

## Cours de technologie de base



## Programme d'études

### Chapitre 1: Matériaux

- " Métaux et alliages et leurs désignations
- " Matières plastiques (polymères);
- " Matériaux composites;
- " Autres matériaux

### Chapitre 2: Procédés d'obtention des pièces sans enlèvement de matière

- " Moulage, forgeage, estampage, laminage, tréfilage, extrusion.... Etc
- " Découpage, pliage et emboutissage, etc...
- " Frittage et métallurgie des poudres;
- " Profilés et Tuyaux (en acier, en aluminium);

## Classification

Les procédés de fabrication sans enlèvement de matière peuvent être classés en plusieurs catégories:

- ” Procédés de fabrication par déformation;
- ” Procédés de fabrication par fusion;
- ” Procédés de fabrication par assemblage.

## Introduction

Les procédés de fabrication par déformation consistent à déformer plastiquement le matériau jusqu'à obtention de la forme désirée.

Ces procédés peuvent avoir lieu à chaud ou à froid.

Ces procédés existent pour certains d'entre eux, depuis plusieurs siècles (exemple du forgeage). Ils peuvent présenter de nombreux avantages, selon la fonction des pièces fabriquée.

## Introduction

???

Les procédés de fabrication par déformation consistent à déformer **plastiquement** le matériau jusqu'à obtention de la forme désirée.

Ces procédés peuvent avoir lieu à chaud ou à froid.

Ces procédés existent pour certains d'entre eux, depuis plusieurs siècles (exemple du forgeage). Ils peuvent présenter de nombreux avantages, selon la fonction des pièces fabriquée.

## Rappels sur la plasticité des matériaux

Lors d'un essai de traction, la contrainte et la déformation sont données par:

$$\sigma_n = \frac{F}{S_0} \quad \varepsilon_n = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Deux domaines distincts:

### 1- Elasticité:

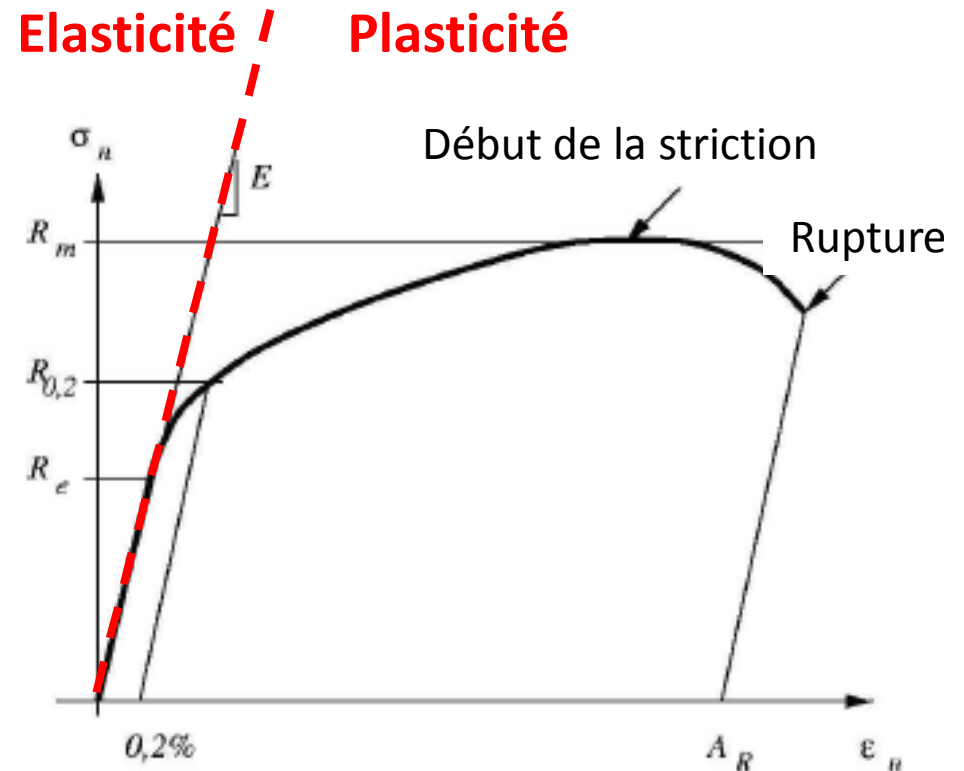
" La déformation axiale est linéaire;

$$\sigma_n = E \varepsilon_n$$

" La déformation est réversible;

"  $R_e$  est la limite élastique du matériau

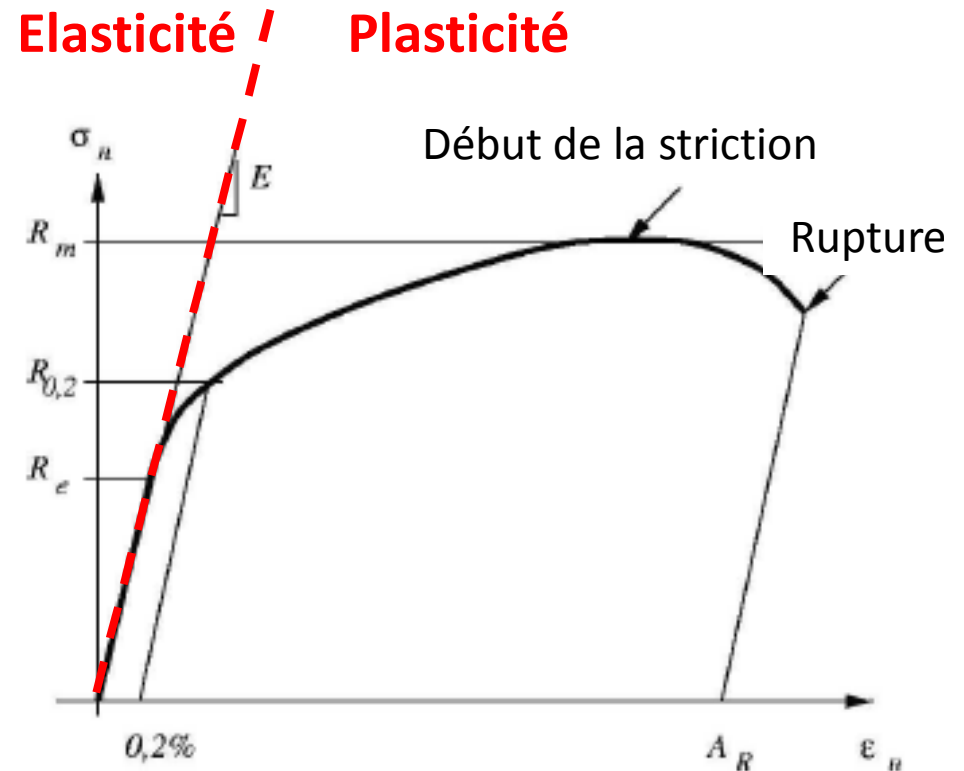
"  $R_{0.2}$  est la limite conventionnelle à 0.2% de déformation.



## Rappels sur la plasticité des matériaux

### 2- Plasticité:

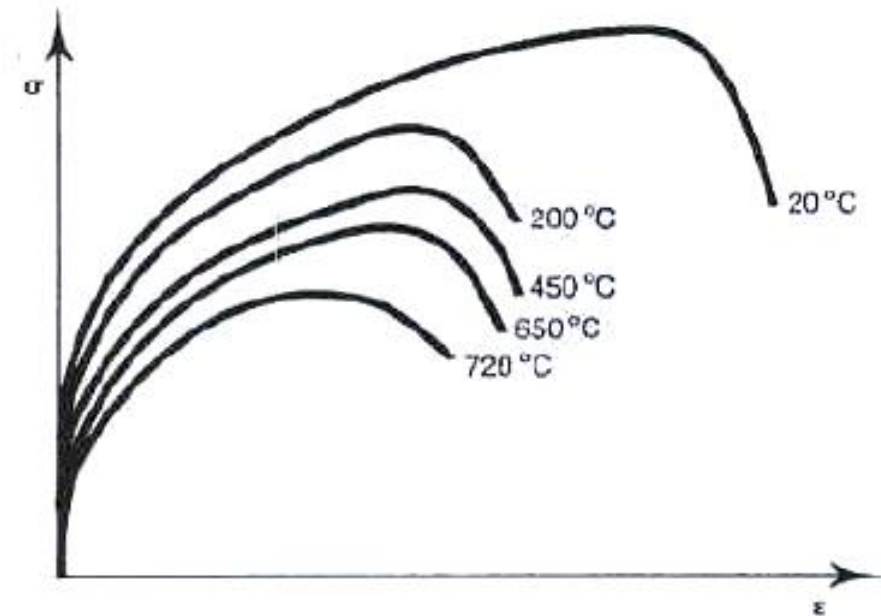
“ L'évolution des déformations en fonction des contraintes n'est plus linéaire;  
“ La déformation est permanente;  
“ La fin de la courbe est marquée par le phénomène de striction qui correspond à une déformation localisée.



