

Produit Matériau Procédé

Contexte : LE BESOIN

A qui ou à quoi le produit rend-il service?

Sur qui ou sur quoi le produit agit-il ?

Aux viticulteurs

Les sarments de vigne

**Sécateur
INFACO**

Dans quel but ?

Tailler les sarments de vigne sans effort et de façon autonome

Produit Matériau Procédé

Contexte : **QUALITE** = $\frac{\text{Satisfaction du besoin}}{\text{Coût}}$

Cahier des charges

- Propriétés attendues
- Fonctions techniques

Géométrie

- Résistance
- Encombrement, Poids
- Forme
 - Intégration, prise en main
- Qualité de finition
 - Spécification géométrique
- Design....

PRODUIT

Coût d'industrialisation
Prix de vente acceptable

Produit Matériau Procédé

Objectif :

Choix d'un matériau

Choix d'un procédé d'obtention

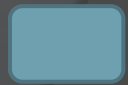
- Propriétés spécifiques de comportement des pièces directement liées aux propriétés des matériaux
- Adéquation géométries des pièces ↔ procédés d'élaboration
- Adéquation Procédés ↔ Matériaux
- Adéquation Procédés ↔ Série (cadence de production - nombre de pièces à réaliser)

*Optimiser la compétitivité du produit en
proposant une méthode structurée de choix
Matériau - Procédé*

Produit Matériau Procédé

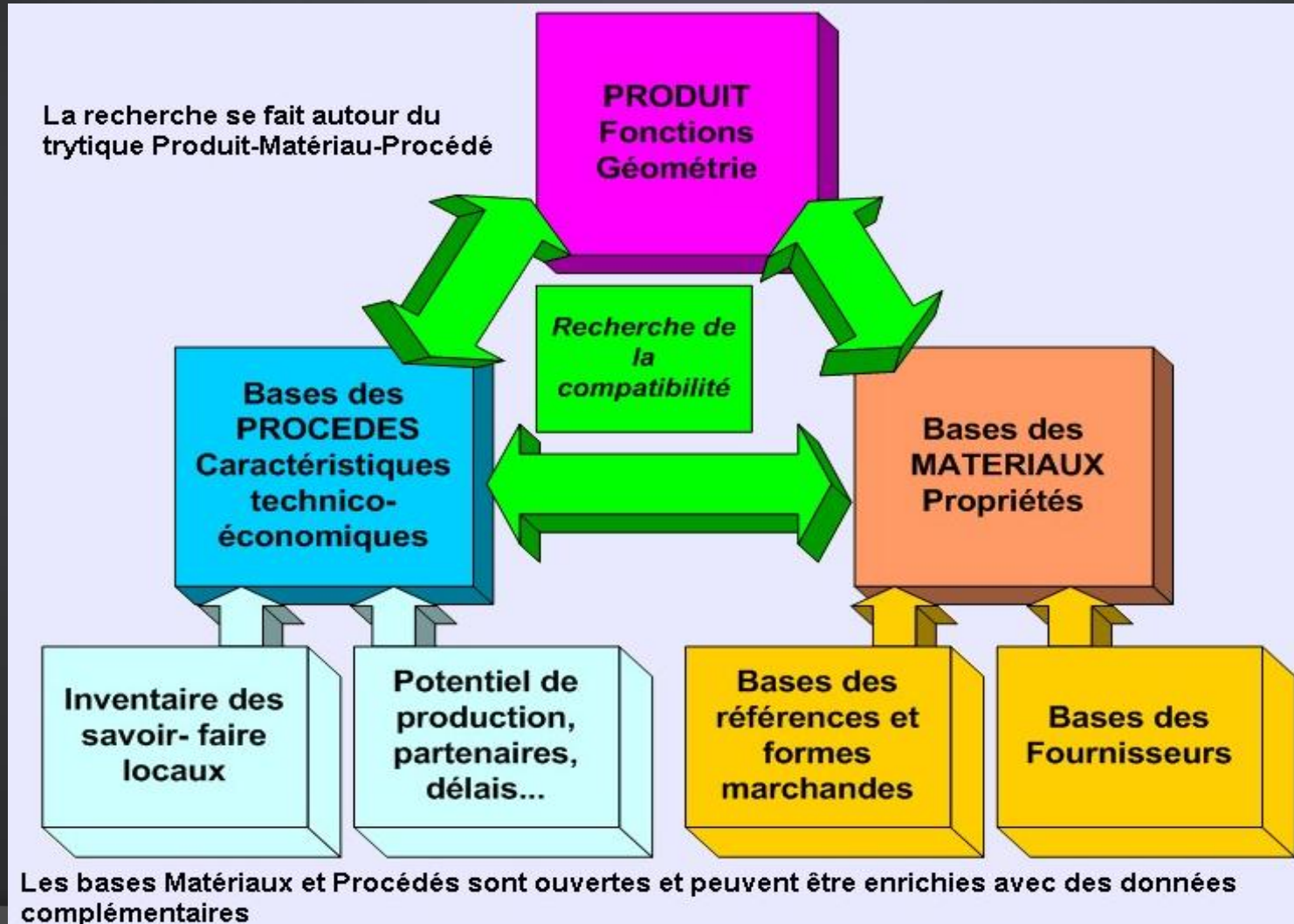
Base de connaissances :

- **Connaissance des matériaux et de leurs propriétés :**
familles, caractéristiques, fournisseurs, disponibilité...
- **Connaissance des procédés d'élaboration :**
particularités de mise en œuvre, caractéristiques technico économiques, savoir faire interne ou local...
- **Conception géométrique du produit :**
réponse au cahier des charges, optimisation de la géométrie en adéquation avec le procédé retenu.
- **Exigences d'éco conception :**
volumes de matières, recyclage, pour toutes les étapes du cycle de vie du produit : consommation d'énergie, d'eau, rejets CO₂ + polluants divers, ...



Produit Matériau Procédé

Organisation des bases de données :



Produit Matériau Procédé

PRINCIPAUX PROCÉDES D'ÉLABORATION

Critères choix :

- **Géométrie de la pièce** : Cylindrique, prismatique, 3D, pleine, creuse...
- **Qualités dimensionnelles et de surface exigées** :
Qualité des surfaces devant rester brutes en particulier
- **Matériau** : Alliages ferreux, non ferreux, polymères....
- **Nombre de pièces, cadence de production**
- **Critères environnementaux** : législation, éco conception
- **Coût de l'outillage annexe** : moule, machine de production
- **Savoir faire interne ou local**

...

Produit Matériau Procédé

« **BRUT** » = Matière avant transformation

Proposé sous forme de :

- **Profilé** (barres de section diverse),
- **Tôle, feuillard, fil**
- **Brut de fonderie** (pièce moulée)
- **Lopin**
- **Poudre**


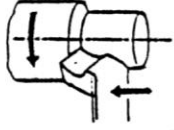
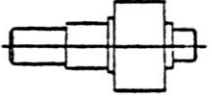

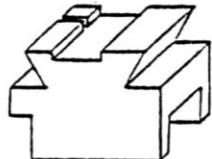
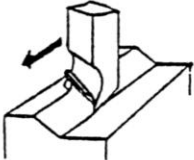
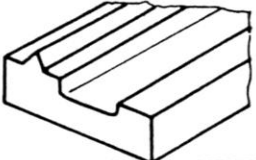

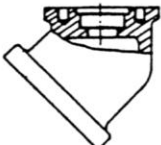
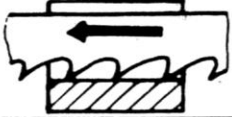
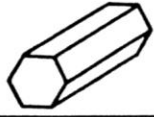
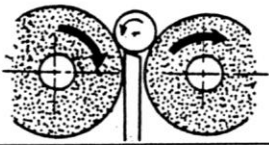
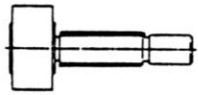

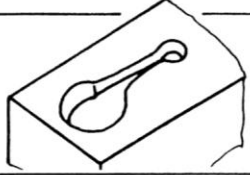
Le choix du brut est fonction du procédé retenu :

- barre cylindrique pour le tournage,
- feuillard pour le pliage-emboutissage,
- lopin pour le forgeage...



Produit Matériau Procédé

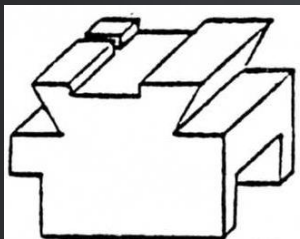
Procédés par usinage (enlèvement de matière)

	<p>Profilés</p> <p>TOURNAGE M : tour</p>	E : pièces de révolution		
	<p>FRAISAGE M : fraiseuse</p>	E : pièces prismatiques, dentures, surfaces planes		
	<p>RABOTAGE M : étau-limeur raboteuse</p>	E : banc de M.O.		
	<p>PERCAGE M : perceuse, aléseuse</p>	E : trous, alésages taraudages		
	<p>SCIAGE M : scie à ruban, scie alternative</p>	E : préparation d'ébauches		
	<p>ABRASION MECANIQUE M : rectifieuse plane ou cylin.</p>	E : finition d'une pièce côtes à 0.01 mm et moins		
	<p>ABRASION CHIMIQUE usinage électrochimique électroérosion</p>	E : ébavurage, matrices pour estampage, moules métalliques		

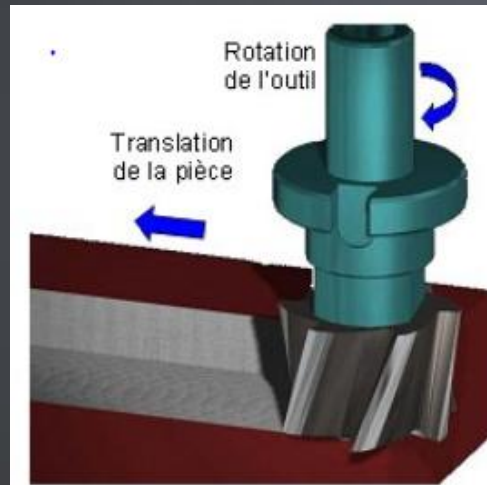
Produit Matériau Procédé

Procédés par usinage (enlèvement de matière)

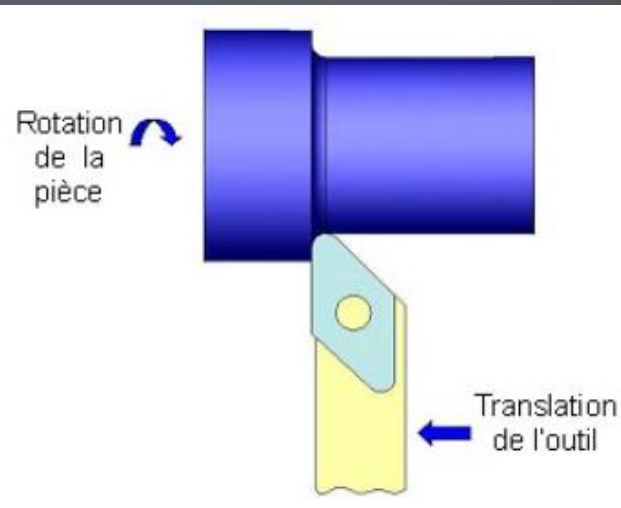
- Usinage par génération de forme ou d'enveloppe



Fraisage



Tournage






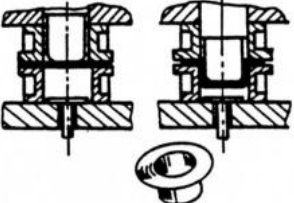
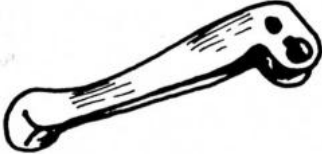
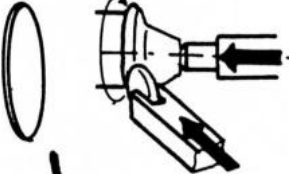

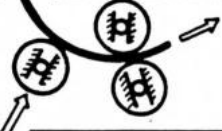

Génération des surfaces usinées par enlèvement de matière à l'aide d'outils coupants.

La surface usinée est obtenue par la combinaison d'un *mouvement de coupe* et d'un *mouvement d'avance*.

