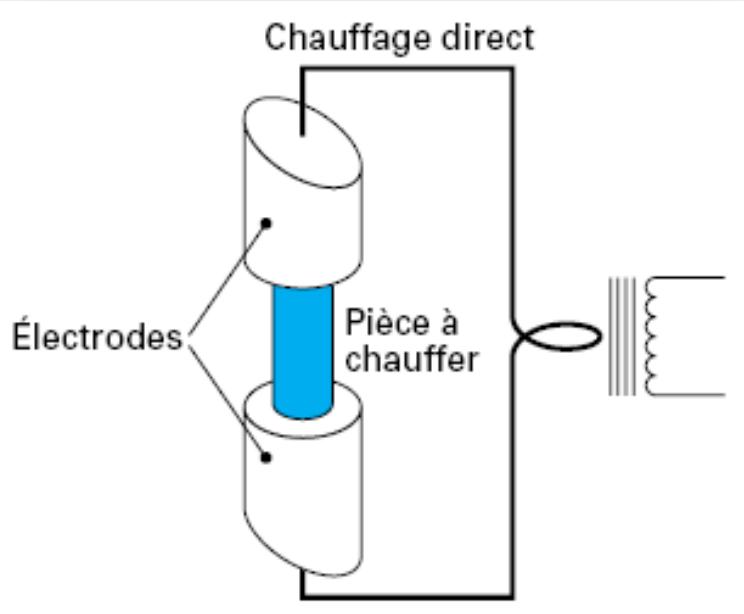
Généralités sur les procédés d'estampage

- Caractéristiques,
- Métaux estampables,
- Machines utilisées,
- Outilage,
- Défauts dans les pièces estampées,
- Exemples de pièces estampées.

I. Généralités : 1. Définitions

L'estampage ou matriçage consiste à donner à un lopin, dont la $0,5T_f < T < T_f$, une forme déterminée en forçant par pression ou par chocs, à remplir les gravures des 2 matrices.

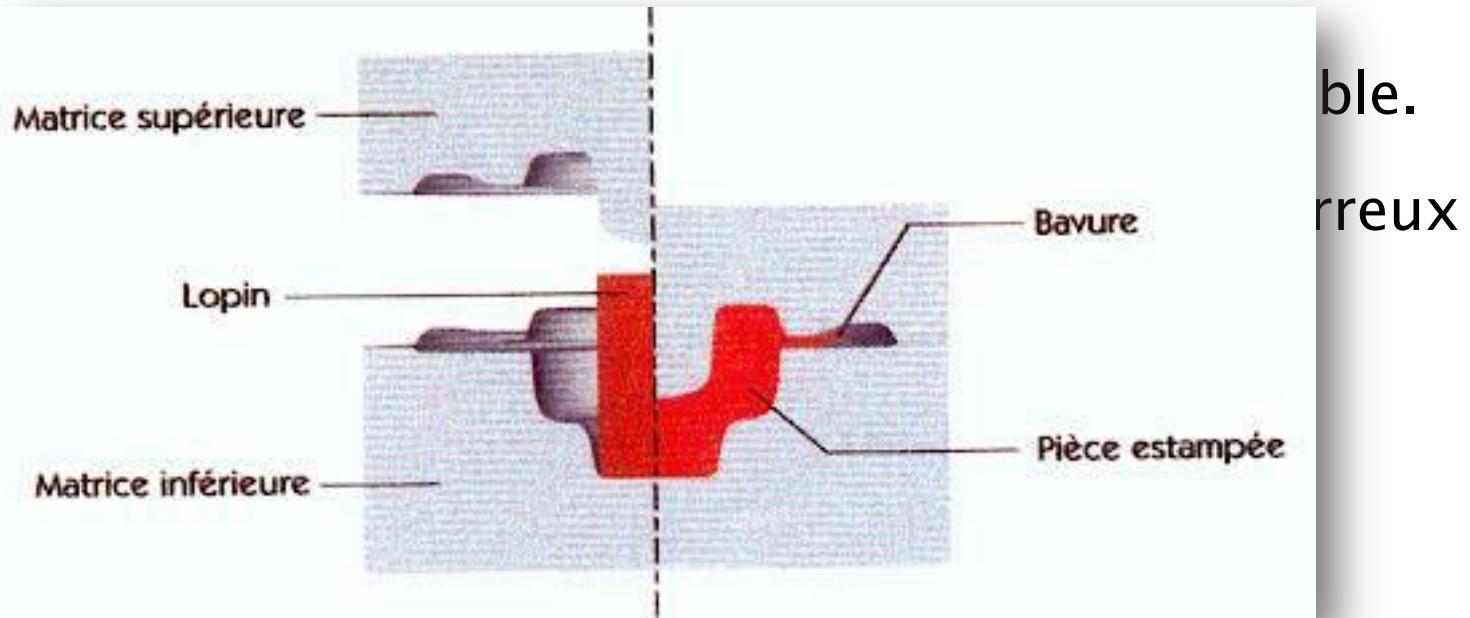
Chauffage par conduction / induction



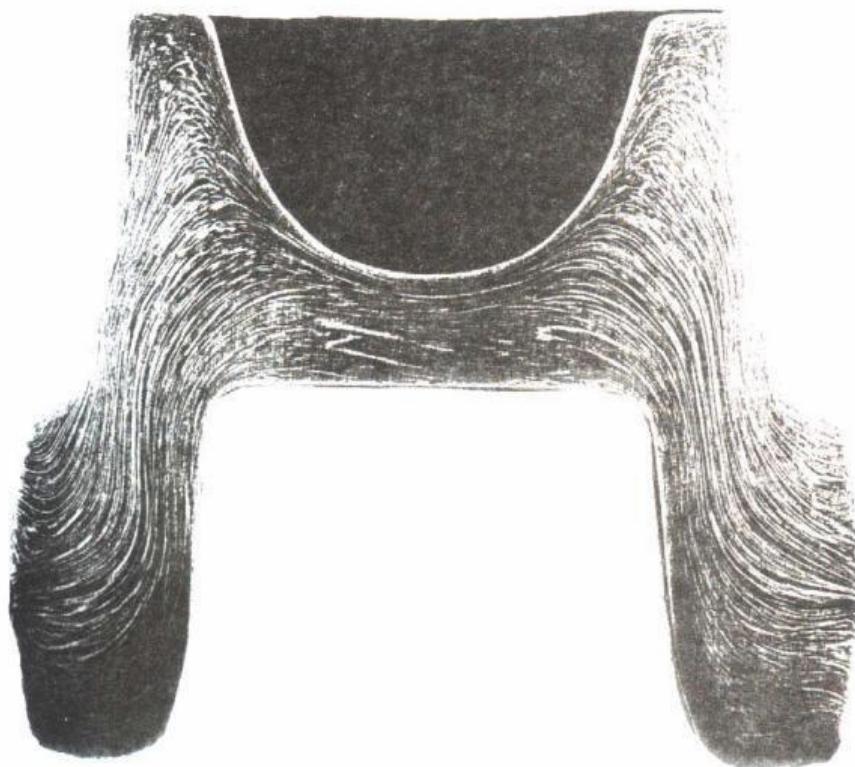
I. Généralités : 1. Définitions

- Le lopin subit une transformation viscoplastique irréversible.
- L'excédent de métal s'écoule sous forme de bavure entre deux matrices.