## Rappels sur la plasticité des matériaux

### Influence de la température:

De manière générale, une augmentation de la température induit une diminution de la limite d'élasticité. Ce phénomène est souvent utilisé pour mettre en forme les matériaux, car il nécessite moins de contrainte (et donc moins d'effort sur le matériau) pour obtenir une déformation permanente.





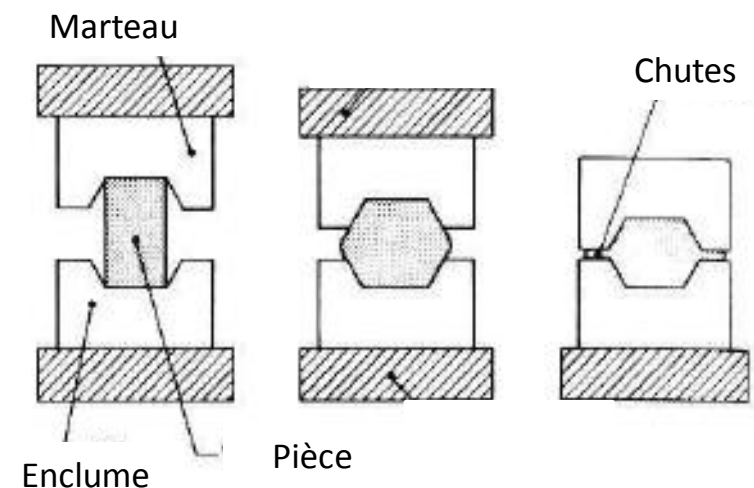
## Procédé de forgeage

(Anglais: Forging)

Le **forgeage** est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur un morceau de métal, à **froid ou à chaud**, afin de la contraindre à épouser la forme voulue.

Le forgeage implique un dispositif de frappe (marteau, masse, martinet ou marteau-pilon) et un support (enclume ou matrice).

L'état plastique de la matière première employée distingue la forge des autres technologies d'obtention des pièces en métal comme la fonderie où c'est le métal liquide à 1450°C (fondu) qui est utilisé.



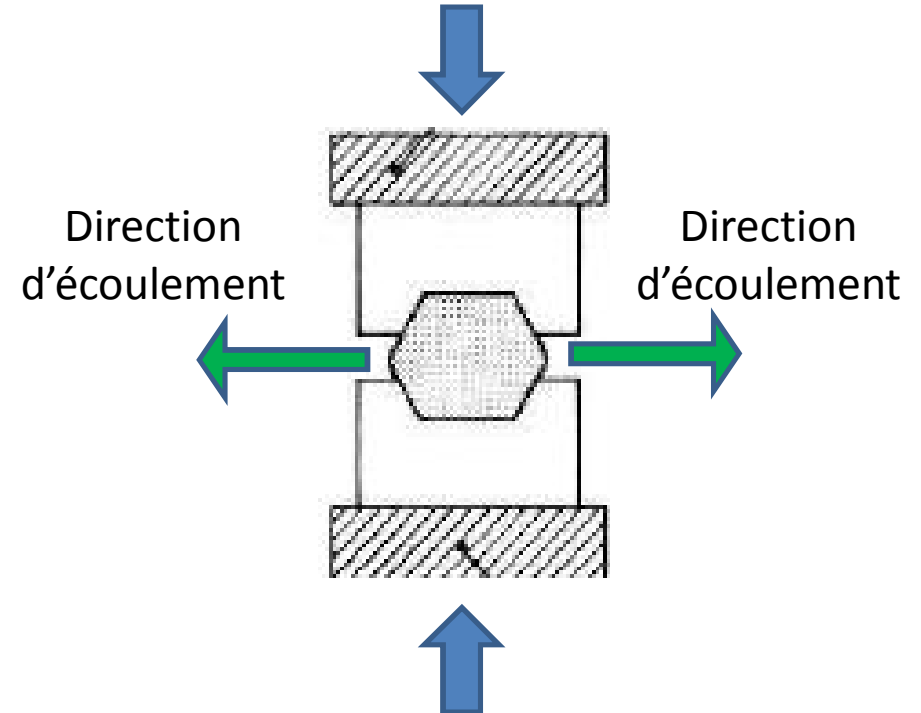
## Avantages du forgeage

### Homogénéité:

Sous l'effet du choc ou de la pression, le métal est écrasé et s'écoule entre les outils dans une direction perpendiculaire à celle de l'effort exercé. Il y a homogénéisation et orientation de la structure dans cette direction privilégiée.

### Caractéristiques:

Certaines caractéristiques mécaniques sont améliorées (en particulier l'allongement à la rupture).



## Avantages du forgeage

La forge est très utile pour des pièces de sécurité comme par exemple les crochets de manutention.

Elle permet, en réduisant les dimensions des pièces, de supporter les mêmes efforts. En conséquence, poids des pièces, efforts d'inertie, et vibrations s'en trouvent réduits.

## Inconvénients du forgeage

La forge ne permet pas d'obtenir les mêmes marges de tolérance que l'usinage, ce qui la réserve aux pièces requérant une forte résistance mais une faible précision. Le forgeage se révèle inutilisable pour obtenir directement les pièces mécaniques ayant besoin d'une forte précision dimensionnelle.

# Procédés de fabrication par déformation

---

La forge compte plusieurs technologies de production

# Procédés de fabrication par déformation

La forge compte plusieurs technologies de production

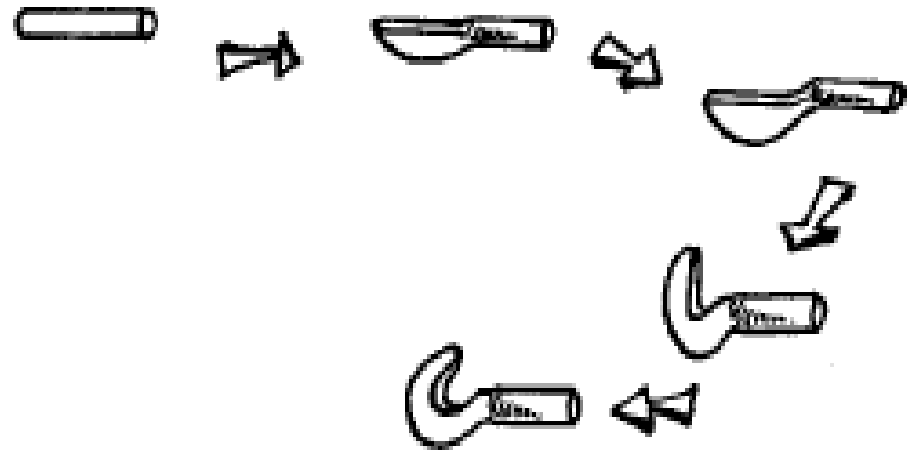
## 1- Forge libre

(Anglais: free forging)