Produit Matériau Procédé

Procédés par déformation

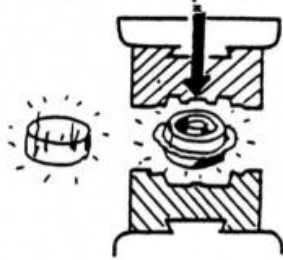


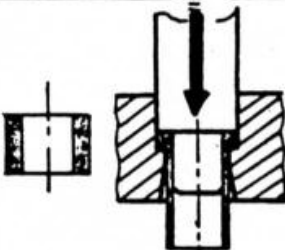
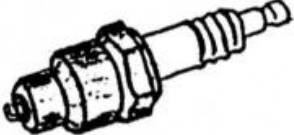

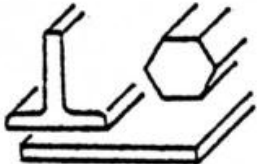
- Pièces fines : *Pliage, Cintrage, Emboutissage, Extrusion, Filage...*

<p>Métaux en feuilles</p>	<p>PLIAGE (plis //) M : PLIEUSE</p> <p>surfaces développables</p>	<p>Autres procédés - cambrage M : PRESSE - profilage</p>		
	<p>EMBOUTISSAGE M : PRESSE</p> <p>Surfaces non développables</p>	<p>E : éléments de carrosserie</p>		
	<p>REPOUSSAGE ("e" constant) FLUOTOURNAGE ("e" non constant)</p>	<p>M : tour à repousser E : ogives de fusées</p>		
	<p>CINTRAGE</p>	<p>Procédé voisin : Roulage ($R/e > 15$)</p>		

Produit Matériau Procédé

Procédés par déformation

- Pièces épaisses : Forgeages, Estampage-Matriçage

Lopin	ESTAMPAGE (acier) MATRICAGE M : marteau-pilon presse	A CHAUD 800° pour un acier 470° pour un A-U4SG	 A cross-sectional diagram showing a punch descending into a die to form a workpiece. A small circular inset shows a glowing hot workpiece.	 A perspective drawing of a connecting rod.
	EXTRUSION (filage) M : PRESSE	A FROID E : visserie, douilles, culot de bougie	 A cross-sectional diagram showing a punch pushing a workpiece through a die.	 A perspective drawing of a spark plug.
	LAMINAGE (rectigne ou circulaire)	E : profilés	 A perspective drawing of various rolled metal profiles, including I-beams and hexagonal rods.	 A perspective drawing of L-shaped and hexagonal metal profiles.

Produit Matériau Procédé


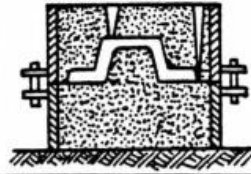
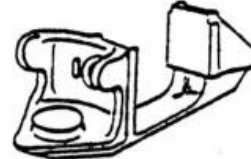
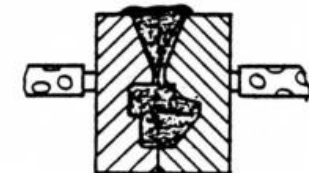
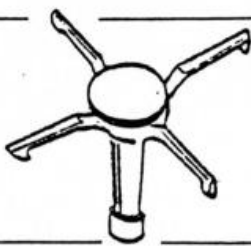

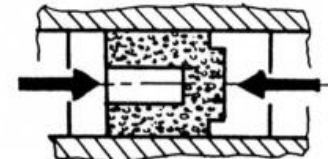

Presse 50000 t



Produit Matériau Procédé

Procédés par mise en forme

- A partir de matière en fusion : *Moulage, mise en forme et Injection des polymères*

Métal en fusion 	MOULAGE AU SABLE	Autres procédés - à la cire perdue - en carapace		
	MOULAGE EN COQUILLES	- par gravité - sous pression		
Métaux en poudre (Fe, Cu) 	FRITTAGE Compression + chauffage M : PRESSE	E : bague auto-lubrifiante, plaquette d'outils carbure		



Produit Matériau Procédé

Procédés par découpage

- Découpage par gabarit : *Poinçonnage*
- Découpage par contournement : *Cisailage, Oxycoupage, Electroérosion, Laser, Jet d'eau, plasma, ultrasons...*



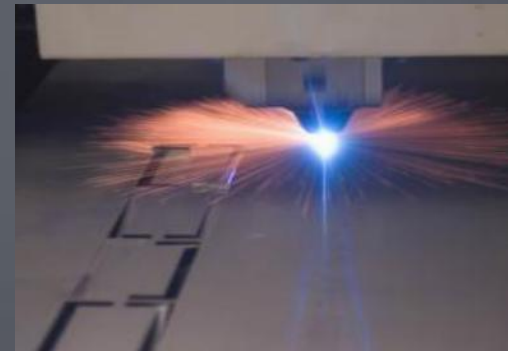
Oxycoupage

Ep. acier
600 mm



Jet d'eau
(4000 à 6000 bars)

Ep. acier
80 mm



Laser
Ep. acier
30mm

Plasma
(15000 à 30000 C)

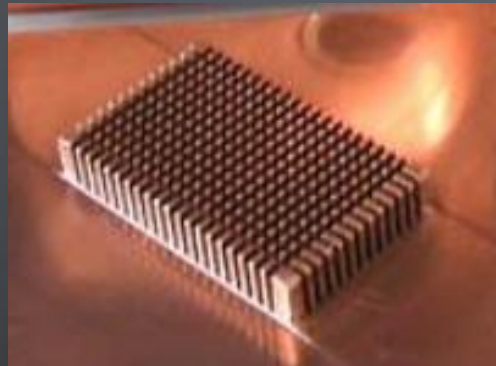
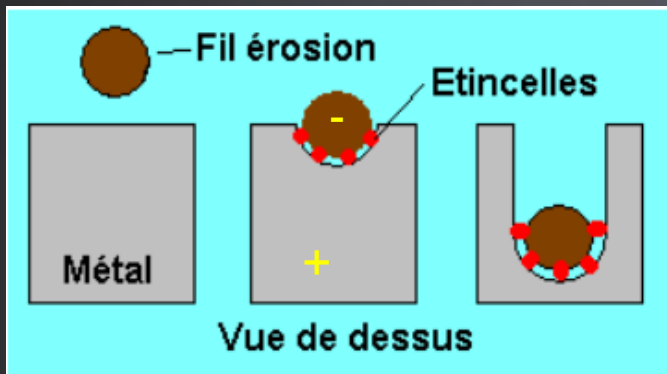


Ep. Acier
80mm

Produit Matériau Procédé

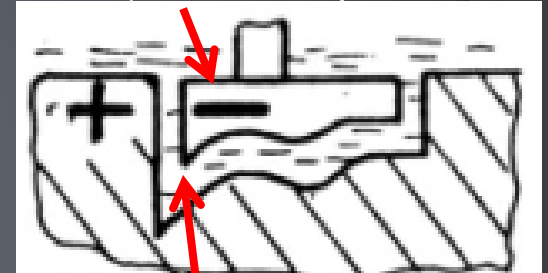
Procédés par Electroérosion

Au fil



Par enfonçage

Outil (forme complémentaire)



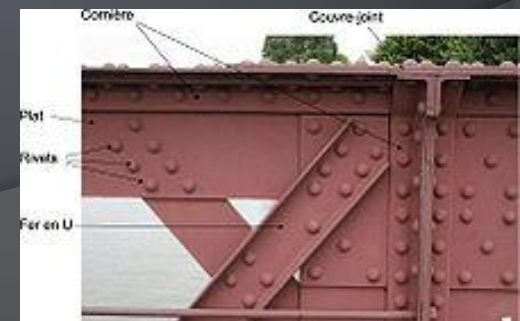
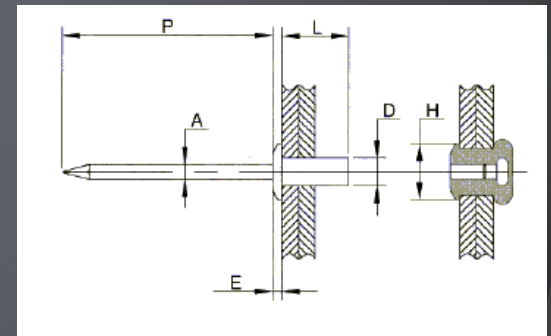
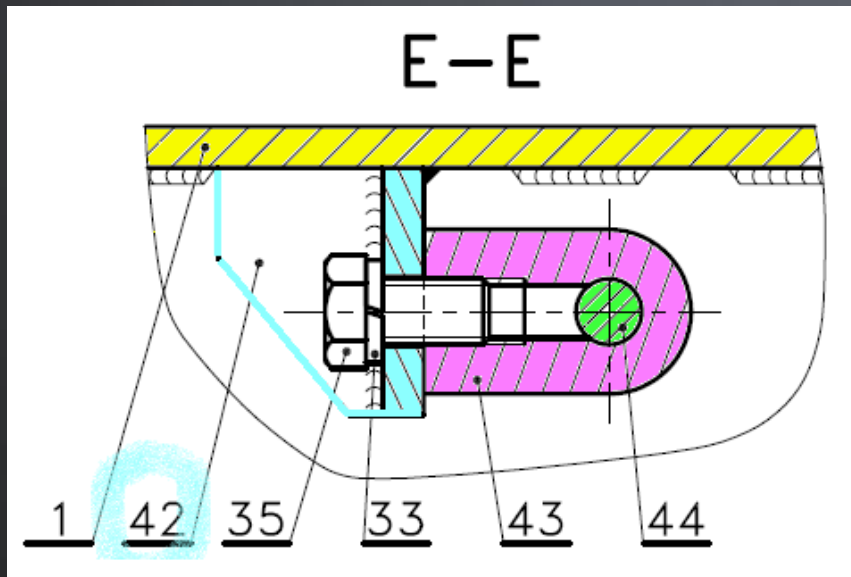
Liquide diélectrique (isolant)



Produit Matériau Procédé

Procédés par assemblage

- Assemblage temporaire : *Éléments filetés*
- Assemblage permanent : *Frettage, Soudage, Collage, Rivetage*

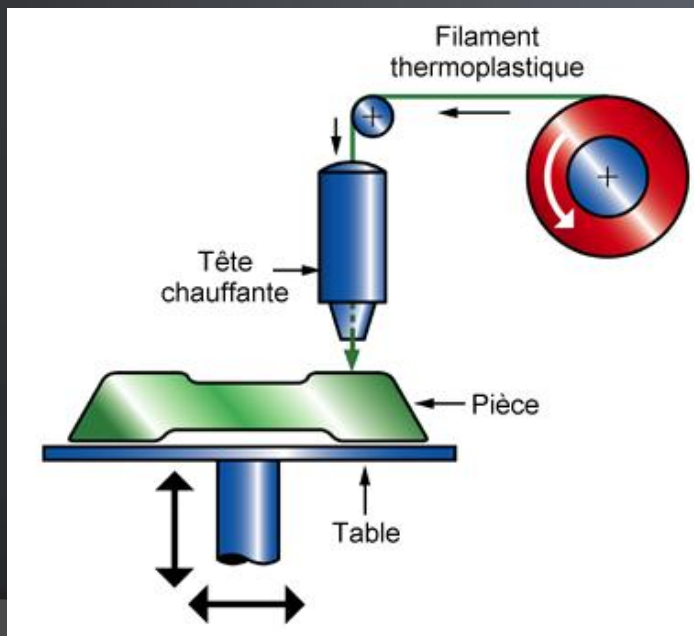


Produit Matériau Procédé

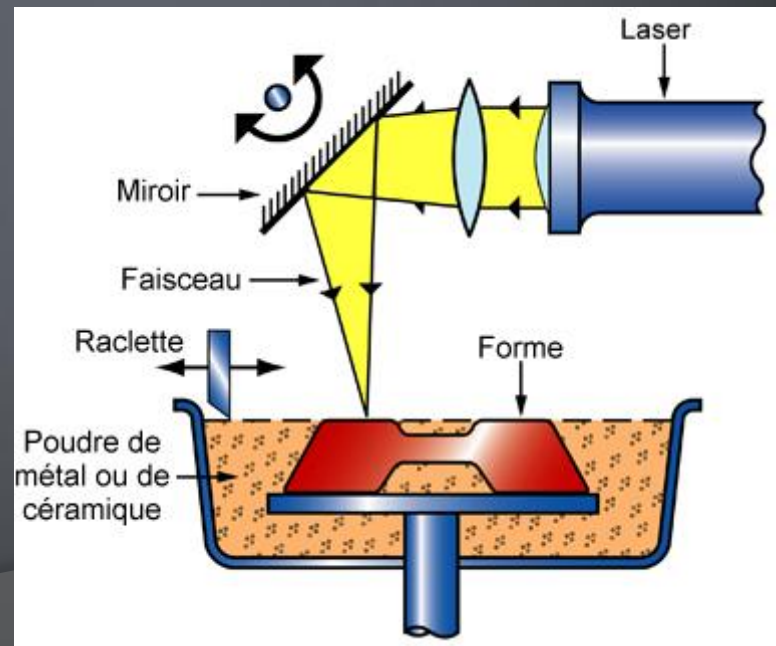
Prototypage

Essentiellement destiné à réaliser un modèle physique de la pièce (*prototype*) dans un but de présentation par exemple ou d'élaboration d'un outillage spécifique .

par dépôts de couches successives polymérisées



Par polymérisation de couche successives au laser



Procédés par USINAGE

Usinage : Machines outils

Distinctions: **nombre d'axes** et leur degré d'automatisation.