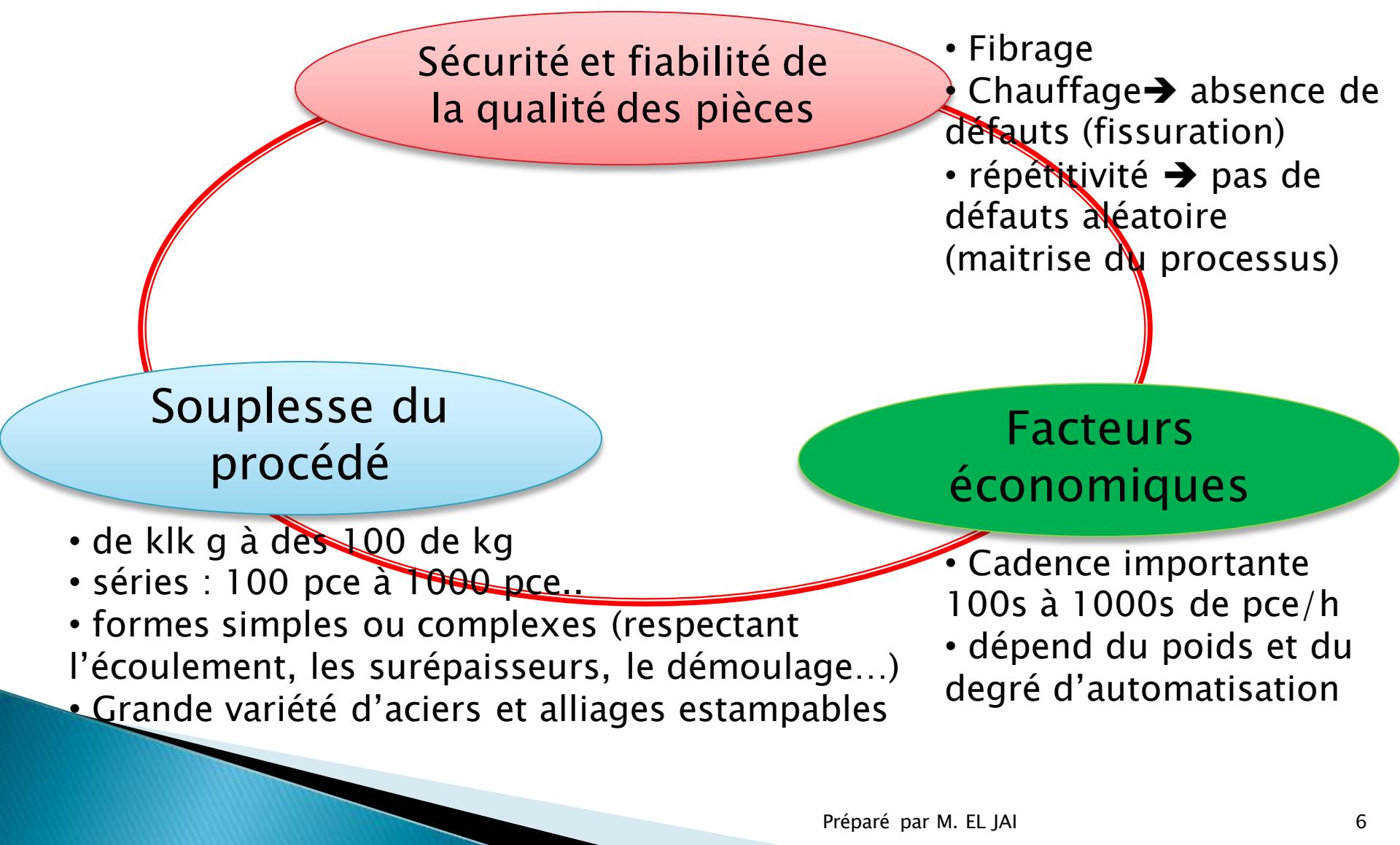
- Le ch
- Estan



I. Généralités : 1. Définitions (fibrage naturel)



I. Généralités : 2. Caractéristiques du procédé

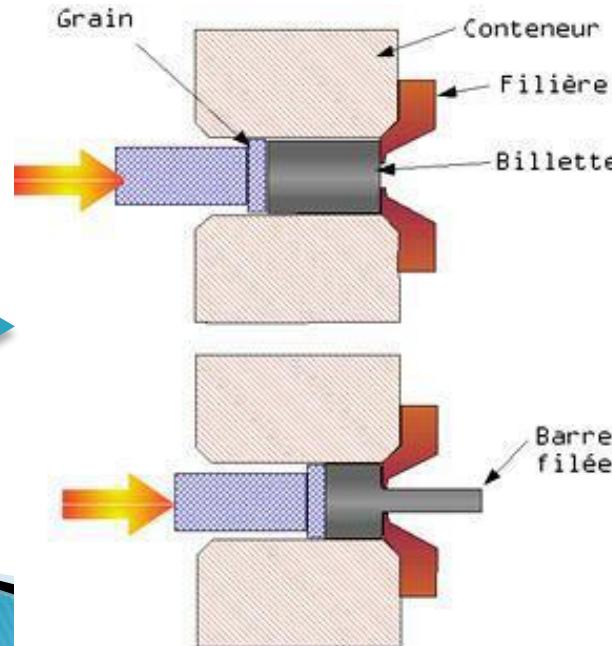


I. Généralités : 3. Les métaux estampables

Produits semi-finis : lopins, billettes

obtenus par :

- coulée continue/laminage de lingots d'acier,
- par filage des métaux non-ferreux



I. Généralités : 3. Les métaux estampables

Les nuances les plus utilisées sont :

- Aciers : au carbone E26, A42
spéciaux pour traitement XC 42
faiblement alliés : 35NCD6
fortement alliés, inox : Z6CN 18-09
réfractaires et à outil
- Métaux non ferreux :
Al et ses alliages AG5, AU4G,
magnésium (aéronautique), cuivre et
ses alliages : laiton, cupro-aluminium,
cupronickel, titane TA6V.

I. Généralités : 4. Les machines d'estampage

- Les engins à chocs sont plus souples d'utilisation,
- adaptés aux petites séries et à la préparation des ébauches.
- Adaptés aux pièces de grandes dimensions aussi.

I. Généralités : 4. Les machines d'estampage

❖ Les engins de chocs Mouton ou Marteau Pilon



Presse à Vilebrequin et volant d'inertie



Mouton à Planche



Marteau Pilon à contre frappe

❖ Les Presses à vilebrequin et volant d'inertie ou presse à vis

I. Généralités : 4. Les machines d'estampage

Par pressions

Presses hydrauliques

(contrôlées par la force max disponible ou par la position de la matrice mobile)

- Capacité allant de 100t à 80000t (Japon), 11500t (Creusot),
- vitesse jusqu'à 1m/s,
- Contrôle de la vitesse et de l'effort,
- Forgeage de pce à Gde dimensions,
- Faibles dépouilles, présence d'éjecteur,

Par Chocs

Presses mécaniques

contrôlées par la cinématique de la machine, et la force disponible varie en fct du coulisseau

- Presses rapides (0,3m/s à 1,5m/s)
- Précises,
- très utilisées en estampage, découpage et emboutissage

I. Généralités : 4. Les machines d'estampage

Par Chocs

(contrôlées par l'énergie consommée à chaque coup, l'énergie totale nécessaire au formage est obtenue par l'addition des énergies de plusieurs coups successifs)

1. Moutons simples effets : la masse tombe en chute libre par son seul poids. $E = MgH$
2. Marteaux pilon à double effet : où la masse tombante est accélérée par une action supplémentaire ()

I. Généralités : 5. L'outillage (matrices)

- l'outillage est constitué de deux demi-matrices séparées par un plan de joint et comportant des gravures.



I. Généralités : 5. L'outillage (matrices)

L'outillage est réalisé en acier traité (nitruration) capable de résister :

- aux chocs (55 NCDV7),
- aux pressions élevées (Z38CDV5),
- à l'usure et
- aux températures élevées.

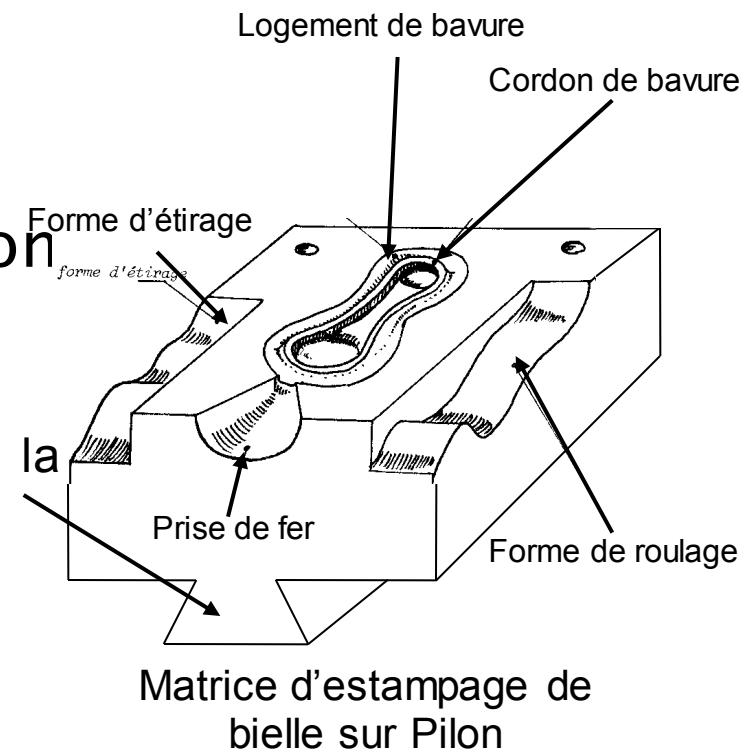
Durée de vie : quelques milliers de pièces en série automobile.

I. Généralités : 5. L'outillage (matrices)

Les matrices peuvent comporter plusieurs gravures :

- forme d'étirage,
- de roulage
- de cambrage
- de semi-finition et de finition

Sur les faces opposées aux gravures il y a une queue d'aronde pour la fixation sur la presse ou la masse.



I. Généralités : 5. L'outillage (matrices : gravures)

Les gravures représentent la forme en creux de la pièce à réaliser.

