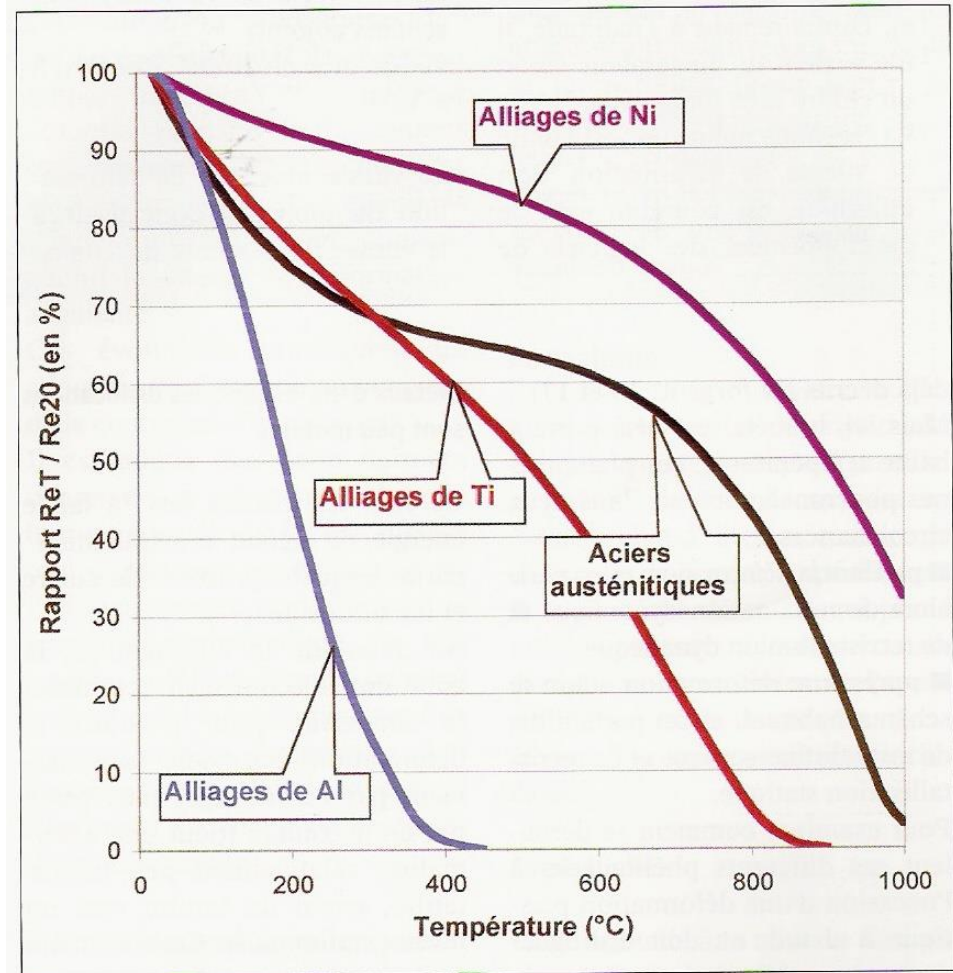


Procédés d'obtention de produits

- **Déformation plastique**
- Moulage
- Soudage
- Transformation matière plastique
- Électroérosion
- Découpe jet d'eau
- Brochage
- Usinage

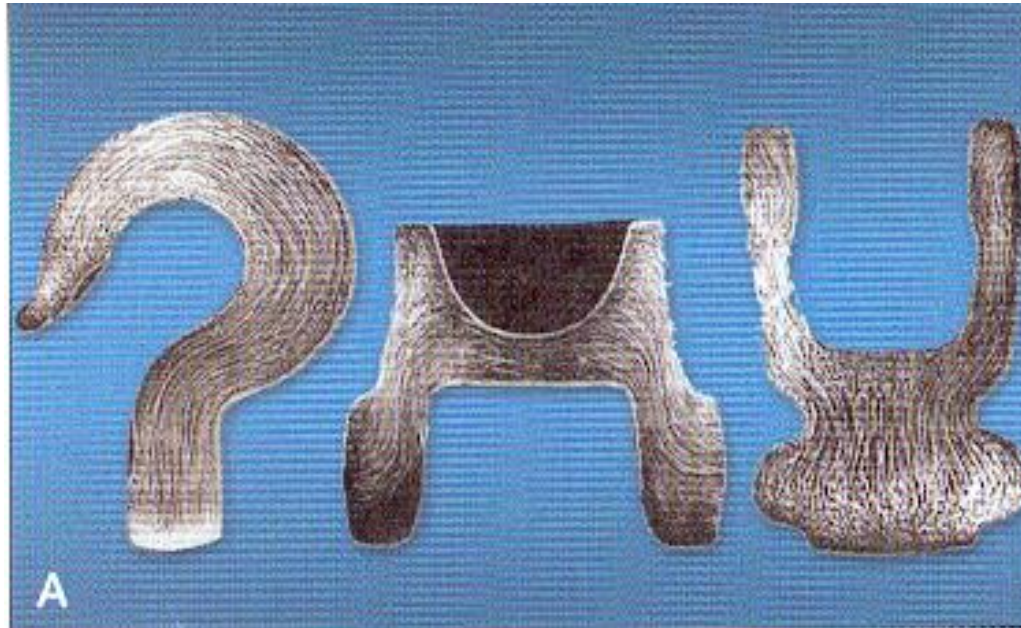
Généralités



Évolution avec la limite élastique en fonction de la température.

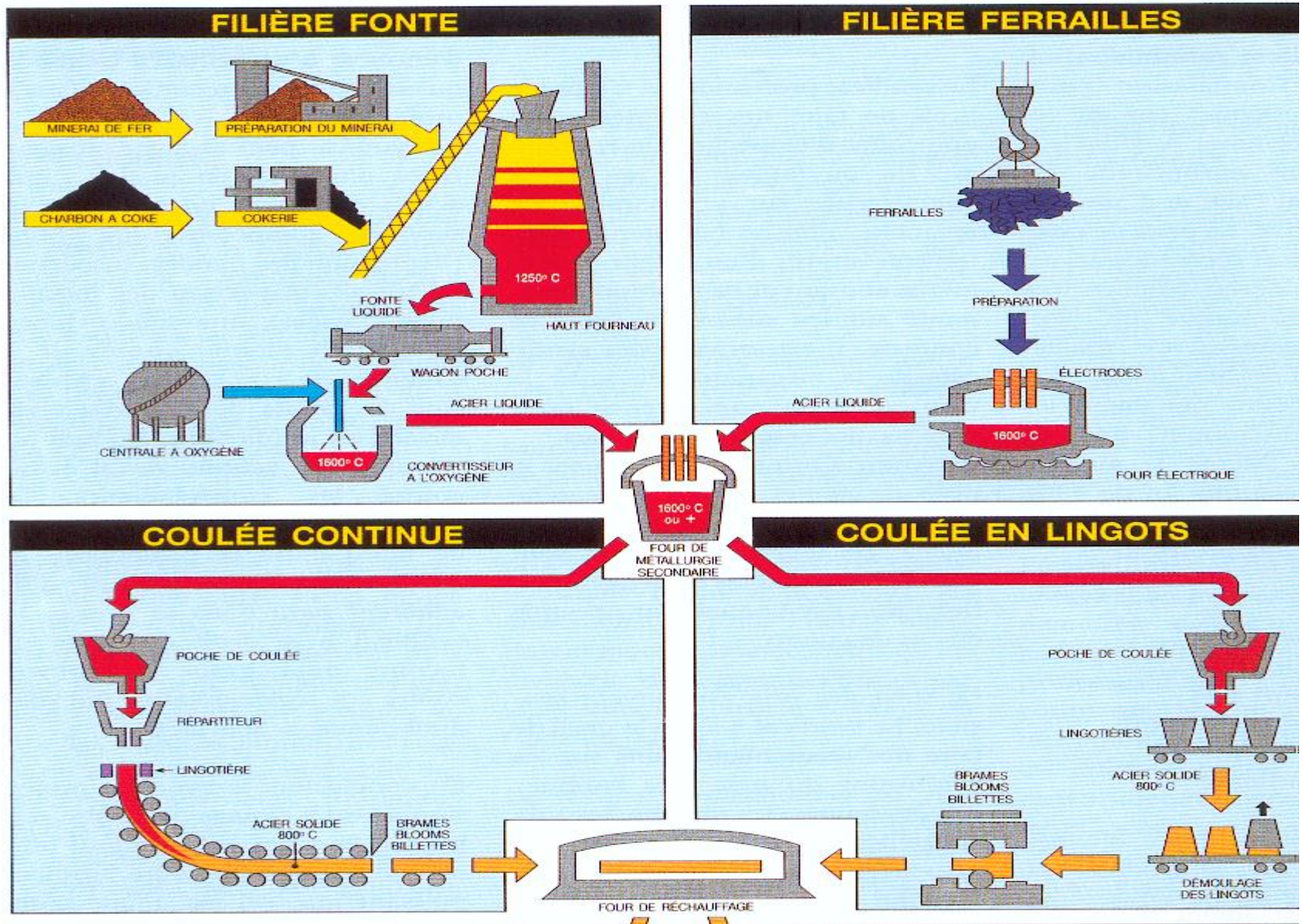
❖ Définition :

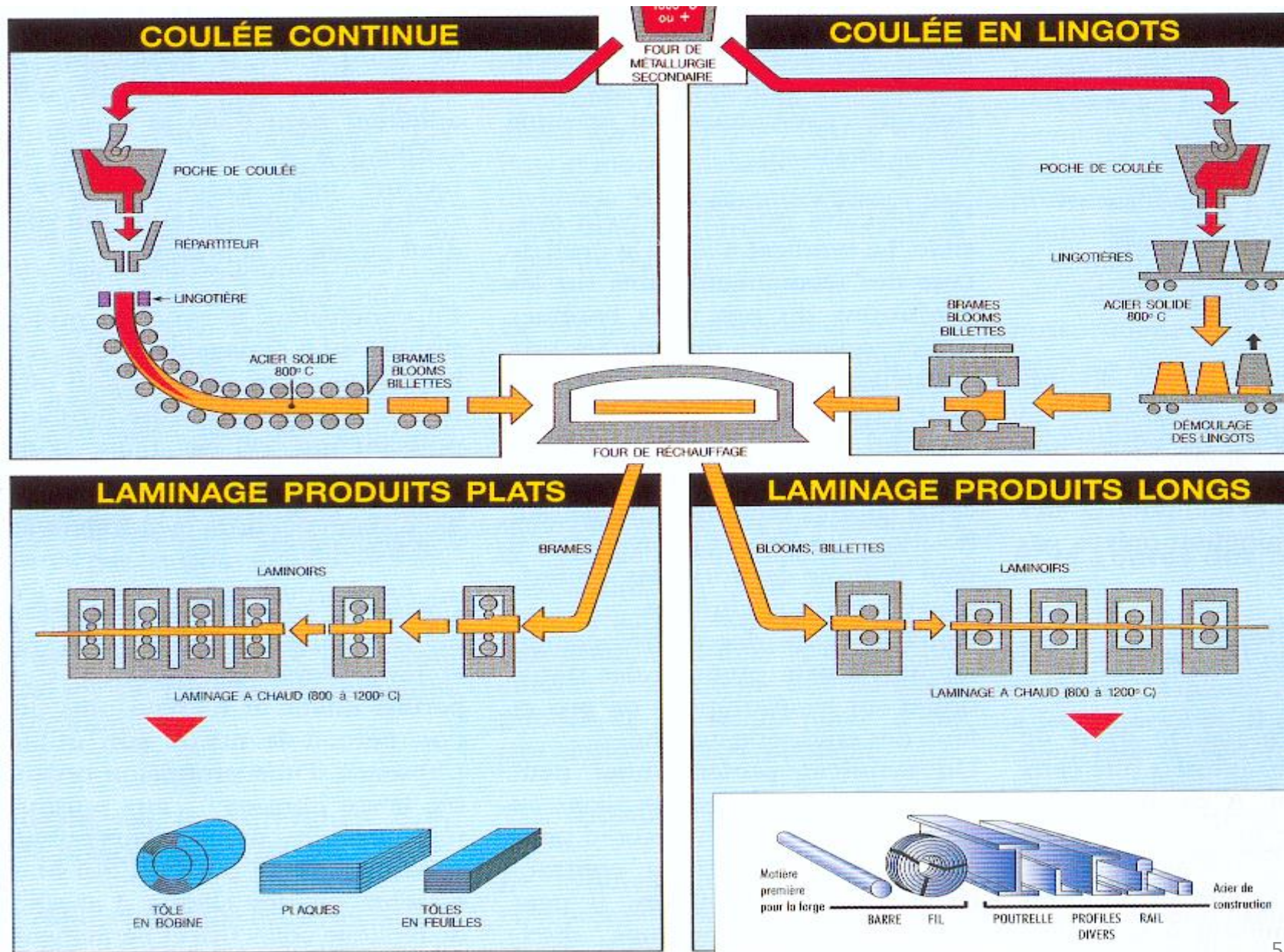
Production de pièces de formes et de matériaux divers, à partir d'un lopin par déformation plastique par chocs ou pression, à froid ou à chaud (alliage d'Aluminium 480 °, Acier 1250°).



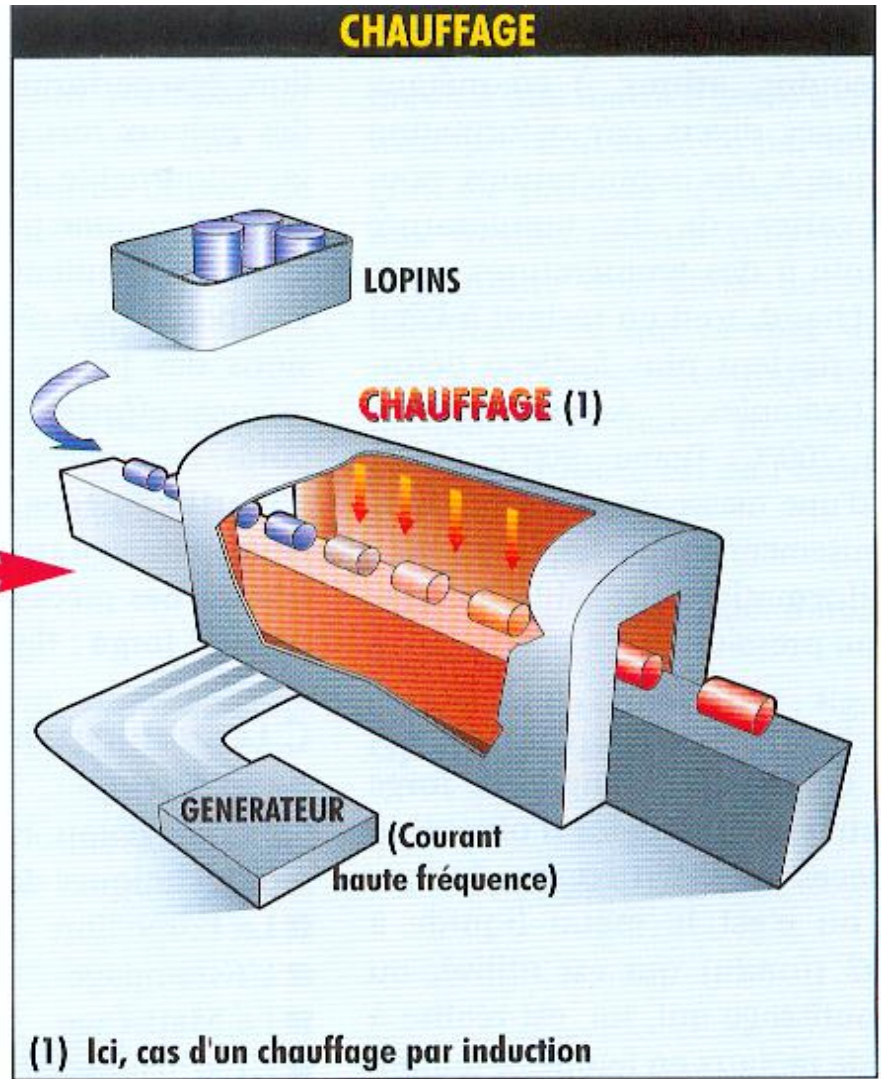
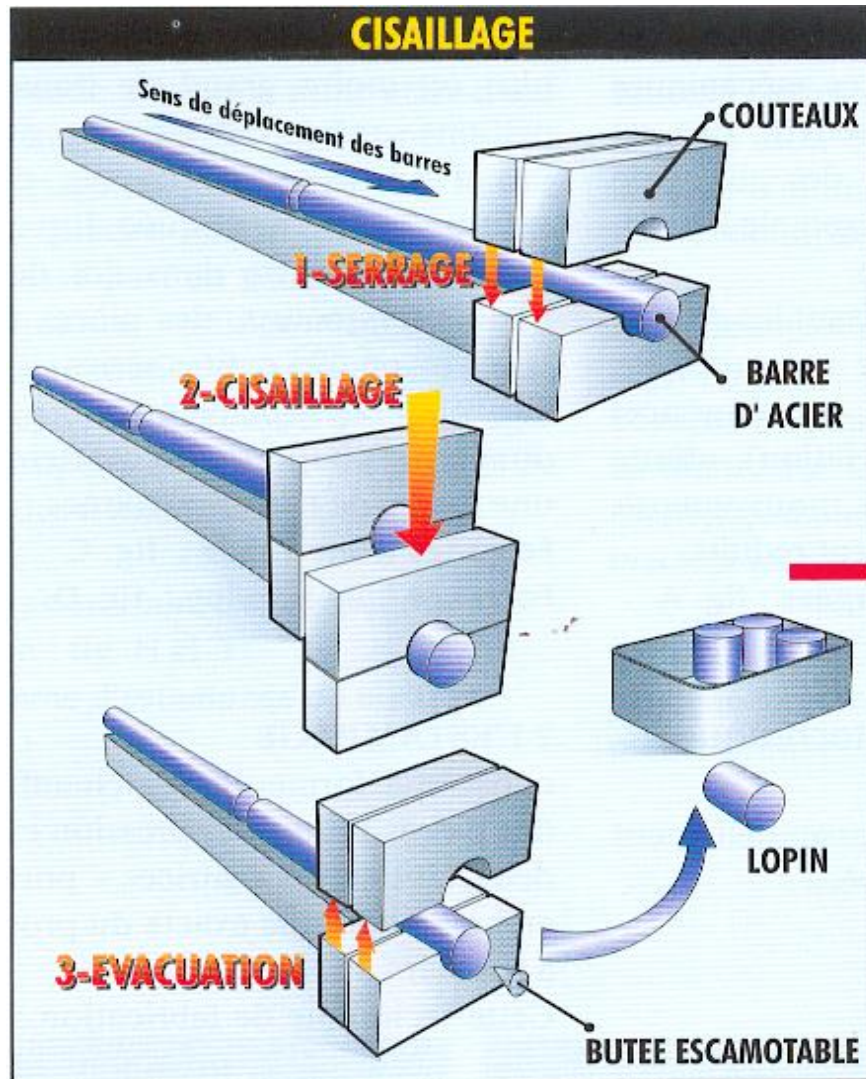
❖ Intérêt : La déformation plastique génère un fibrage qui améliore les performances mécaniques. Ce qui permet de réduire les dimensions, le poids, l'inertie, les vibrations, pour les mêmes efforts.

De L'Acier ...

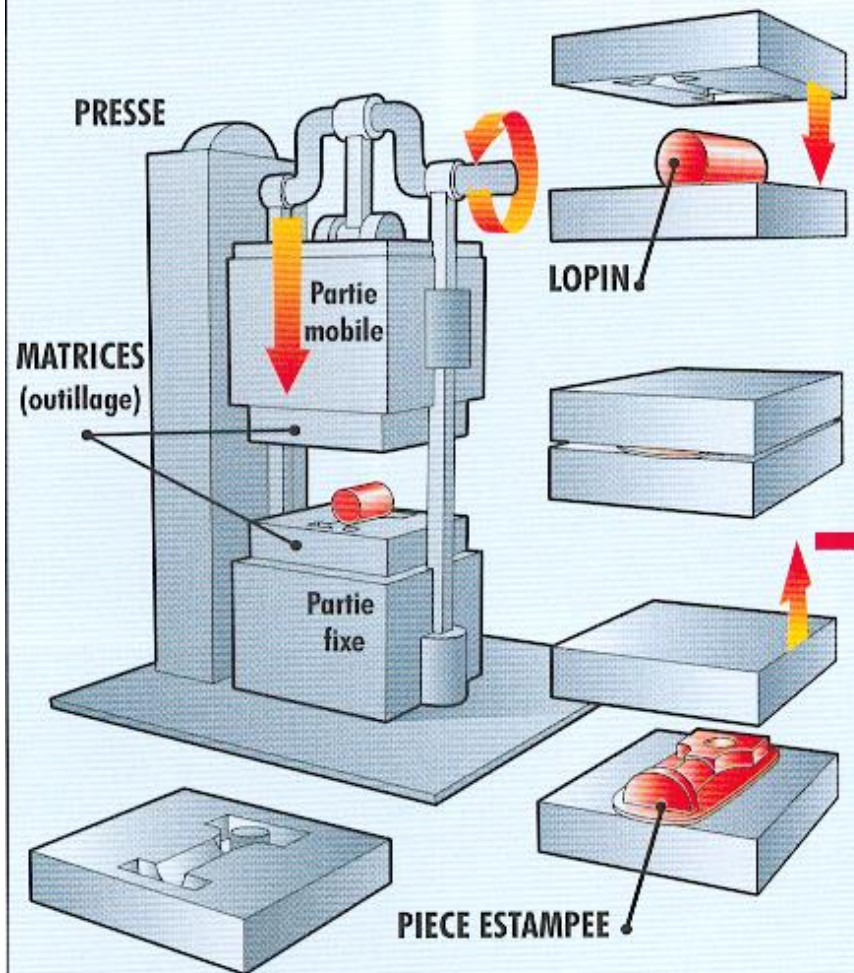




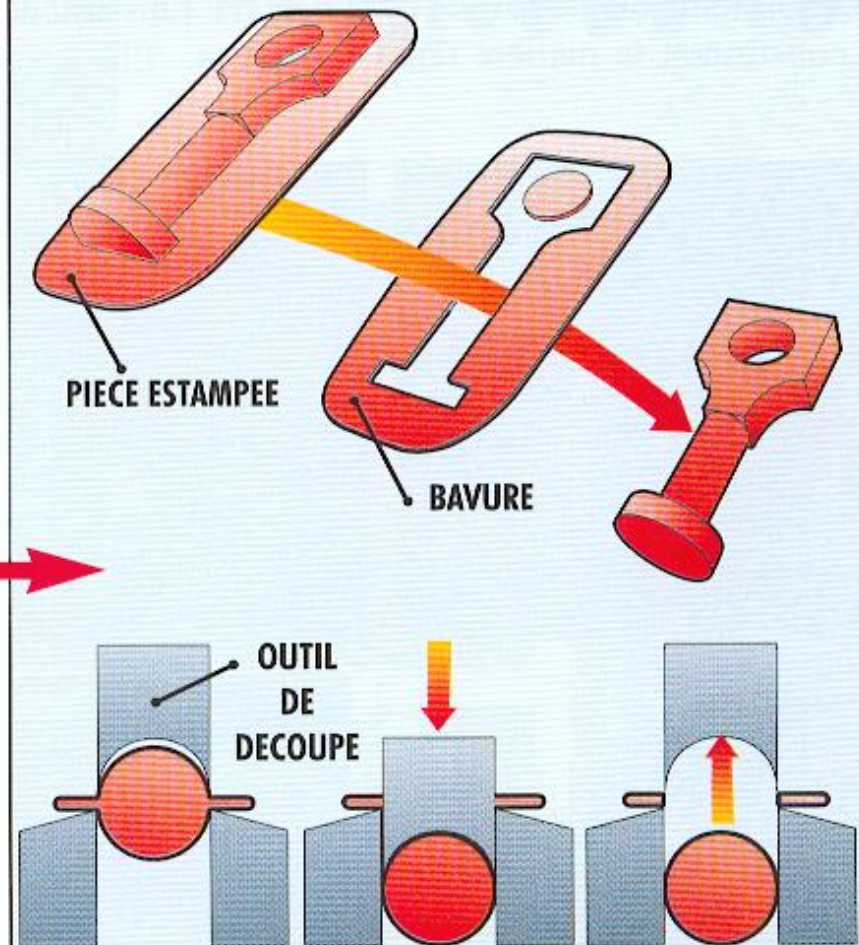
...à la Pièce Forgée



ESTAMPAGE



EBAVURAGE



On distingue :

- **Le fromage à chaud**
- **Le fromage à froid**

Le froid ... c'est délicat !