« **axe** » = direction caractéristique d'un mouvement **asservi en vitesse et en position**.

axe Z → axe de la broche porte outil (fraiseuse, centre d'usinage) ou à l'axe du mandrin (tour) ;

axe X → axe perpendiculaire à l'axe Z et qui permet la plus grande distance de déplacement ;

axe Y → tel que le repère formé soit orthonormé direct.

Les axes **A**, **B**, **C** sont liés à des mouvements de rotation :

A rotation autour de **X**, **B** autour de **Y**, **C** autour de **Z**.

Axes U, V, W → autres axes supplémentaires, portiques, tourelles secondaires ou accessoires.

Procédés d'usinage

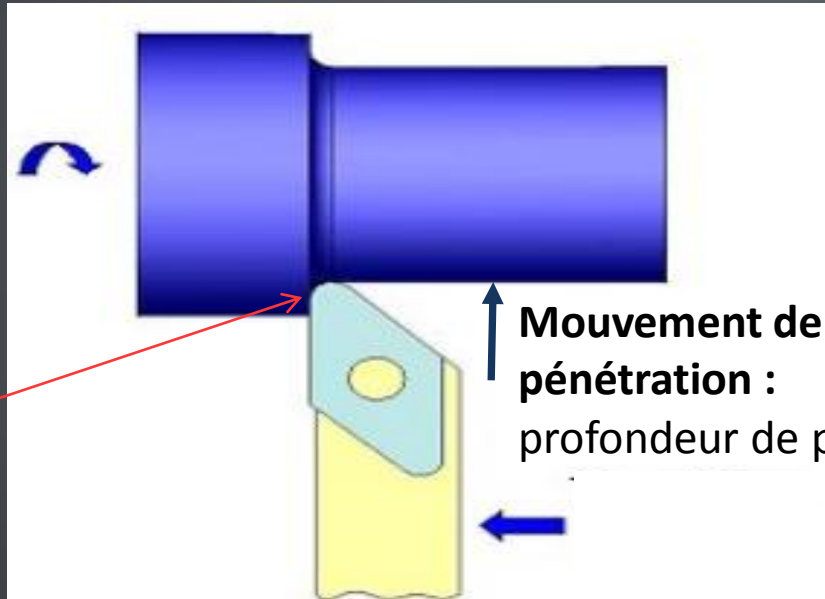
Tournage

- Formes principalement de révolution

Mouvement de coupe :

Rotation de la pièce

Point générateur :
pointe de l'outil



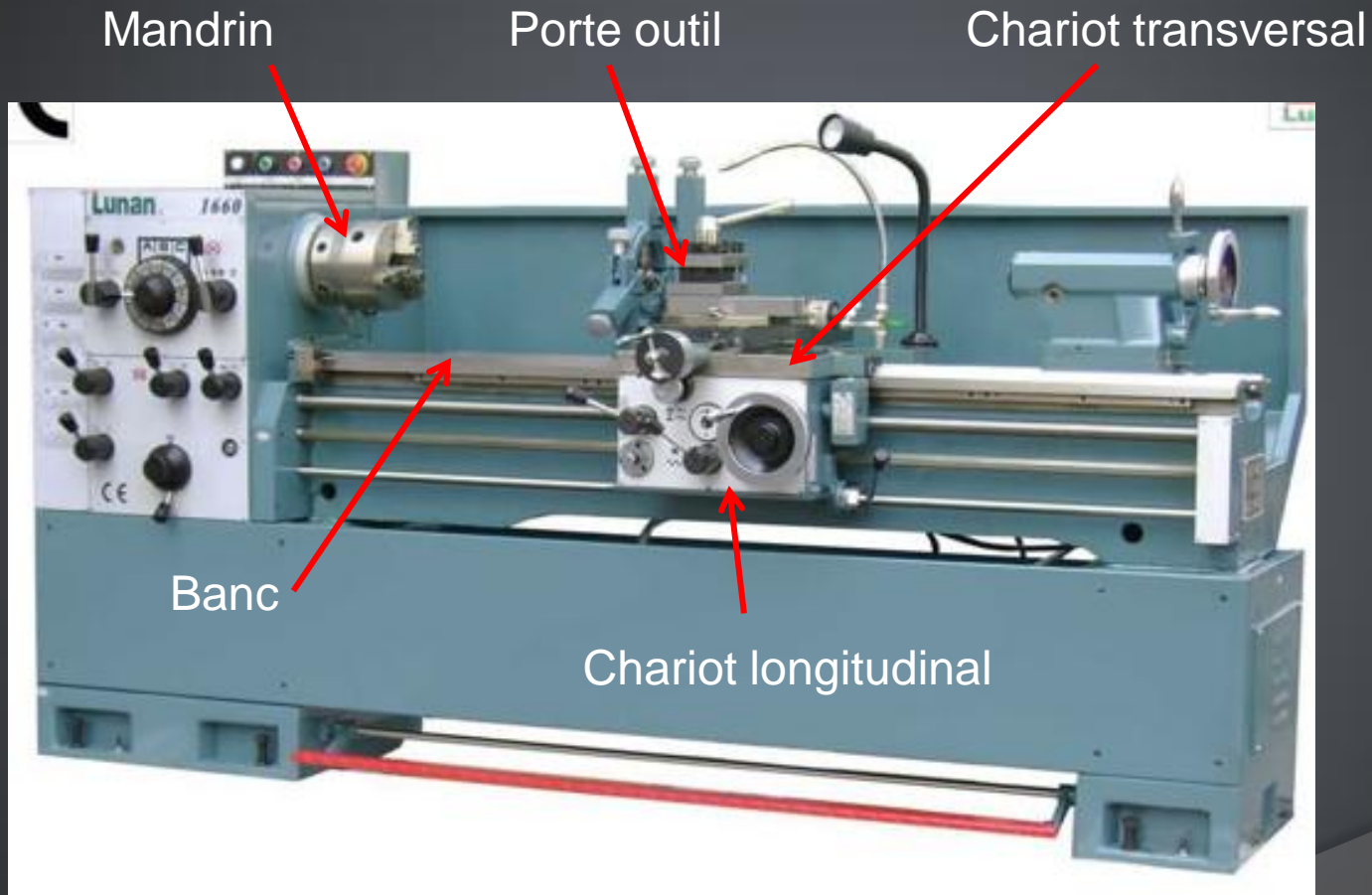
Mouvement d'avance :
translation de l'outil