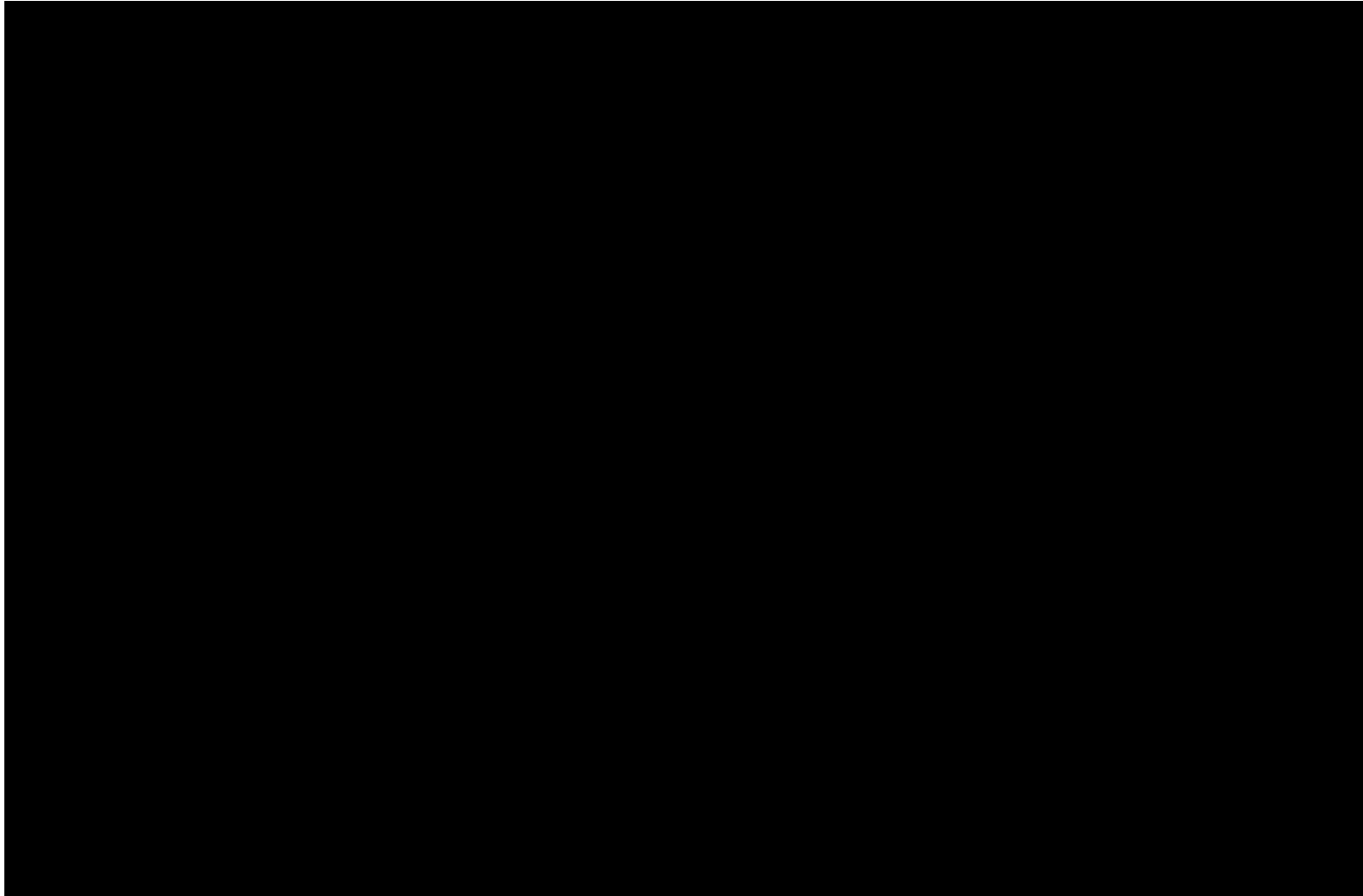
Dans ce cas, la matière est déformée suivant une direction. Les formes obtenues sont simples. La qualité de la pièce dépend de la compétence du forgeron. Les pièces peuvent peser d'un kilo à plusieurs centaines de kilos.

La forge libre est utilisée pour les pièces unitaires ou petites séries.

Il est possible d'utiliser des outils très basiques (pour les petites pièces simples), ou des marteaux-pilons pour des pièces lourdes.



Forge libre: Illustration animée

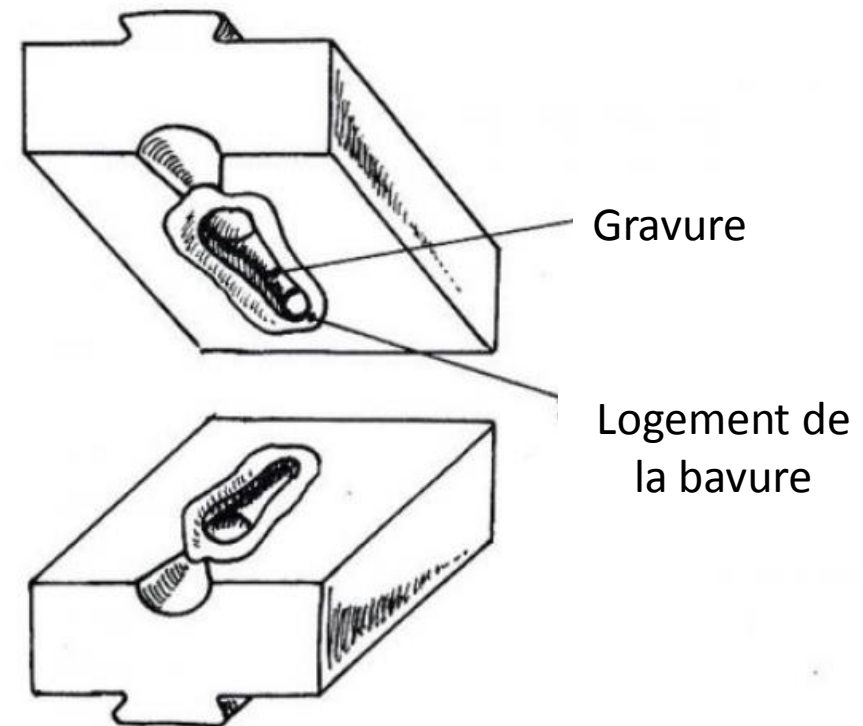


## 2- Estampage

(Anglais: stamping)

Cette technologie consiste à former, après chauffage, des pièces brutes par pression entre deux blocs (les matrices) portant en creux la forme exacte du produit à réaliser. Cette technique de fabrication suppose l'exécution préalable d'outillages spécifiques aux produits à confectionner. Elle n'est donc utilisée que lorsque le nombre de pièces à produire est assez élevé.

Elle permet d'obtenir une précision dimensionnelle plus grande qu'en forge libre.

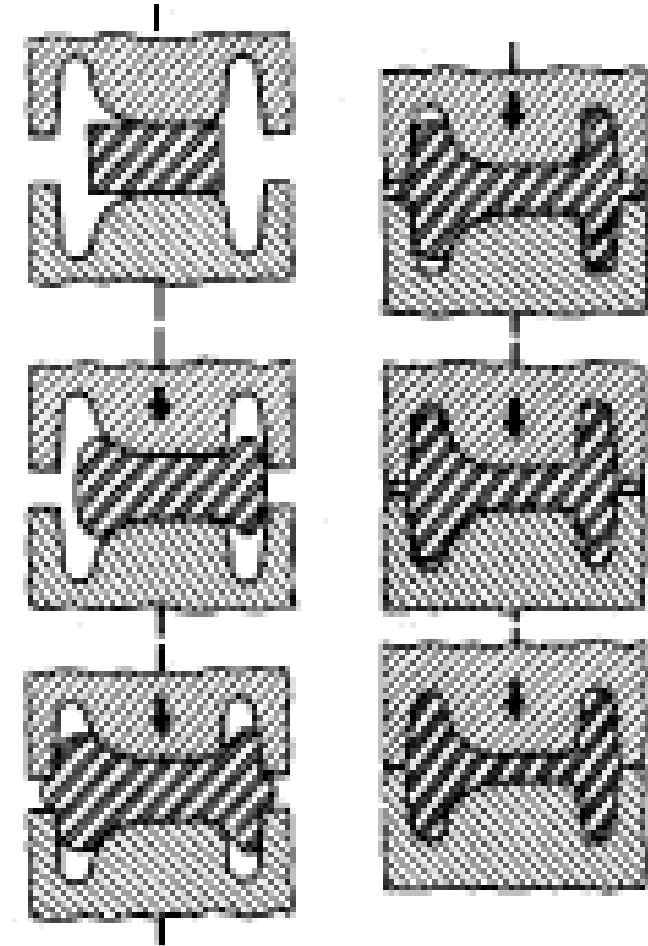


## 2- Estampage

La température de chauffage est élevée  
(en général  $T > 0.5 T_{\text{fusion}}$ ).

La mise en contact peut se faire, soit :

- Par des machines de choc ( $V > 1\text{m/s}$ );
- Par des machines de pression ( $V < 1\text{m/s}$ ).





## 3- Matriçage

Il s'agit d'un procédé identique à l'estampage, mais ce terme est réservé aux alliages non ferreux, tels que les alliages d'aluminium, de cuivre, de titane.