Température limite entre formage à froid et formage à chaud :

Aluminium : 193 °C

Cuivre : 405 °C

Fer : 631 °C

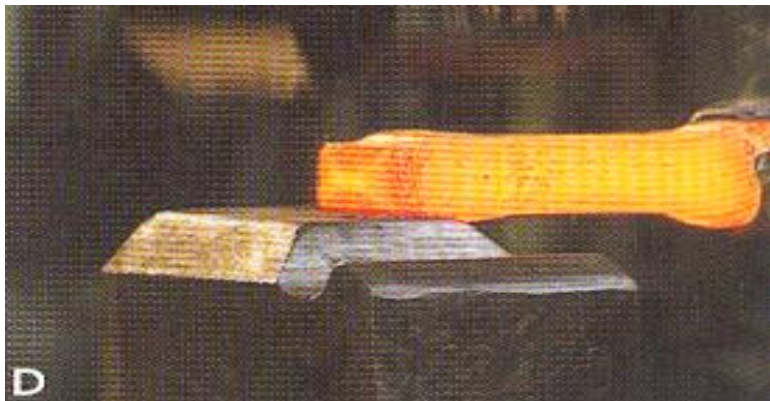
Nickel : 590 °C

Titane : 697 °C

Le fromage à chaud

❖ La Forge Libre :

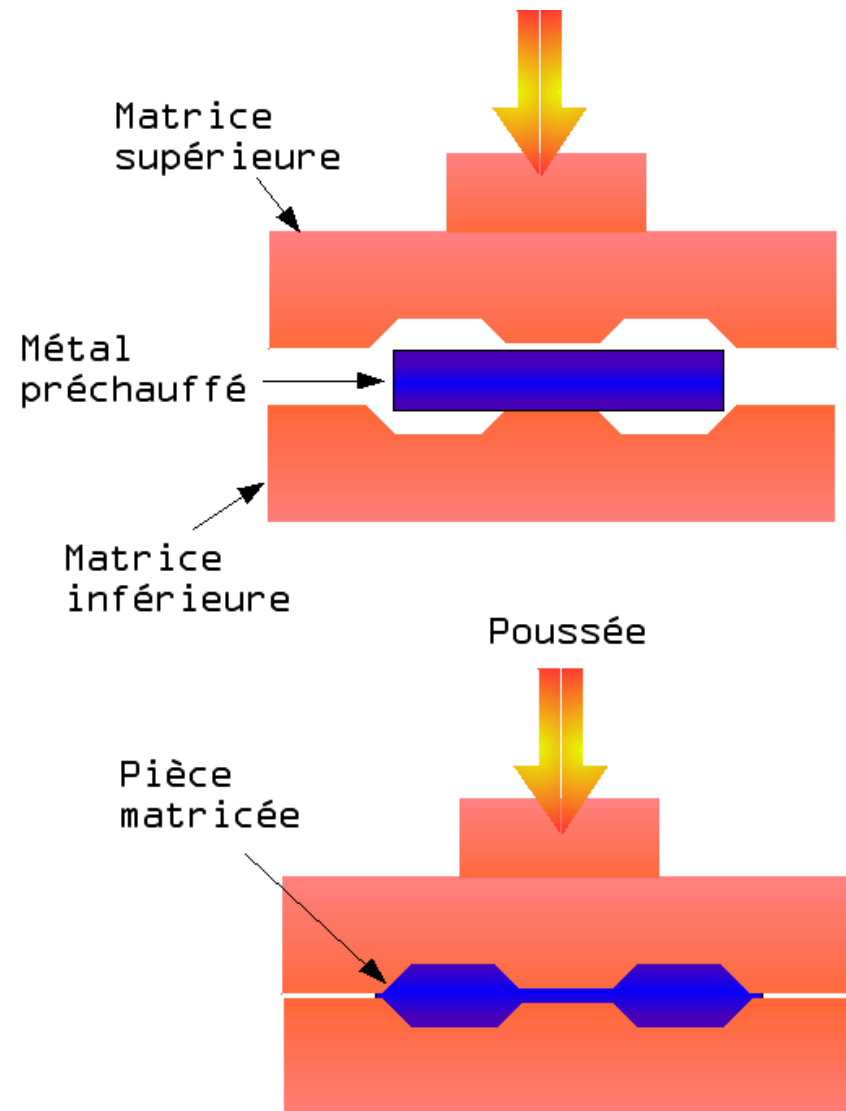
Permet d'obtenir à chaud, sans outillages spécifiques, avec des délais courts des pièces unitaires ou des très petites séries.



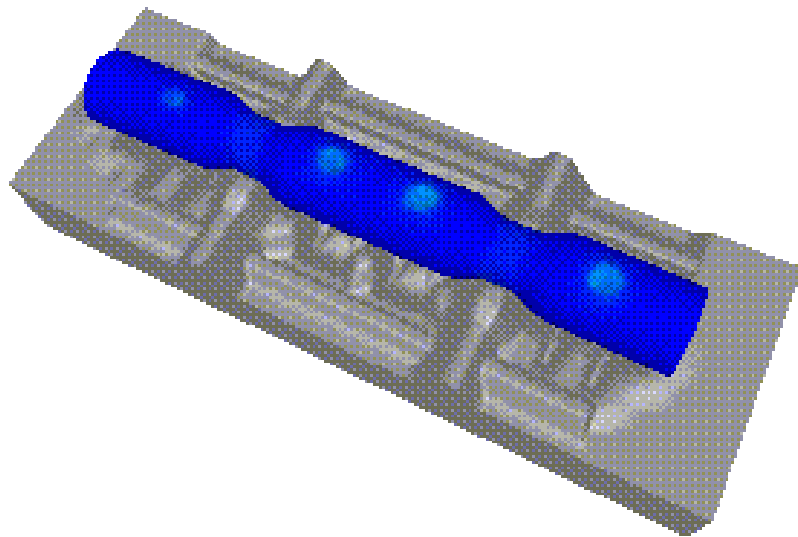
❖ Estampage / Matricage :

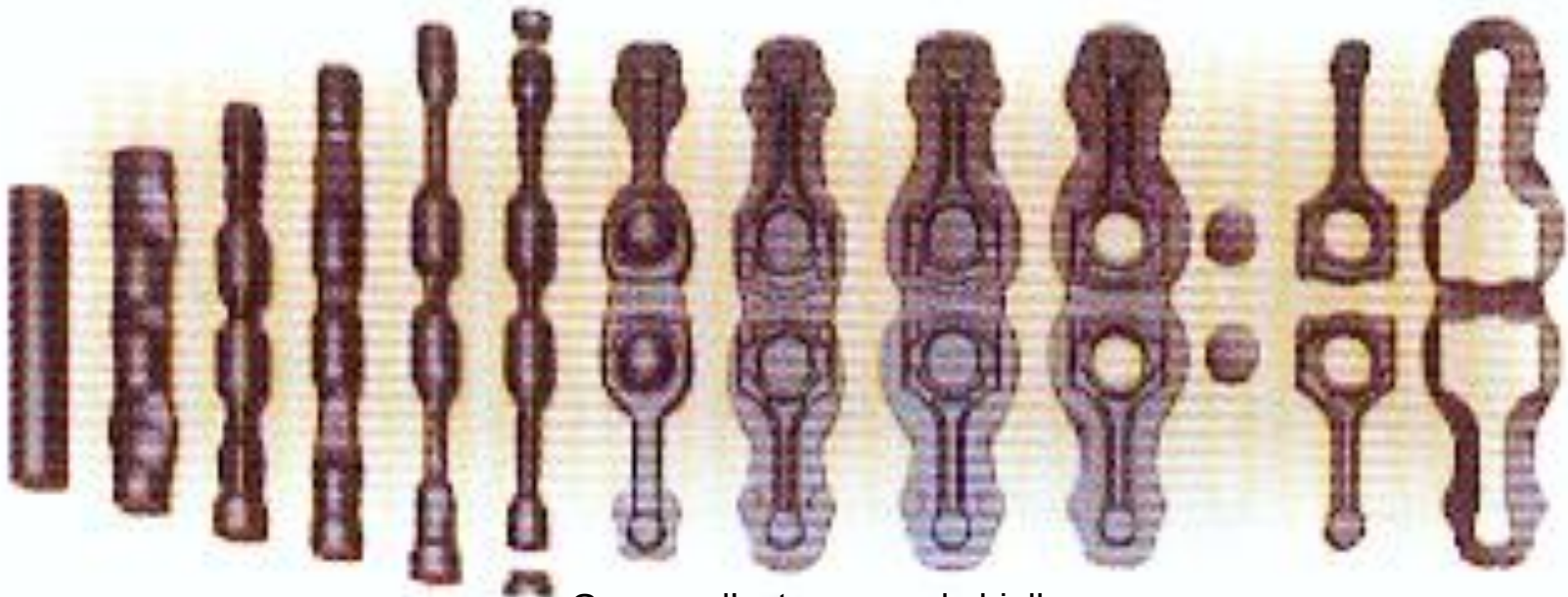
Formage à chaud par pression ou par chocs de pièces en série, entre deux matrices (outillage spécifique) portant en creux la forme de la pièce.

La précision dimensionnelle est plus grande qu'en forge libre.

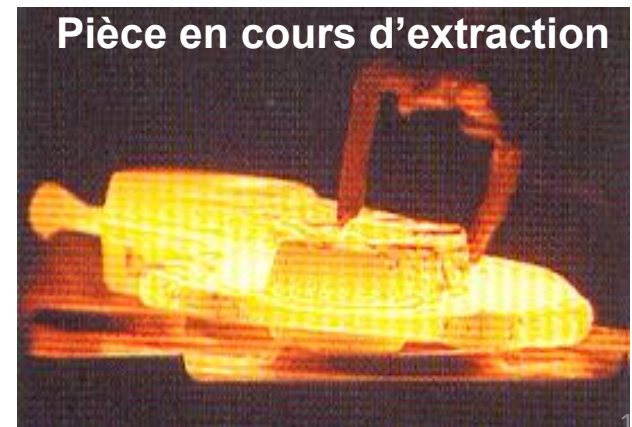


Estampage / Matriçage





Gamme d'estampage de bielles

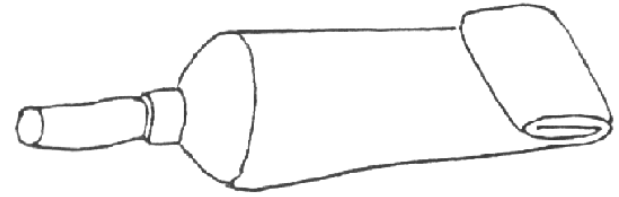


Pièce en cours d'extraction

Estampage / Matriçage



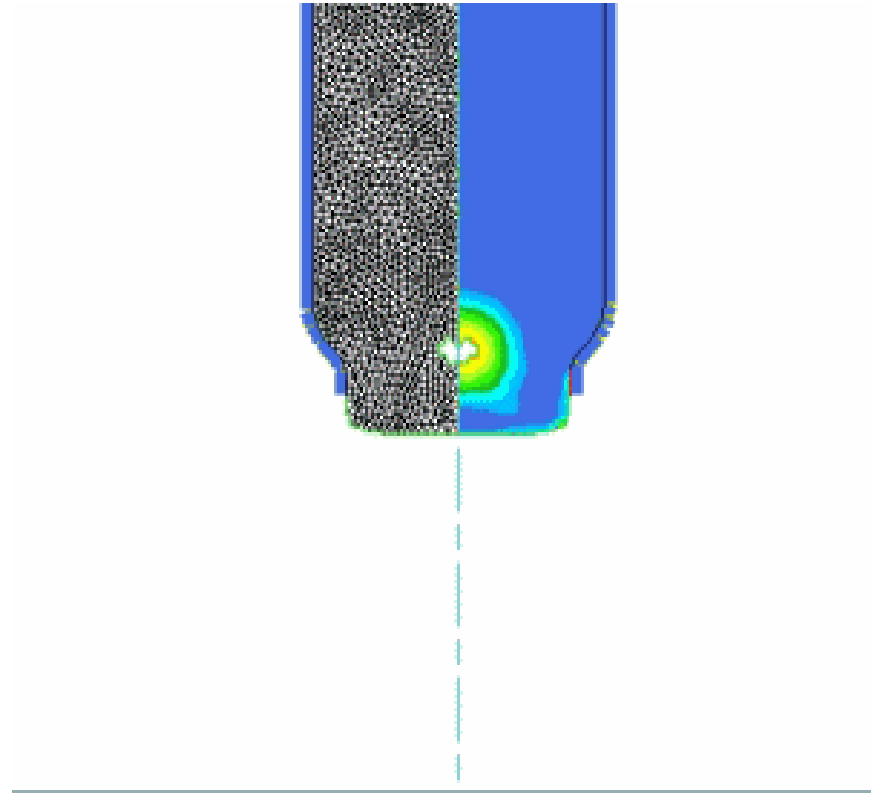
Le fromage à froid



❖ Filage :

Sous l'action d'un poinçon, on force le métal enfermé dans un conteneur à passer au travers d'une filière qui constitue une extrémité de ce dernier.

Filage



❖ La Frappe à Froid :

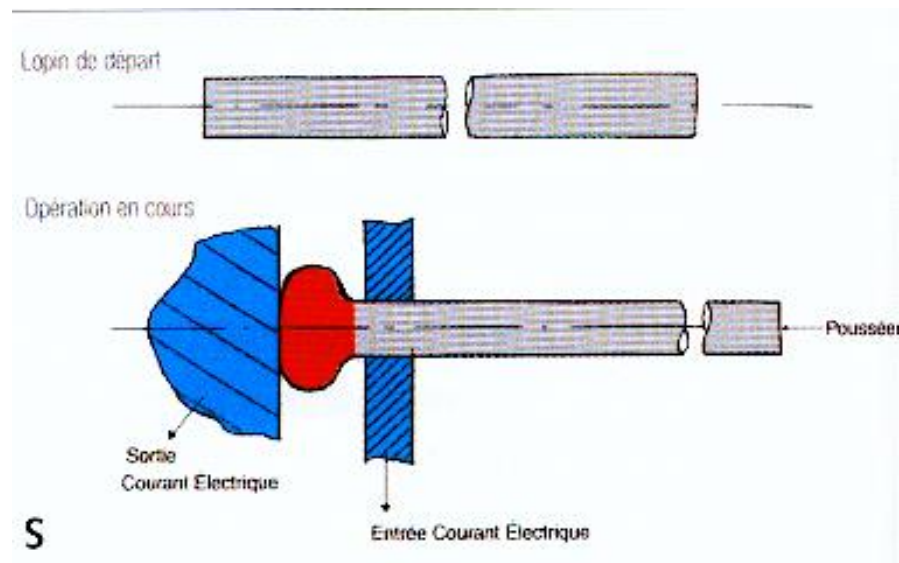
Déformation très rapide de pièces longues, visserie, boulonnerie.



Partant d'un morceau de barre ou de fil, on le déforme en l'air ou en matrice fermée pour lui conférer la géométrie visée.

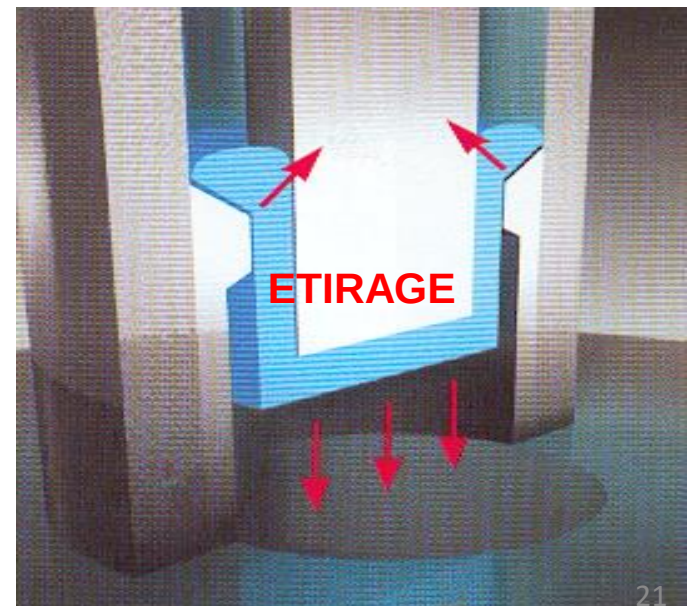
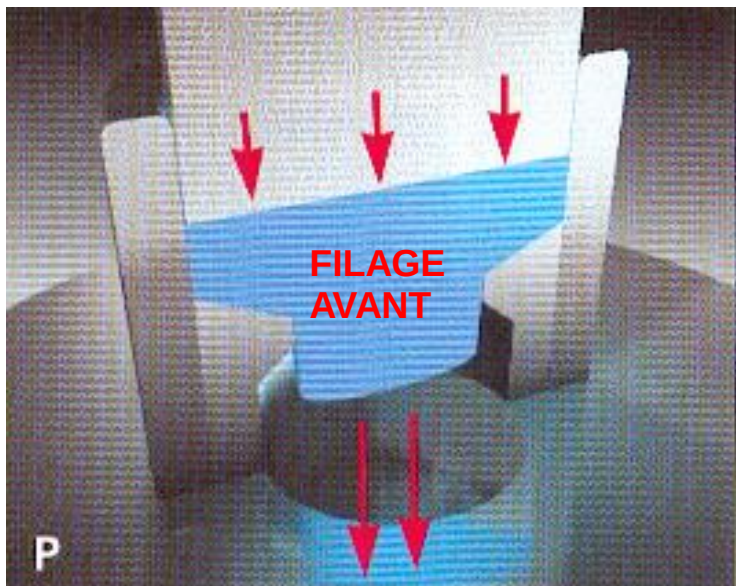
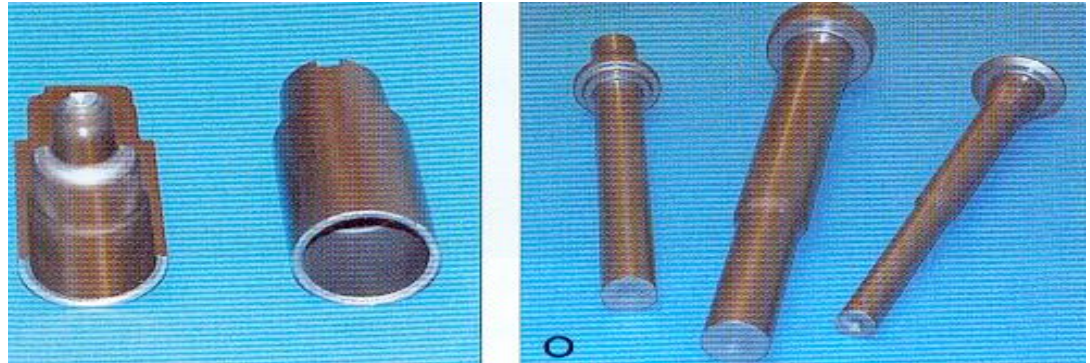
❖ L'Electrorefoulage :

Chauffage et déformation locale

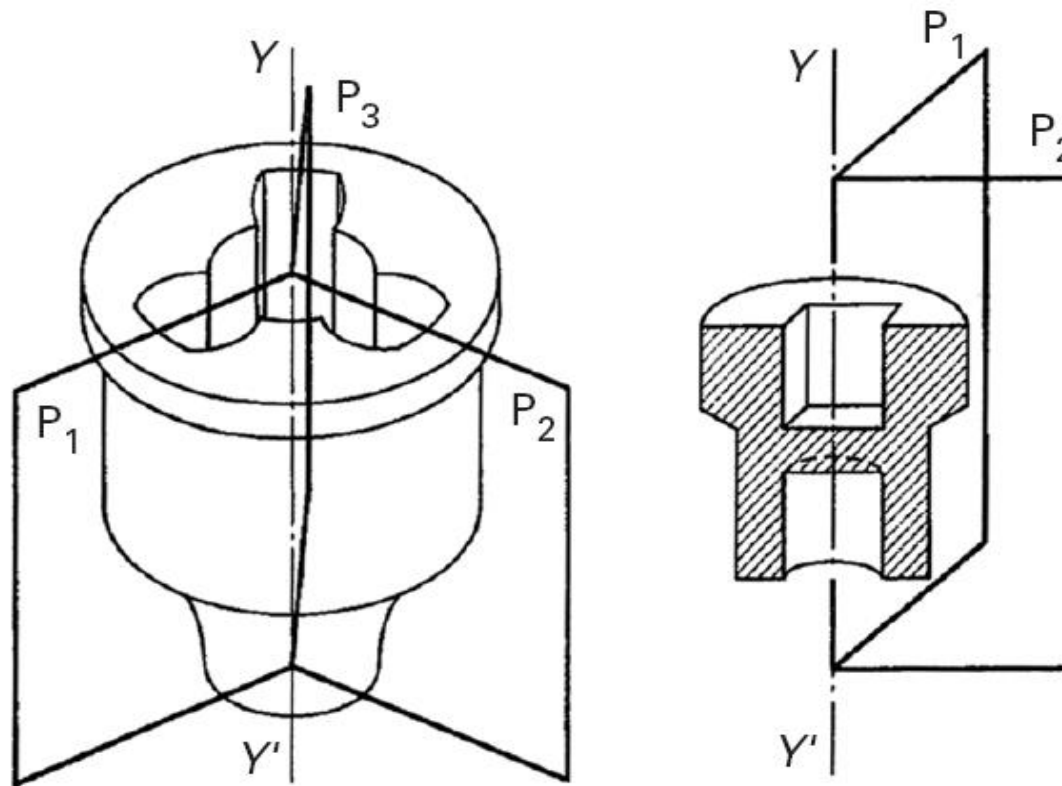


❖ **L'Extrusion** : On oblige le métal à froid à remplir une matrice grâce à une forte pression exercée par un poinçon

**Grande série et
pièces très précises
sans usinage**



❖ **L'Extrusion** : Le formage à froid entraîne des efforts de mise en forme très importants. Seules les pièces symétriques peuvent être réalisées: une dissymétrie entraînerait la dégradation des outillages.