- le formage se fait à chaud
 - ➔ retrait au refroidiss.
 - ➔ majoration de côtes

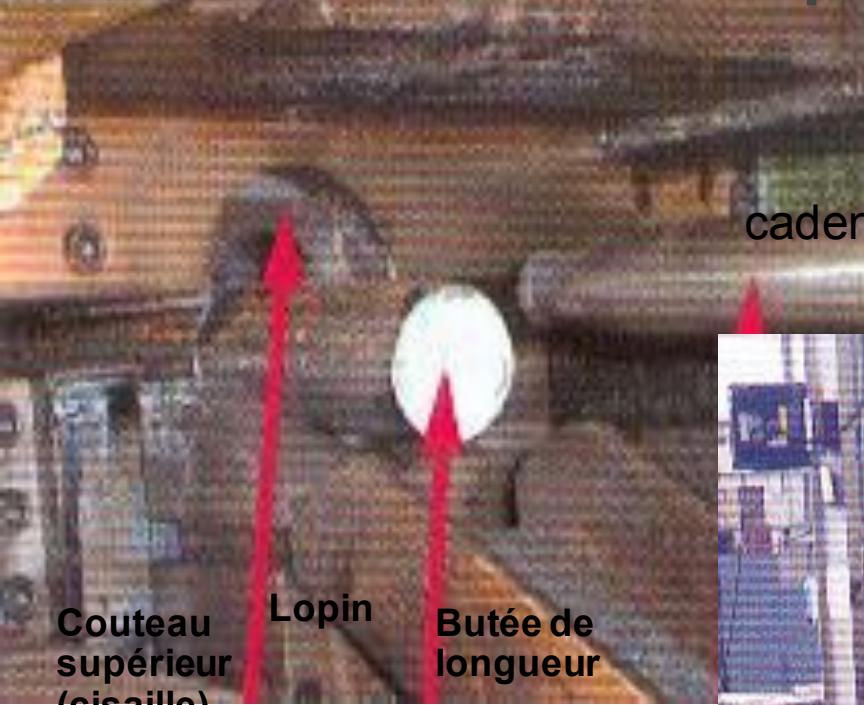


13%	pour l'acier	à 1000°C
17 %	pour le cuivre	à 875°C
15 %	pour le laiton	à 675°C
11 %	pour l'aluminium	à 525°C

II. Gamme d'estampage

- 1) Cisaillage des lopins
- 2) Chauffage (conduction ou induction)
- 3) Laminage, Etirage ou roulage Cintrage
- 4) Estampage
- 5) Découpe/Ebavurage

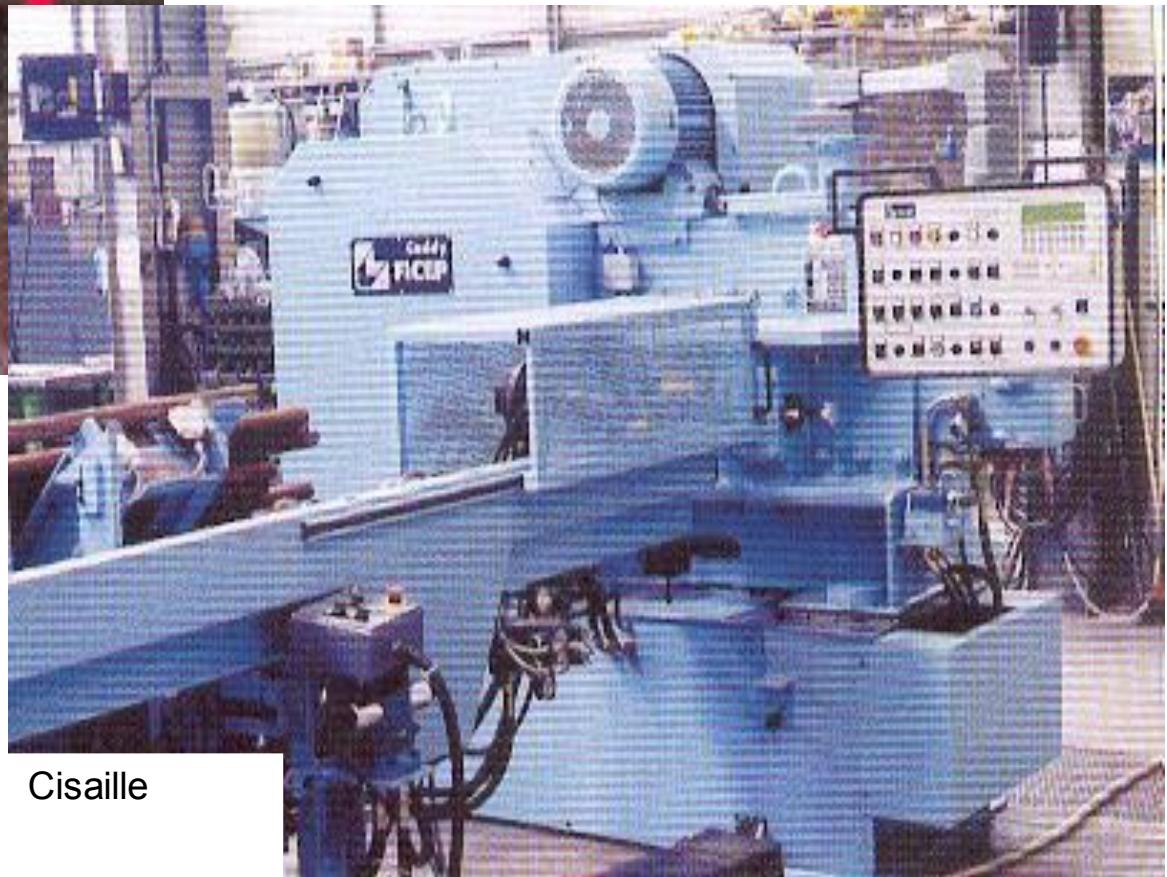
II. Gamme d'estampage (cisaillage des lopins)