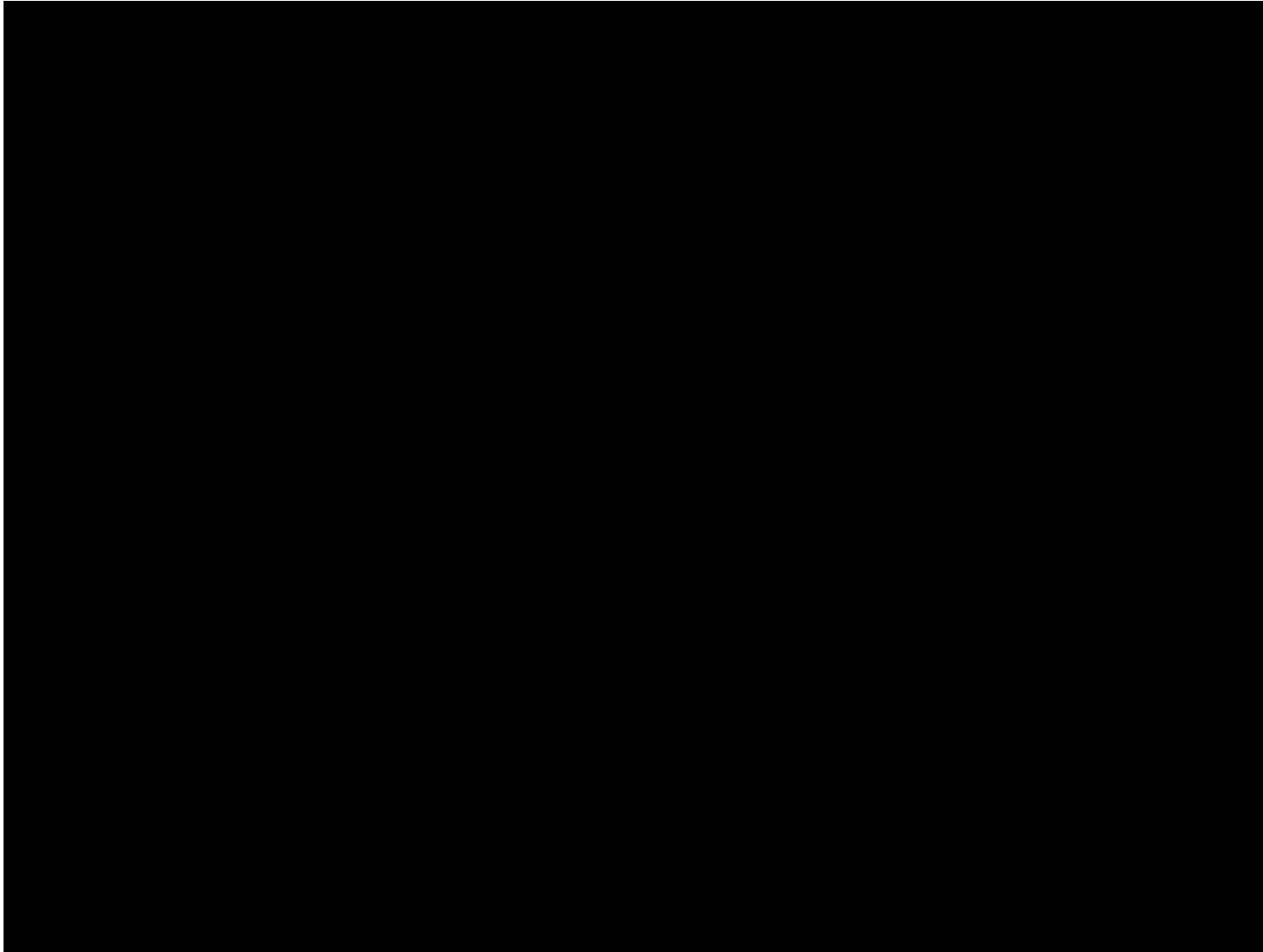
Exemple: prothèse de hanche:



# Procédés de fabrication par déformation

---

Estampage/Matriçage:  
Illustration animée



## Règles de conception des pièces matricées (ou estampées)

Lorsque le concepteur décide d'utiliser l'estampage (ou le matriçage), il est nécessaire de concevoir la pièce pour optimiser :

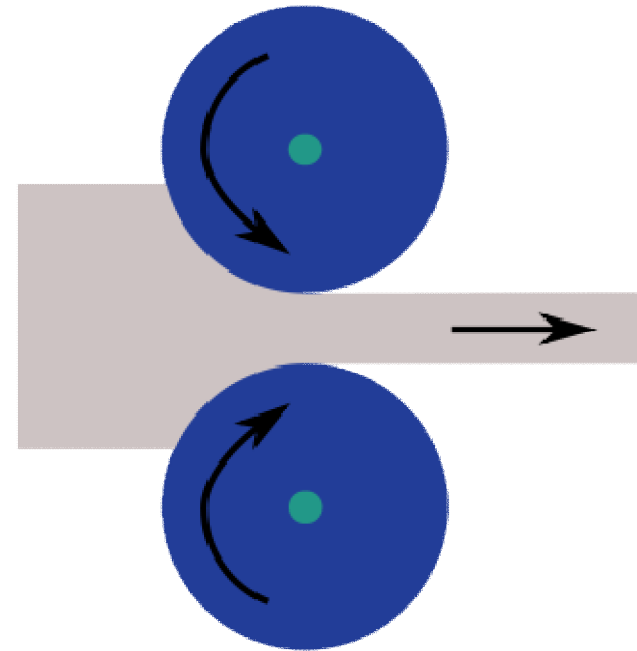
- Les surépaisseurs d'usinage
- La forme des matrices
- La durée de vie des matrices.

Certaines règles sont à respecter pour optimiser le cout et la durée de vie des outils.

# Procédés de fabrication par déformation (autres procédés)

## Laminage

Le laminage est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne différents matériaux comme du métal ou tout autre matériau sous forme pâteuse comme le papier ou les pâtes alimentaires.

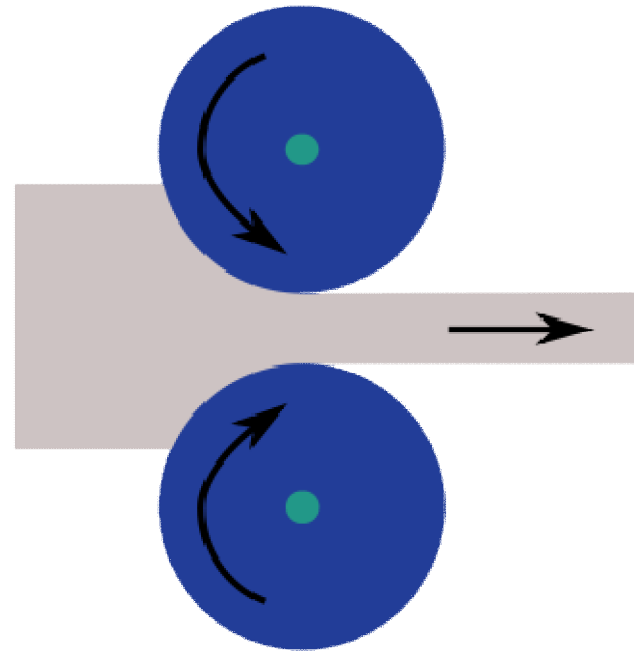


# Procédés de fabrication par déformation (autres procédés)

## Laminage

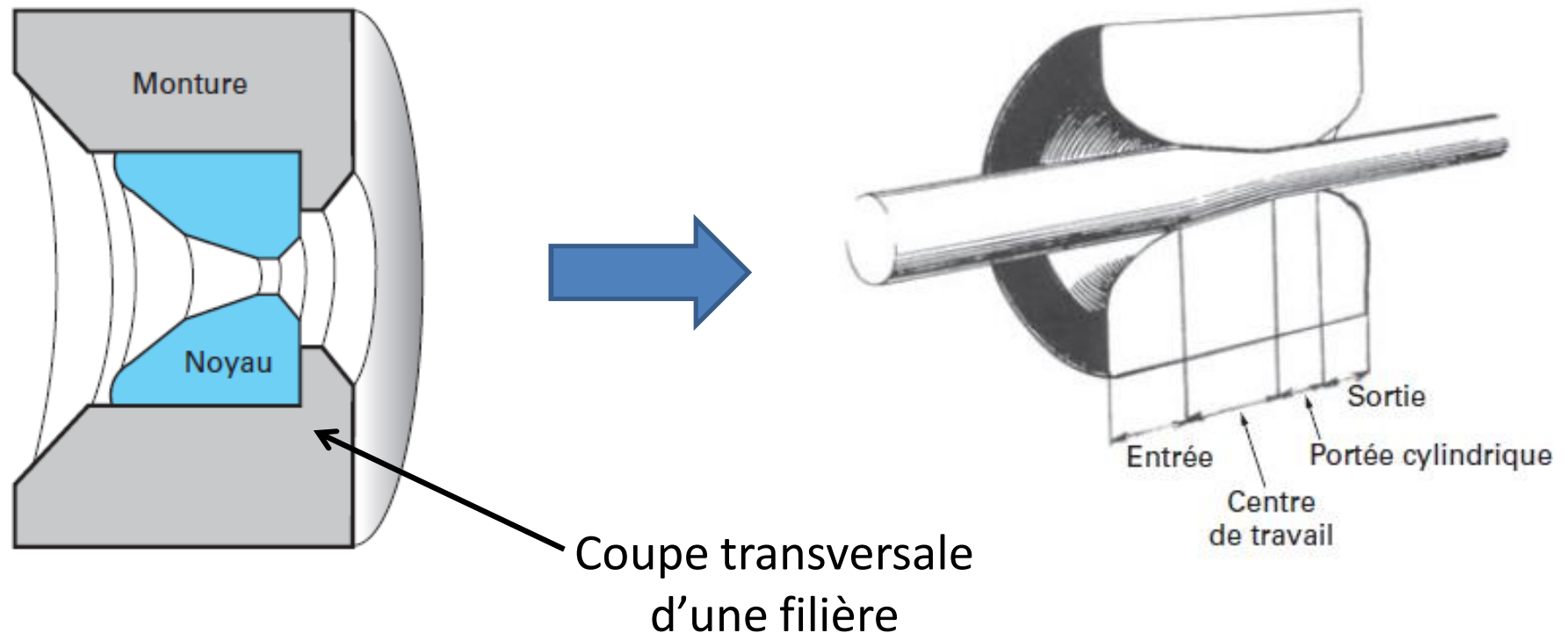
Cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres contrarotatifs appelés laminoir.