Formes non de révolution
possibles sur
tour 3 axes



Procédés d'usinage

Tournage



Tour conventionnel

2 axes

Z + X

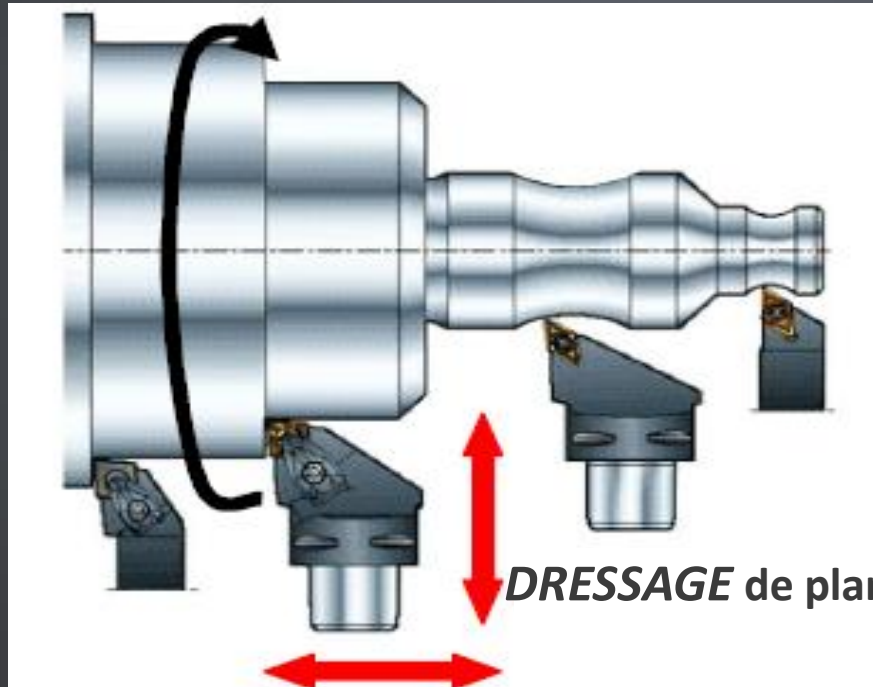
3 axes

Z + X + C

Procédés d'usinage

Tournage

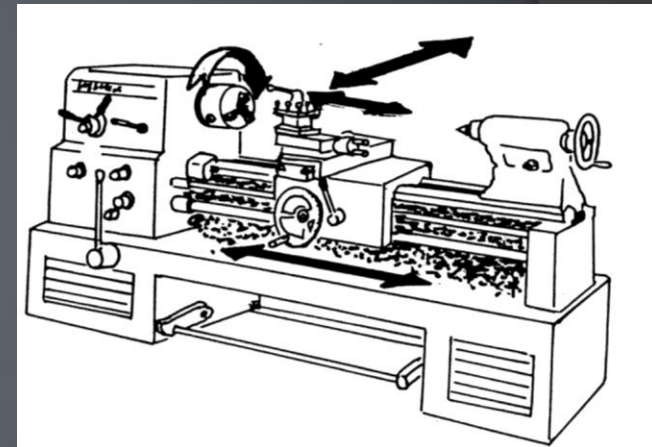
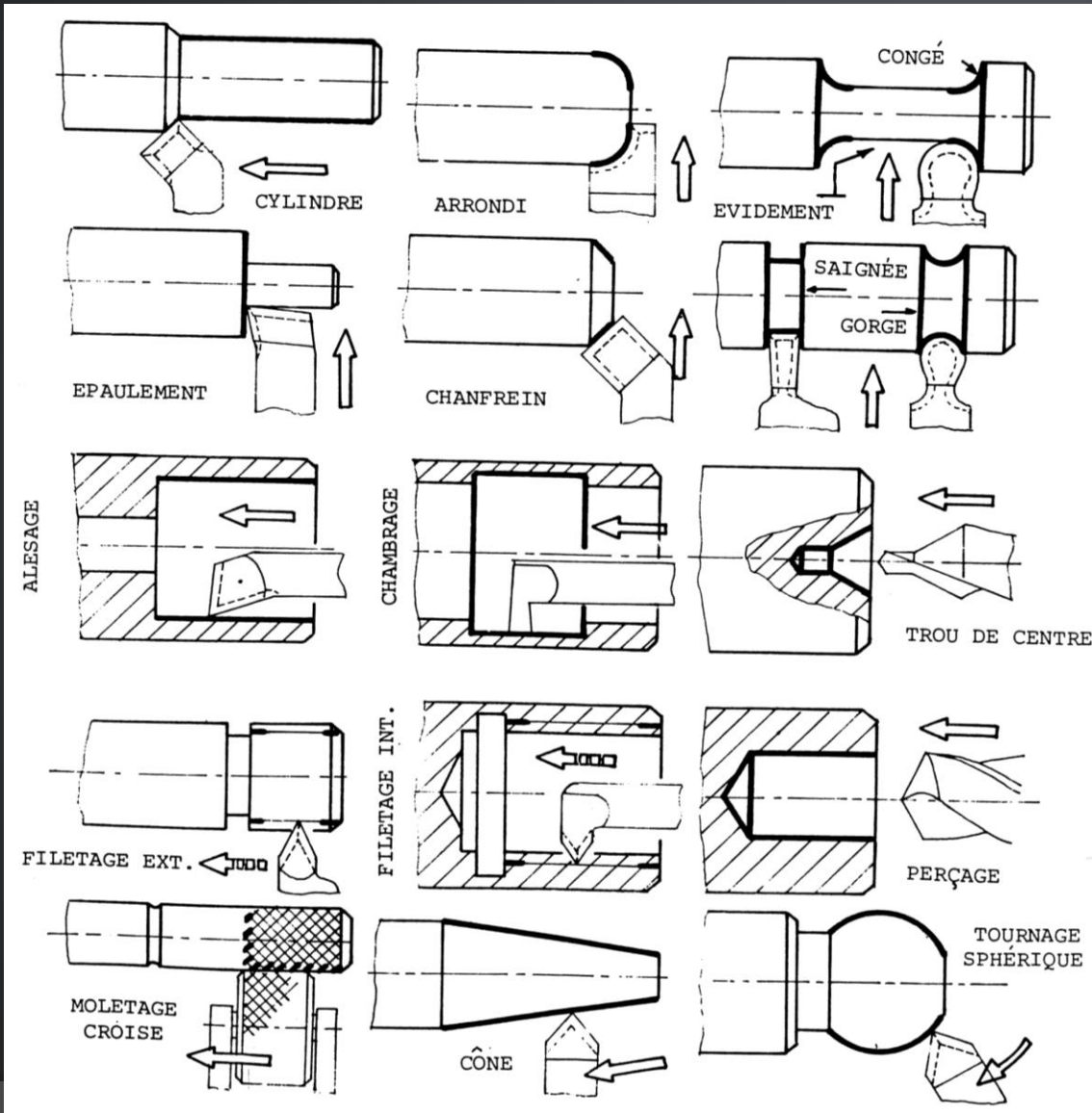
- Opérations de base



CHARIOTAGE de cylindre : ou de forme de révolution quelconque si ce mouvement se conjugue avec le mouvement transversal

Procédés d'usinage

- Formes usuelles obtenues par tournage

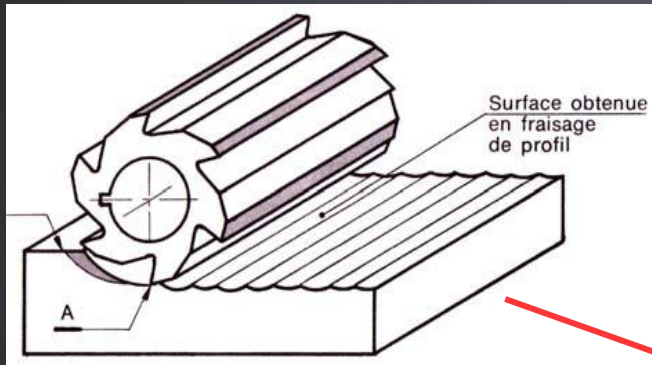


Procédés d'usinage

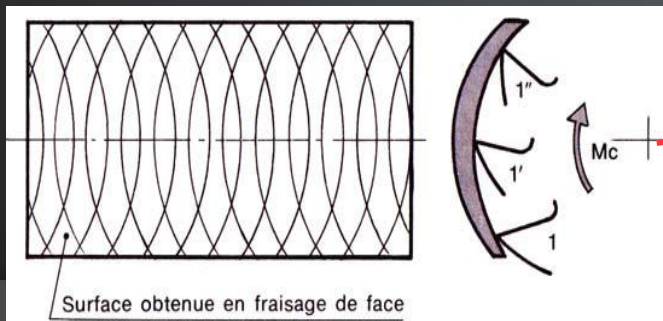
Fraisage

- Forme principalement prismatique

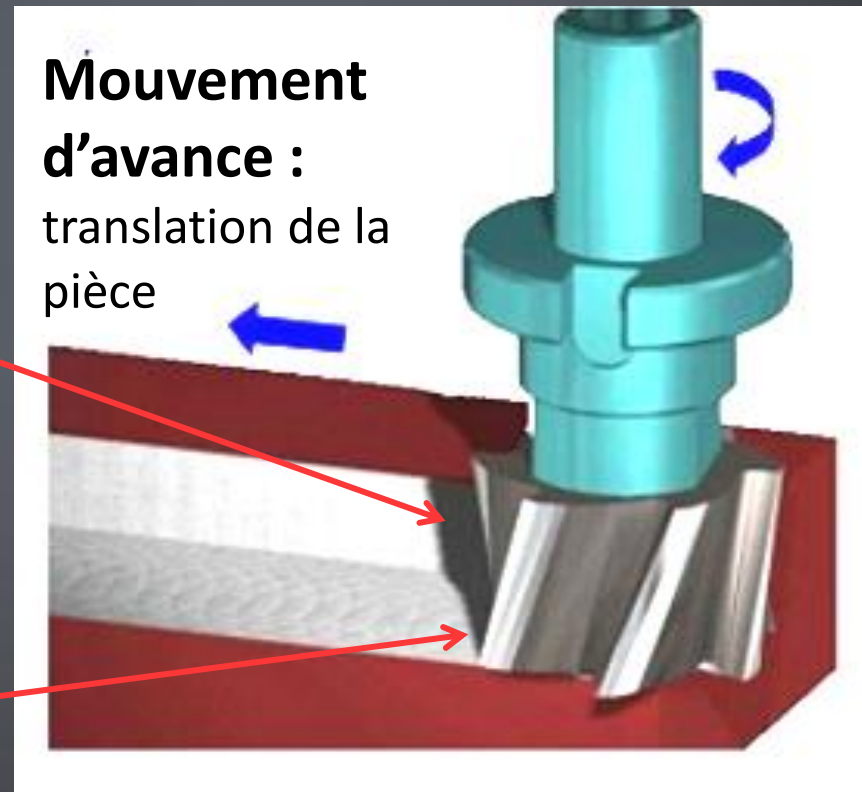
Fraisage en roulant (de profil) : travail de forme



Fraisage en bout ou de face : travail de génération



Mouvement de coupe :
Rotation de l'outil



Procédés d'usinage

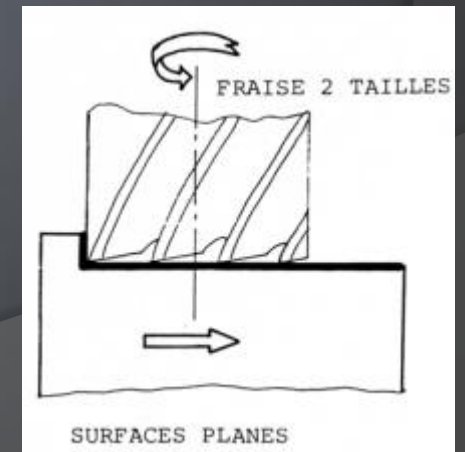
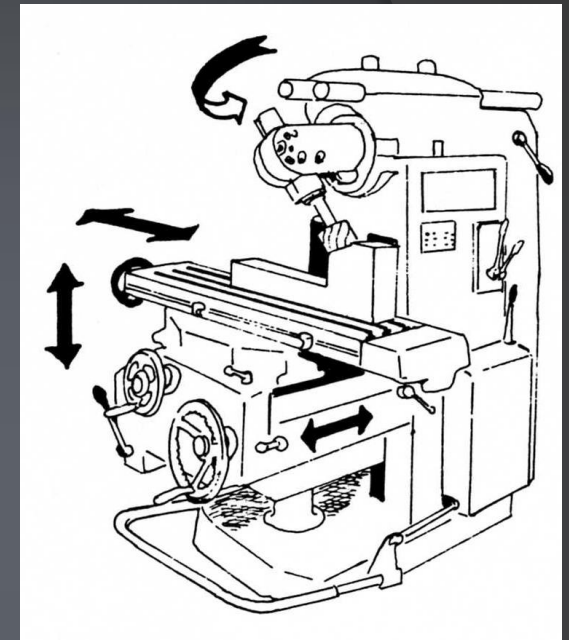
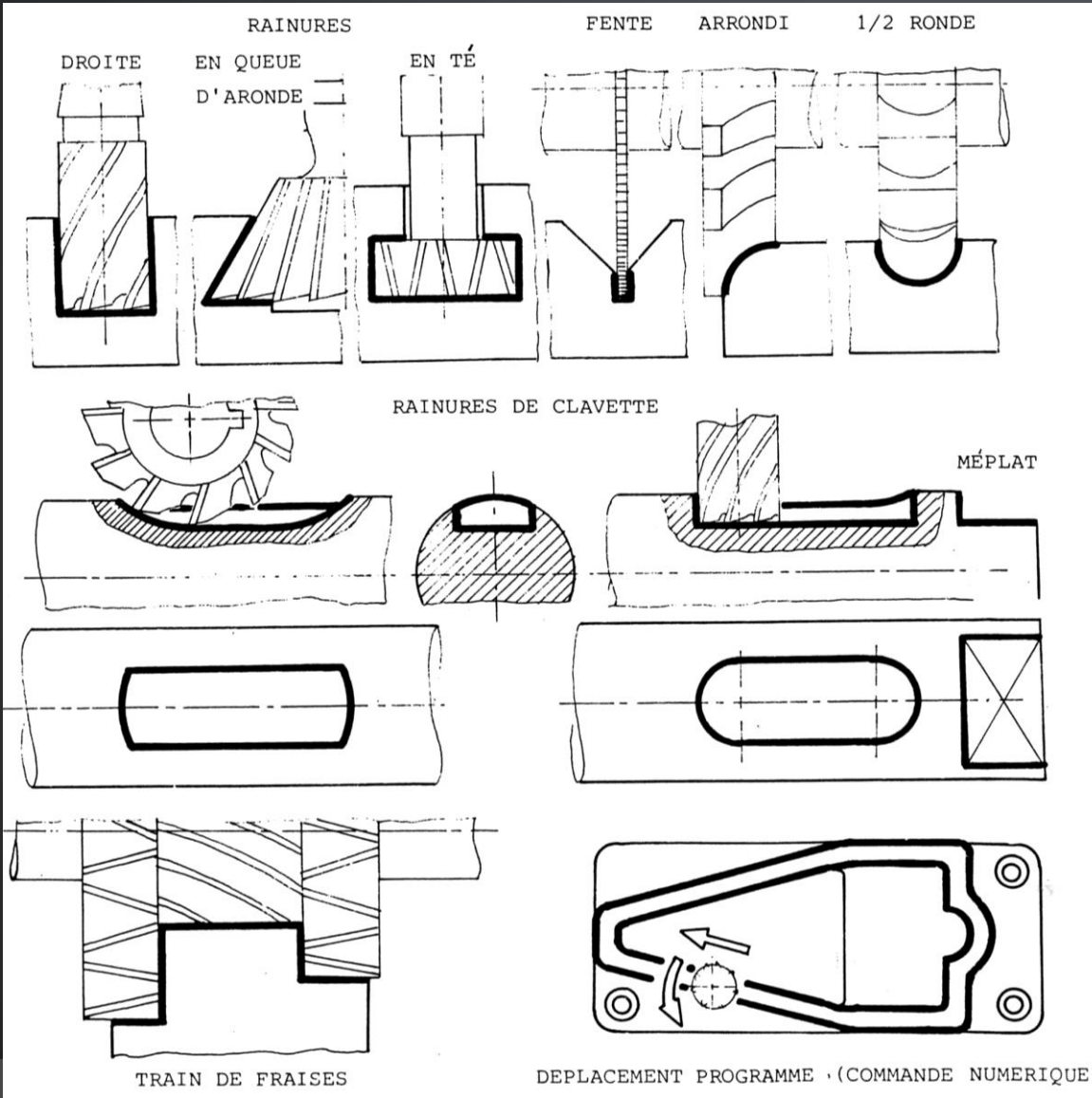
Fraisage