cadences de 3000 pièces/heure



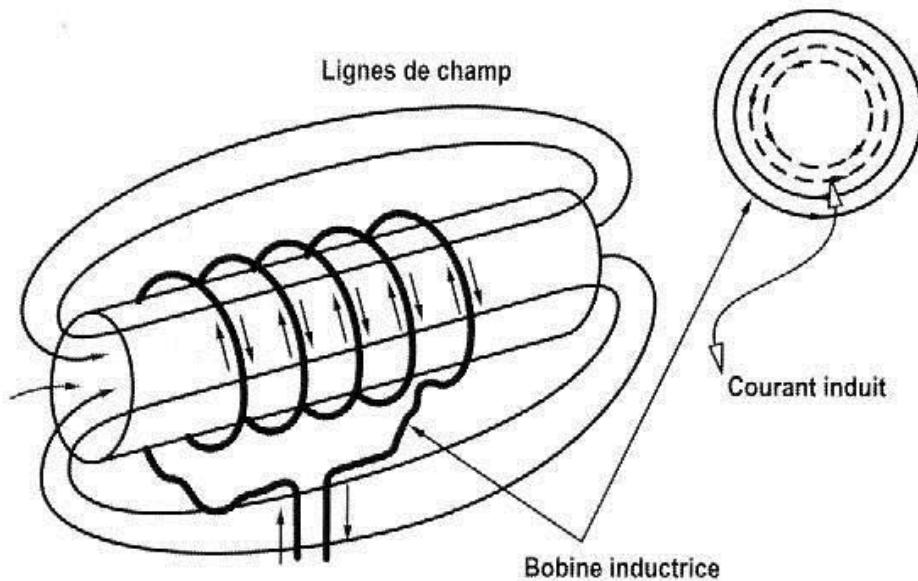
19
Lopin de bras de suspension



II. Gamme d'estampage (Chauffage des lopins)

Four à Gaz

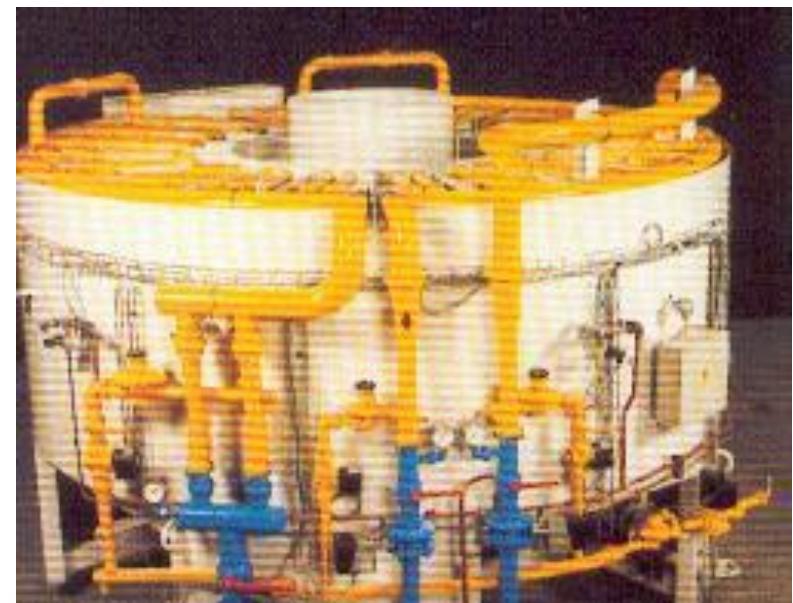
Four électrique



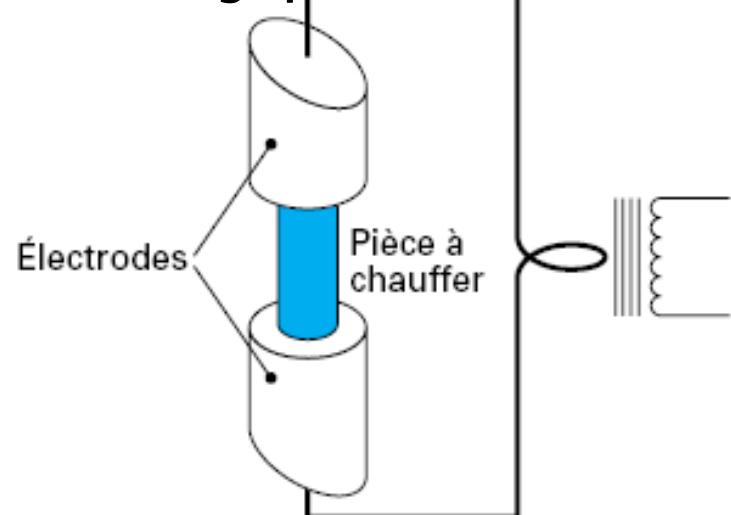
Four Électrique à Induction: Des bobines alimentées par des courants à fréquence élevée, forment un tunnel et génèrent des courants induits qui par effet joule élèvent la température des lopins.

Chaudrage rapide :

1 mn pour 30 mm, utilisé en grande série.



Chauffage par conduction



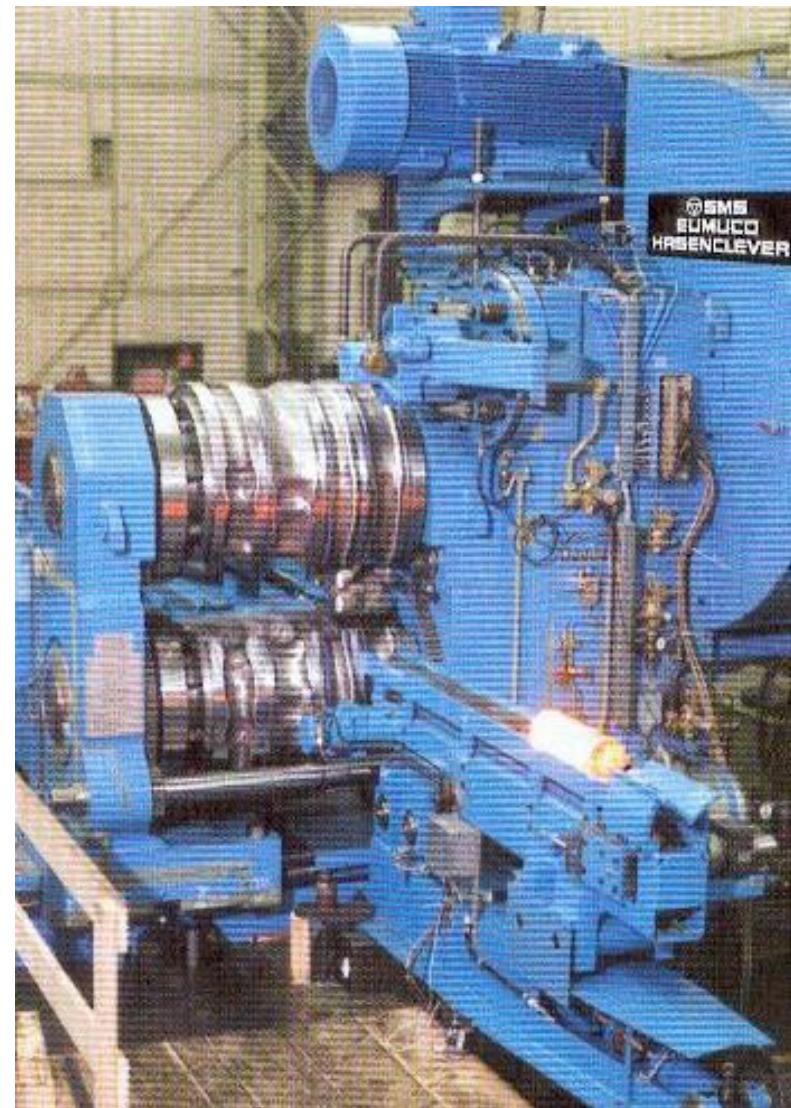
II. Gamme d'estampage (Laminage, étirage)

Le but est de créer une première ébauche rectiligne, mais de section variable afin de répartir judicieusement la matière le long de l'axe.

**Bras de suspension
laminé et refroidi**

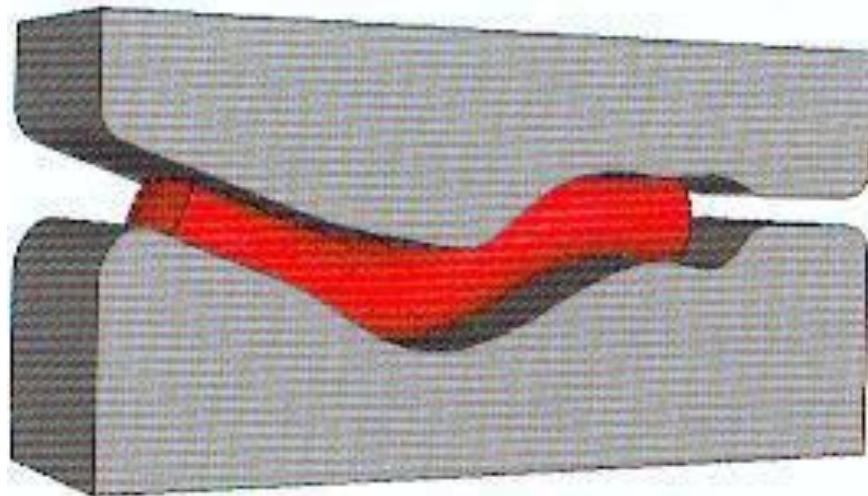


Laminoir



II. Gamme d'estampage (Cintrage)

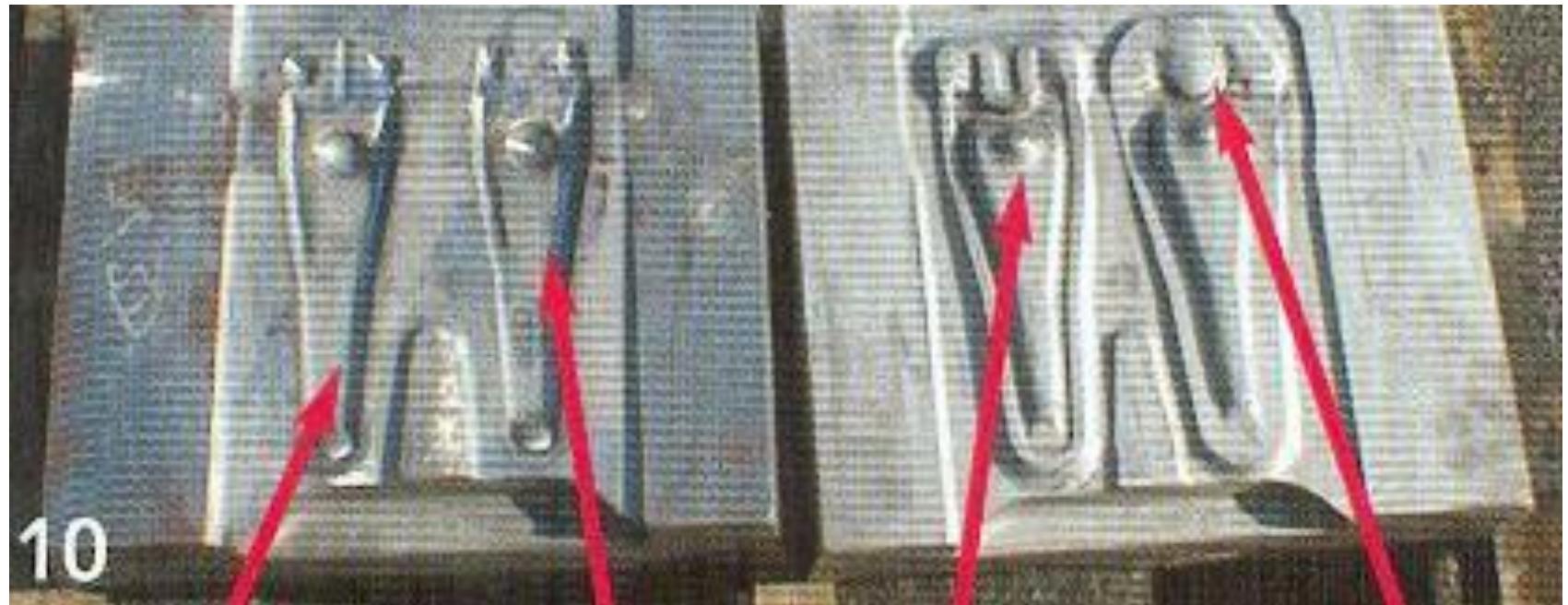
Afin d'approcher la forme de la gravure d'ébauche