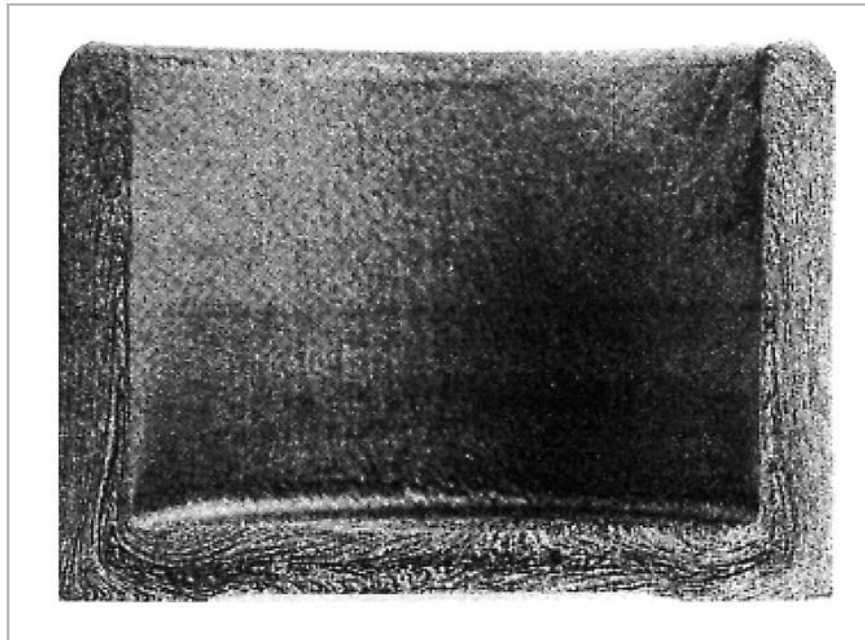
YY' axe de forgeage

❖ **L'Extrusion** : Le formage a froid engendre un fibrage important de la pièce et un fort écrouissage.

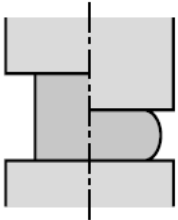
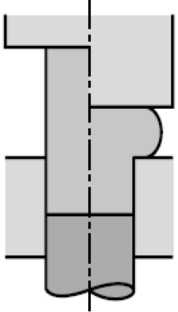
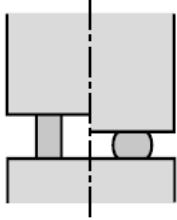
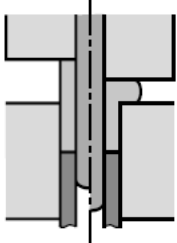
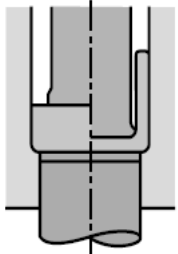
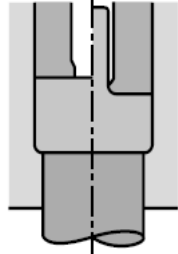
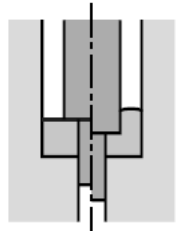
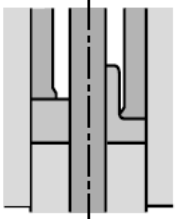
Les caractéristiques du matériau sont donc très fortement améliorées.

Economie sur la nuance de matériau

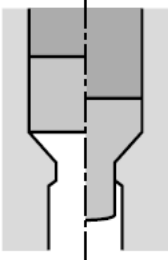
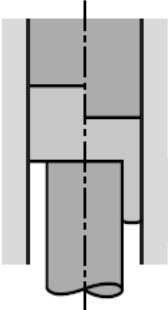
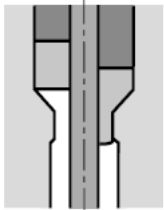
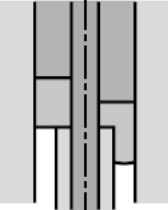
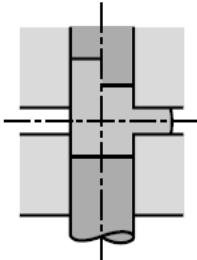
Economie sur la quantité de matériau



❖ L'Extrusion : Opérations de base

	CORPS PLEINS		CORPS CREUX	
ÉCRASAGES	 (a) écrasage simple ou conformation	 (b) écrasage semi-encasté ou refoulage d'extrémité	 (c) écrasement d'anneau	 (d) écrasage semi-encasté sur pièce creuse
FILAGES INVERSES	 (e) filage inverse extérieur	 (f) filage inverse central	 (g) filage inverse extérieur sur pièce creuse	 (h) filage inverse central sur pièce creuse

❖ L'Extrusion : Opérations de base

FILAGES DIRECTS				
	① filage direct central	① filage direct extérieur	① filage direct creux ou filage direct sur aiguille	① filage direct extérieur de corps creux
FILAGE LATÉRAL		Sur chacun de ces schémas : - à gauche de l'axe vertical en trait mixte, <i>lopin avant</i> exécution de l'opération de <i>déformation</i> ; - à droite de ce même axe, <i>lopin après déformation</i>.		
	① filage latéral de pièce pleine			

❖ **Etirage et tréfilage** :

Par traction, on force une barre ou un fil, à passer au travers d'une filière qui réduit sa section.

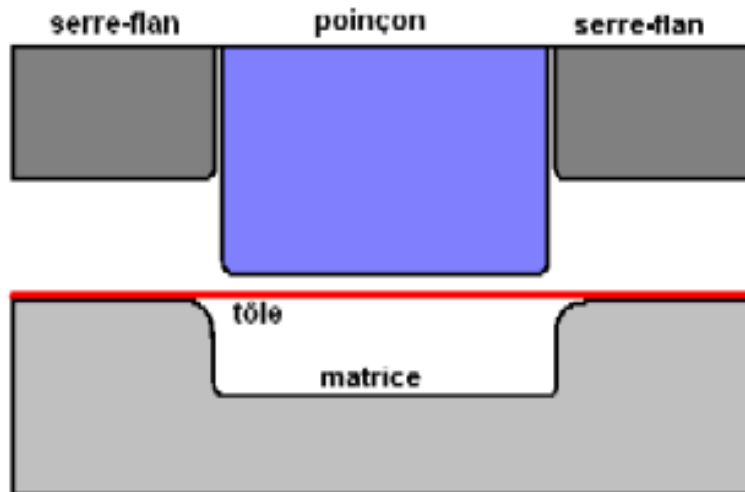
Fils électriques, clôtures, câbles, pointes.

❖ Emboutissage :

Des produits plats sont conformés par l'action d'un poinçon de forme qui contraint la tôle à épouser la géométrie d'une matrice.

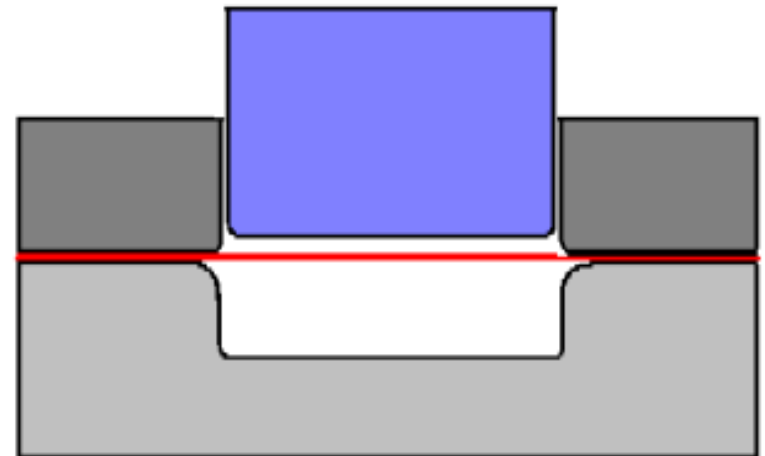
Phase 1 :

Le poinçon et le serre-flan sont relevés.
La tôle est posée sur la matrice.



Phase 2 :

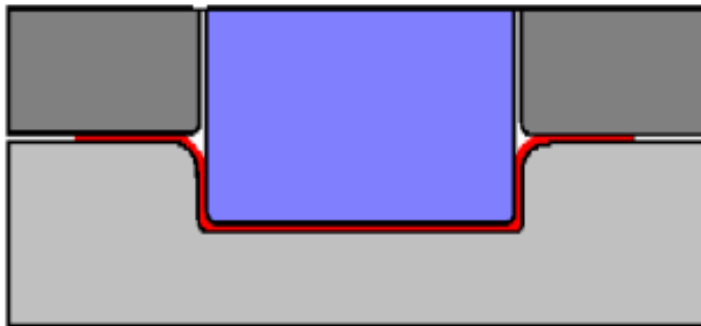
Le serre-flan descend et vient serrer le pourtour de la tôle sur la matrice.



❖ Emboutissage :

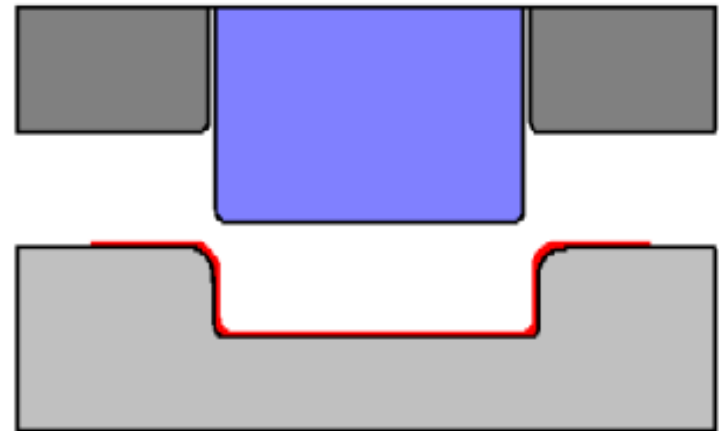
Phase 3 :

La tôle étant maintenue (avec glissement possible entre le serre-flan et la matrice, le poinçon est abaissé et vient plaquer la tôle, en la déformant, contre le fond de la matrice.



Phase 4 :

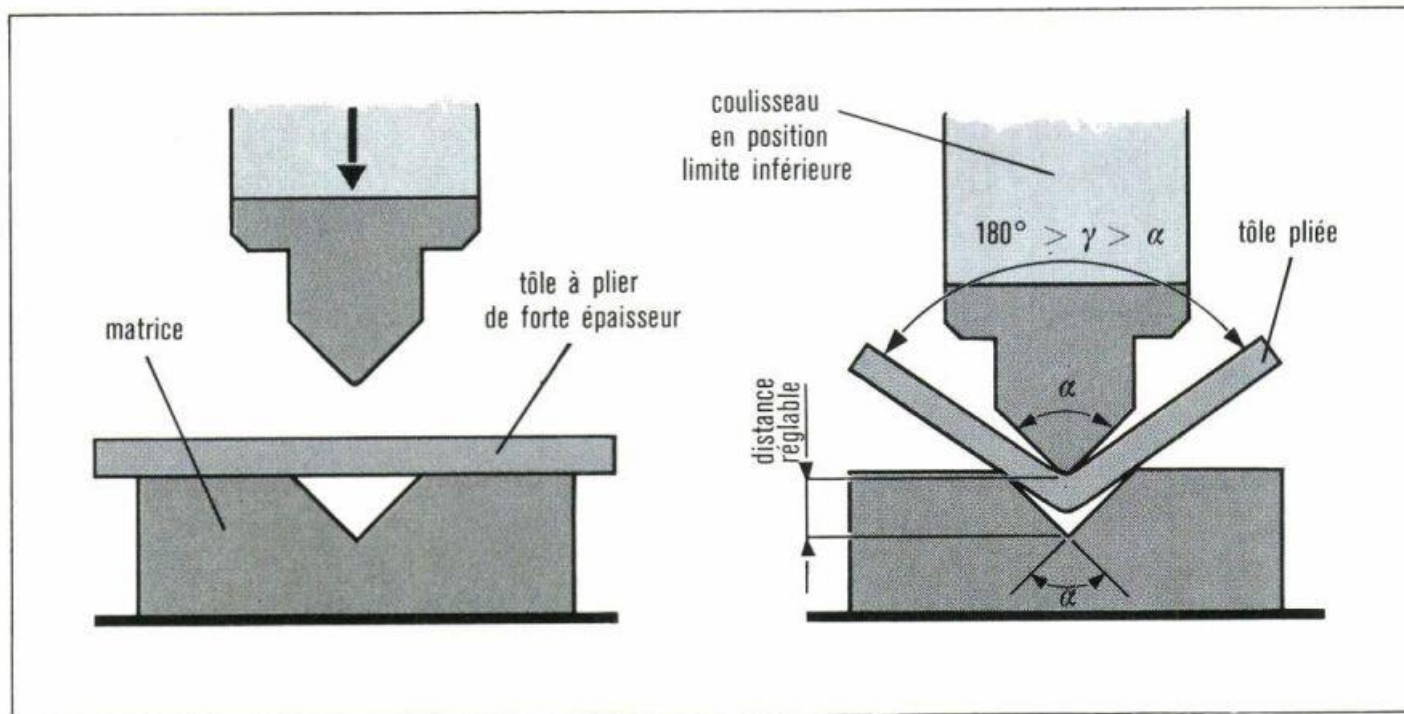
On relève le poinçon et le serre-flan : la pièce reste formée au fond de la matrice. Il ne reste qu'à la sortir et la détourer.



❖ Pliage:

Le pliage permet l'obtention de pièces développables dont les plis sont obligatoirement rectilignes

Principe du pliage « en l'air ».

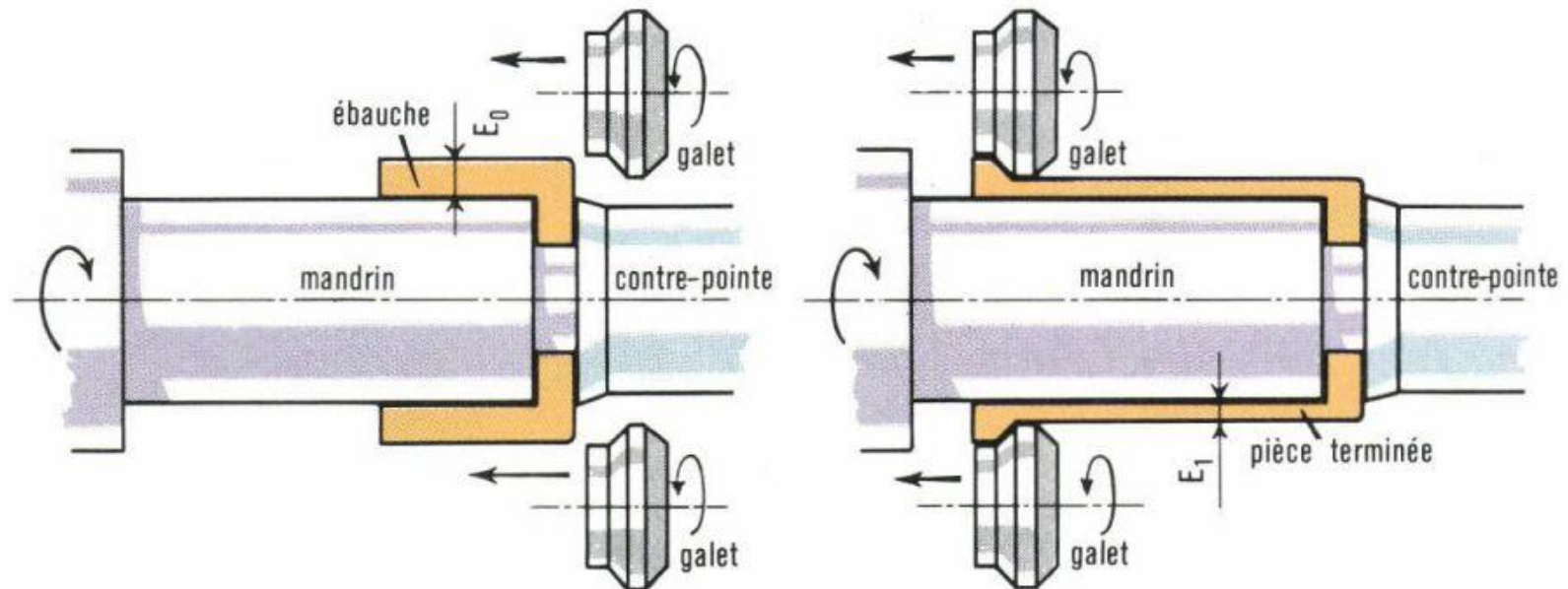


❖ Pliage:

Le pliage permet l'obtention de pièces développables dont les plis sont obligatoirement rectilignes



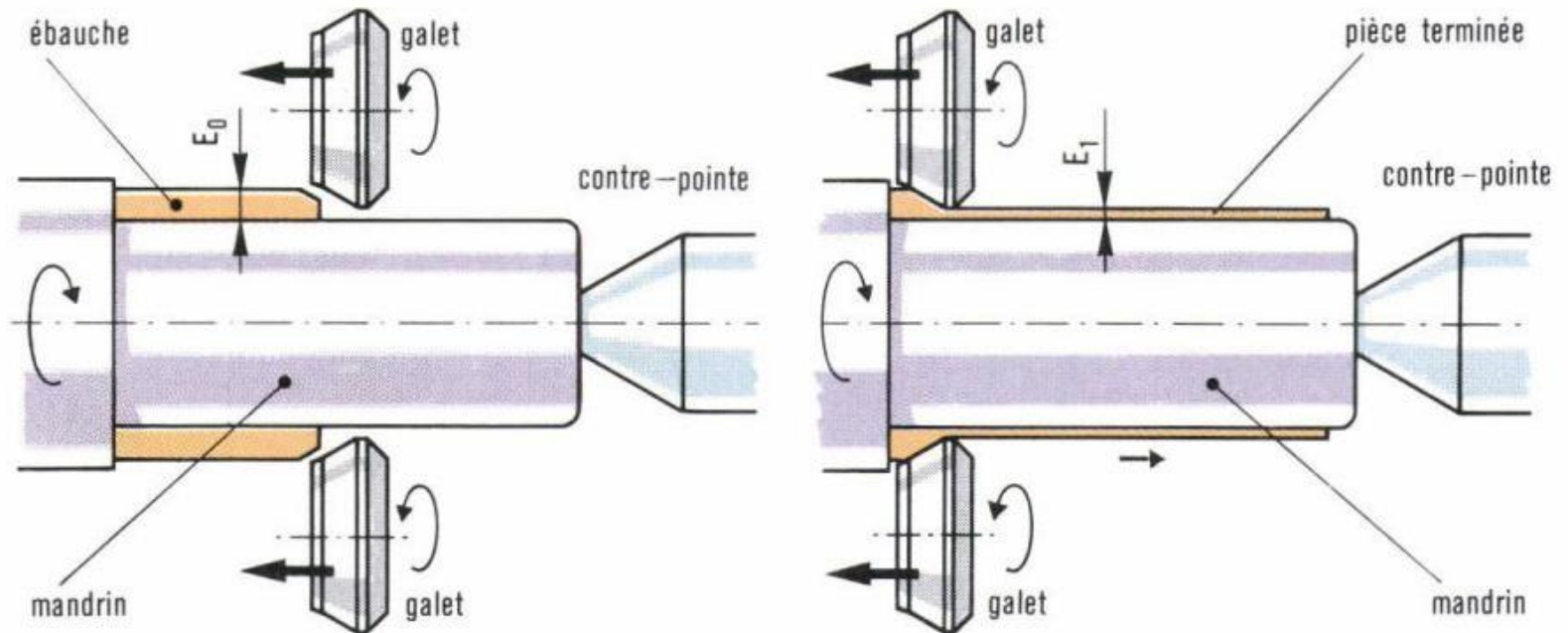
❖ Fluotournage:



Fluotournage cylindrique par allongement :

E_0 , épaisseur initiale de l'ébauche; E_1 , épaisseur finale de la pièce.

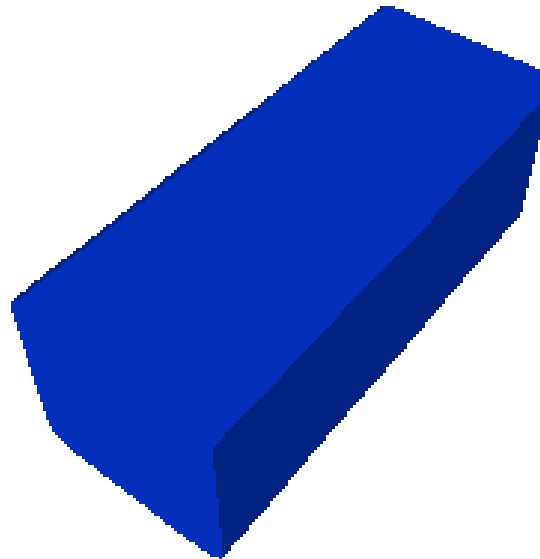
❖ Fluotournage:



Fluotournage cylindrique par rétro-extrusion :
 E_0 , épaisseur initiale de l'ébauche; E_1 , épaisseur finale de la pièce.