Fraiseuse conventionnelle 3 axes Z + X + Y

Procédés d'usinage

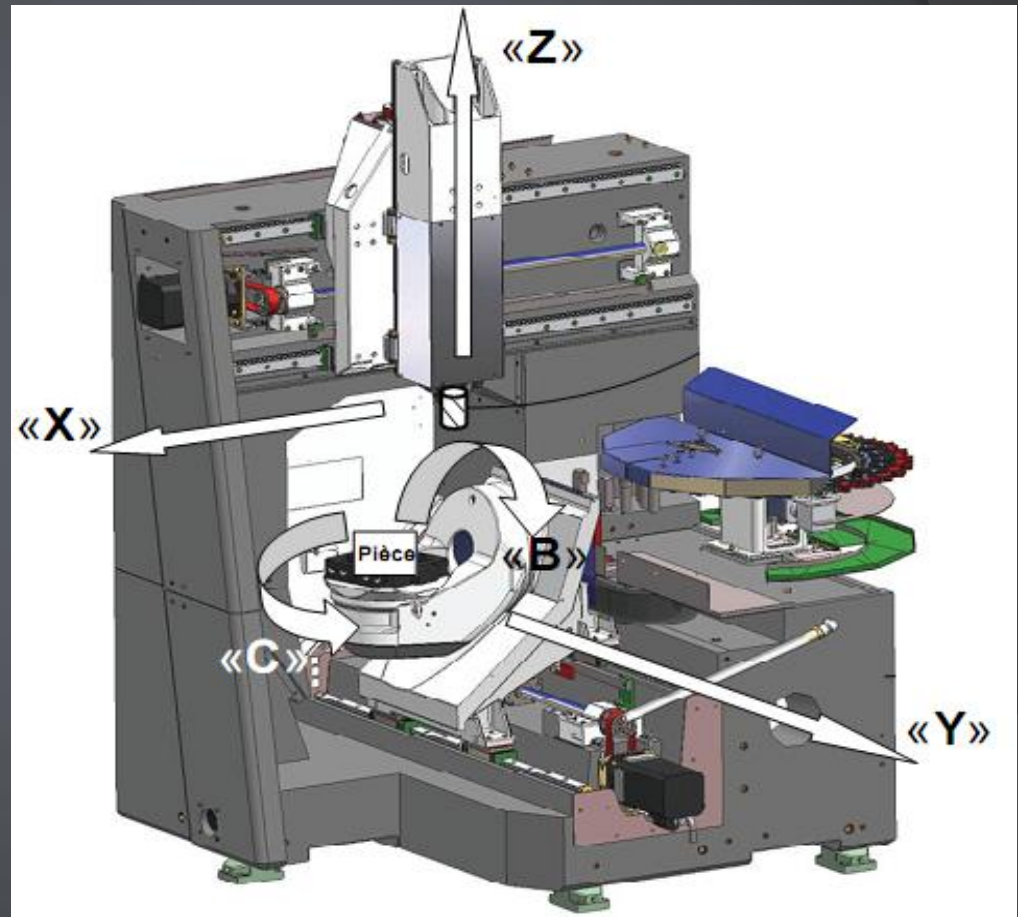
Formes usuelles obtenues par fraisage



Procédés d'usinage

Centres d'usinage

- Formes complexes 3D



Centre à axe vertical

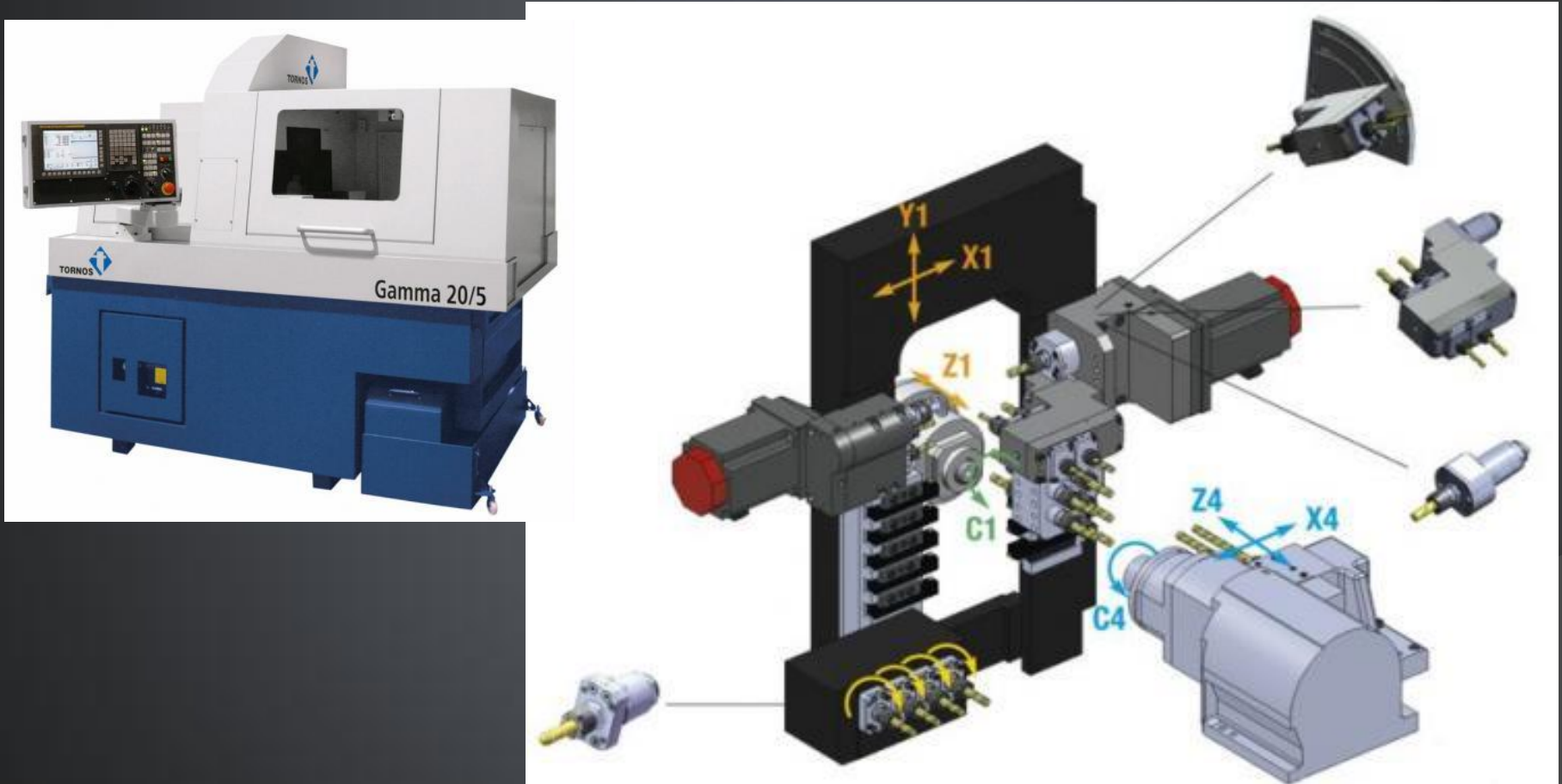
5 axes

Z + X + Y + C + B ou A

Procédés d'usinage

Centres d'usinage

- Formes complexes 3D



Tour multi axe équipé d'outils tournants (→ 11 outils)

Procédés de mise en forme par MOULAGE

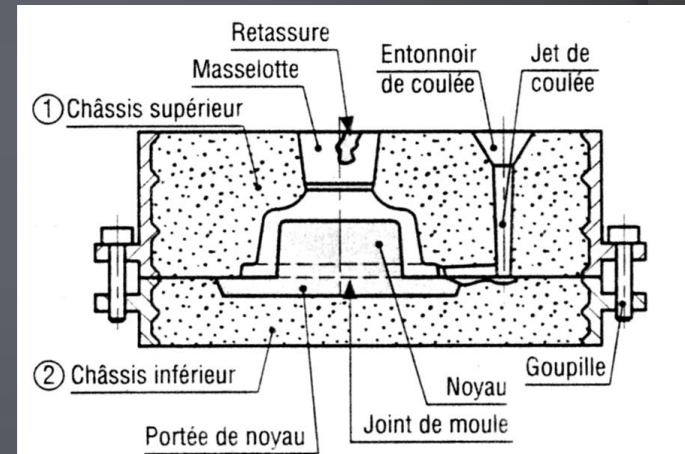
Principe : Obtention de la pièce par remplissage d'un moule avec le métal en fusion.

Exemple : Moulage par gravité – moule non permanent

Une **empreinte** de la pièce à réaliser est obtenue en tassant du **sable** (+ résine) autour d'un **modèle** réalisé en bois. Une fois le sable tassé, le modèle est démoulé.

Les formes intérieures sont obtenues par un **noyau** en sable, calé par rapport à l'empreinte.

Les noyaux sont également réalisés dans un moule: **Boîte à noyau**.



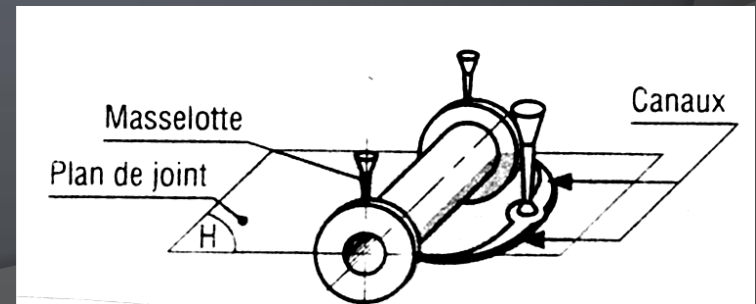
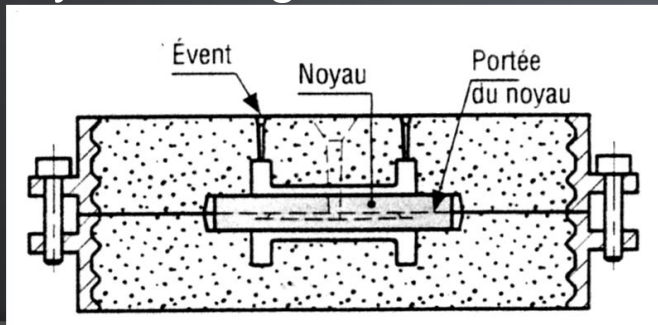
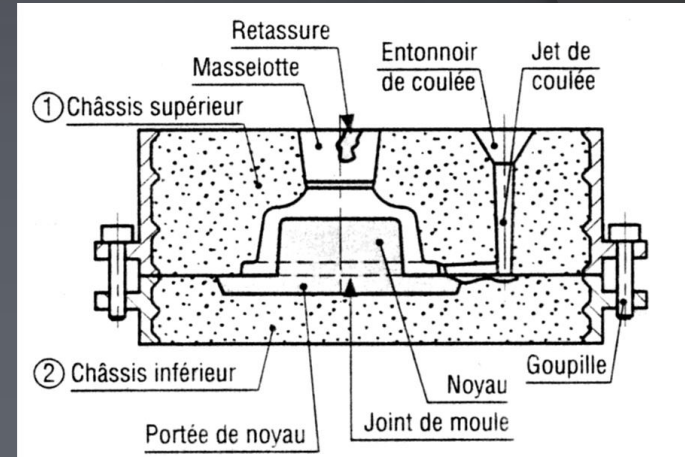
Procédés de mise en forme par MOULAGE

Le métal en fusion remplit l'empreinte par un ou plusieurs **trous de coulée**. Une ou plusieurs masselottes assurent une réserve de métal au moment de sa solidification (retrait).

Des évents permettent à l'air intérieur de s'échapper.