II. Gamme d'estampage (Estampage)

Réalise la mise en forme définitive de la pièce en deux étapes : Ébauche et Finition

Matrices d'Estampage



Inférieure
Ébauche

Inférieure
Finition

Supérieure
finition

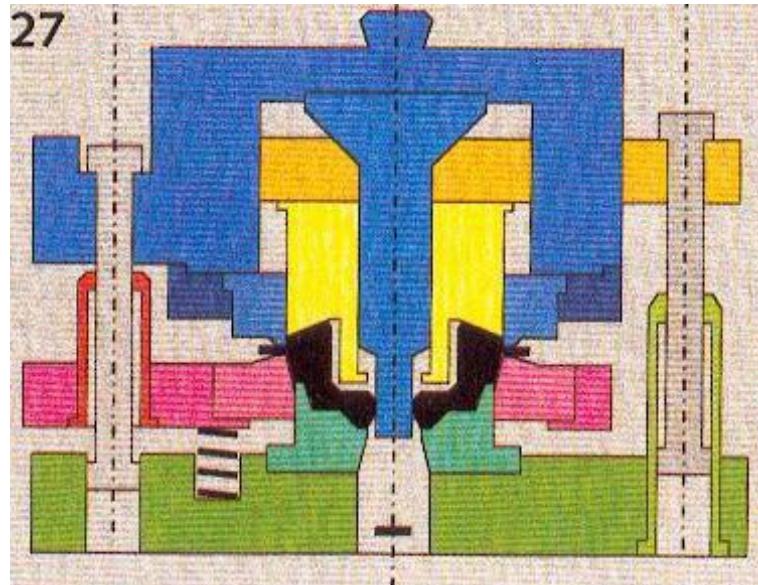
Supérieure
Ébauche

II. Gamme d'estampage (Découpe/Ebavurage)

La bavure est découpée à l'aide d'un outillage spécifique. Cette opération est réalisée dans les secondes qui suivent l'estampage de 1000°C à 1100°C. Le poids de la bavure peut représenter 10 à 40 % de la pièce finie.



Bras ébavuré et bavure



Dispositif de double
découpe: Interne et externe

II. Gamme d'estampage (Parachèvement)

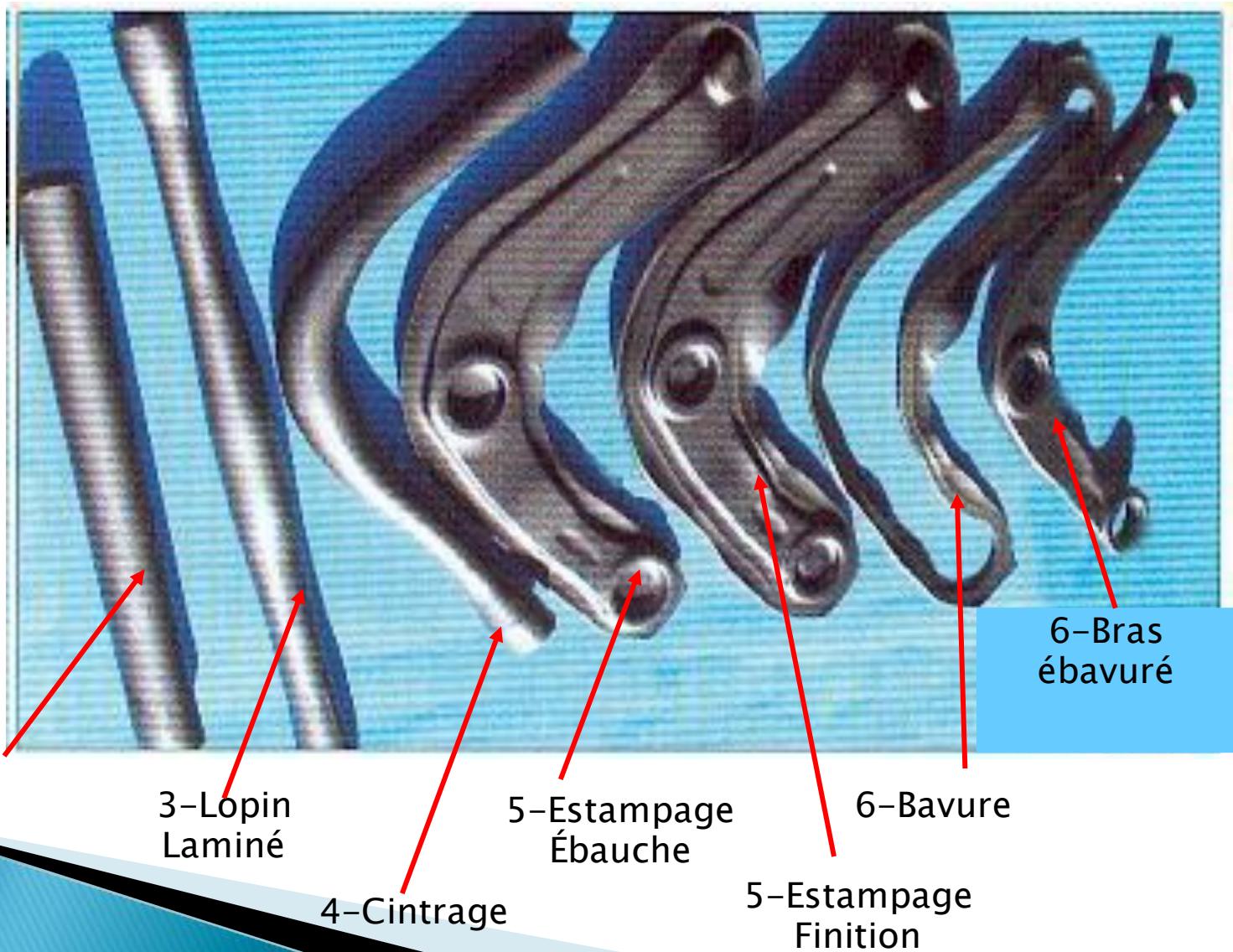
Le Grenaillage : projection de petites billes d'acier qui permettent d'éliminer les oxydes et la calamine.

Les Traitements thermiques : En grande série les aciers utilisés permettent d'effectuer les traitements après l'opération d'ébavurage sans réchauffage.

Usinage : Tolérances dimensionnelles et géométriques

II. Gamme d'estampage (Exemple)

Gamme de Forgeage du Bras de Suspension



Partie II

Tracé d'une pièce estampée :

- Habillage de la pièce,
- Tolérances dimensionnelles et géométriques

III. Tracé des pièces estampées

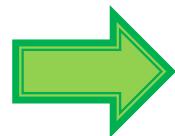
Etape I : (*Etude de conception/tracé de la pièce*)

- ▶ À partir du plan de la pièce, **vérifier** qu'elle est **réalisable par estampage** (pièce démoulable, nuance du métal, nombre de passes...),
- ▶ Améliorer les **conditions d'exécution de la pièce**: rayons facilitant l'écoulement de la matière, surface pouvant servir de départ d'usinage, ...

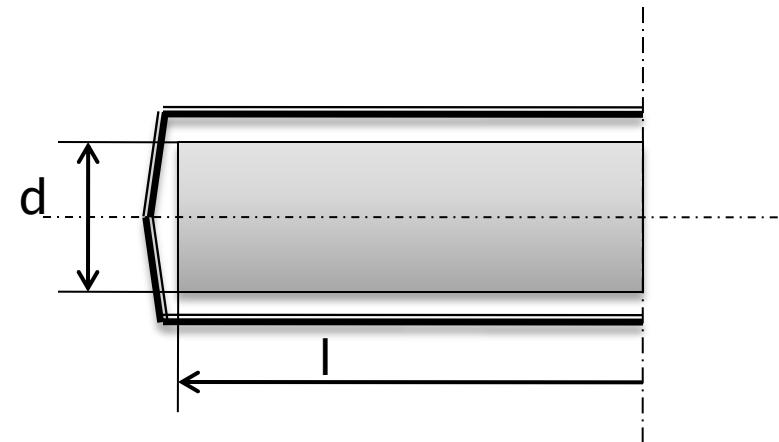
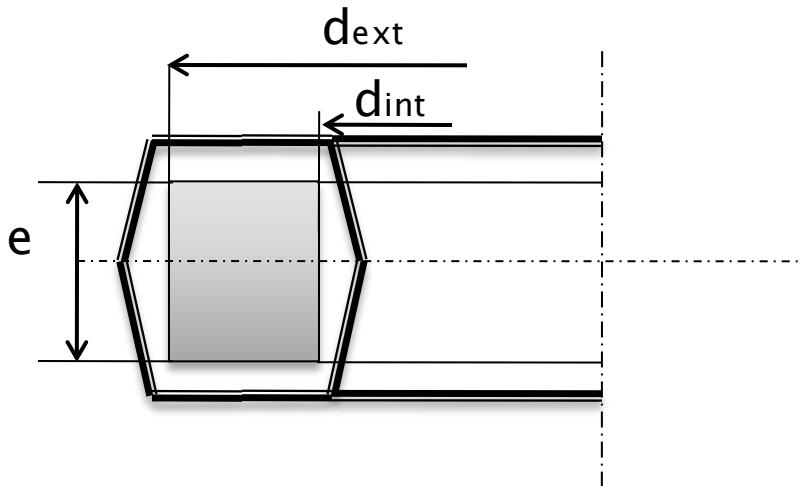
III. Tracé des pièces estampées