Tableau Comparatif Des Différents Procédés De Formage

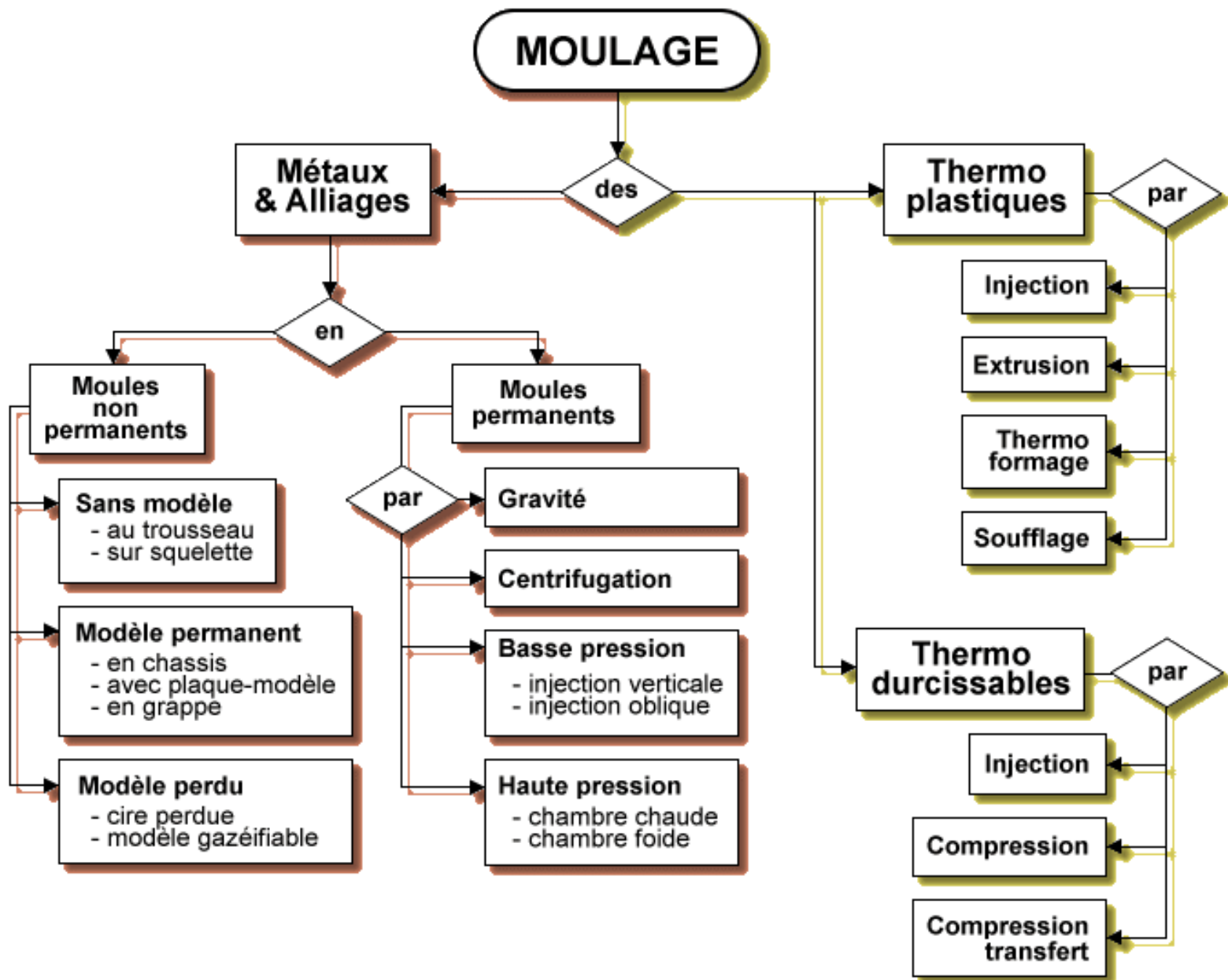
Procédés	t°	Matériaux	Poids Pièces	Série	Outils	Machine	Tol	Après procédé
Forge Libre	400 à 1200	Tous	1 Kg à 200 T	1 à 50	Standards	Chocs et Pression	5 mm	Estampage Matriçage Usinage
Estampage	850 à 1200	Ferreux	5 gr à 3 T	50 à plusieurs milliers /mois	Matrices spécifiques	Chocs	1 à 2 mm	Ébavurage Calibrage à froid Usinage
Matriçage	400 à 950	Non Ferreux				Pression	0,3 à 0,4 mm	
Extrusion	À froid	Ferreux et non ferreux	50 gr 15 Kg	5000 p/mois 1000 p/mois	Spécifiques	Pression	0,05 à 0,1 mm au Ø et 0,5 mm en long	Pas ou peu d'usinage



Séquence complète de forgeage d'un pivot de Maybach

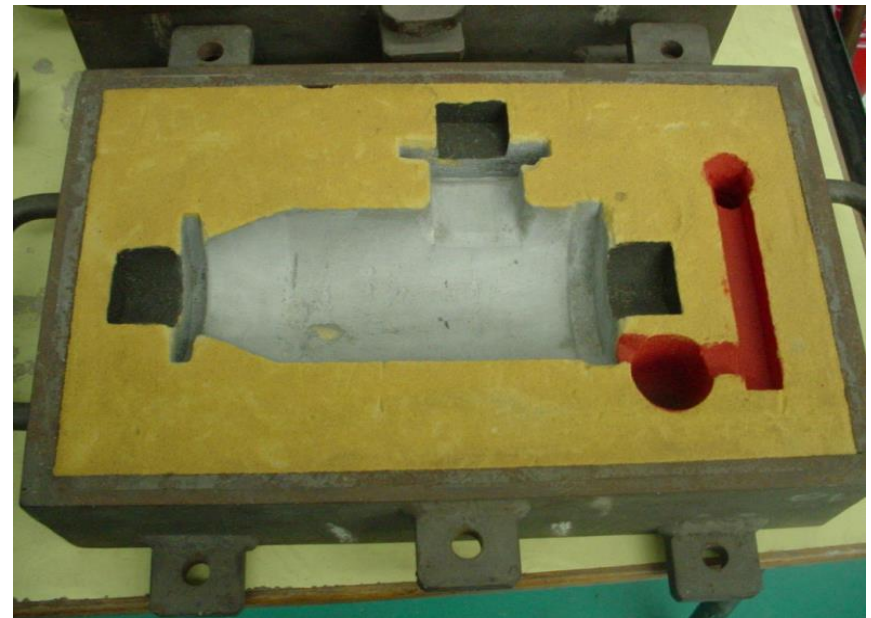
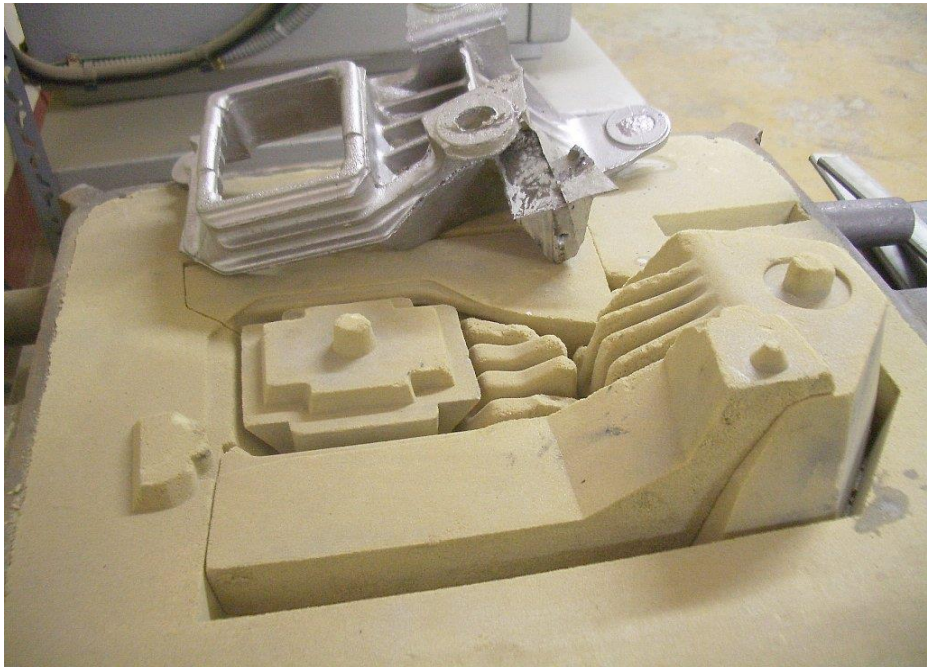
Procédés d'obtention de produits

- Déformation plastique
- **Moulage**
- Soudage
- Transformation matière plastique
- Électroérosion
- Découpe jet d'eau
- Brochage
- Usinage

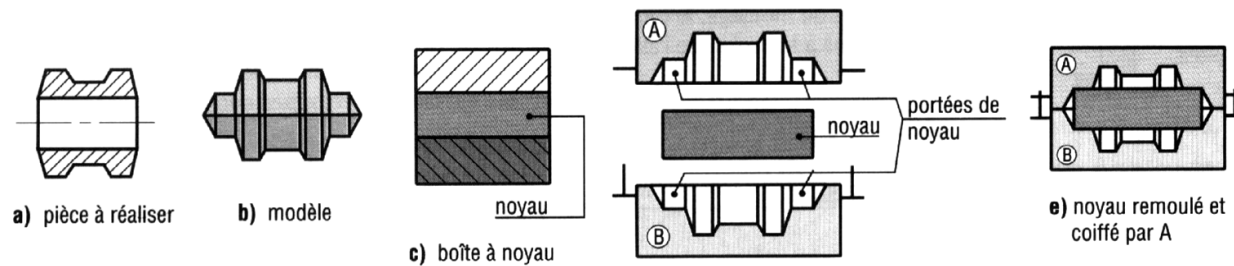
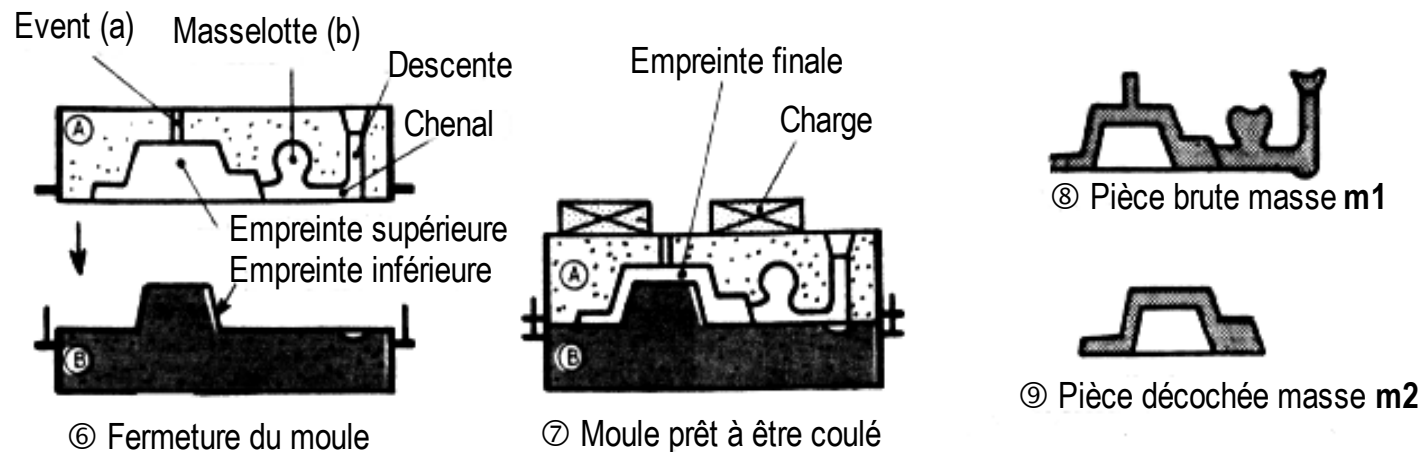
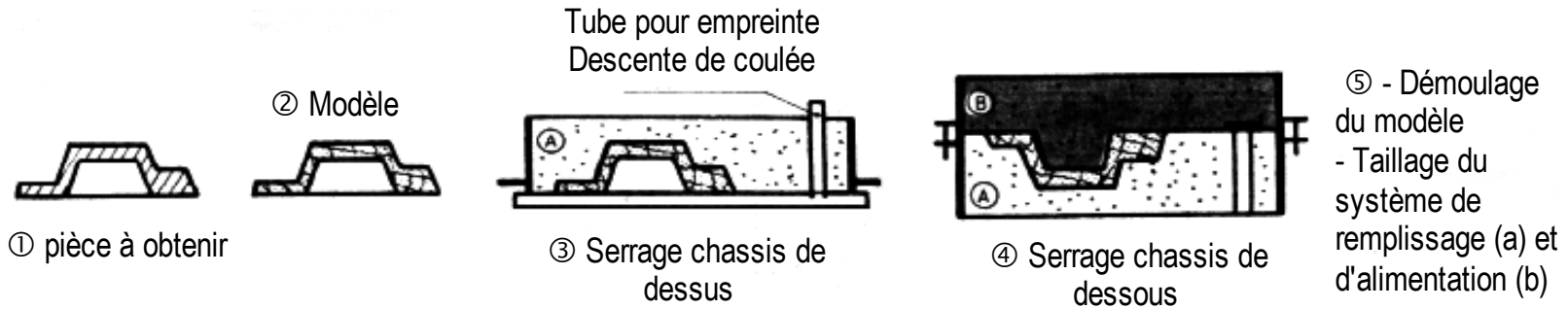


Moulage en moule non permanent

Moulage au sable



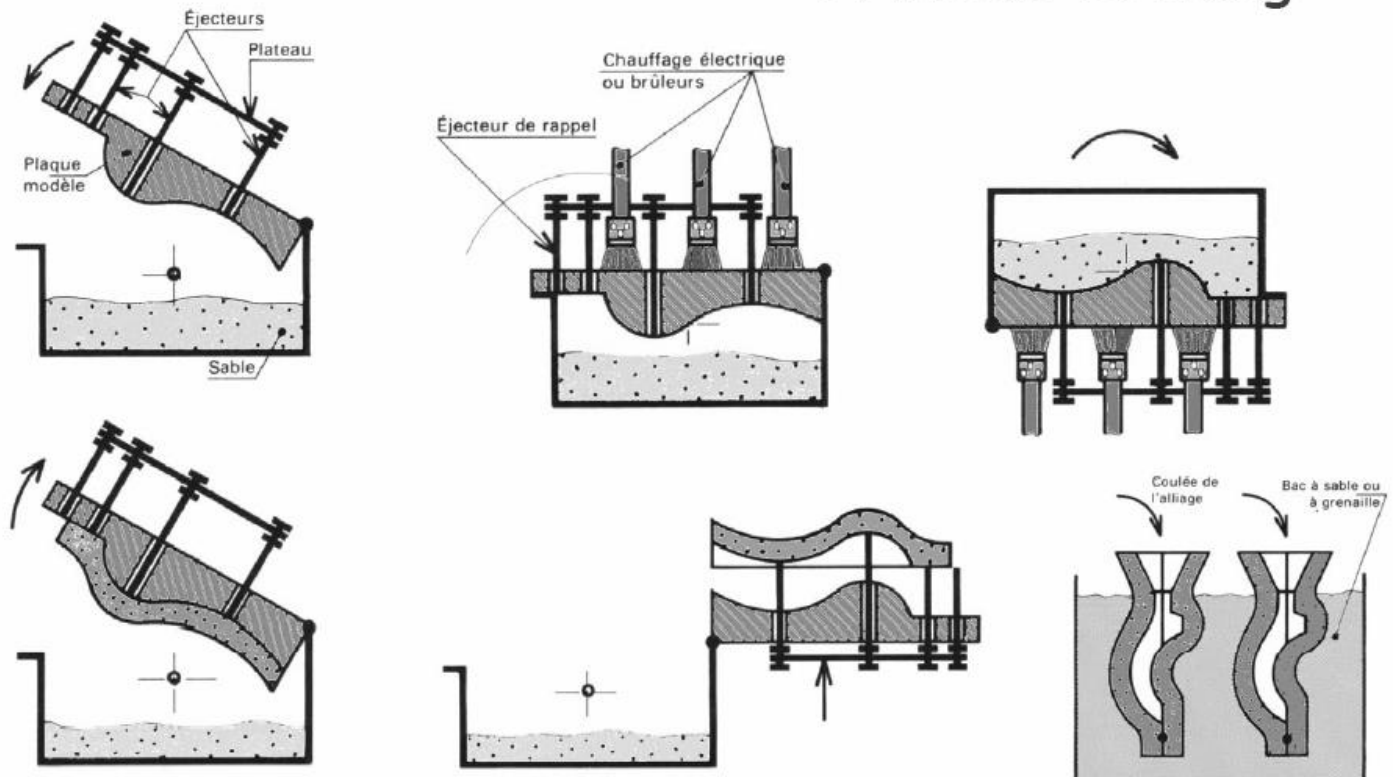
Moulage au sable



Moulage en moule non permanent

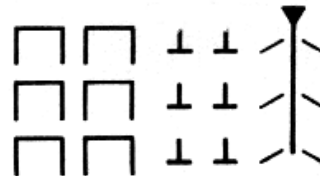
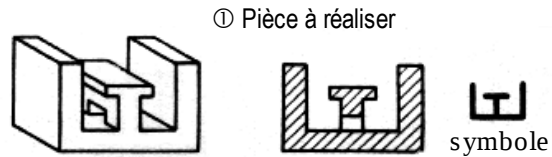
Procédé Croning (moulage en carapace)

Procédé Croning

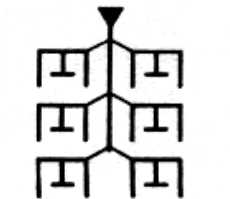


Moulage en moule non permanent

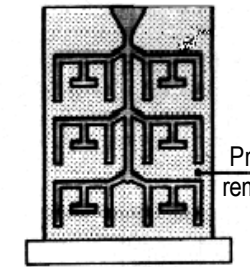
Moulage à modèle non permanent (cire perdue)



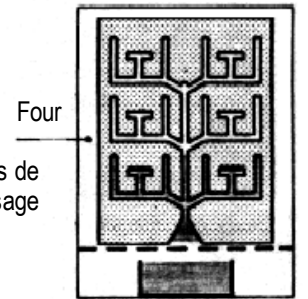
② Fabrication des différentes parties du moule



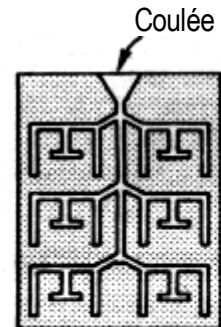
③ Montage en grappe



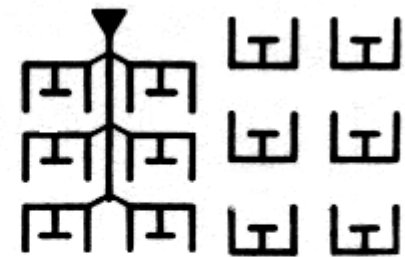
④ Fabrication du moule



⑤ Elimination du modèle



⑥ moule prêt à la coulée



⑦ grappe décochée



⑧ Pièces finies

Moulage en moule non permanent

Moulage à modèle non permanent (Lost foam casting)