Après solidification du métal, le moule est détruit ; le modèle est réutilisé pour les moulages suivants.

Le noyau est également détruit.



Procédés de mise en forme par MOULAGE

Moulage en moule permanent

L'empreinte de la pièce est usinée dans un moule en 2 parties en acier.

Le métal en fusion remplit l'empreinte par gravité ou sous pression (presse).

L'outillage de ce procédé est beaucoup plus coûteux (série minimale).

La précision et la qualité des pièces obtenues sont meilleures.



Procédés de mise en forme par MOULAGE

Impératif : *Adapter la géométrie de la pièce au procédé*

Règles pour faciliter la réalisation du moule :

Définir le plan de joint

Déduire les surfaces avec dépouilles (2%) – les formes obtenues par noyau

Éliminer les contre dépouilles – reporter les formes complexes sur le noyau

Règles pour éviter la formation de retassure :

Éviter les zones massives

Éviter les variations brutales de section

Prévoir des raccordements avec arrondis ou congés

Règles pour assurer un remplissage correct de l'empreinte :

Respecter une section minimale en fonction de la longueur de coulée

Procédés de mise en forme par MOULAGE

MATERIAUX

Caractérisés par leur indice de **coulabilité**

Moule non permanent :

Fontes : EN-FGL , EN-FGS , EN-FGM ($\theta_{\text{fusion}} \approx 1100 \text{ à } 1300 \text{ C}$)

Aciers de moulage : désignés par la lettre **G** ; ex: GE295

Alliages non ferreux : tous types (Alu, Magnésium, Cuivre)

Particulier : moulage à la **cire perdue**

Moule permanent : par gravité ou plus généralisé sous pression :

Alliages non ferreux : Aluminium (600 C) : Le **Silicium** améliore la coulabilité ; ex: **ALPAX** (EN AC-AISi5Cu2)

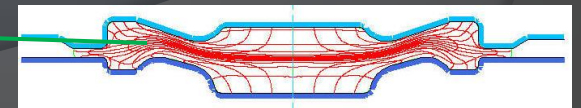
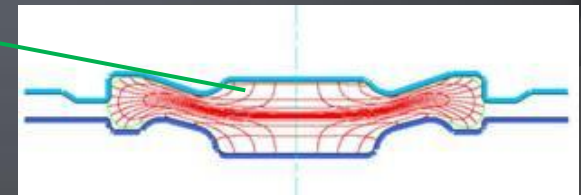
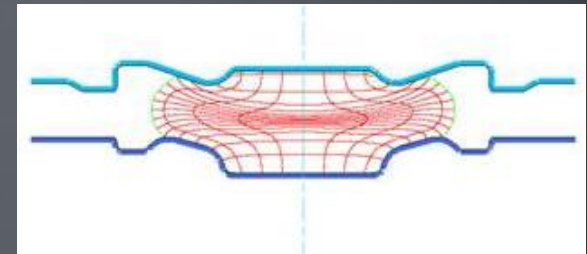
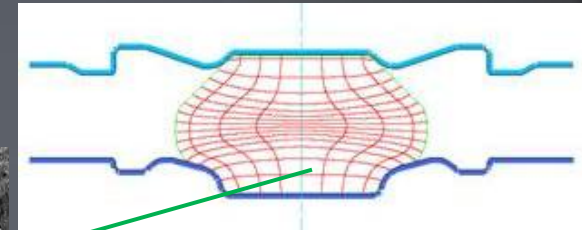
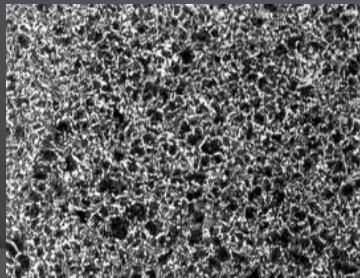
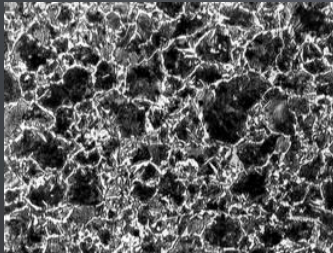
Zinc (400 C), Bronze (900 C)...

Plastiques (Injection, Thermoformage, Soufflage...)

Procédés de mise en forme par DÉFORMATION

Obtention des pièces brutes par déformation plastique de la matière : la pièce est dite corroyée.

La structure de la matière est modifiée :
fibres compressées,
grains plus fins



Procédés de mise en forme par Déformation

Caractéristiques mécaniques augmentées : R_e , R_r , H (ténacité)

Résistance à la fatigue améliorées (jusqu'à 30 à 40 %).

Ces procédés sont donc préférables au moulage pour les pièces de transmission de puissance sollicitées à la fatigue.



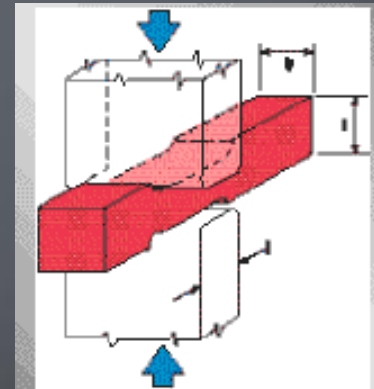
Préforme : forme brute avant usinage

Procédés de mise en forme par Déformation

Forgeage libre

Déformation plastique à chaud du métal de façon libre (sans matrice)

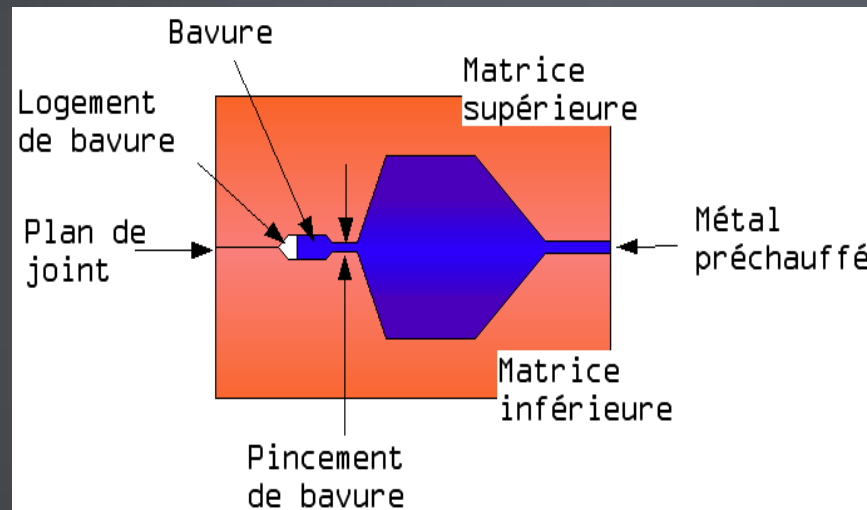
(Pièce unitaire ou petite série)



Procédés de mise en forme par Déformation

Matriçage :
matériaux non ferreux

Estampage :
matériaux ferreux

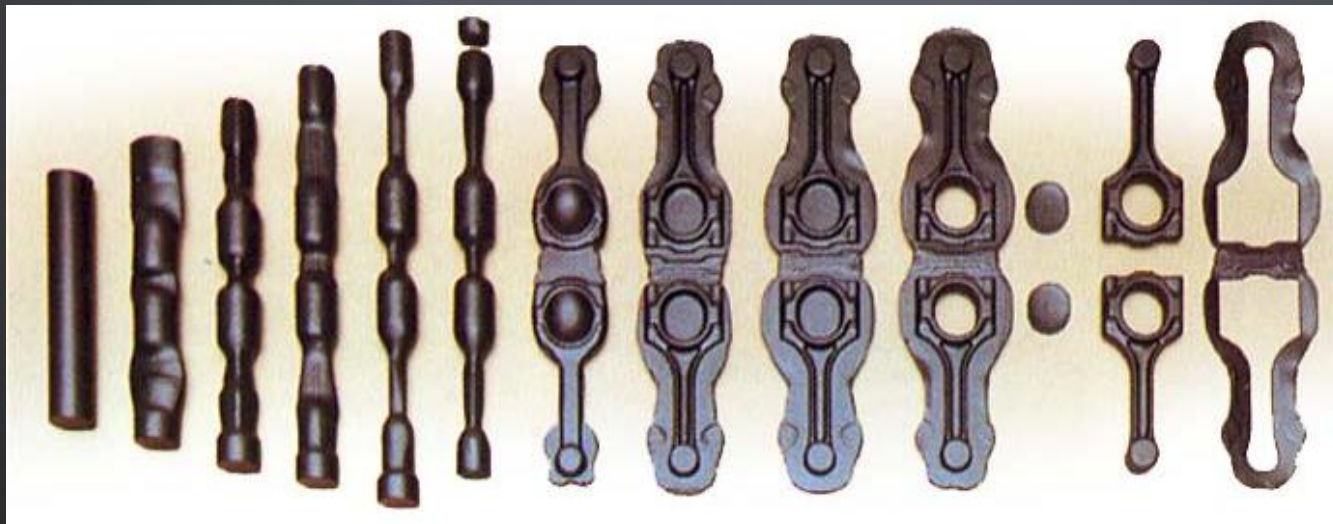
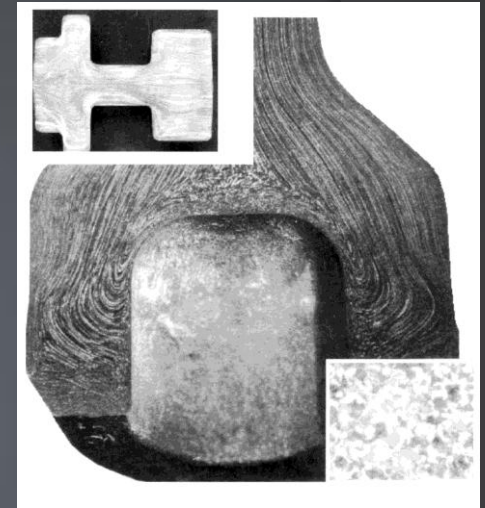


Le métal à température élevée, est astreint à remplir une empreinte réalisée dans 2 matrices (moule de type permanent)

Une bavure épaisse assure une réserve de métal de façon à garantir un parfait remplissage de l'empreinte.

Procédés de mise en forme par Déformation

La déformation du métal entraîne une orientation des fibres suivant une direction privilégiée qui augmente les caractéristiques mécaniques de la pièce suivant celle-ci.