Etape II : Habillage de la pièce (Norme EUROFORGE)

a) Surépaisseur d'usinage



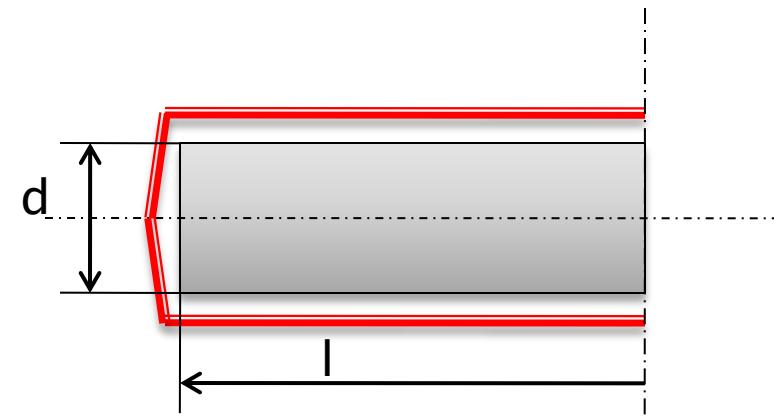
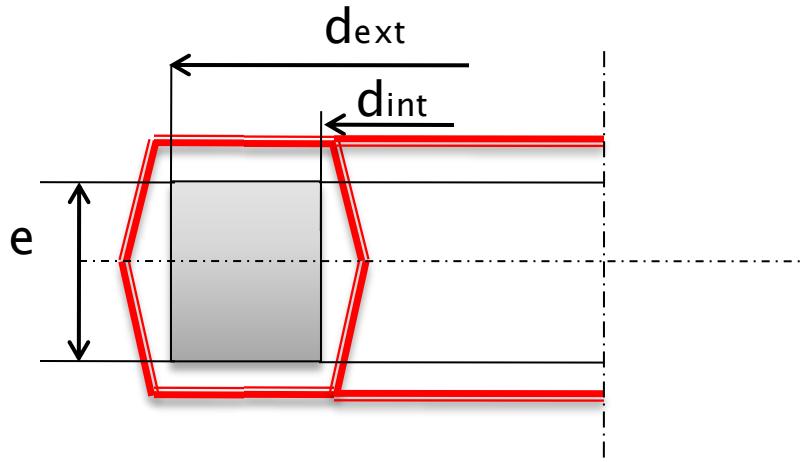
Prévoir une surépaisseur d'usinage qui dépend de la valeur nominale de la côte usinée



III. Tracé des pièces estampées

Etape II : Habillage de la pièce (Norme EUFORGE)

a) Surépaisseur d'usinage

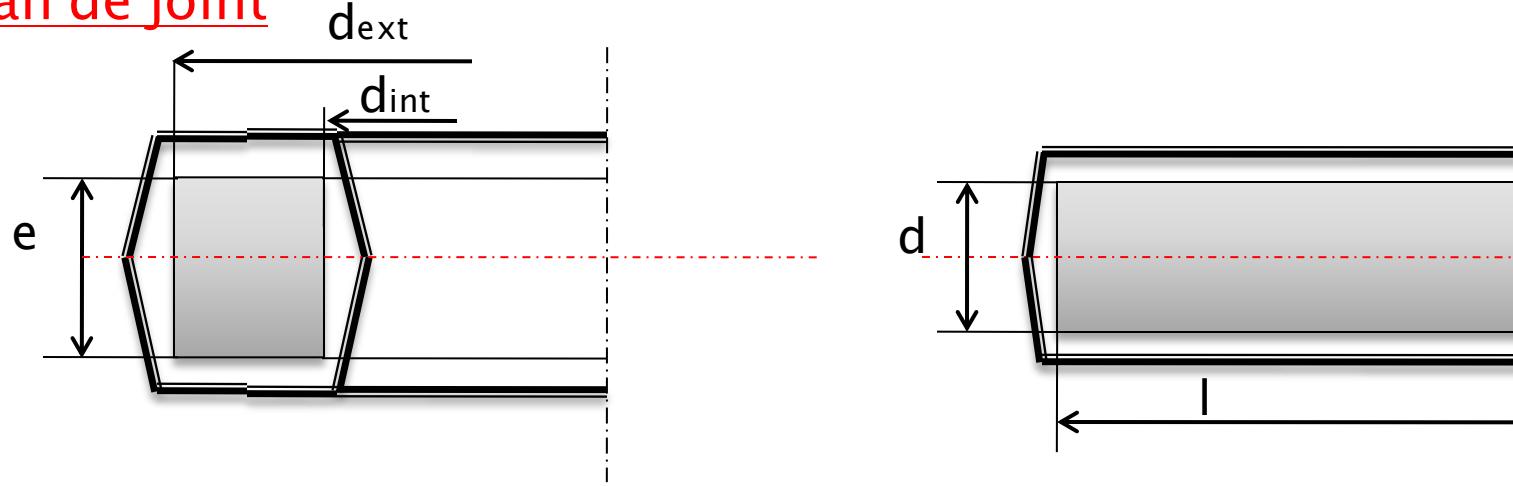


Epaisseur, longueur, largeur, diamètre en mm	Moins de 30	31 à 60	61 à 120	120 à 250	251 à 500	Plus que 500
Surépaisseur sur chaque face ou sur le rayon	1	1,5	2	2,5	3 à 4	5 à 8

III. Tracé des pièces estampées

Etape II : Habillage de la pièce (Norme EUROFORGE)

b) Plan de joint



- La pièce doit être démoulable,
- Prendre de préférence le plan de symétrie (s'il existe) pour avoir des gravures identiques,
- Chercher à minimiser et équilibrer la profondeur des gravures,
- prévoir les toiles : des ébauches de trou (si $D > 30\text{mm}$),
- équilibrer les efforts de fermeture des matrices.

III. Tracé des pièces estampées

Etape II : Habillage de la pièce (Norme EUFORGE)

Machine	Dépouille intérieure par rapport à la vertical				Dépouille extérieure par rapport à la vertical		
	Pente %	angle	Domaine de validité	Pente %	angle	Domaine de validité	
Pilon	12 à 14%	7 à 8°	Valeur normale		12 à 14 %	7 à 8°	Pour nervures de fortes hauteurs
	10%	6°	Noyaux de faible hauteur		10%6°		Valeur Normale
		e			5%3°		pour les pièces de révolution de faible hauteur
Presse à forger verticale	12 à 14%	7 à 8°	pour des creux profond		10%6°		pièces de révolution de grande hauteur
	10%6°		Valeur normale		5%3°		Valeur Normale
	5%3°		avec éjecteur		2%1°		avec éjecteur
Presse à forger horizontale	5 à 2%	3 à 1°	suivant la profondeur du trou borgne ou du débouchage		5 à 2%	3 à 1°	pour poinçon du coulisseau Valeur Normale
	2%1°				0%0°		pour outil de coulisseau secondaire
Nervures			9 à 12 %				