1) Modèle en polystyrène



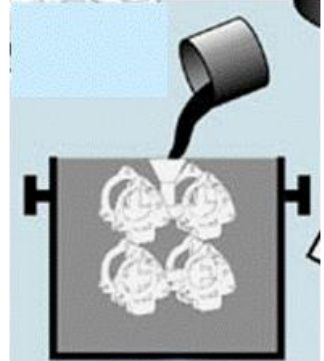
2) Assemblage en grappe



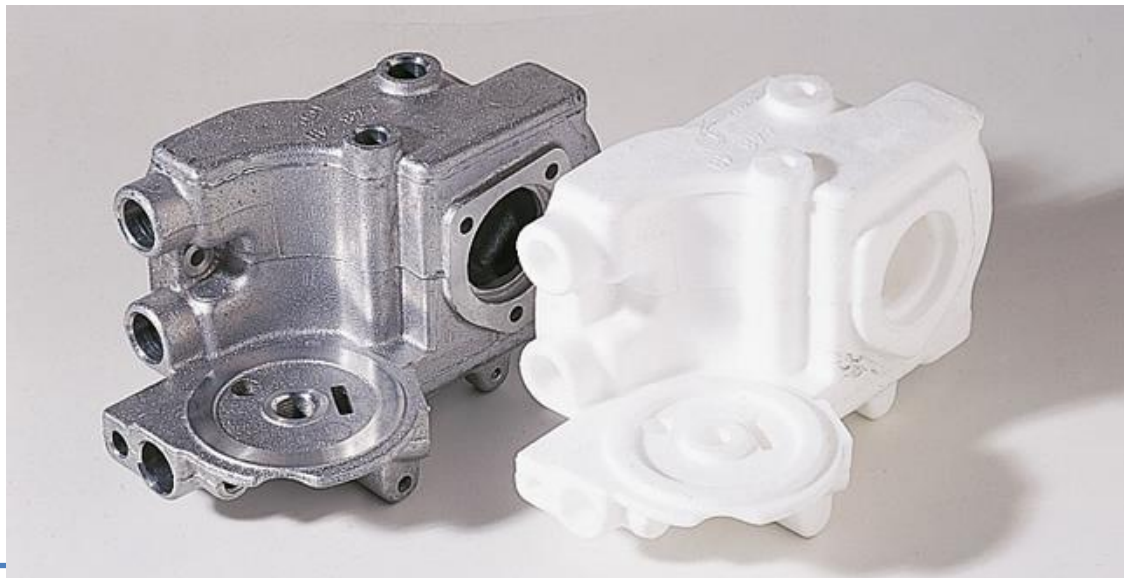
3) Enduit réfractaire



4) Bain de sable



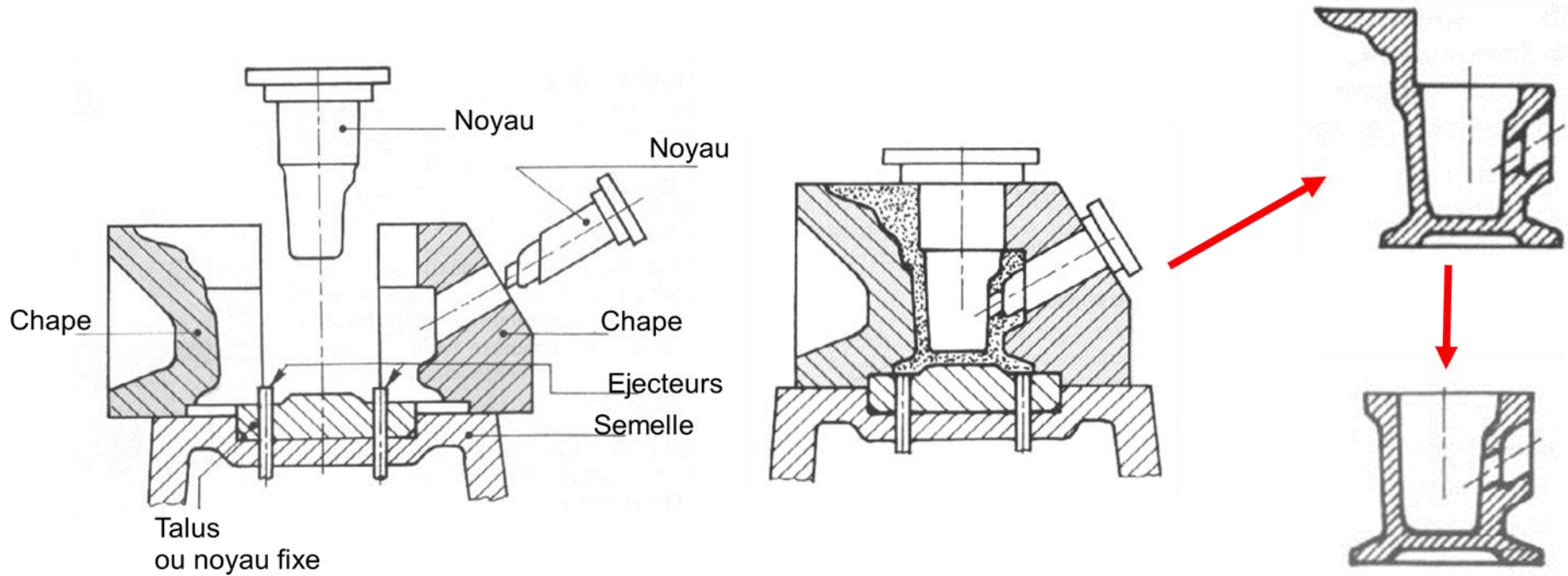
5) Coulée de l'alliage



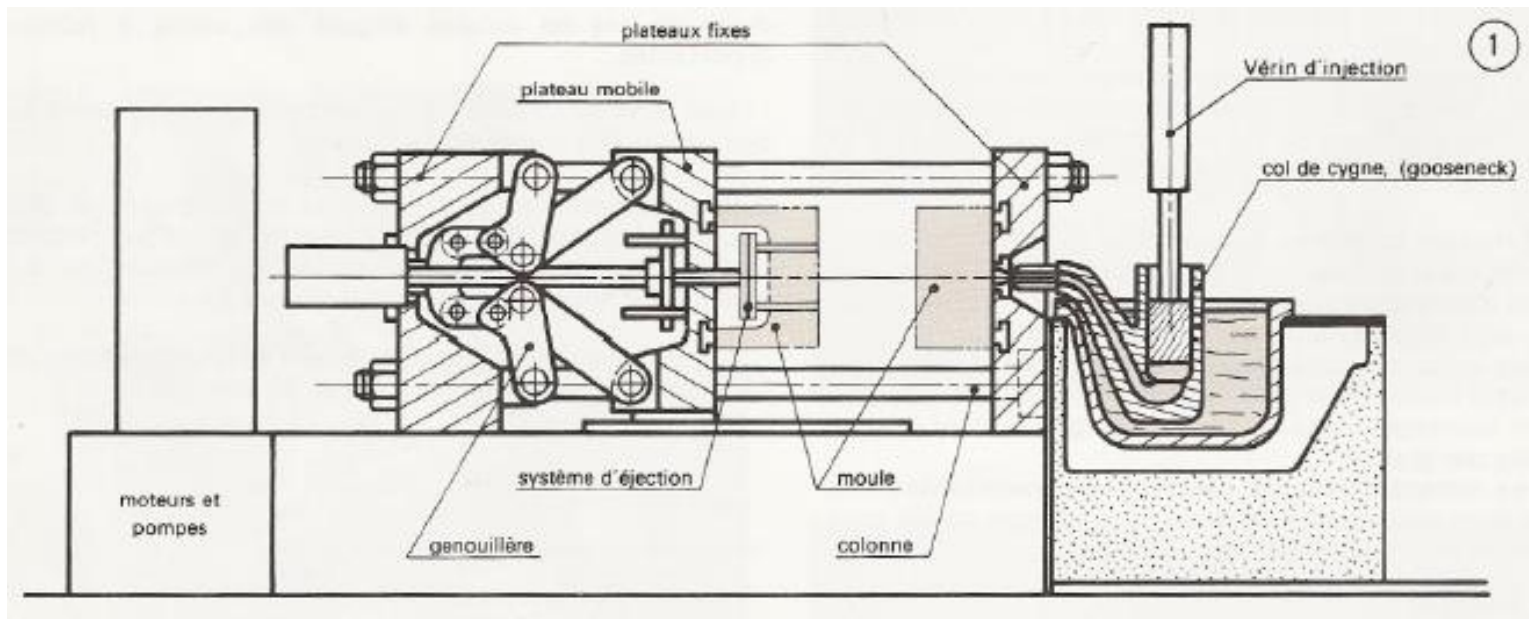
Moulage en moule permanent (gravité)



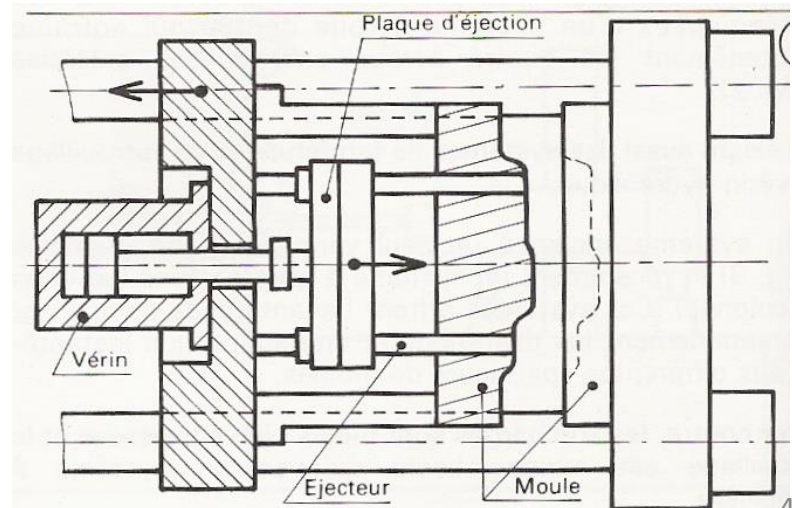
Moulage en moule permanent (gravité)



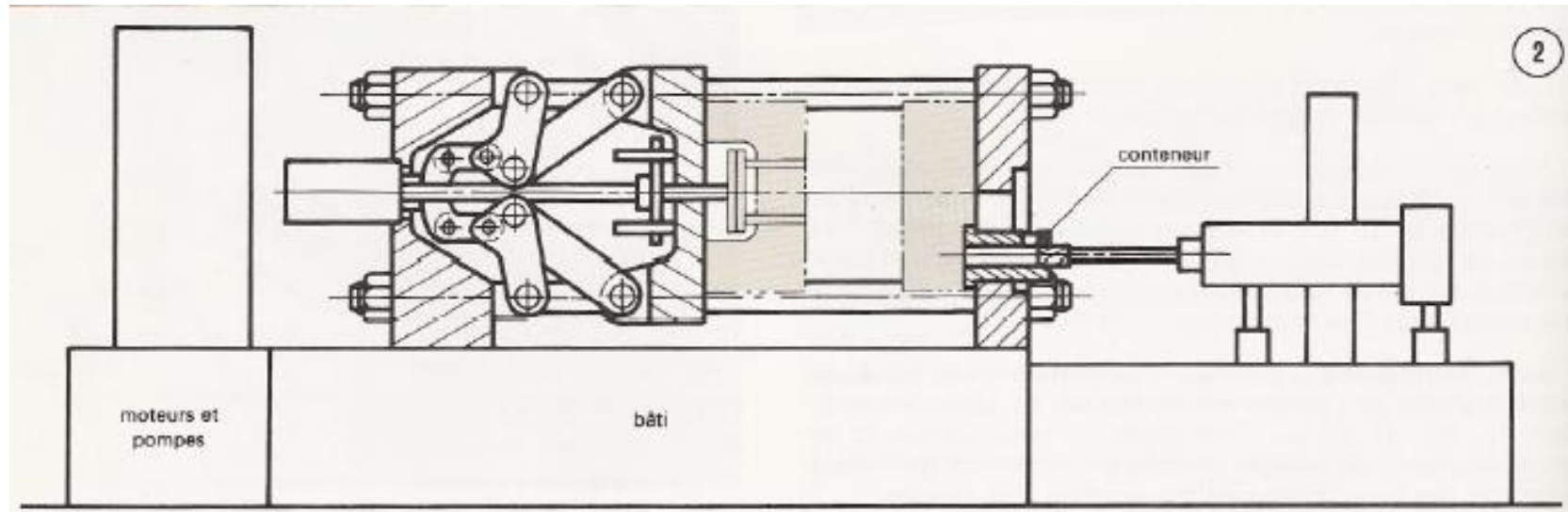
Moulage en moule permanent (sous pression)



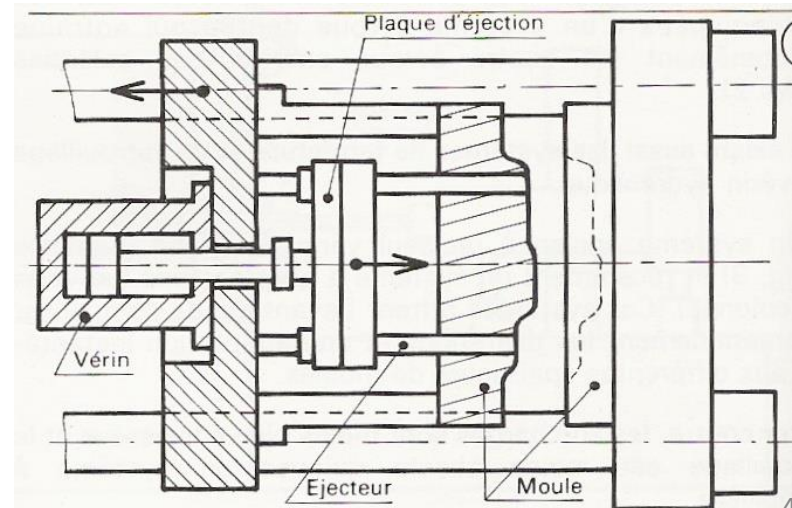
Machine chambre chaude



Moulage en moule permanent (sous pression)



Machine chambre froide



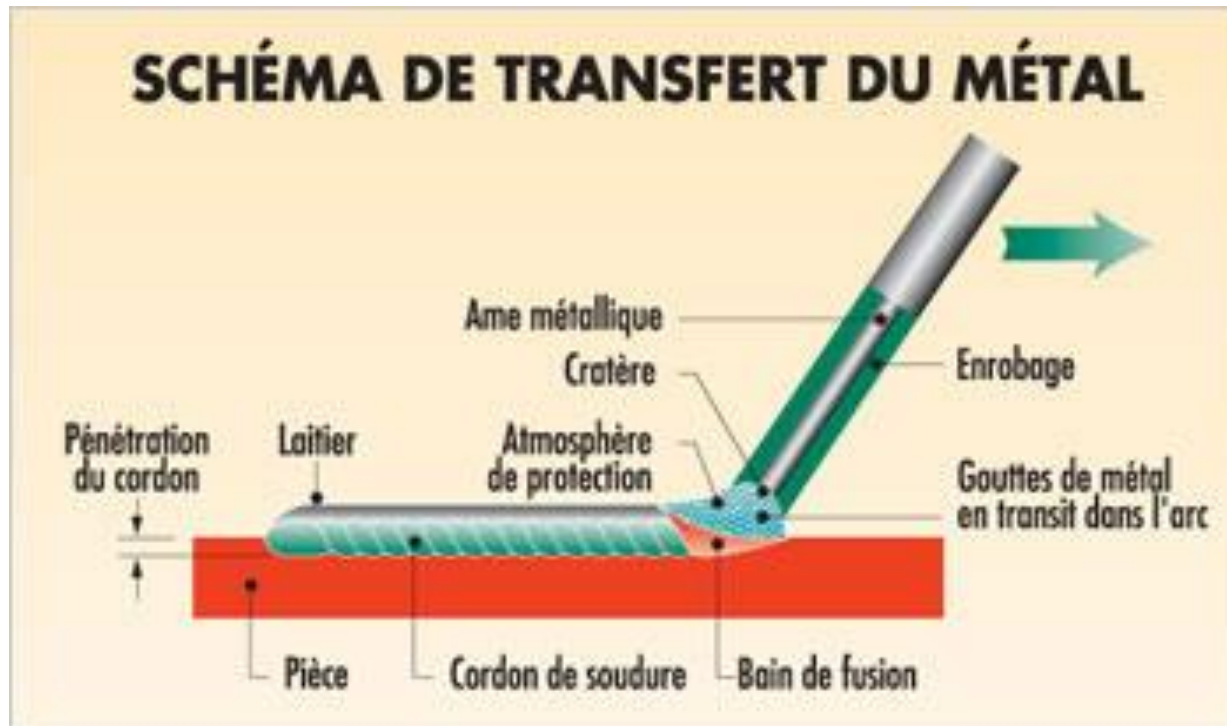


Procédés d'obtention de produits

- Déformation plastique
- Moulage
- **Soudage**
- Transformation matière plastique
- Électroérosion
- Découpe jet d'eau
- Brochage
- Usinage

Soudage

SOUDAGE À L'ÉLECTRODE ENROBÉE



Soudage

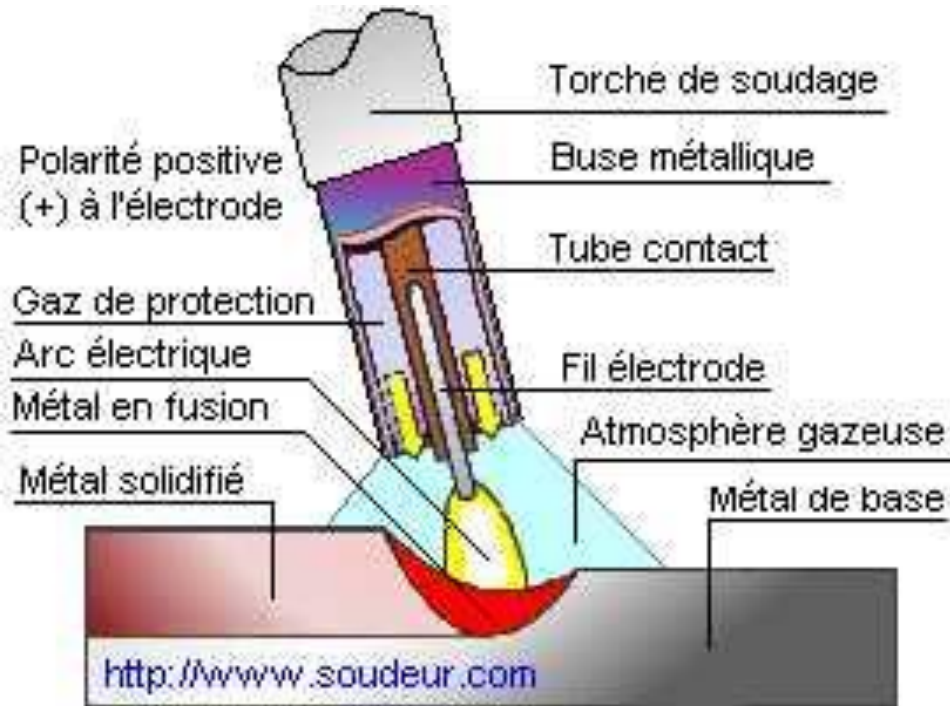
SOUDAGE À L'ÉLECTRODE ENROBÉE



Un générateur électrique fournit le courant continu ou alternatif avec une intensité variant de 30 à 400 ampères en fonction de différents paramètres comme le diamètre de l'électrode, la nature de l'enrobage, la position de soudage, le type d'assemblage, la dimension et la nuance des pièces à assembler

Soudage

SOUDAGE MIG (METAL INERT GAS)

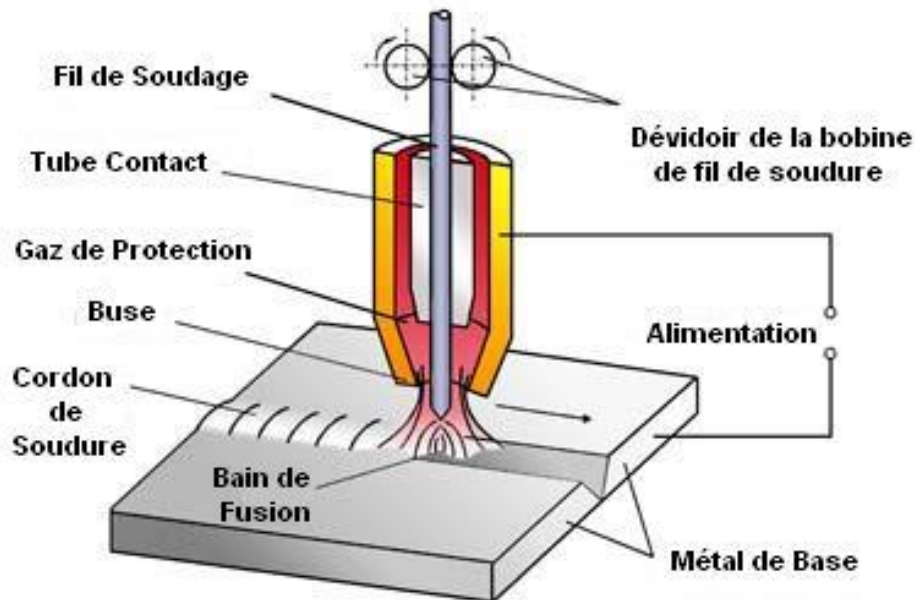


M.I.G.: Ce procédé utilise un gaz "neutre" pour souder les aciers fortement alliés et les métaux non-ferreux.

Gaz neutres : **Argon** (gaz de base des mélanges) et **Hélium** (en mélange).

Soudage

SOUDAGE MAG (METAL ACTIVE GAS)



M.A.G.: Ce procédé utilise un gaz "actif" pour souder les aciers faiblement alliés

Gaz actifs : Dioxyde de carbone (**CO₂**), Oxygène (**O₂**), et plus rarement Hydrogène (**H₂**).

Soudage

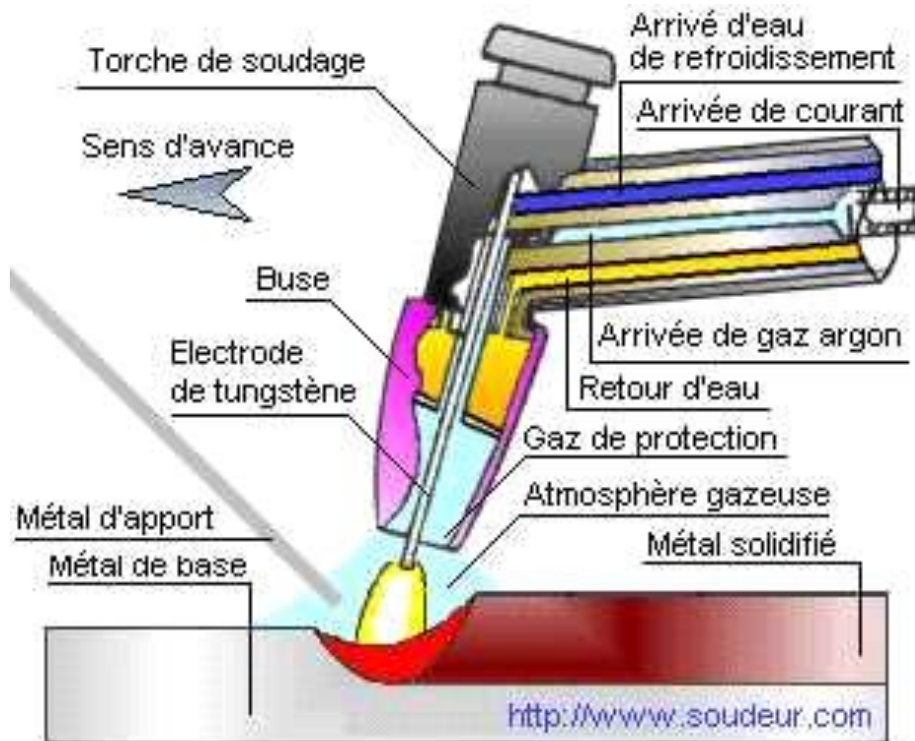
SOUDAGE MIG/MAG



Un générateur électrique fournit le courant exclusivement continu avec une intensité variant de 40 à 700 ampères en fonction de différents paramètres.

Soudage

SOUDAGE TIG (Tungsten Inert Gas)



Type d'électrode:

Tungstène **pur** : soudage en courant **alternatif** des **alliages légers**.

Tungstène **thorié** (0,5 à 4 % thorium) : soudage en courant **continu** des **aciers et inox.**

Soudage

SOUDAGE TIG (Tungsten Inert Gas)



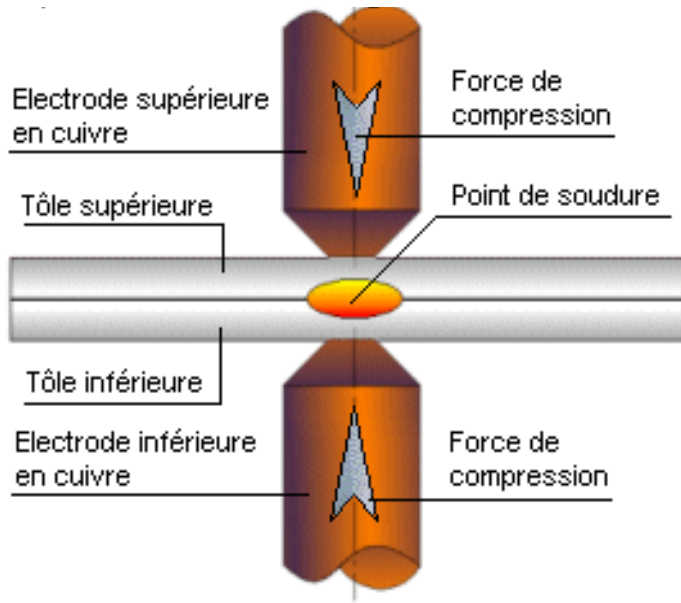
Type d'électrode:

Tungstène pur : soudage en courant alternatif des alliages légers.

Tungstène thorié (0,5 à 4 % thorium) : soudage en courant continu des aciers et inox.

Soudage

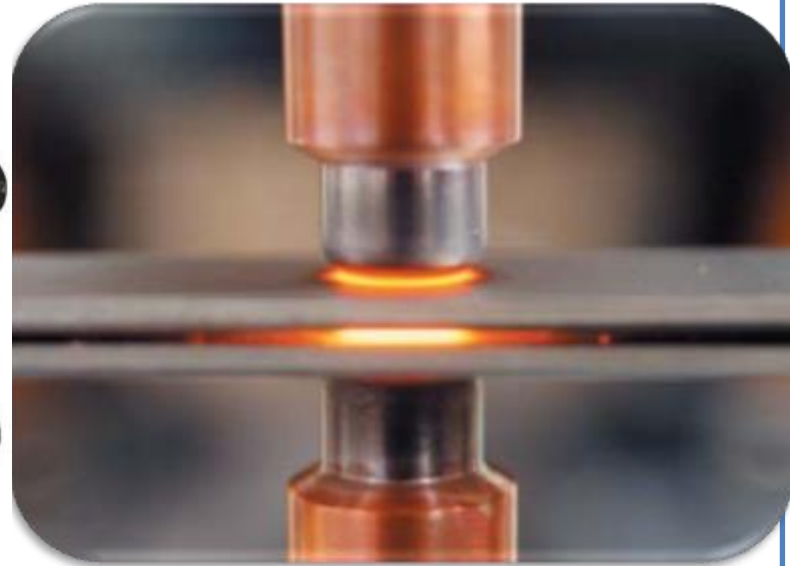
SOUDAGE PAR POINTS



Deux électrodes d'alliage de cuivre spécial serrent les éléments à assembler afin d'en assurer le bon contact : c'est l'**accostage**. Puis un courant intense : de 2000 à 100 000A, à basse tension : de 1 à 10 V, traverse l'assemblage d'une électrode à l'autre.