Un laminoir est une installation industrielle ayant pour but la réduction et l'uniformisation d'épaisseur du métal.



## Tréfilage

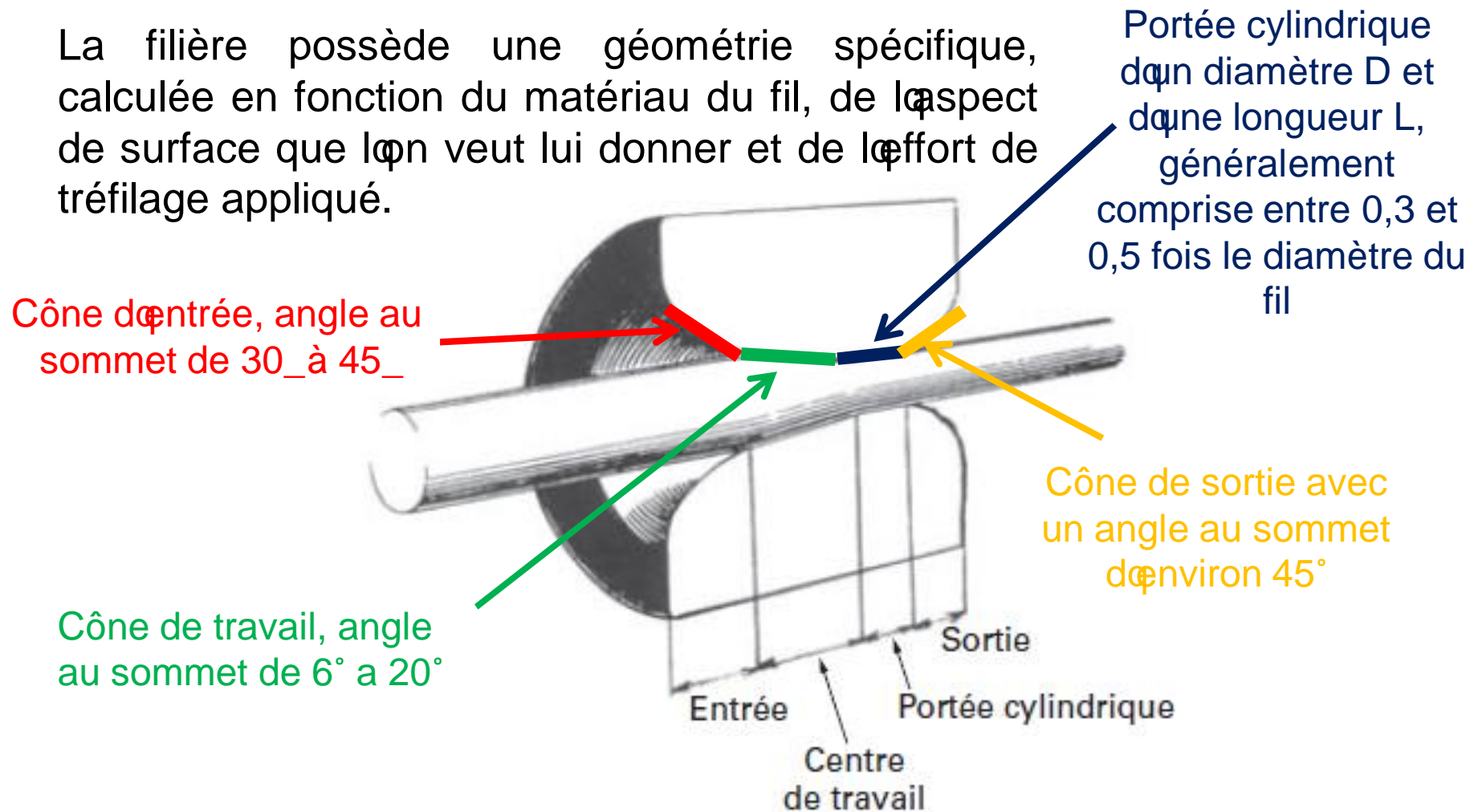
Le tréfilage utilise l'aptitude à la déformation plastique du métal. Ce procédé de transformation à froid consiste à faire passer le métal à travers un orifice calibré, **la filière**, sous l'action d'une traction continue. Un lubrifiant est utilisé afin de pouvoir réaliser l'opération plusieurs fois de suite et à grande vitesse.



## Géométrie de la filière

(Anglais: filière = die)

La filière possède une géométrie spécifique, calculée en fonction du matériau du fil, de l'aspect de surface que l'on veut lui donner et de l'effort de tréfilage appliqué.



## Lubrification

Pour assurer une bonne lubrification, il est préférable de privilégier un film de lubrifiant épais. Une bonne lubrification peut être favorisée en forçant le lubrifiant à pénétrer dans la filière : il existe des buses de mise en pression du lubrifiant que l'on place dans un réceptacle de lubrifiant juste avant la filière.

Le type de lubrifiant utilisé (savon en général) est fonction de la géométrie de la filière, de la portée cylindrique, de la rugosité souhaitée du fil produit.

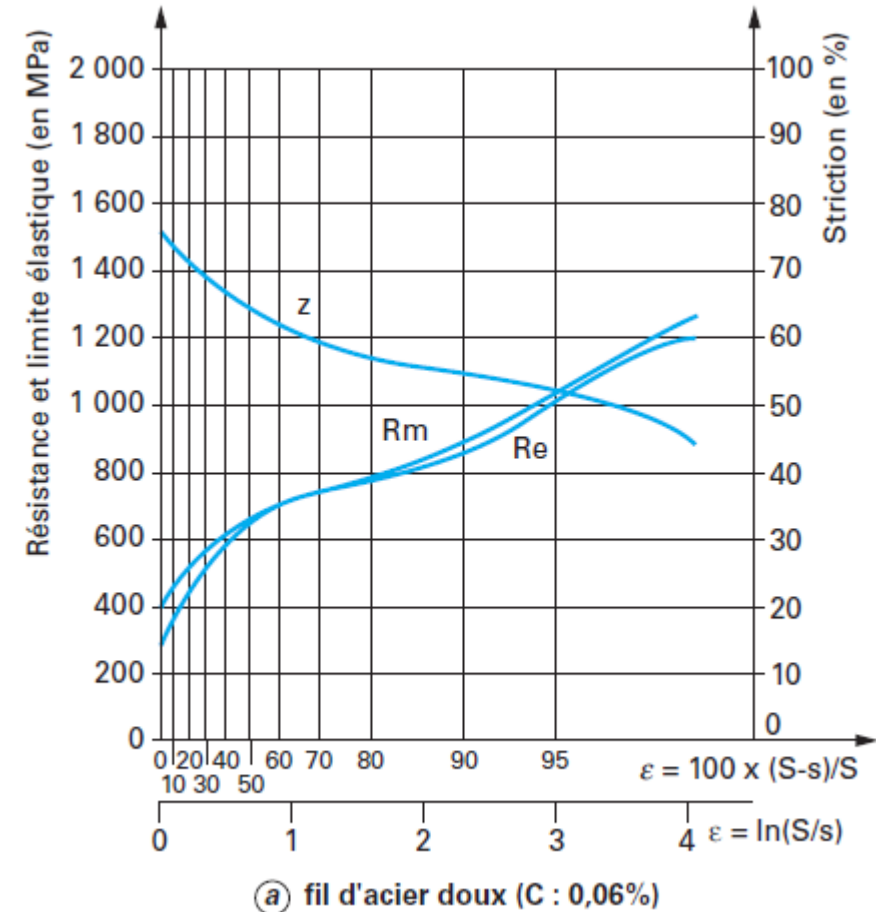
Par exemple: un film de faible rugosité doit être correctement lissé dans la filière, ce qui présuppose une faible épaisseur de lubrifiant.