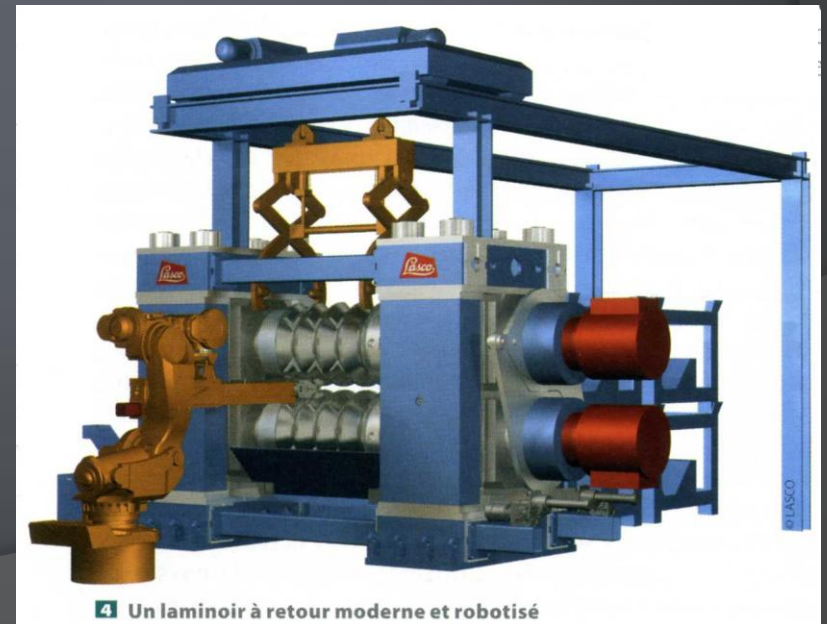
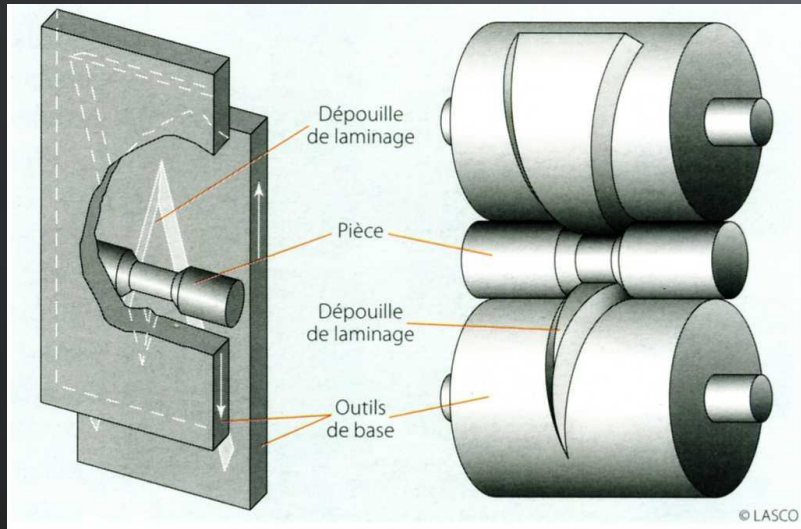


Procédés de mise en forme par Déformation

Autre exemple de pièce **estampée**



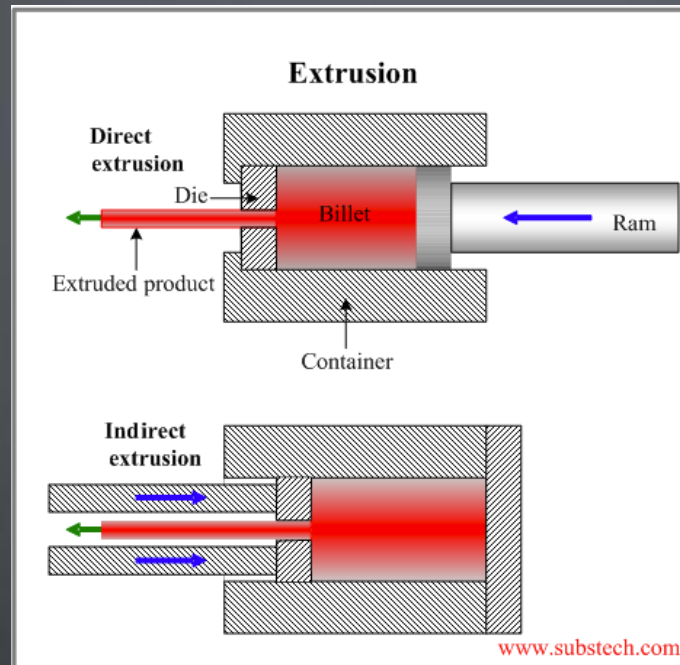
Mise en forme par **laminage**



Procédés de mise en forme par Déformation

Extrusion

Ecoulement du métal (fluage) (**fluage**) généré par **compression** entre un poinçon et une matrice ; la pièce finie est généralement obtenue par une succession d'opérations ; la bavure, contrairement au procédé précédent, est très minime.



Procédés de mise en forme par Déformation

- Précision géométrique élevée, excellent état de surface
- Obtention de formes intérieures complexes avec un coût très inférieur à d'autres procédés (usinage, électro-érosion...).

Extrusion à froid :

pièces plutôt pleines ou creuses avec une épaisseur conséquente

Satellite de boîte de vitesses*

Cette pièce, en 20 NCD2, se réalise à froid sans reprise d'usinage dans la denture. Seuls, la partie sphérique et l'alésage sont usinés (SAFE, rue de Verdun, BP 109, 57301 Hagondange).



Extrusion à chaud :

pièces creuses avec faible épaisseur ou grande longueur



Pièces de grande longueur extrudées à chaud puis à froid

L'extrusion est un des procédés les plus rapides et économiques dans les productions de grande série (10000 à 100000 pièces par campagne).

Procédés de mise en forme par Déformation

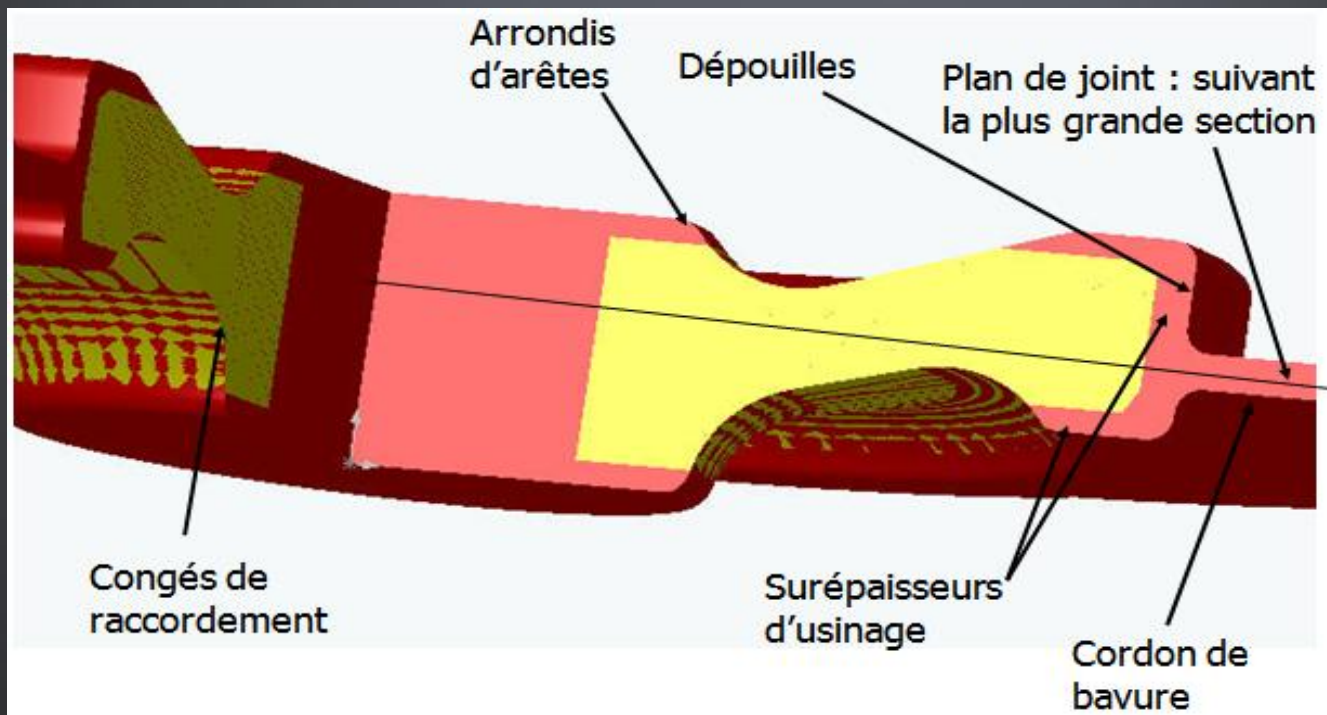
Extrusion des profilés



Procédés de mise en forme par Déformation

Règles de tracé

Particularités de forme à respecter



Procédés de mise en forme par Déformation

Règles de tracé

Dessin de la pièce estampée

Plan de joint :

Plan, passant par la plus grande section

Surépaisseurs :

De 1 à 1,5 mm

Dépouilles

1°

Arrondis d'arêtes

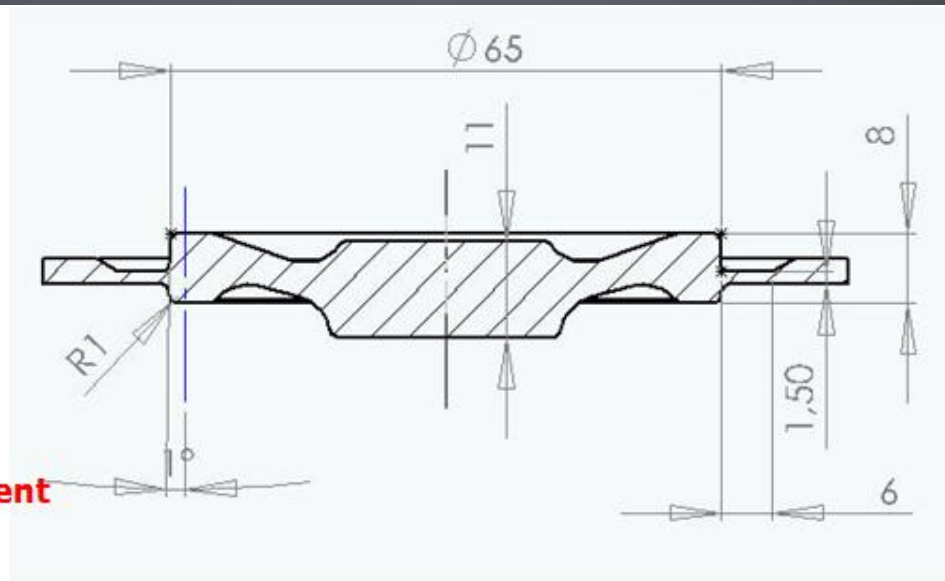
1 mm

Congés de raccordement

5 mm

Cordon de bavure

Ep : 1,5 mm ; larg. = 6 mm



Procédés de mise en forme par Déformation

Emboutissage

procédé pour la mise en forme des **pièces minces** à partir de **tôle**
Les formes peuvent être complexes, et généralement **non développables**



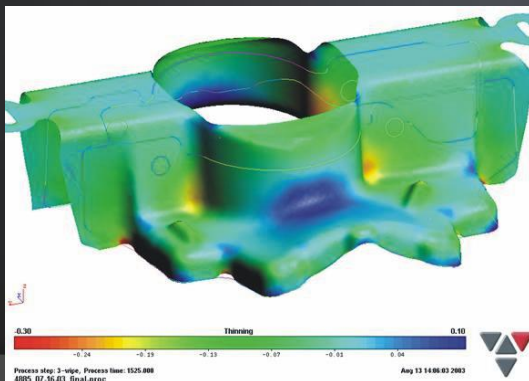
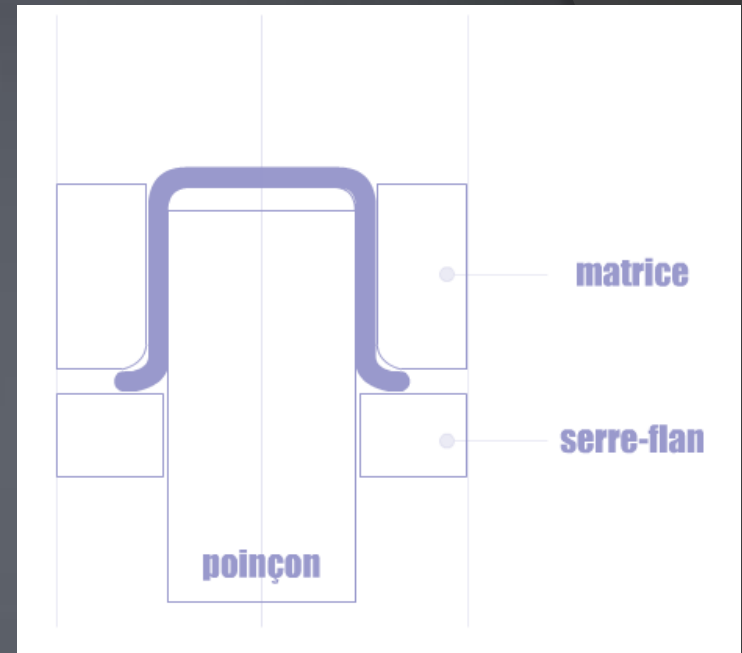
Procédés de mise en forme par Déformation

Emboutissage

Emboutissage

L'obtention de la forme est obtenue par l'entraînement de la tôle sous l'action du poinçon dans la matrice.

Le mouvement de la tôle est contrôlé par un serre-flan qui empêche l'apparition de plis ou de déchirures sur la pièce.