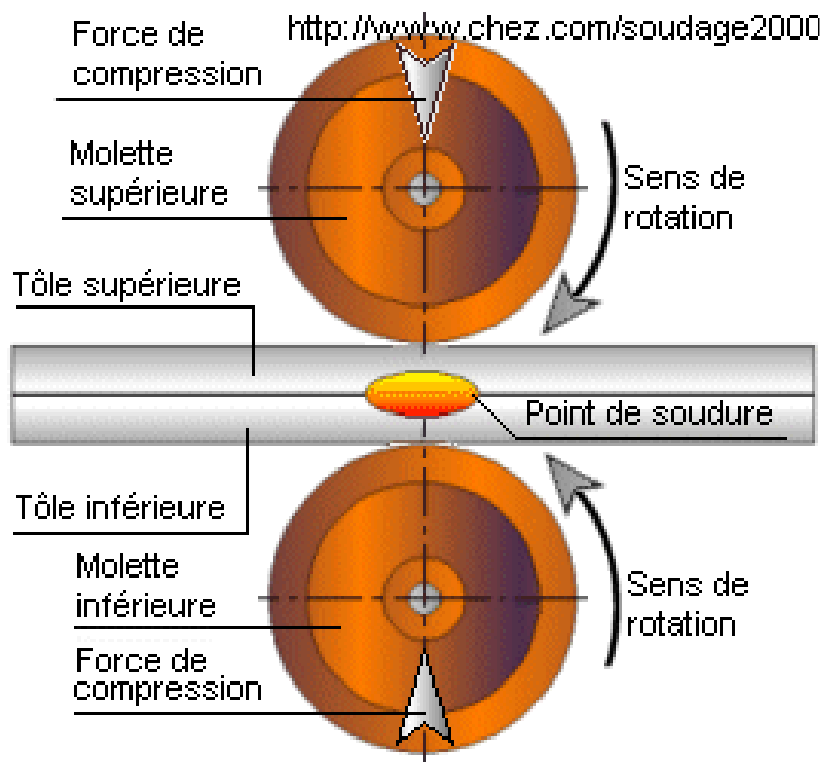
Soudage

SOUDAGE PAR POINTS



Soudage

SOUDAGE PAR MOLETTE



Procédés d'obtention de produits

- Déformation plastique
- Moulage
- Soudage
- **Transformation matière plastique**
- Électroérosion
- Découpe jet d'eau
- Brochage
- Usinage

Les différents procédés

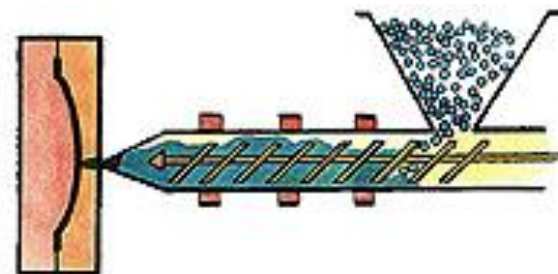
- Injection
 - Injection
 - Injection soufflage
- Extrusion
 - Extrusion
 - Extrusion soufflage
 - Extrusion gonflage
- Rotomoulage
- Thermoformage
- et plusieurs autres...



Injection

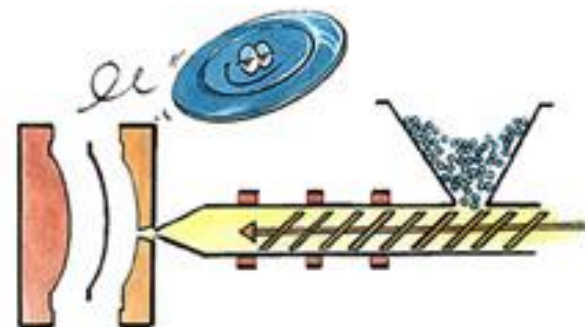
Procédé :

- La matière plastique est chauffée et ramollie dans un cylindre.
- Une vis sans fin y tourne pour préparer la quantité de matière requise.
- Elle se transforme ensuite en piston pour injecter celle-ci dans un moule fermé.



Exemples d'utilisation :

- Bouchons, téléphone, boîtes, corps de stylo, pièces automobiles, électriques, médicales



Indice :

- Ces objets sont souvent prêts à être utilisés et on voit un petit point par où la matière est arrivée.

Injection

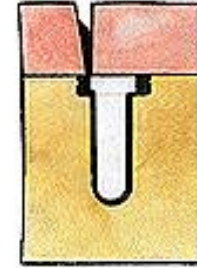


Source : <http://www.cvm.qc.ca>

Injection soufflage

Procédé :

- On fabrique une préforme par injection.
- On chauffe cette préforme et on y envoie un jet d'air comprimé qui la pousse contre les parois du moule.



Exemples d'utilisation :

- Bouteilles, flacons, réservoirs de carburants, contenants divers



Indice :

- Point d'injection au fond du contenant

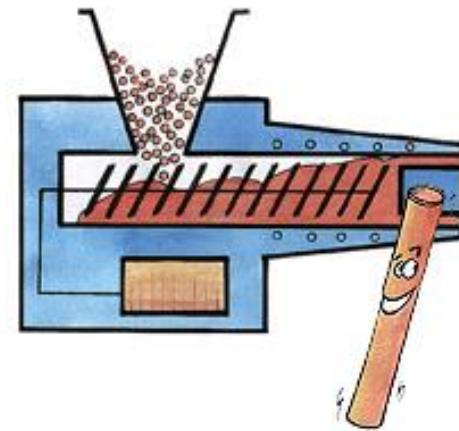
Injection soufflage



Extrusion

Procédé :

- On insère la matière plastique dans un cylindre chauffé.
- La matière plastique est poussée par une vis sans fin avant de passer à travers une filière qui lui donne la forme désirée.

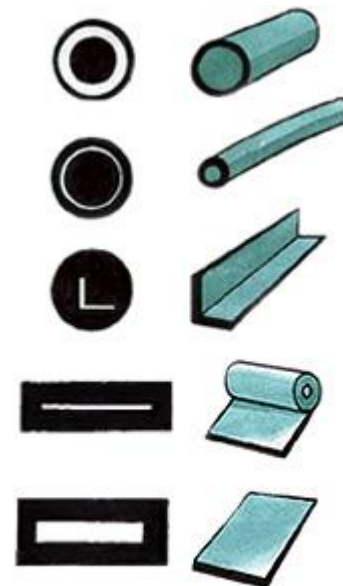


Exemples d'utilisation :

- Profilés pour les fenêtres, câbles, stores, grillages, tubes

Indice :

- Profilé (pièce ayant la même forme) en continue



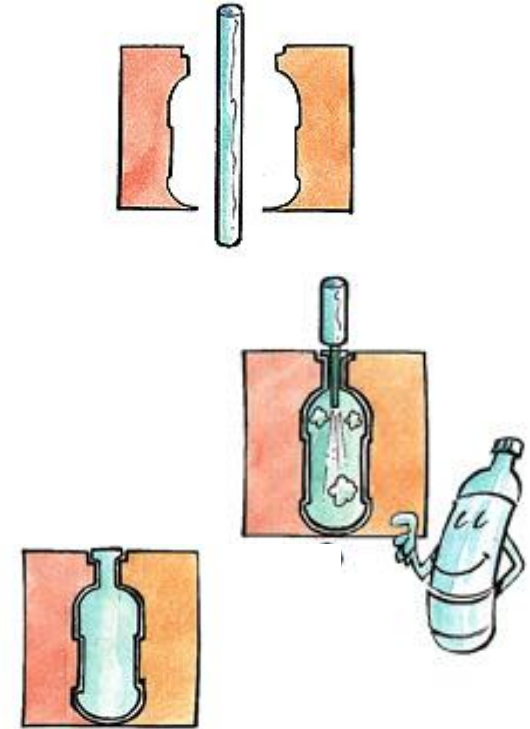
Extrusion



Extrusion soufflage

Procédé :

- On fabrique un tube par extrusion.
- On enferme ce tube chaud à l'intérieur d'un moule et on y envoie un jet d'air comprimé qui le pousse contre les parois du moule.



Exemples d'utilisation :

- Bouteille, flacons, réservoirs, contenants divers

Indice :

- Ligne de soudure au fond du contenant



Extrusion soufflage

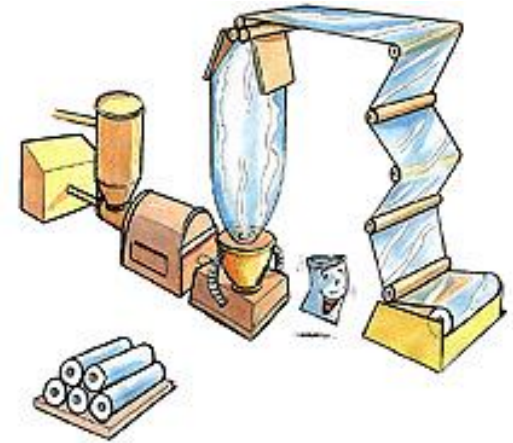


Source : <http://www.cvm.qc.ca>

Extrusion gonflage

Procédé :

- Variante de l'extrusion où, à la sortie de la filière, on gonfle d'air le tube produit.
- Il devient ainsi une longue bulle de pellicule plastique.
- Après avoir refroidi, on l'aplatit et on l'enroule sur des bobines.



Exemples d'utilisation :

- Sacs poubelles, sacs de congélation, ...

Extrusion gonflage



Rotomoulage

Procédé :

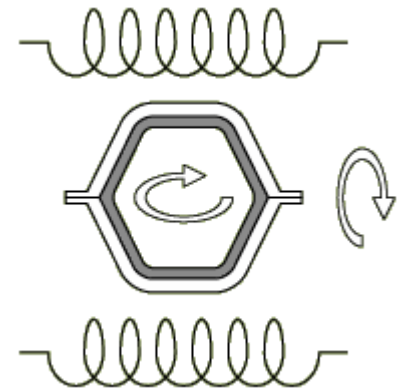
- C'est un moulage qui se fait en insérant la matière plastique sous forme de poudre dans un moule.
- En faisant faire des rotations au moule qui est chauffé, on obtient des pièces creuses sans soudure ni collage.

Exemples d'utilisation :

- Citerne, kayaks, réservoirs, planche à voile

Indice :

- Pièce creuse de toute dimension avec un temps de cycle assez long (rentabilité)



Source : <http://www.cvm.qc.ca>

Rotomoulage



Source : www.laplasturgie.fr



Source : <http://www.hovpod.ma/technical/technical.html>



Thermoformage

Procédé :

- En chauffant la feuille de plastique, celle-ci ramollie.
- On applique cette feuille encore chaude sur le moule.
- On y retire l'air contenu entre ce moule et la feuille.



Exemples d'utilisation :

- Barquettes alimentaires, coques de bateaux, enseignes publicitaires



Indice :

- Pièce plutôt mince à coins arrondis et avec moins de finition. On peut apercevoir la découpe au pourtour de la pièce.



Thermoformage



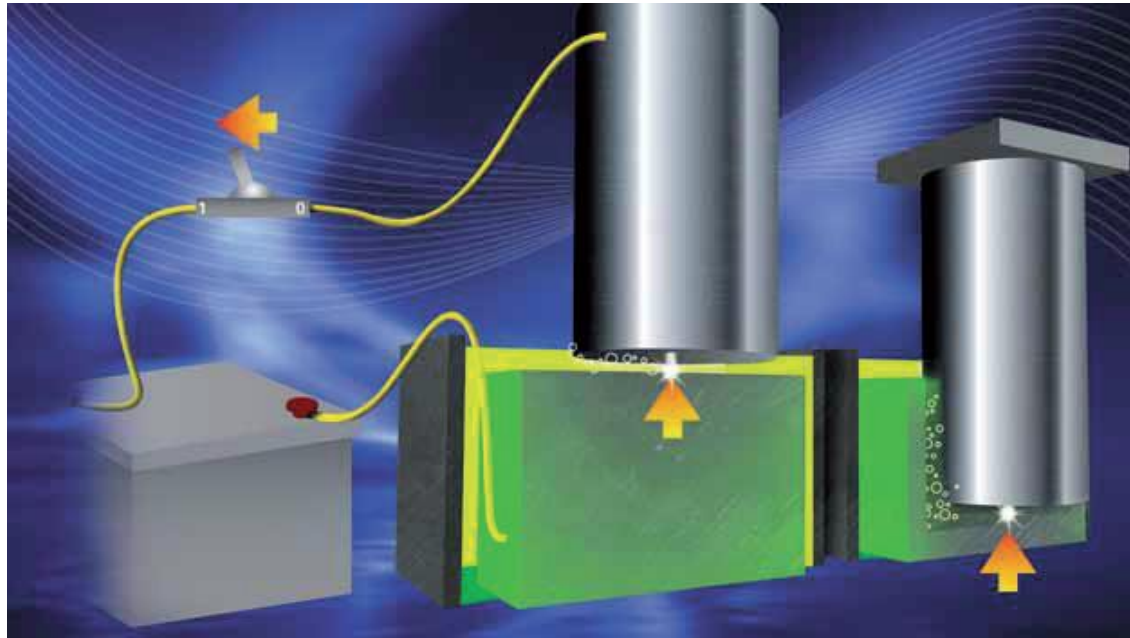
Procédés d'obtention de produits

- Déformation plastique
- Moulage
- Soudage
- Transformation matière plastique
- **Électroérosion**
- Découpe jet d'eau
- Brochage
- Usinage

Électroérosion

L'électroérosion est un procédé d'usinage moderne offrant quantité d'avantages. La pièce et l'outil sont placés de telle sorte qu'ils ne sont pas en contact. Il reste un espace qui est alors comblé avec du liquide isolant.

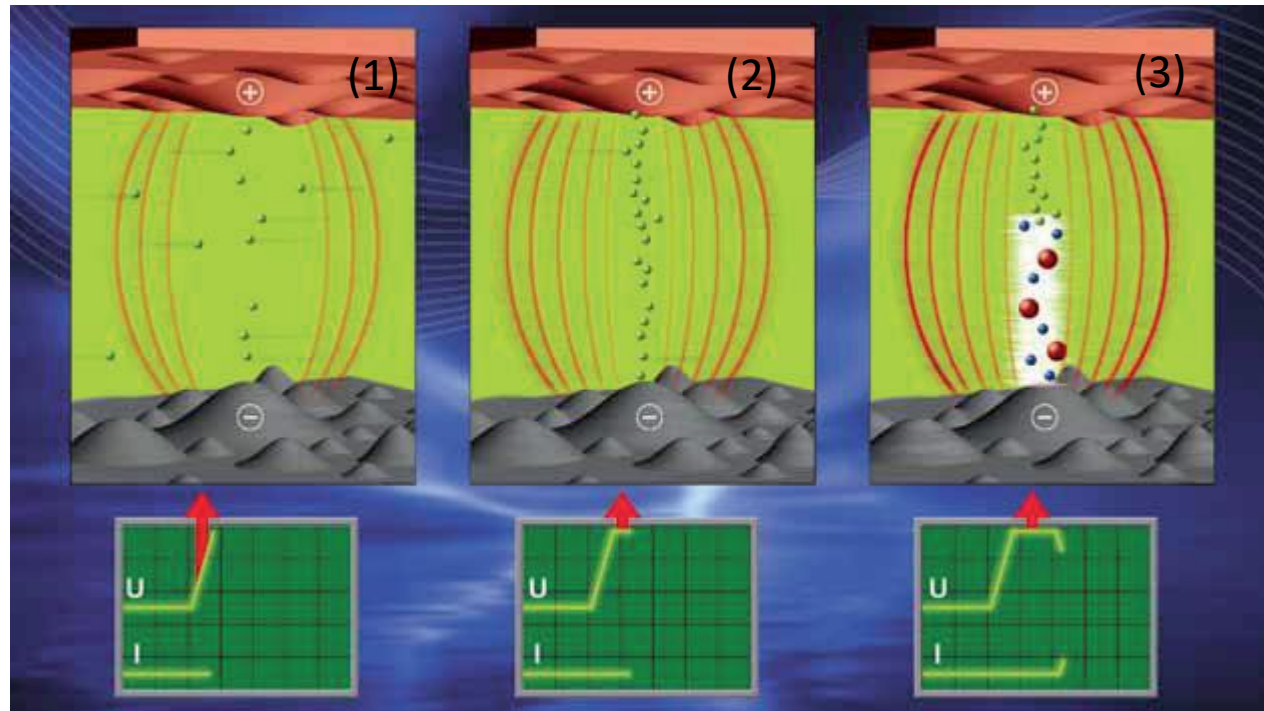
On fait passer un courant électrique entre la pièce et l'outil. Une étincelle se forme et un petit cratère se forme. L'érosion constante permet l'usinage de la pièce.



Électroérosion

Phase 1 : Phase de construction.

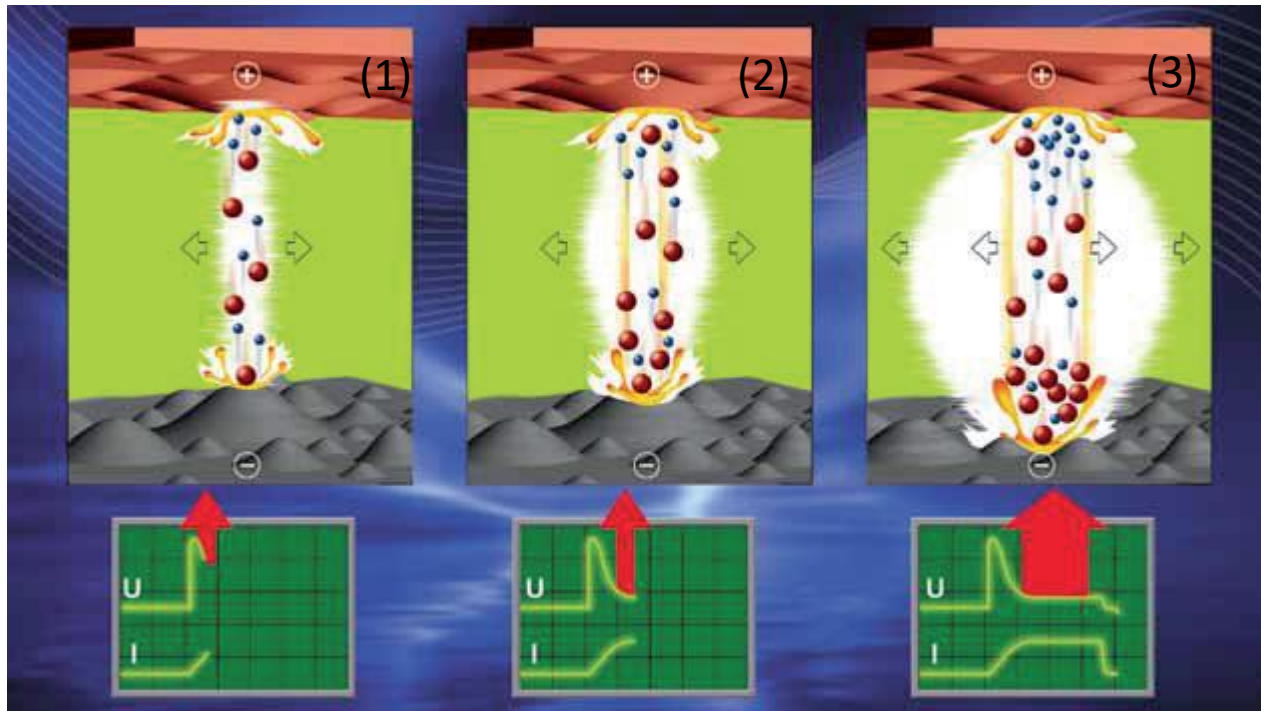
La phase d'amorce/de construction comprend la mise en place des conditions initiales qui consistent en : l'application d'une tension (1) entre les électrodes amenant à la création d'amorces (2) suivie du claquage (3) du diélectrique et enfin de l'apparition du plasma.



Electroérosion

Phase 2 : Phase de décharge.

Cette phase d'échauffement/de décharge comprend le développement du plasma (1) à l'entrefer, ainsi que l'échauffement du matériau et de l'électrode par le plasma (2), jusqu'à ce que le circuit électronique coupe l'alimentation du plasma, ou que le plasma se relaxe naturellement (3).

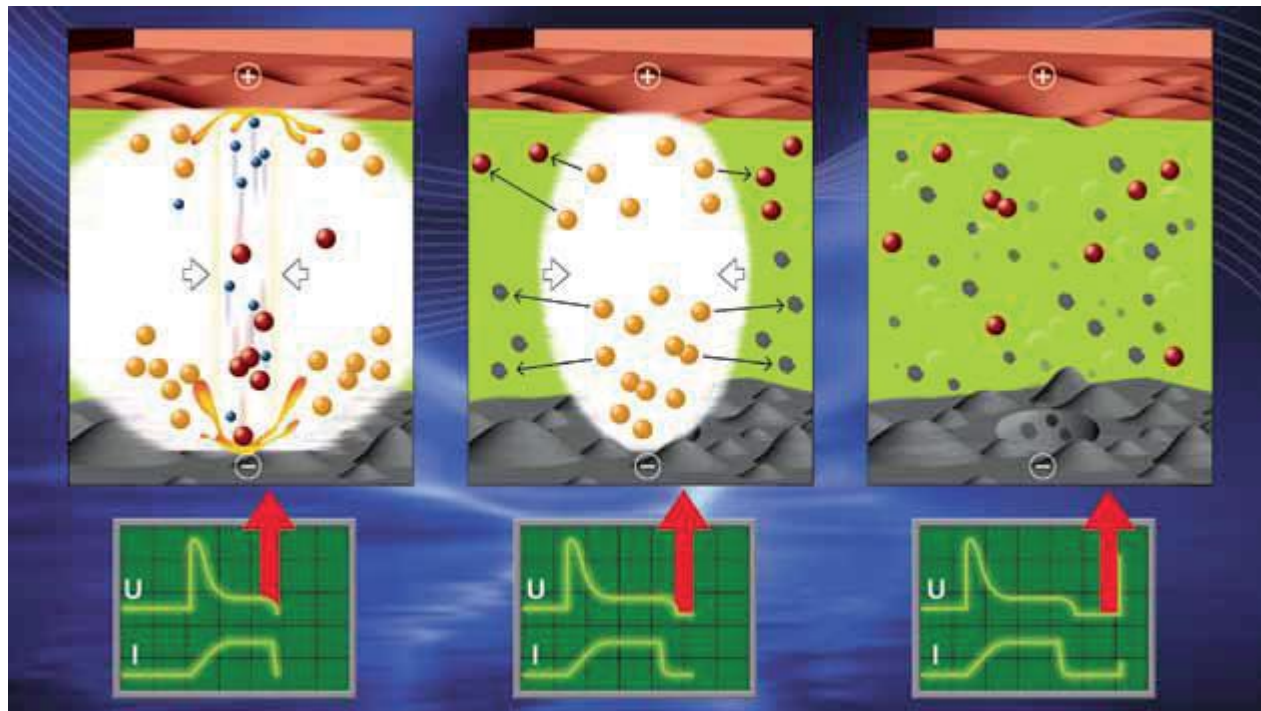


Électroérosion

Phase 3 : Phase de rupture.