## Tréfilage

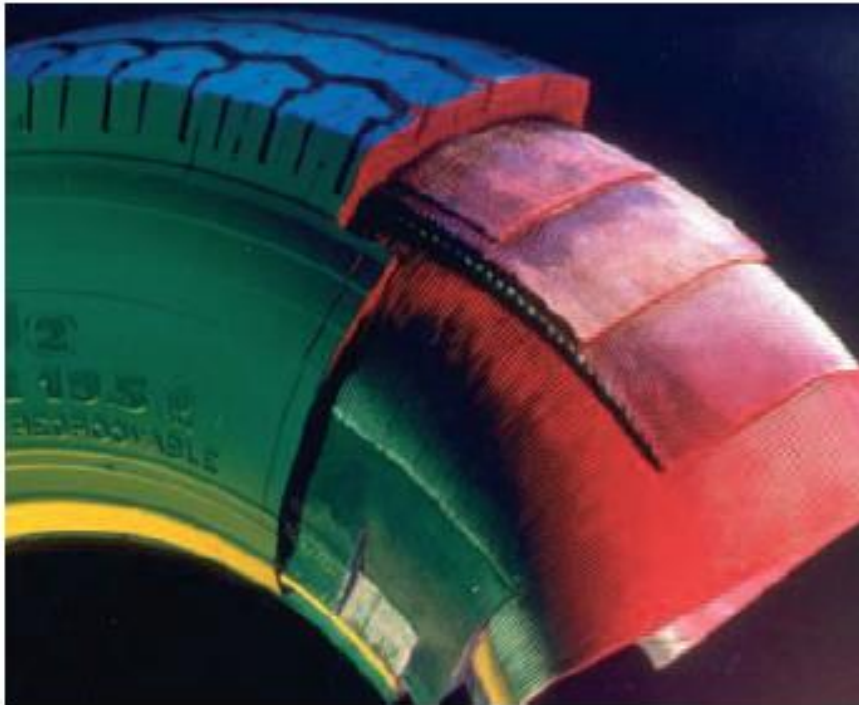
Les caractéristiques mécaniques prises en compte sur fil tréfilé sont, plus généralement, celles de traction et dans des cas particuliers, celles de dureté, de pliage alterné, de torsion et plus rarement, de fatigue.

Celles qui nous intéressent ici sont les propriétés en traction: au fur et à mesure des passages dans la filière, le fil diminue de section, ses caractéristiques de limite élastique ( $R_e$  ou  $R_{p0.2}$ ), de résistance ( $R_m$ ) ou de dureté augmentent.



## Tréfilage: applications

Le tréfilage est utilisé dans divers industries: construction (ponts à haubans), bâtiment ressorts industriels, câbles de manutention et de transport, industrie automobile (pneumatique...)... Etc.



Armature métallique  
de pneumatiques



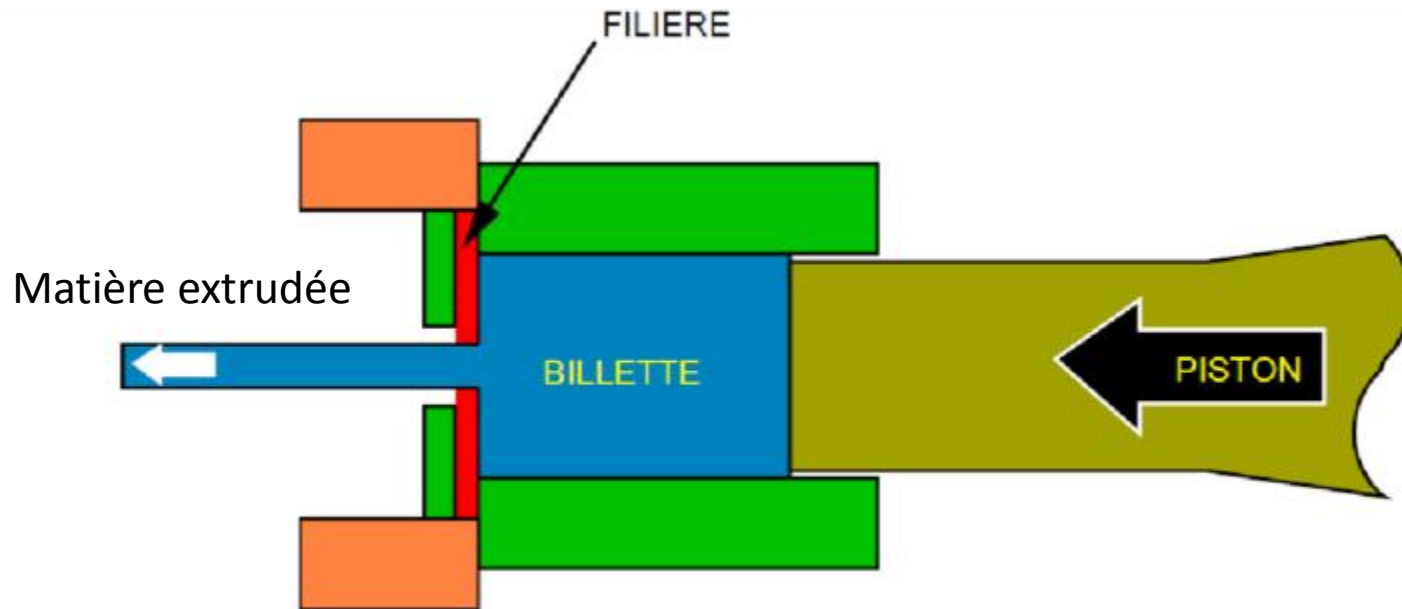
Ponts à haubans

## Extrusion

L'extrusion est le procédé de transformation d'un matériau se trouvant sous des formes diverses, en un produit continu de section transversale bien définie. Cette section, généralement constante est obtenue en obligeant la matière à s'écouler dans un orifice de forme adaptée au profil final souhaité.

La filière dans laquelle le matériau est poussé peut avoir plusieurs formes, en fonction de la section que l'on veut obtenir.

## Schématisation du processus d'extrusion



# Procédés de fabrication par déformation

L'extrusion est très utilisée pour l'aluminium. Dans ce cas, le matériau sous forme de billette est chauffé entre 450° et 500 °C avant d'être poussé dans l'orifice de la filière par le piston.