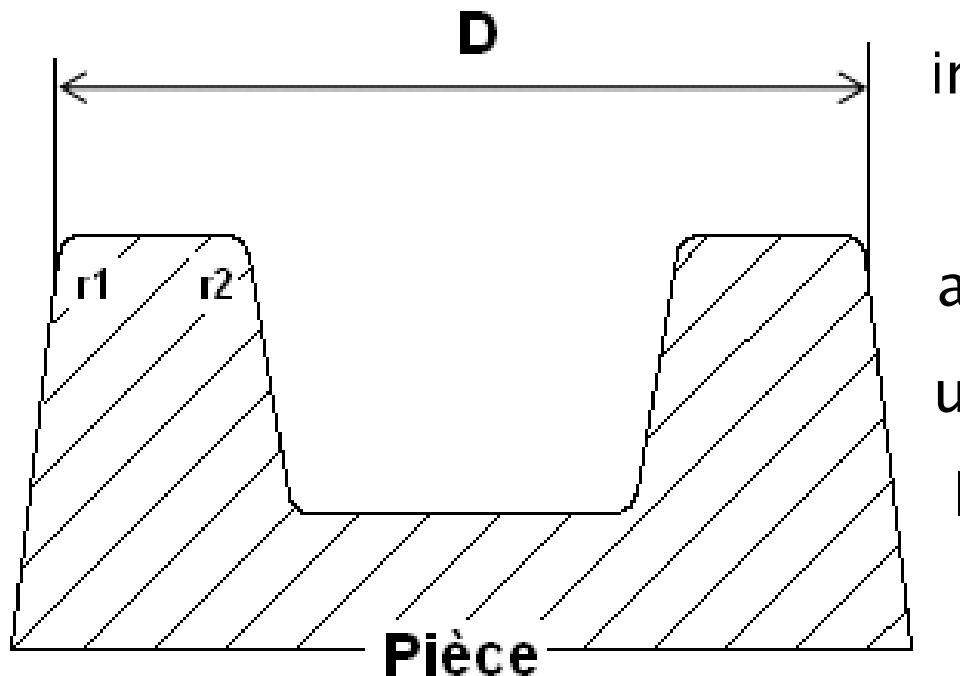
III. Tracé des pièces estampées

Etape II : Habillage de la pièce (Norme EUFORGE)

d) Les rayons d'arrêtes

Ces rayons conditionnent :

- L'effort en correctement
- l'écoulement formation d refroidissement
- robustesse de



III. Tracé des pièces estampées

Etape II : Habillage de la pièce (Norme EUROFORGE)

d) Les rayons d'arrêtes

Ces valeurs sont fonction :

- de la nature du métal formé,
- de la position du rayon : intérieur ou extérieur,
- son éloignement par rapport à l'axe ou au plan de symétrie de la pièce (chute de la température).

III. Tracé des pièces estampées

Etape II : Habillage de la pièce (Norme EUROFORGE)

d) Les rayons d'arrêtes

	Acier au carbone 1050°C	Acier léger A-CU4-G 470°C	laiton 670°C et aluminium 525°C	Bronzes d'aluminium 800°C et Cuivre 875°C
r1 min.	D x 0,013	D x 0,018	D x 0,007	D x 0,010
r2 min.	D x 0,018	D x 0,025 mêmes valeurs pour les aciers fortement alliés	D x 0,010	D x 0,014

III. Tracé des pièces estampées

Etape II : Habillage de la pièce (Norme EUROFORGE)

e) Définir la forme des toiles

- les toiles apparaissent lorsqu'on veut réaliser une ébauche des trous dont le diamètre est supérieur à 30,
- Effet : augmenter sensiblement l'effort de forgeage,
- la valeur minimal de l'épaisseur est fonction du métal et de la dimension du trou (épaisseur min. 2mm)

III. Tracé des pièces estampées

Etape III : Tolérances dimensionnelles et géométriques

Ces tolérances sont établies d'après la norme AFNOR NF E 82-002 élaborées par EUROFORGE, pour les pièces en acier estampé à chaud.

➤ Classe de tolérances :

- la classe F (fondamentale) la plus couramment retenue,
- la classe E (Exceptionnelle) plus serrée dont l'application doit se justifier sur le coût global de la réalisation de la pièce.

III. Tracé des pièces estampées

Etape III :

a) Tolérances dimensionnelles

Les valeurs des tolérances sont données par des tableaux, elles dépendent :

- de la côte nominale considérée,
- de la masse de la pièce,
- de la forme du plan de joint,
- du coefficient de difficulté de la matière :
 - M1 si $\%C < 0,65$ et $\%éléments_d'addition < 5\%$
 - M2 sinon
- du coefficient difficulté de la pièce allant de S1 à S4 calculé à partie du rapport de la masse de la pièce et de son enveloppe.

S4 : jusqu'à 0,16

S3 : de 0,16 à 0,32

S2 : de 0,32 à 0,64

S1 : de 0,64 à 1

III. Tracé des pièces estampées

Etape III :

b) Tolérances géométriques

Rectitude : déformation longitudinale de la pièce,

Planéité : déformation de face,

Cylindricité

Défaut de parallélisme.

Le plan de la pièce estampée doit comporter l'indication de la classe de tolérance retenue et un tableau regroupant pour chaque catégorie de côtes les valeurs des tolérances retenues.

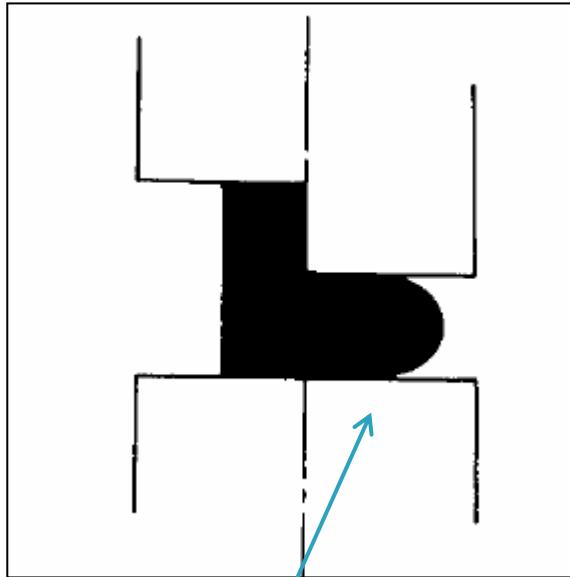
Extrusion

Mostapha EL JAI
ENSAM-Meknès

3. Extrusion (principe)

- La forge par **extrusion**, procédé plus récent, repose sur le même principe que l'estampage, mais elle est conduite à froid. À la température ambiante, on constraint le matériau à remplir complètement la forme en creux d'une matrice grâce à une très forte pression exercée sur un poinçon.
- Ce procédé donne des pièces aux formes encore plus précises que celles qui sont réalisées avec les deux premiers procédés et présentant des états de surface excellents, ce qui permet souvent de les utiliser sans usinage complémentaire.
- La masse moyenne des pièces extrudées est de l'ordre d'un kilogramme

3. Extrusion (différents types de déformation)



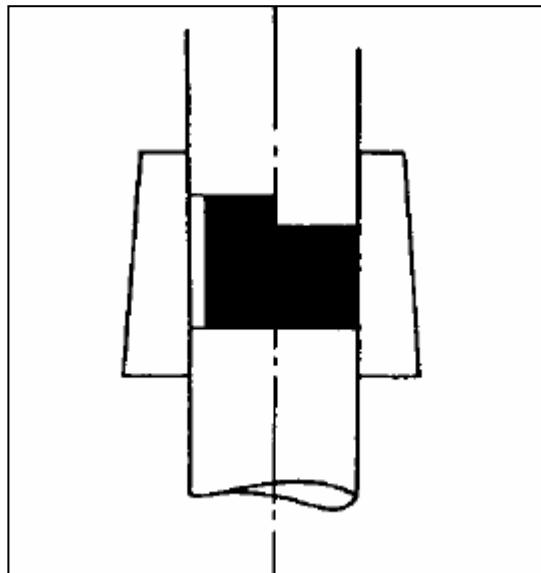
Augmentation de la section et diminution de la hauteur du lopin

Ecrasage :

- Déformation d'un lopin dans la direction de son axe par compression entre deux tas plats.
- Peut être considéré aussi comme le forgeage libre, puisque la forme n'est pas formé et forcé dans une empreinte de géométrie déterminée.

3. Extrusion (différents types de déformation)

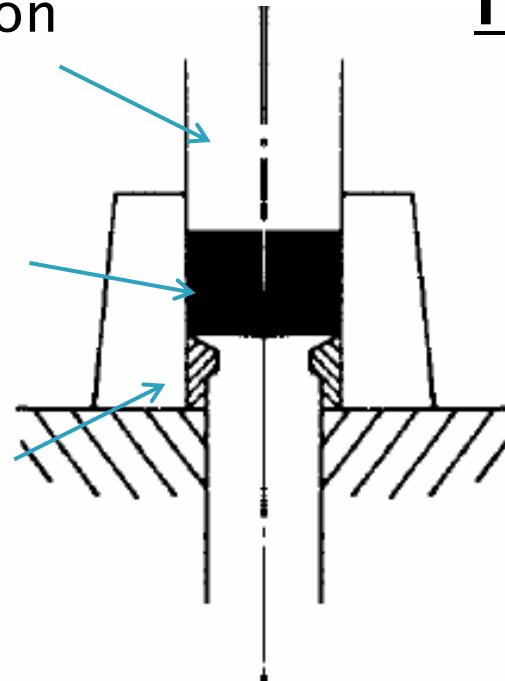
Préformage :



- Déformation d'un lopin dans une matrice par compression sous l'action d'un poinçon.
- Réalisation d'une préforme avant filage.
- Minimisation de l'énergie de formage pour les autres passes.