S'ensuit la troisième étape, nommée « phase d'enlèvement » ou phase de rupture.

L'apport de chaleur est réduit lorsque le courant baisse. Le nombre de particules chargées électriquement diminue rapidement et la pression s'effondre, ainsi que le canal de décharge. Le métal fondu surchauffé s'évapore dans une explosion et entraîne avec lui le matériel fondu



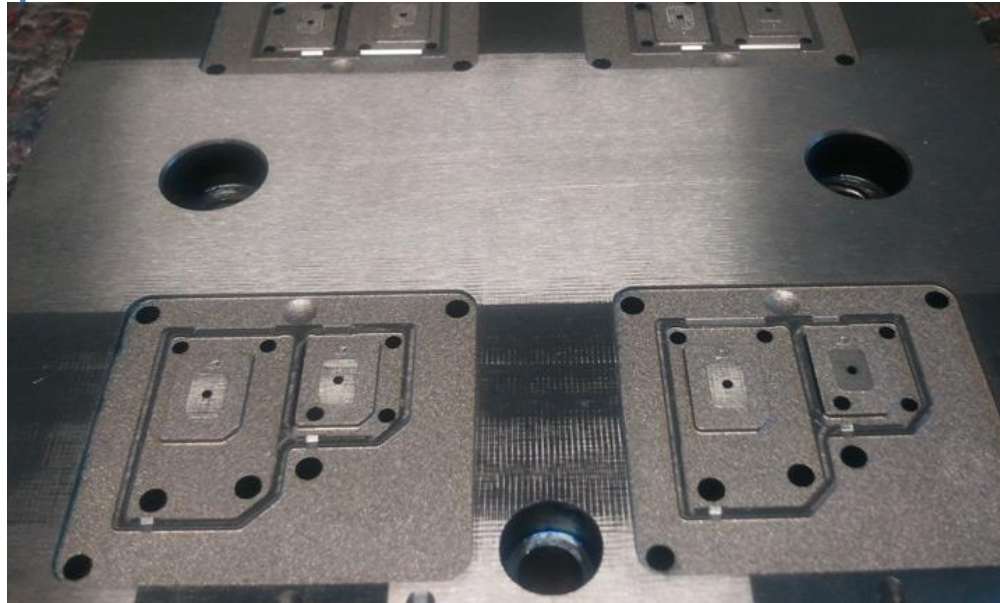
Électroérosion

Paramètres et performances en mode défonçage			
Paramètres	Ébauche	½ Finition	Finition
Intensité (A)	64	8	4
Durée de décharge (µs)	50	25	3,2
Débit de matière (mm ³ /min)	400	22	2
État de surface Ra (µm)	11	3,6	1,6
Usure relative (%)	1	8	35

Électroérosion

Empreintes réalisées par enfonçage

Domaine d'application : Moule d'injection plastique



Découpage fil de cannelures dans pignon en acier cémenté trempé

Domaine d'application : élément de machine



Procédés d'obtention de produits

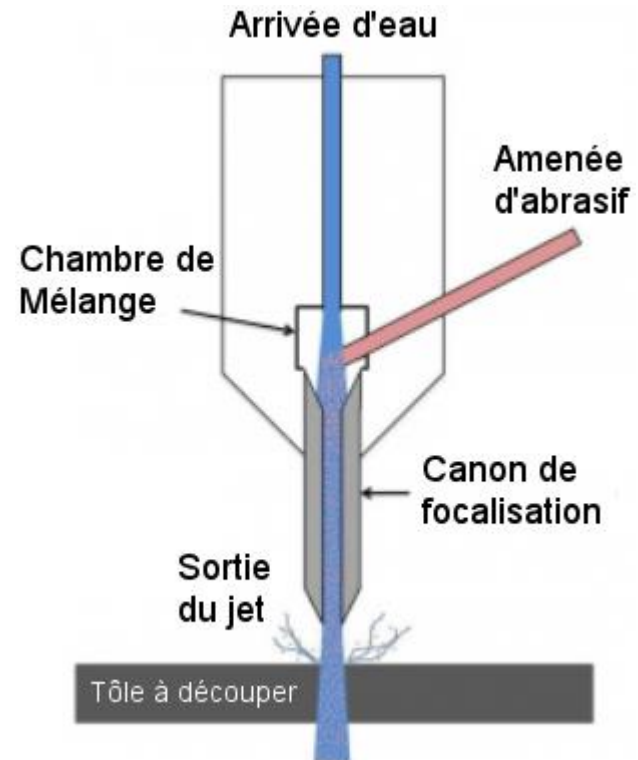
- Déformation plastique
- Moulage
- Soudage
- Transformation matière plastique
- Électroérosion
- **Découpe jet d'eau**
- Brochage
- Usinage

Découpe jet d'eau

Le découpage au jet d'eau est un procédé de fabrication qui utilise un jet d'eau pour découper la matière (exemples : mousse, cuir, matériaux métalliques, matériaux composites etc...).

L'eau, ou plus exactement le fluide, peut contenir des additifs, notamment pour faciliter la coupe du matériau.

La découpe au jet d'eau additionnée d'abrasif (type grenat) permet la découpe de métaux, pierres, marbres, verre dans des épaisseurs allant jusqu'à 600 millimètres.



Découpe jet d'eau

L'eau sous très haute pression (jusqu'à 6150 bars) sort de la buse de découpe :

- à une vitesse de 900 m/s à 4135 bars (environ 3 fois la vitesse du son)
- à une vitesse de 1200 m/s à 6150 bars (environ 4 fois la vitesse du son)

On distingue deux techniques de découpage :

- la découpe à l'eau pure (tous les matériaux se coupant au cutter) ; buse de coupe de 0.08 mm à 0.30 mm (sertie d'un saphir industriel) ;
- la découpe à l'eau chargée d'abrasif (tout matériaux) ; l'eau passe par la buse, on y adjoint le sable, l'eau et le sable passent par le canon de focalisation qui assure une cylindricité du mélange ; buse de coupe de 0.20 mm à 0.40 mm (sertie d'un saphir ou d'un diamant industriel).



Découpe jet d'eau

L'eau sous très haute pression (jusqu'à 6150 bars) sort de la buse de découpe :

- à une vitesse de 900 m/s à 4135 bars (environ 3 fois la vitesse du son)
- à une vitesse de 1200 m/s à 6150 bars (environ 4 fois la vitesse du son)

https://youtu.be/rg2t_1T6SIM

Procédés d'obtention de produits

- Déformation plastique
- Moulage
- Soudage
- Transformation matière plastique
- Électroérosion
- Découpe jet d'eau
- **Brochage**
- Usinage

Brochage

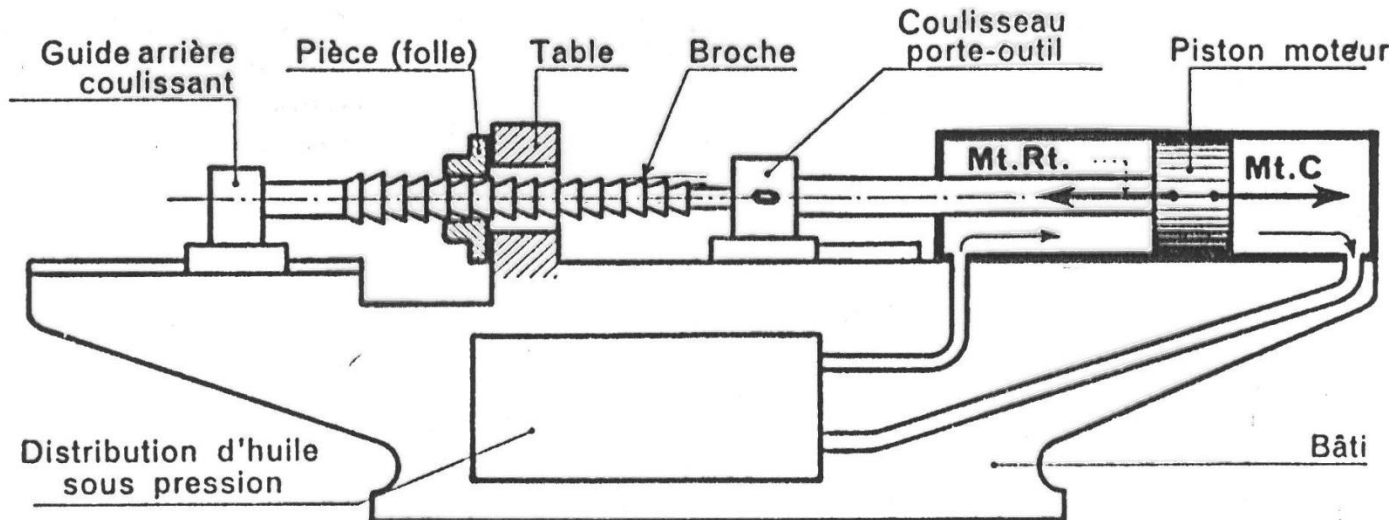
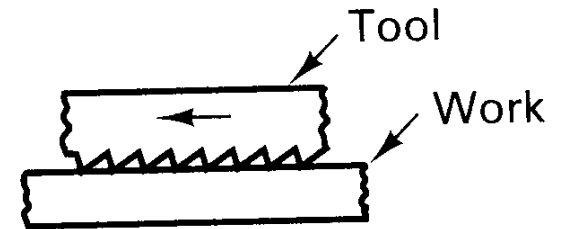
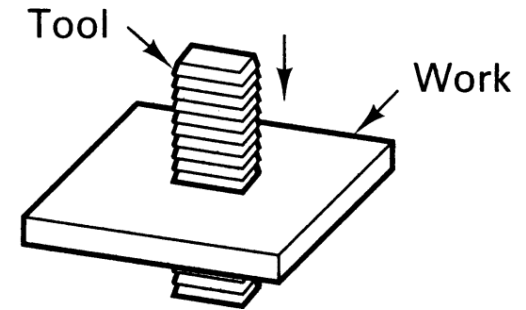
Les brocheuses horizontales ou verticales donnent un mouvement de coupe à l'outil.

L'usinage ébauche-finition est effectué en une seule fois.

L'outillage est très cher, sauf lorsque la broche est standard (clavettes, etc)

On atteint une très bonne productivité pour grandes séries.

Le mouvement est obtenu par un actionneur hydraulique



Brochage

Les broches:

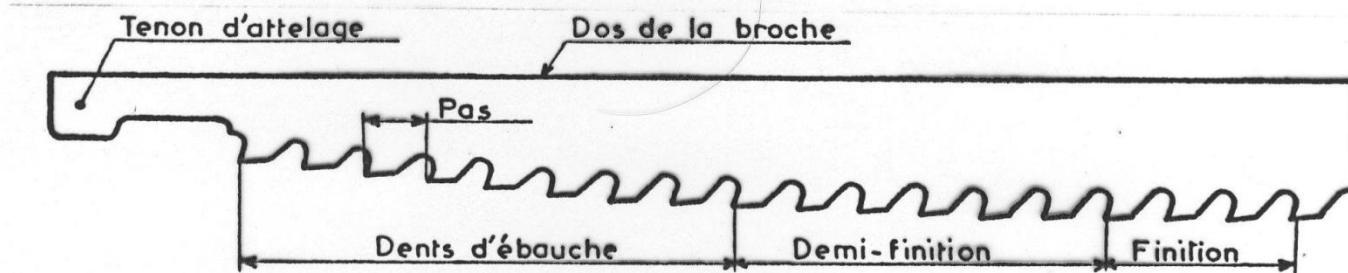
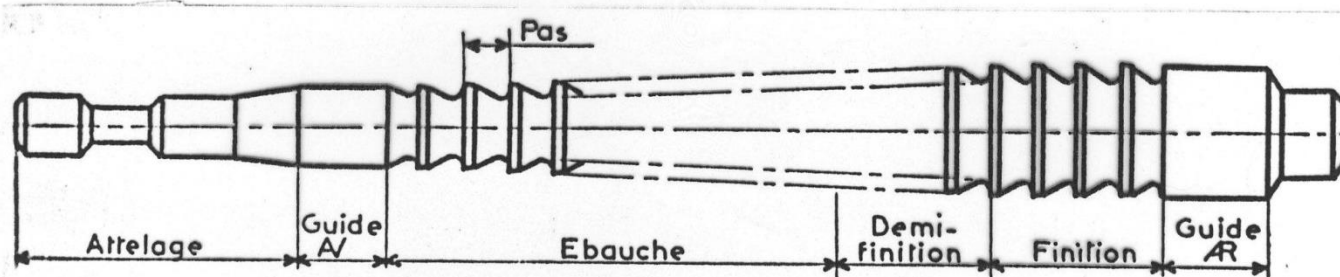
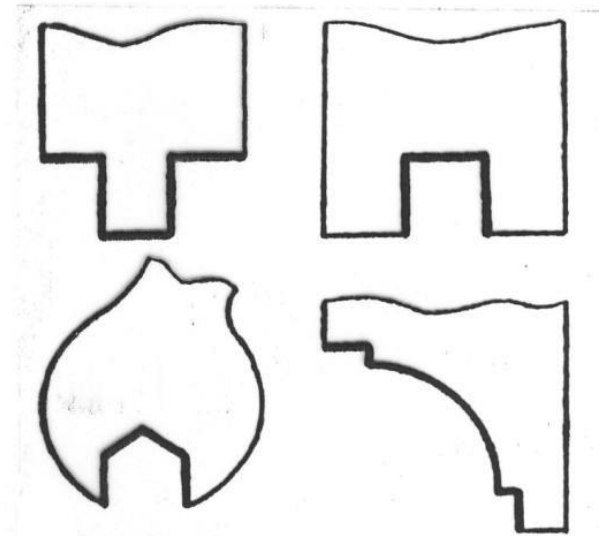
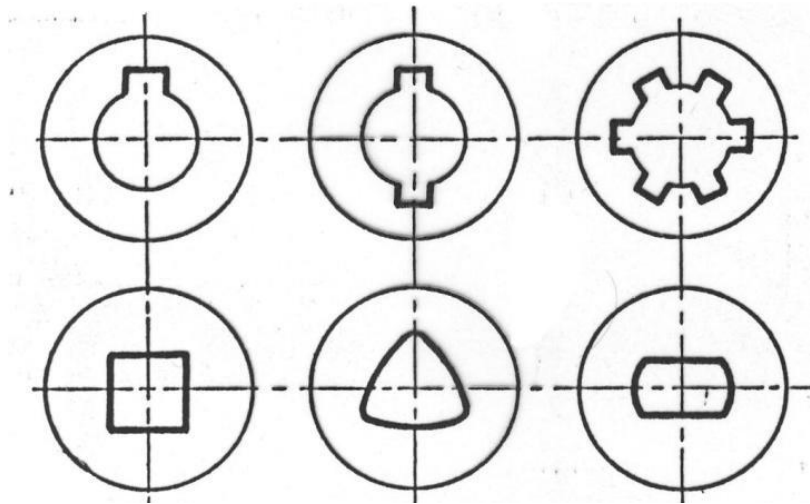


Fig:84- Disposition de la denture d'une broche.



Brochage

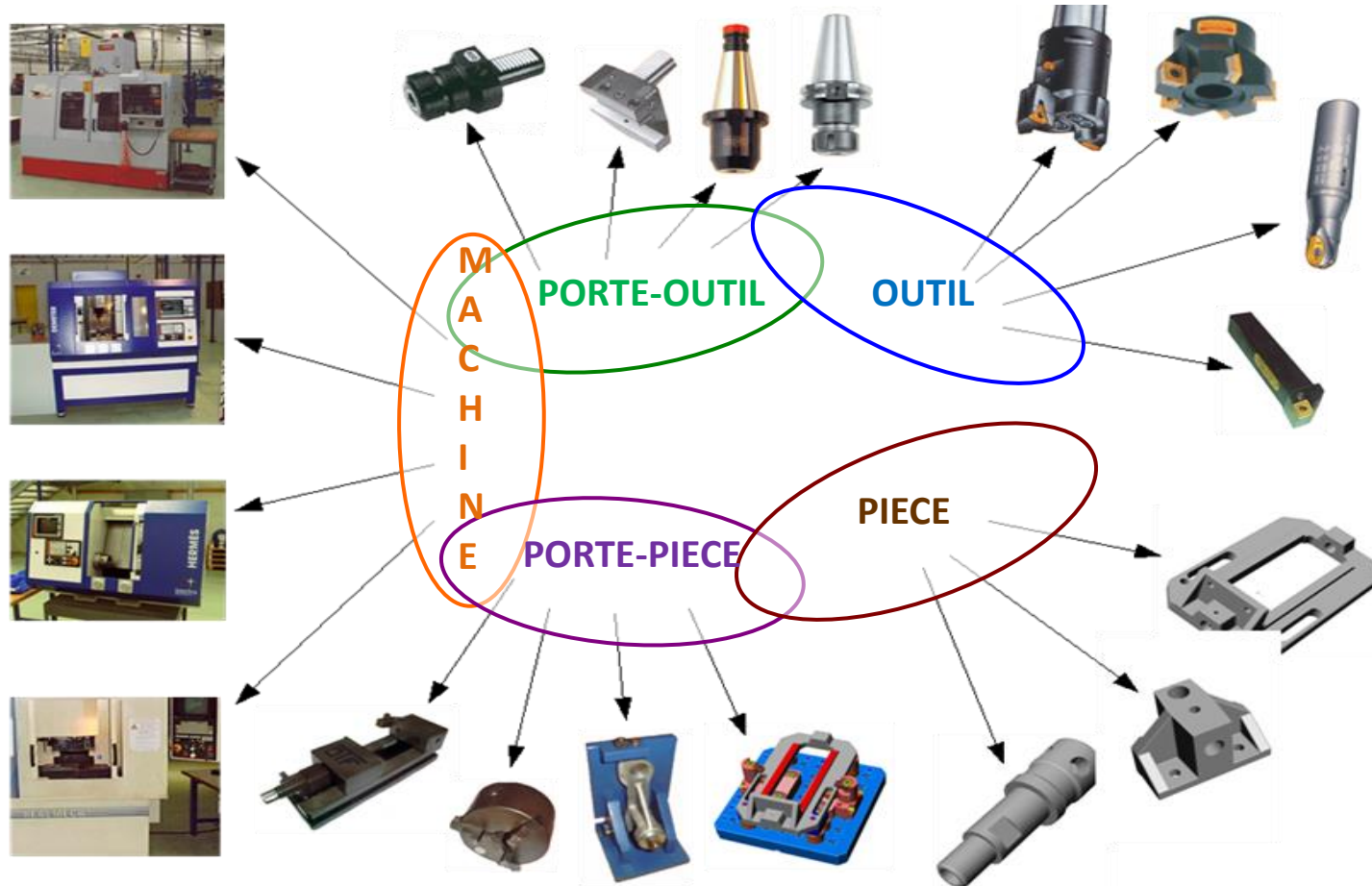
Les formes obtenues:



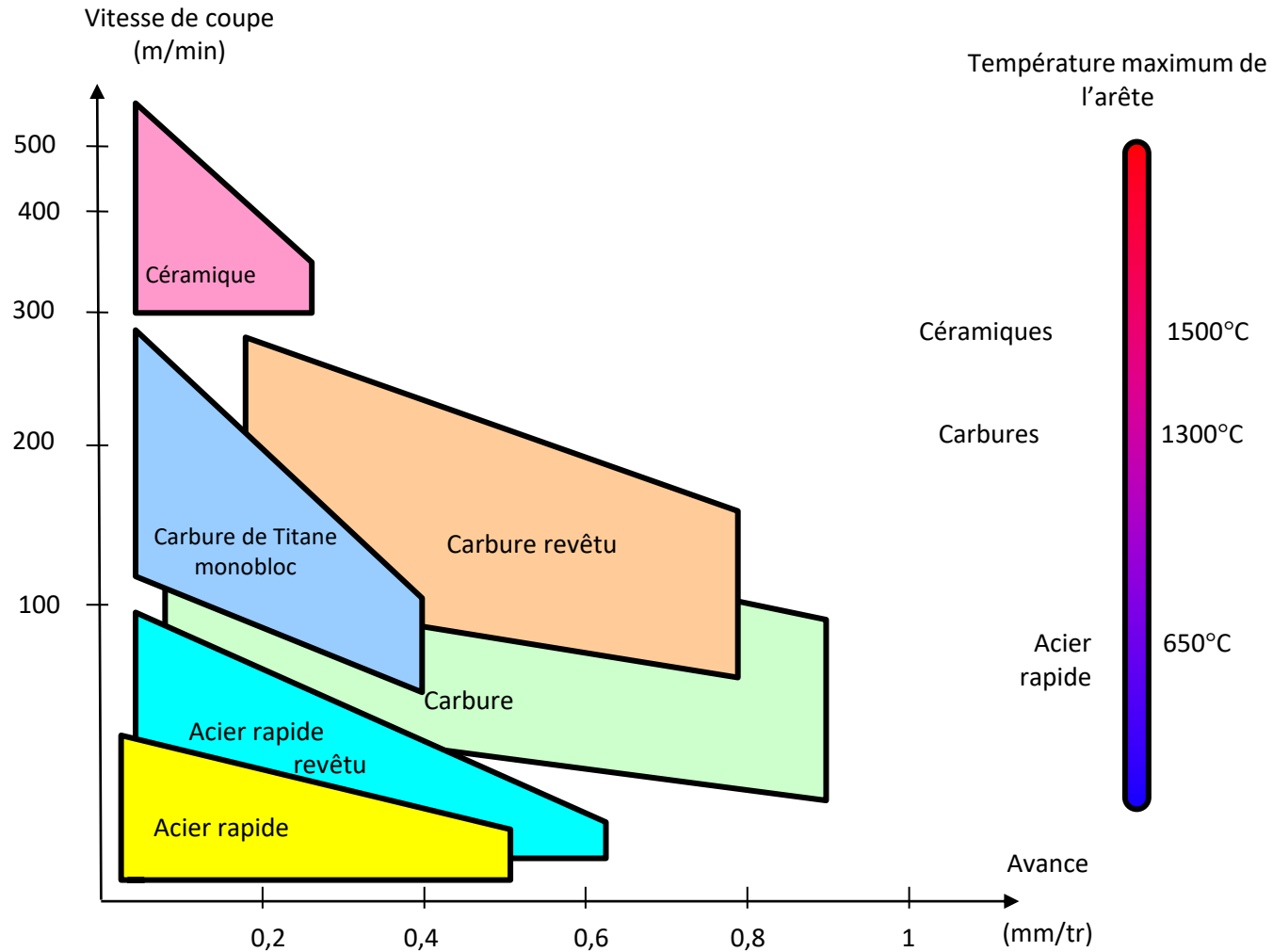
Procédés d'obtention de produits

- Déformation plastique
- Moulage
- Soudage
- Transformation matière plastique
- Électroérosion
- Découpe jet d'eau
- Brochage
- **Usinage**