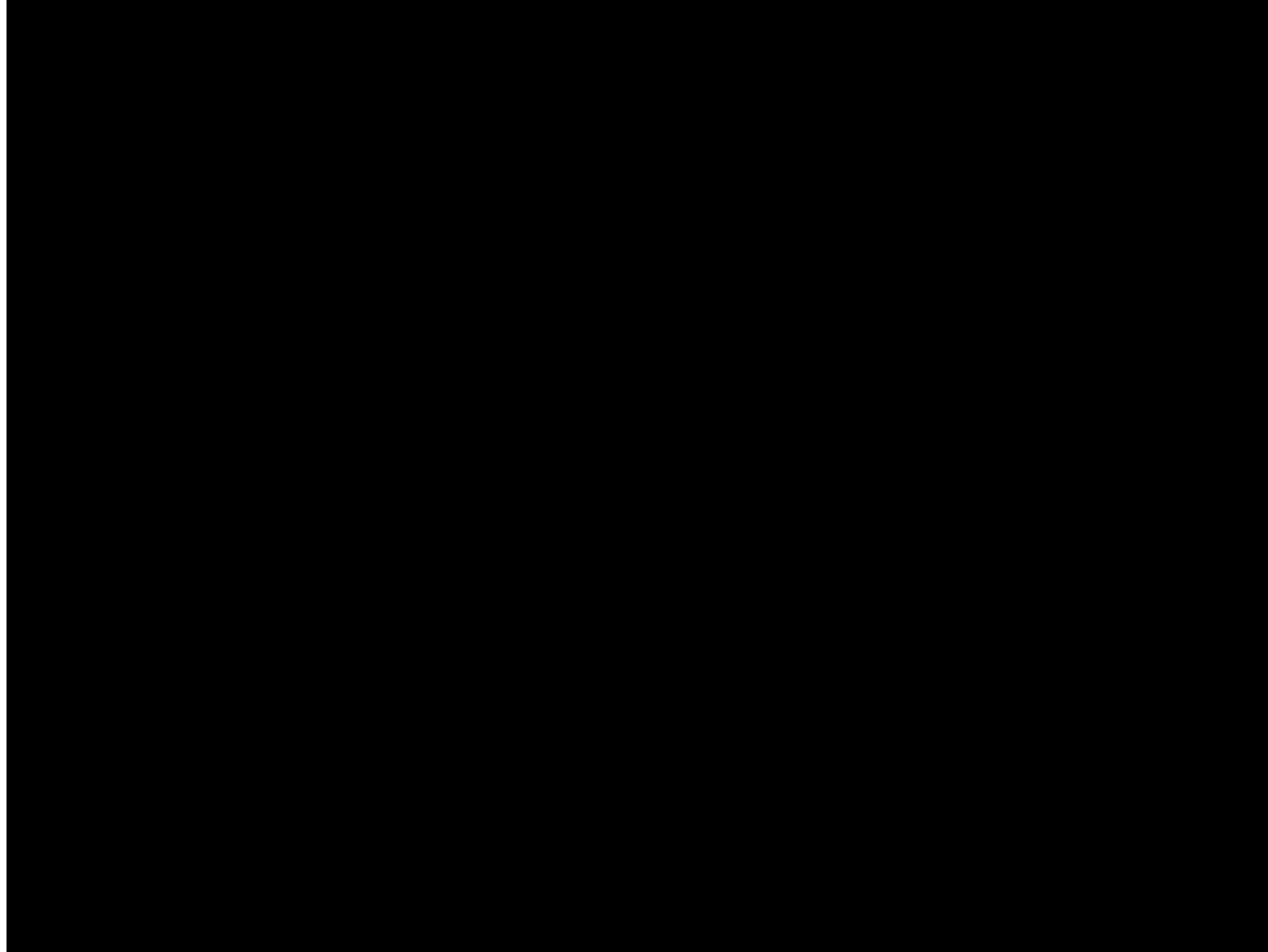


Billette  
(produit de  
base)

Filière



Extrusion: illustration animée



# Procédés de fabrication par déformation

- “ La réussite du procédé s'appuie en grande partie sur le contrôle des températures recherchées: celles des billettes et de la filière.
- “ La cadence de fabrication peut être importante à partir du moment où les billettes s'enchainent rapidement dans la presse.
- “ La force appliquée par le piston peut varier de quelque centaines de tonnes à plus de 20 000 tonnes.

## Exemples:



Cloison de bureau



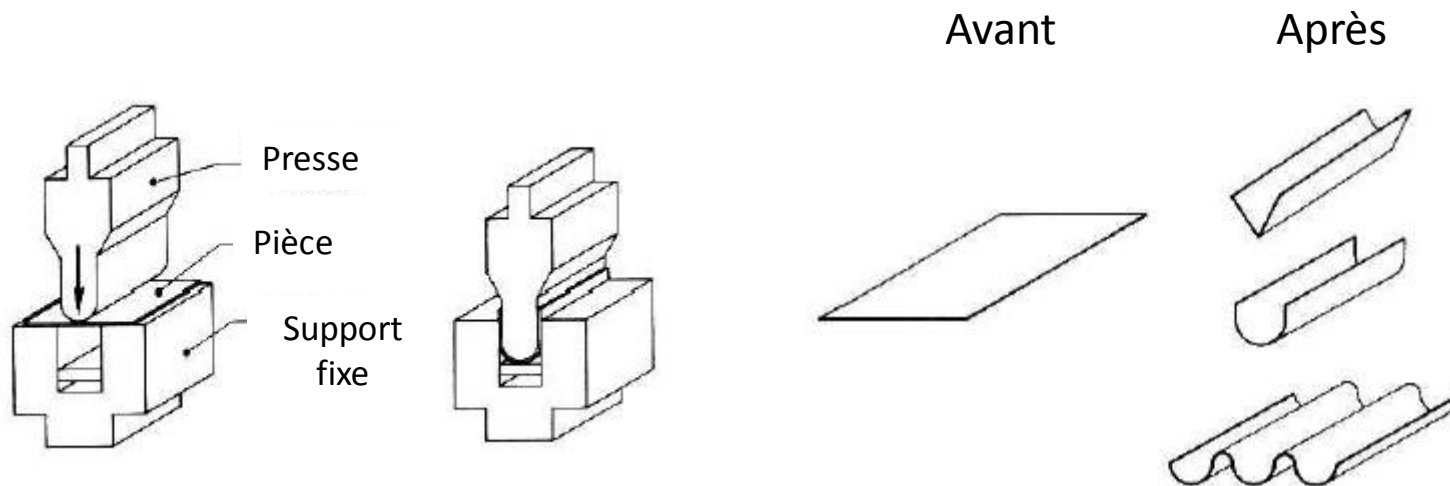
Echangeur de  
chaleur



## Pliage

Le pliage consiste à exercer une force sur une pièce reposant sur un ou plusieurs appuis ou encastrée à une extrémité. Cette force est exercée par une presse.

La pièce se déforme au-delà de sa limite élastique et conserve donc sa forme pliée (avec tout de même un phénomène de retour élastique à prendre en compte).

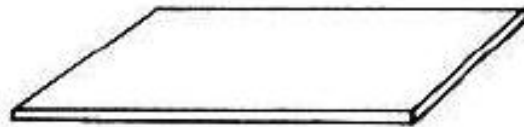




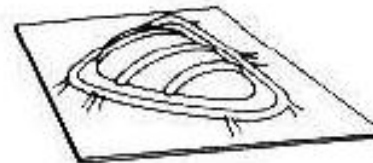
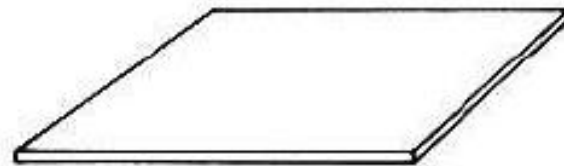
## Emboutissage

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique d'une surface de métal entraînée par un poinçon dans une matrice. Ce procédé permet d'obtenir rapidement et à moindre frais des tôles embouties.

Avant



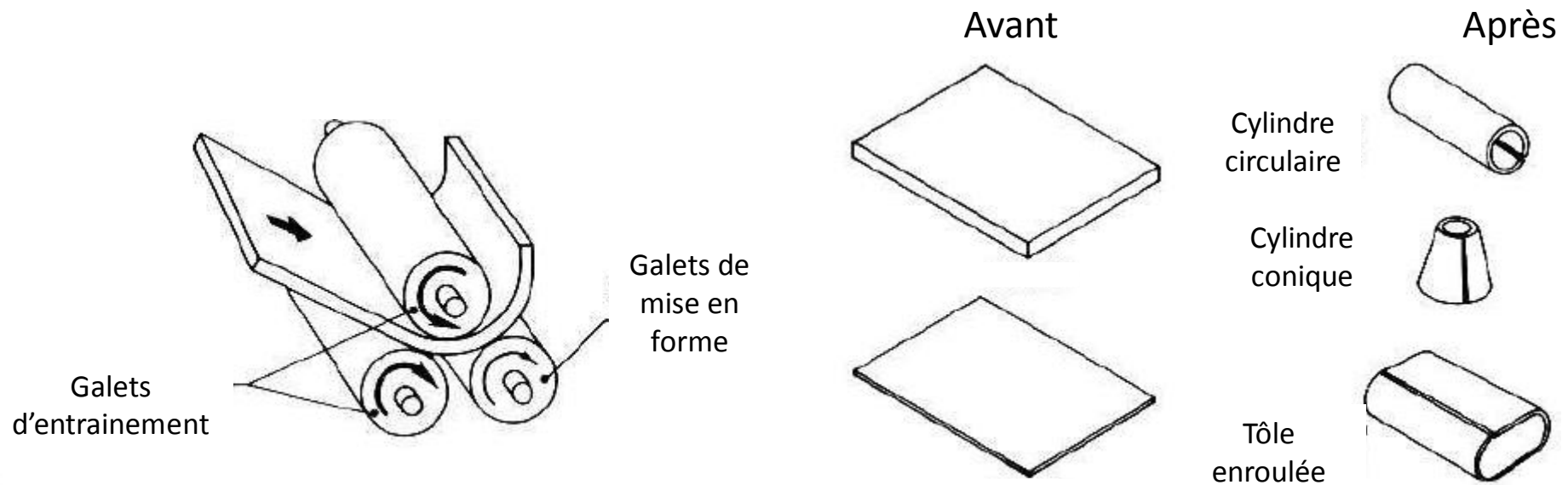
Après



## Roulage

Le roulage permet de plier des tôles pour en faire des tubes, des vis ou d'autres formes (principalement de révolution).

Note: le filetage des vis peut se faire à travers ce procédé.