3. Extrusion (différents types de déformation)

poinçon



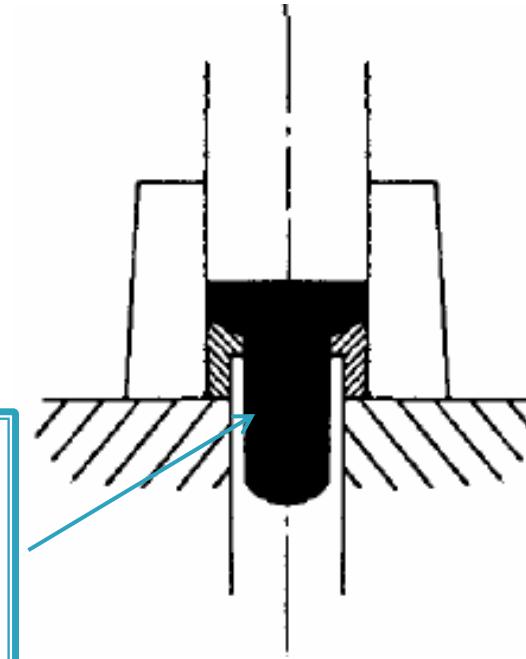
Filage direct :

Déplacement
du poinçon



Déformation :
réduction de section
et augmentation de
la longueur

Avant déformation



Après déformation

Filage direct : La déformation est de même sens
que l'application de l'effort presseur (de forgeage)

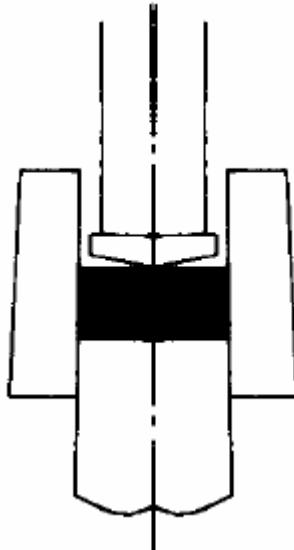
3. Extrusion (différents types de déformation)

Filage direct :



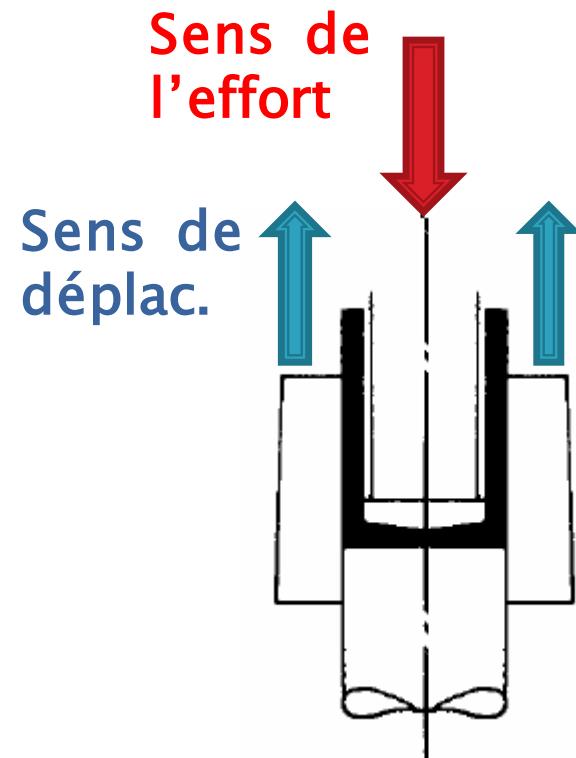
3. Extrusion (différents types de déformation)

Filage inverse :



Avant déformation

Déplacement
du poinçon

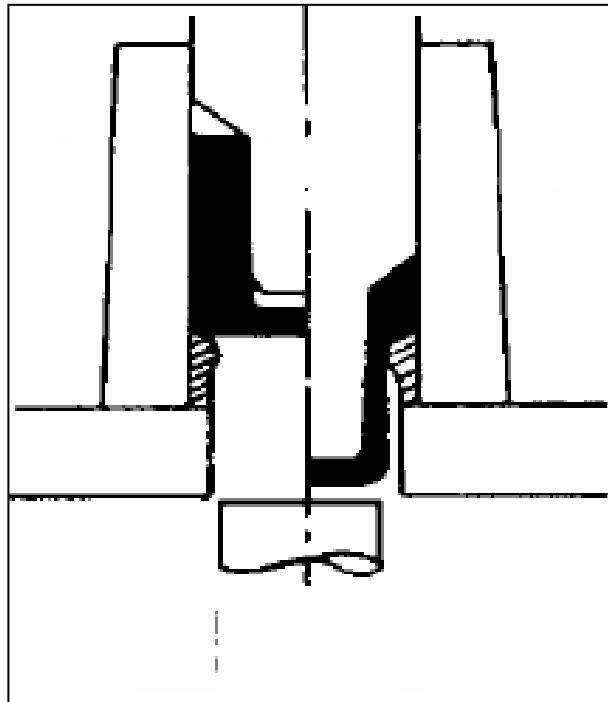


Après déformation

Filage inverse : La déformation se fait dans le sens inverse d'application de l'effort.

3. Extrusion (différents types de déformation)

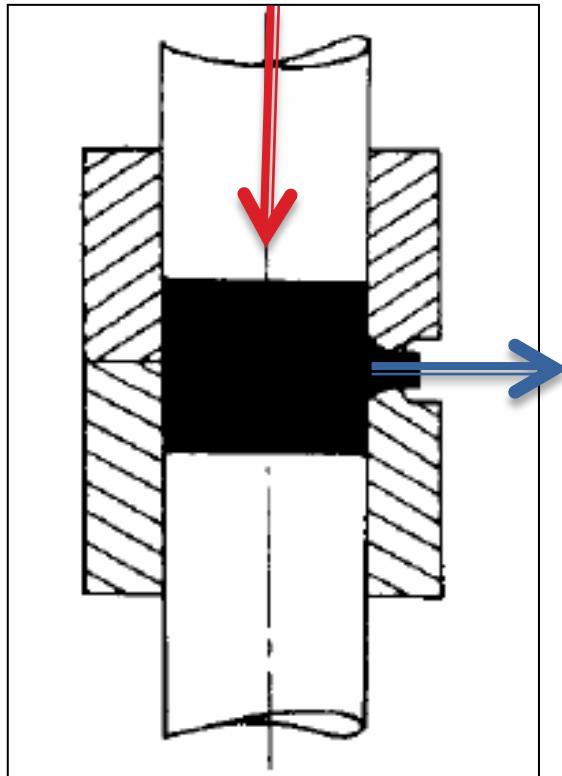
Filage direct creux :



- Opération identique au filage direct, mais appliquée à des corps creux obtenus par filage inverse.
- Rétrécissement de l'épaisseur et augmentation de la hauteur.
- La pression du poinçon s'exerce sur la collarette

3. Extrusion (différents types de déformation)

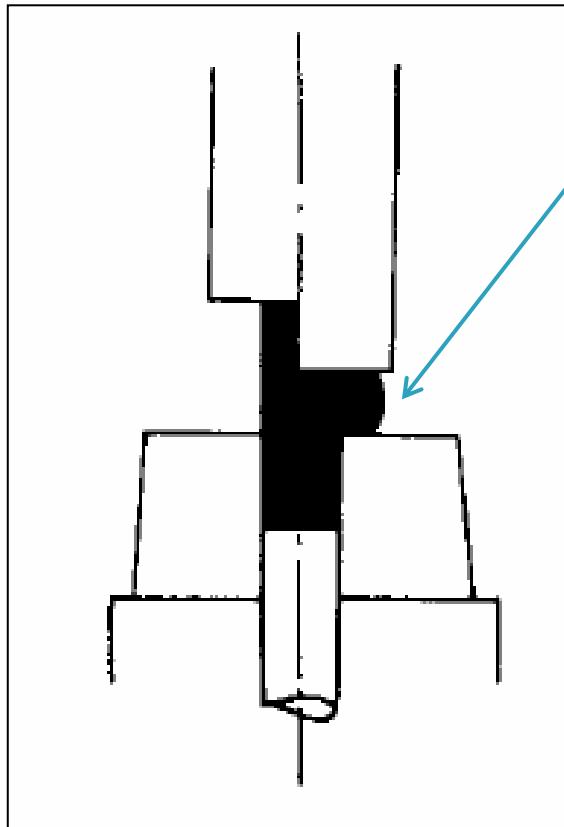
Filage latéral :



- Opération dans laquelle la matière est forcée de s'écouler latéralement au travers d'un orifice ménagé dans la paroi de l'outillage.

3. Extrusion (différents types de déformation)

Refoulage :



Collerette

Opération qui consiste à écraser dans la direction de son axe, une partie libre d'un lopin, ou d'une pièce, afin de former une tête ou une collerette.

3. Extrusion (Extrudeuse pour produits métalliques)



3. Extrusion (Exemples de produits et réalisations)