Assemblage permanent par Soudage

Réalisations d'assemblages de type permanent indémontable adaptées aussi bien pour la construction unitaire, la petite série ou la très grande série (automobile...)

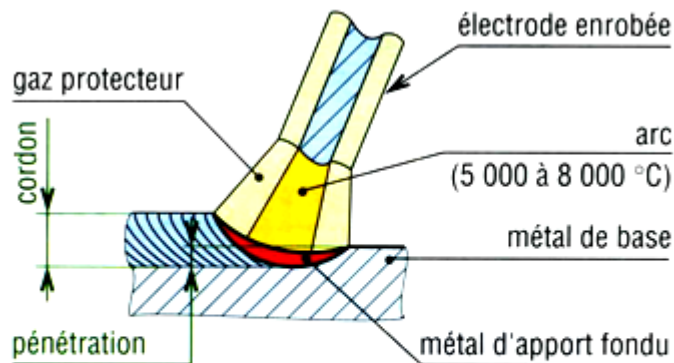


Assemblage permanent par Soudage

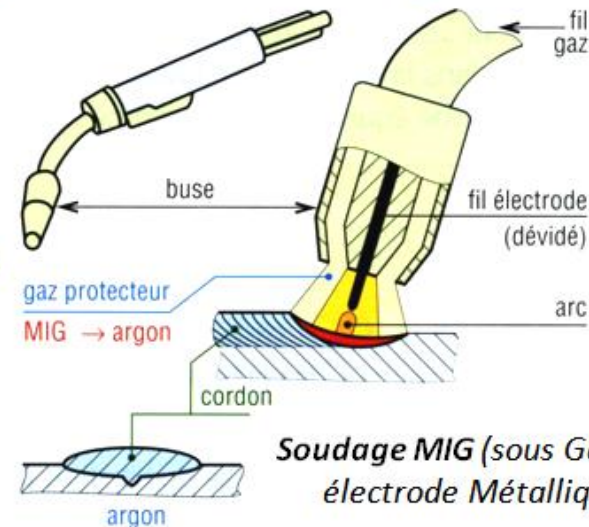
Fusion localisée des pièces à assembler : les métaux ou alliages doivent être alors de constitution voisine ; la soudure est dite **autogène**

Avec métal d'apport (de constitution voisine) suivant un **cordon de soudure** : la fusion très localisée des pièces à assembler et du métal d'apport est obtenue par un **arc** créé entre une **électrode** et les pièces

Procédés: électrode fusible enrobée, soudage aux gaz inerte ou actif avec électrode fusible ou non (métal d'apport alors sous forme de baguette extérieure)



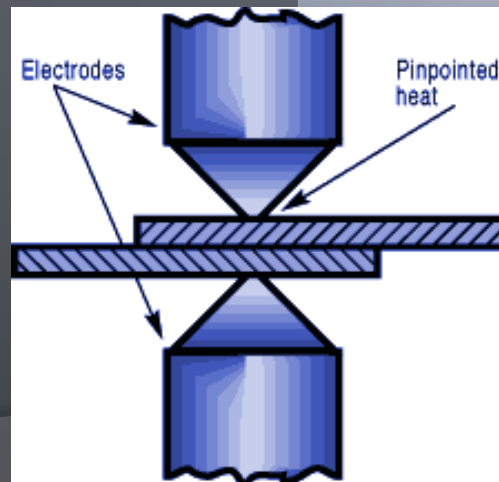
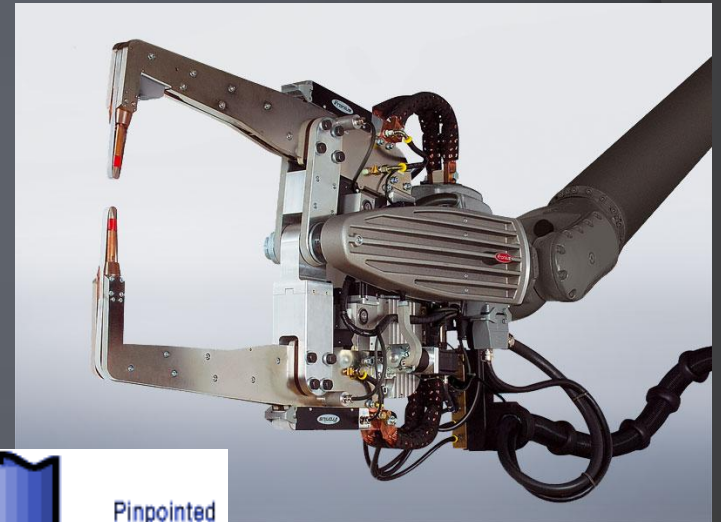
Soudage à l'électrode enrobée (l'enrobage évite l'oxydation du cordon de soudure)



Soudage MIG (sous Gaz Inerte avec électrode Métallique fusible)

Assemblage permanent par Soudage

Sans métal d'apport : soudure par points, au laser (soudure de haute précision) ; procédé retenu essentiellement pour assemblage de pièces de faible épaisseur



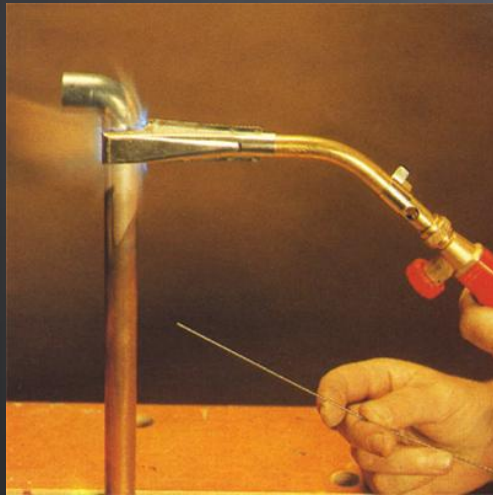
Assemblage permanent par Soudage

Par fusion uniquement d'un métal d'apport : **brasage**

les matériaux à assembler peuvent être alors de constitution différente ;

le métal d'apport présente une température de fusion inférieure à celle des pièces à assembler et agit en adhérant aux surfaces par infiltration ou diffusion entre les grains du métal de base (soudure moins résistante que par procédé précédent) :

la soudure est dite **hétérogène**.



Assemblage permanent par Soudage

Particularités :

Les constructions soudées sont **plus simples et plus économiques** que celles obtenues à partir de pièces moulées :

- éléments de base simples : profilés, tôles du commerce
- moins d'usinage et moins d'éléments de liaison (vis, clavettes...) nécessaires

Mise en œuvre et réalisation toute fois délicates :

- Apparition de **déformations** des pièces, à anticiper lors de la conception de l'assemblage (règles)
- Apparition de **contraintes élevées** apparaissant à proximité des zones de soudure ; ces contraintes peuvent être annulées par un « **recuit** » de l'assemblage

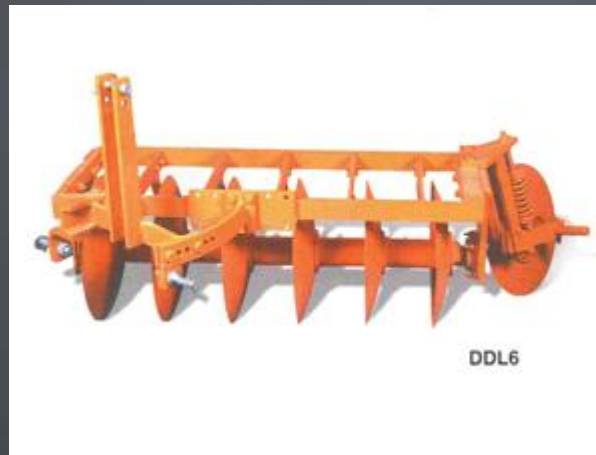
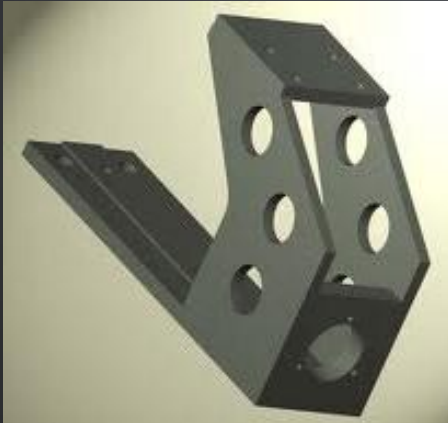
⇒ Les surfaces fonctionnelles doivent **être usinées après les opérations de soudage**

Assemblage permanent par Soudage

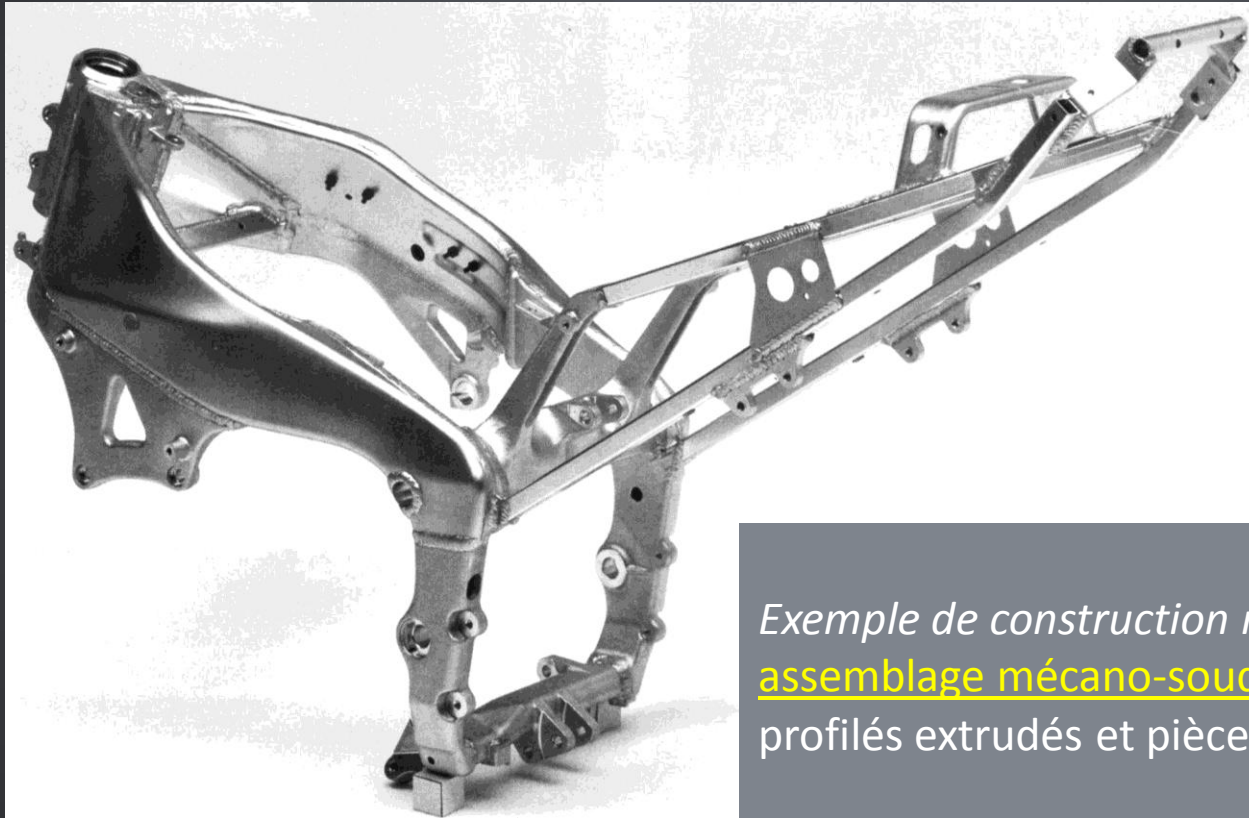
Particularités :

Les constructions soudées sont **plus simples et plus économiques** que celles obtenues à partir de pièces moulées :

- éléments de base simples : profilés, tôles du commerce
- moins d'usinage et moins d'éléments de liaison (vis, clavettes...) nécessaires



Assemblage permanent par Soudage



Exemple de construction mixte :
assemblage mécano-soudé entre
profilés extrudés et pièces moulées

FIN