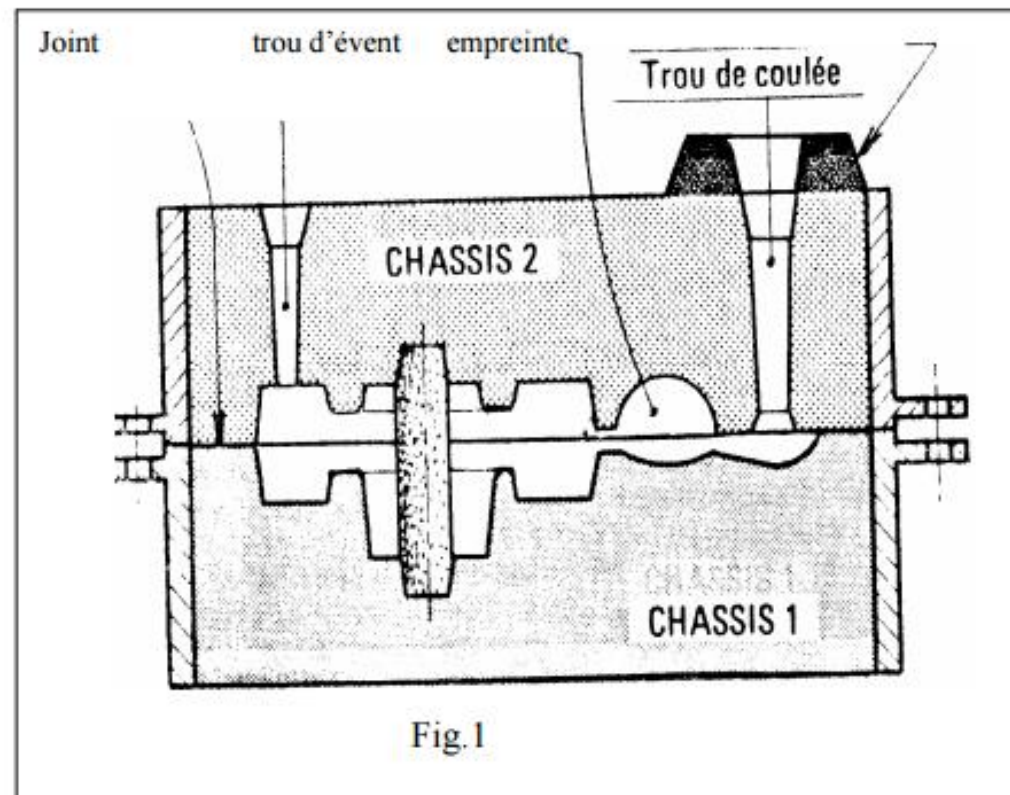




## Procédés de fabrication par fusion

## Moulage

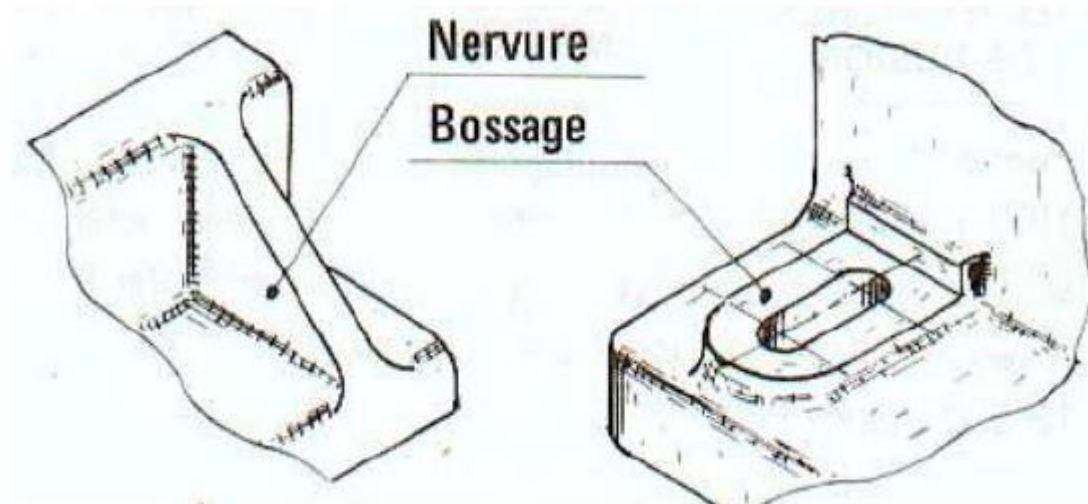
Le moulage permet d'obtenir des pièces complexes en coulant du métal en fusion dans un moule.



## Moulage

### Note:

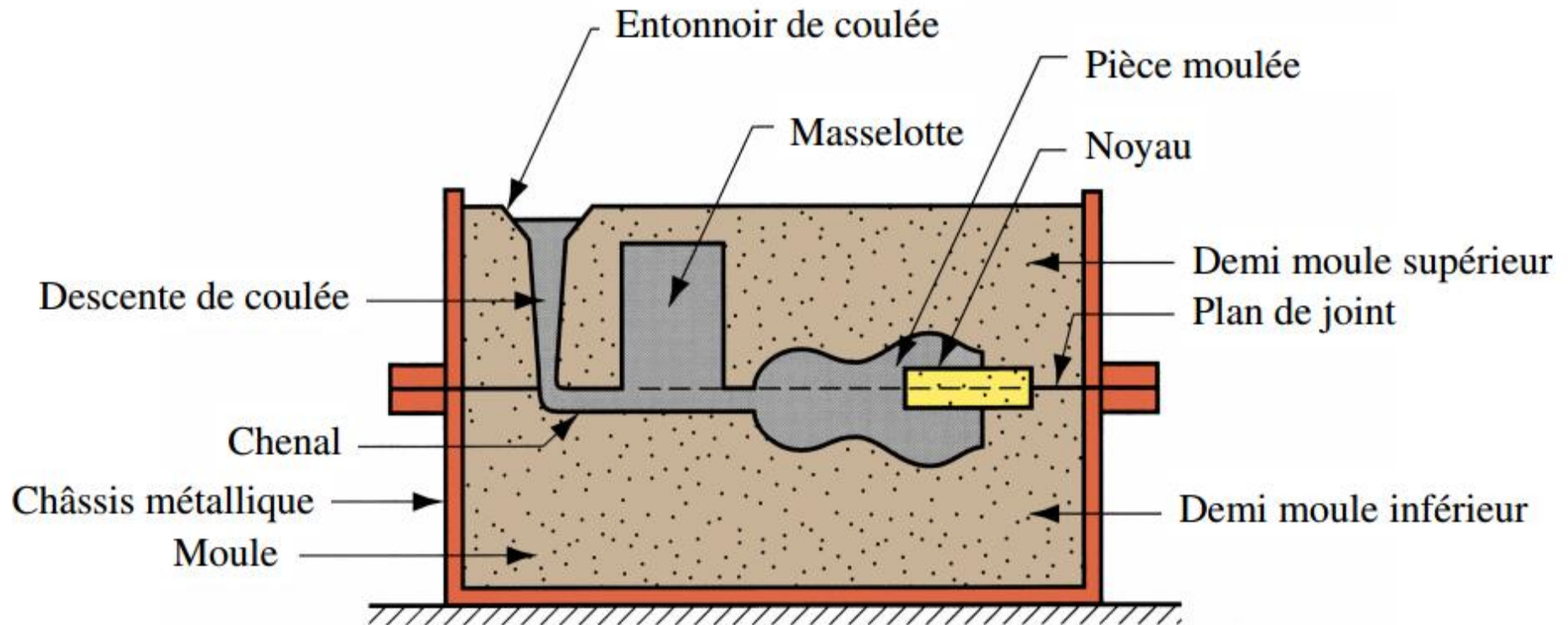
Certaines formes de pièces sont spécifiquement obtenues par le moulage : les nervures (qui augmentent la rigidité de la pièce), les bossages (qui limitent la surface à usiner et augmente localement l'épaisseur de la pièce).



## Deux grandes familles de procédés

1. Procédés à moule non permanent : on utilise un moule qui doit être détruit pour extraire la pièce. Matériau constituant le moule : sable, plâtre et matériaux semblables, plus des liants;
2. Procédés à moule permanent : on utilise un moule permanent qui peut être utilisé plusieurs fois pour produire plusieurs pièces. Fabriqué en métal ou plus rarement en céramique.

## Moulage au sable



## Moulage au sable

- “ La cavité du moule est réalisée en tassant le sable autour d'un modèle qui **a la forme de la pièce à réaliser** ;
- “ Lorsque le modèle est enlevé le moule a l'empreinte de la pièce;
- “ Le sable utilisé est humide et contient un liant (argile) afin de maintenir sa forme;
- “ Une fois le métal solidifié, le moule en sable est **cassé** et la pièce est récupérée;
- “ Des opérations d'ébavurage ou d'usinage peuvent être réalisées par la suite.



**Fin**