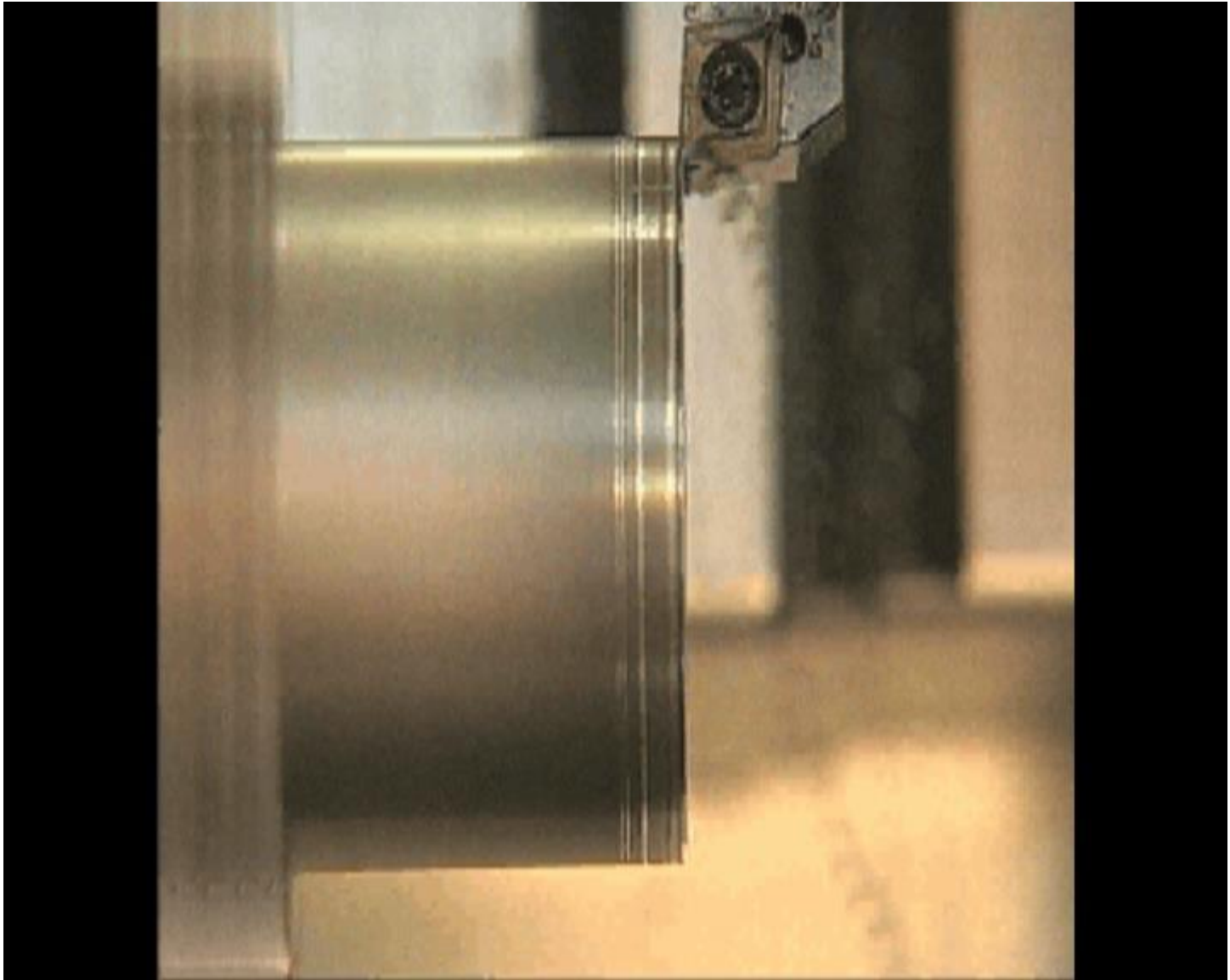
Procédé d'obtention par enlèvement de matière



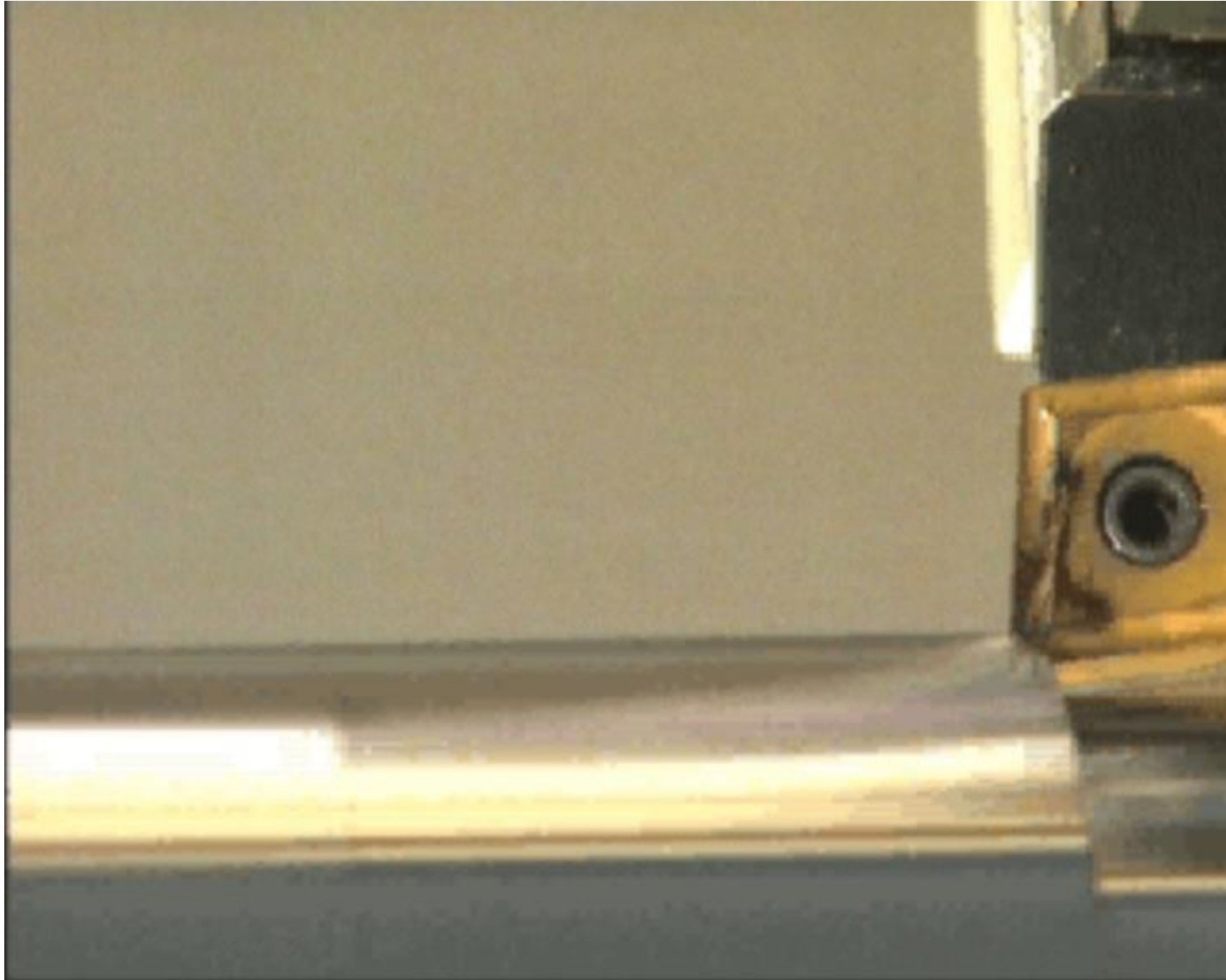
Les outils de coupe



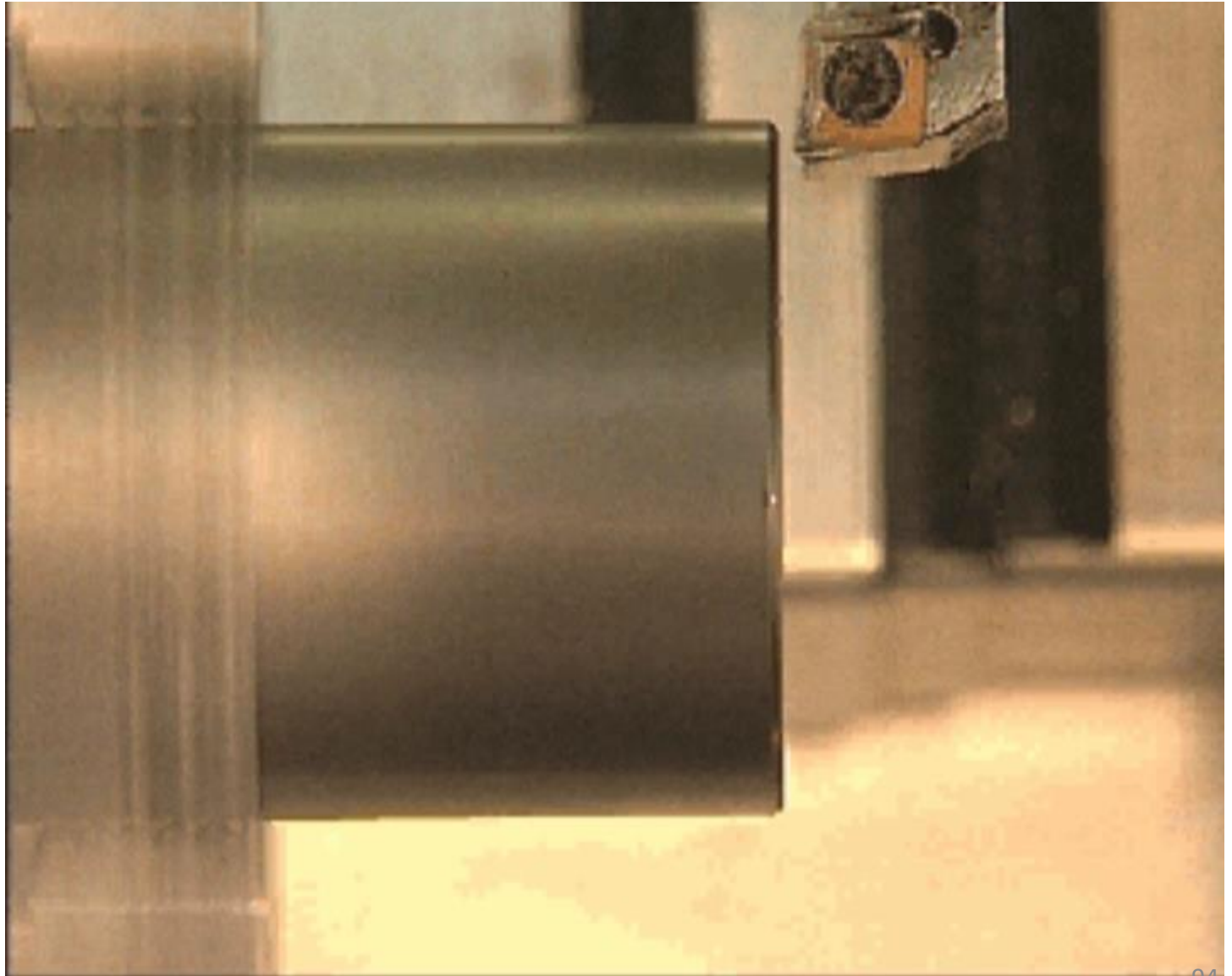
TOURNAGE - Dressage



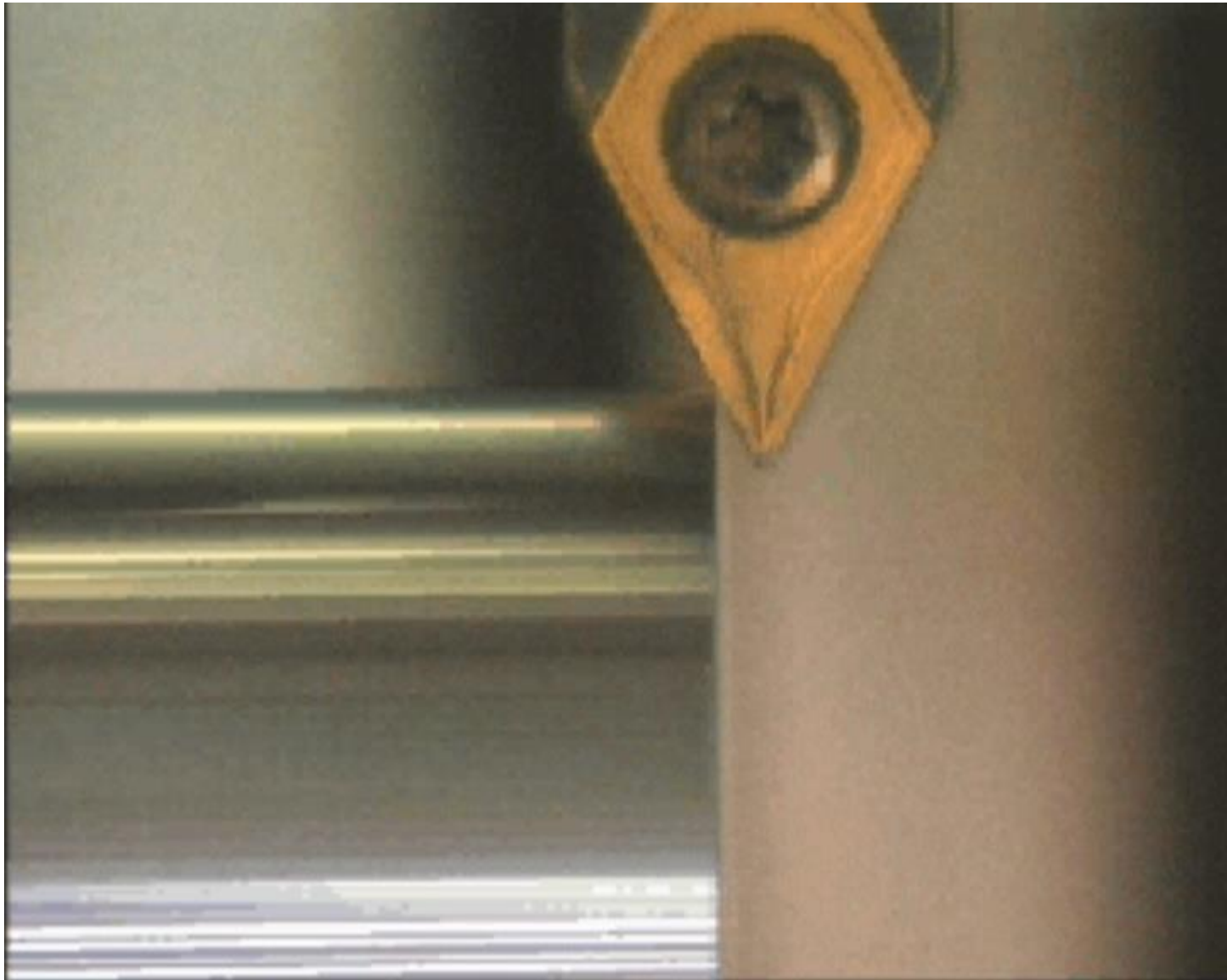
TOURNAGE - Chariotage



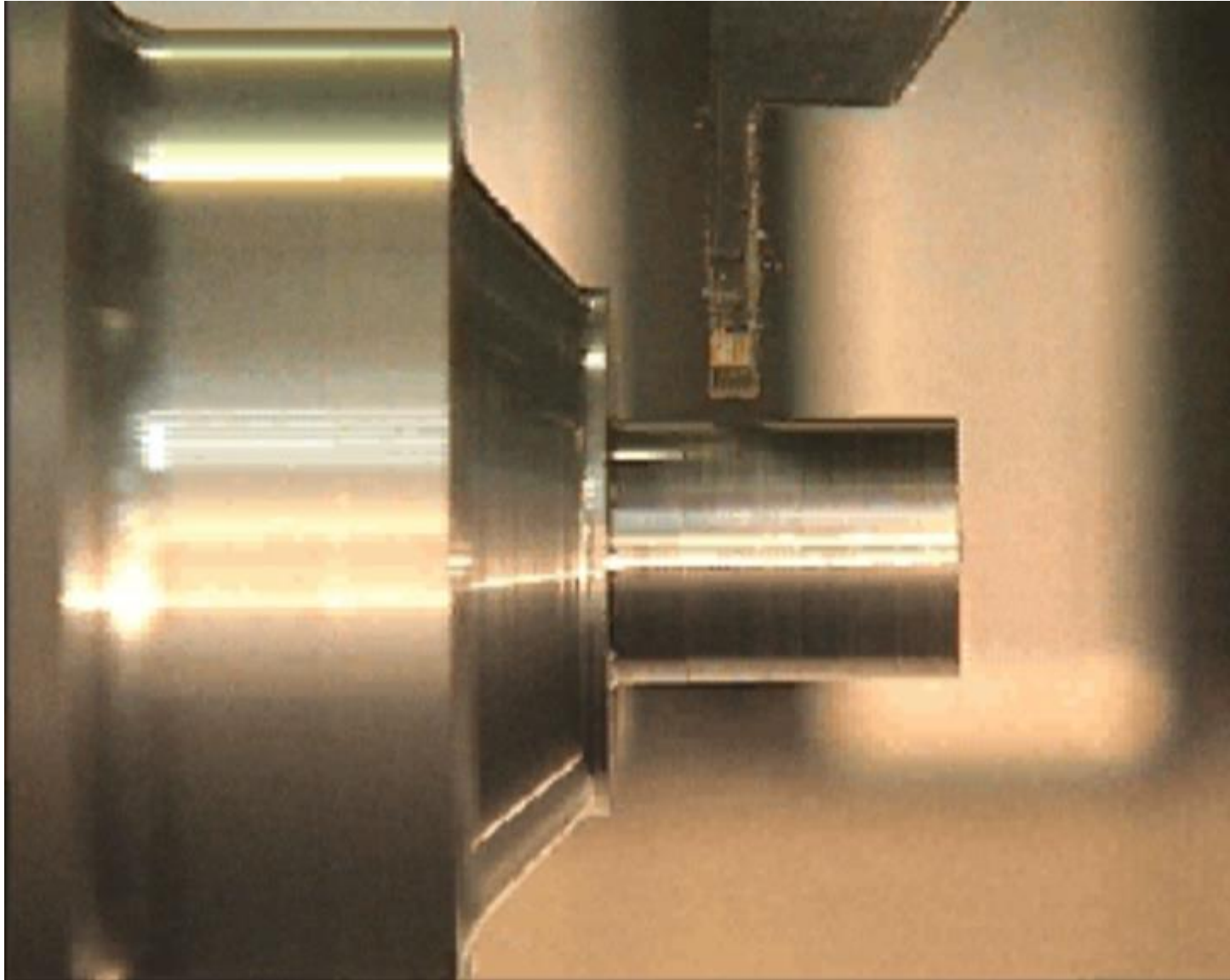
TOURNAGE – Chariotage conique



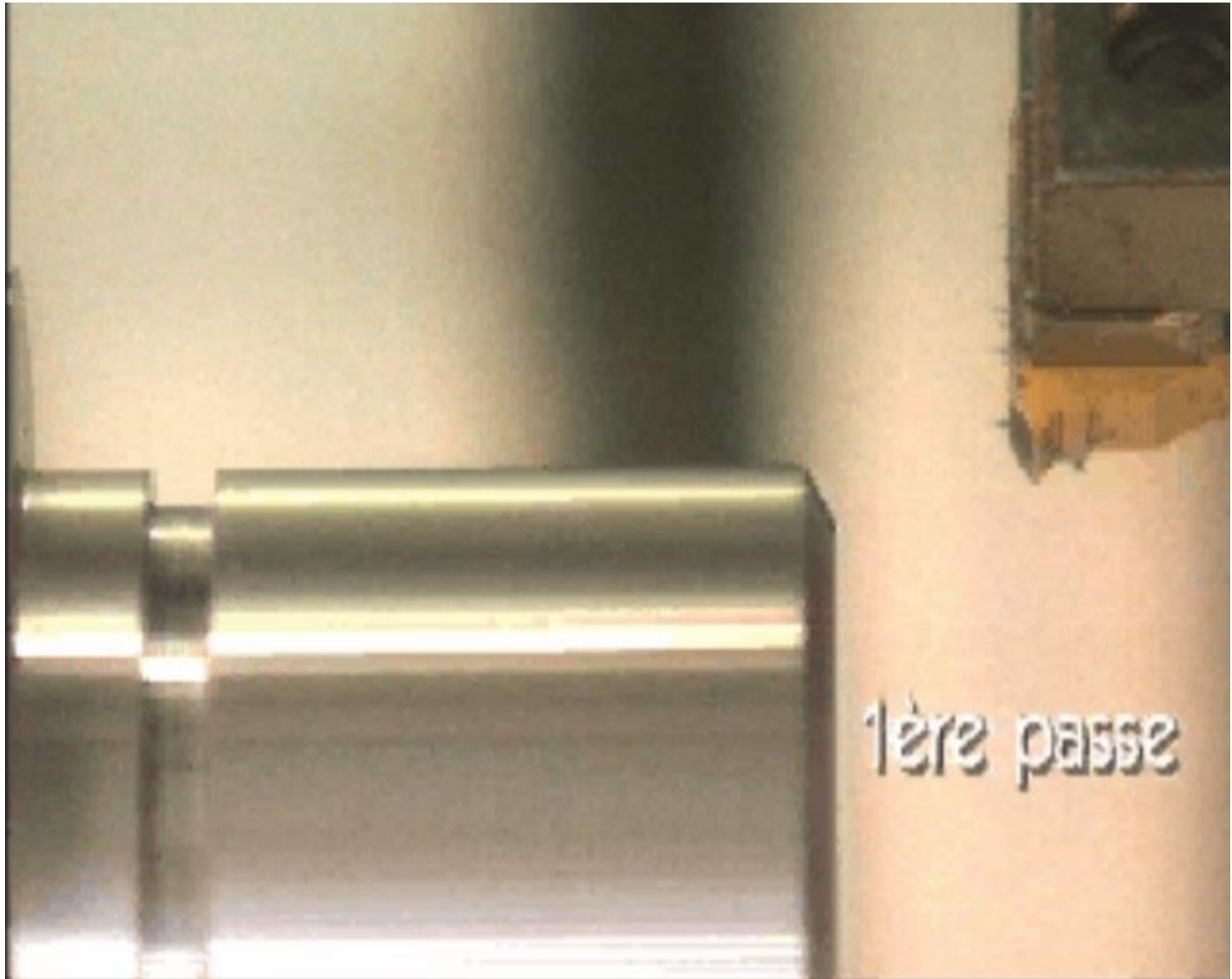
TOURNAGE -Chanfreinage



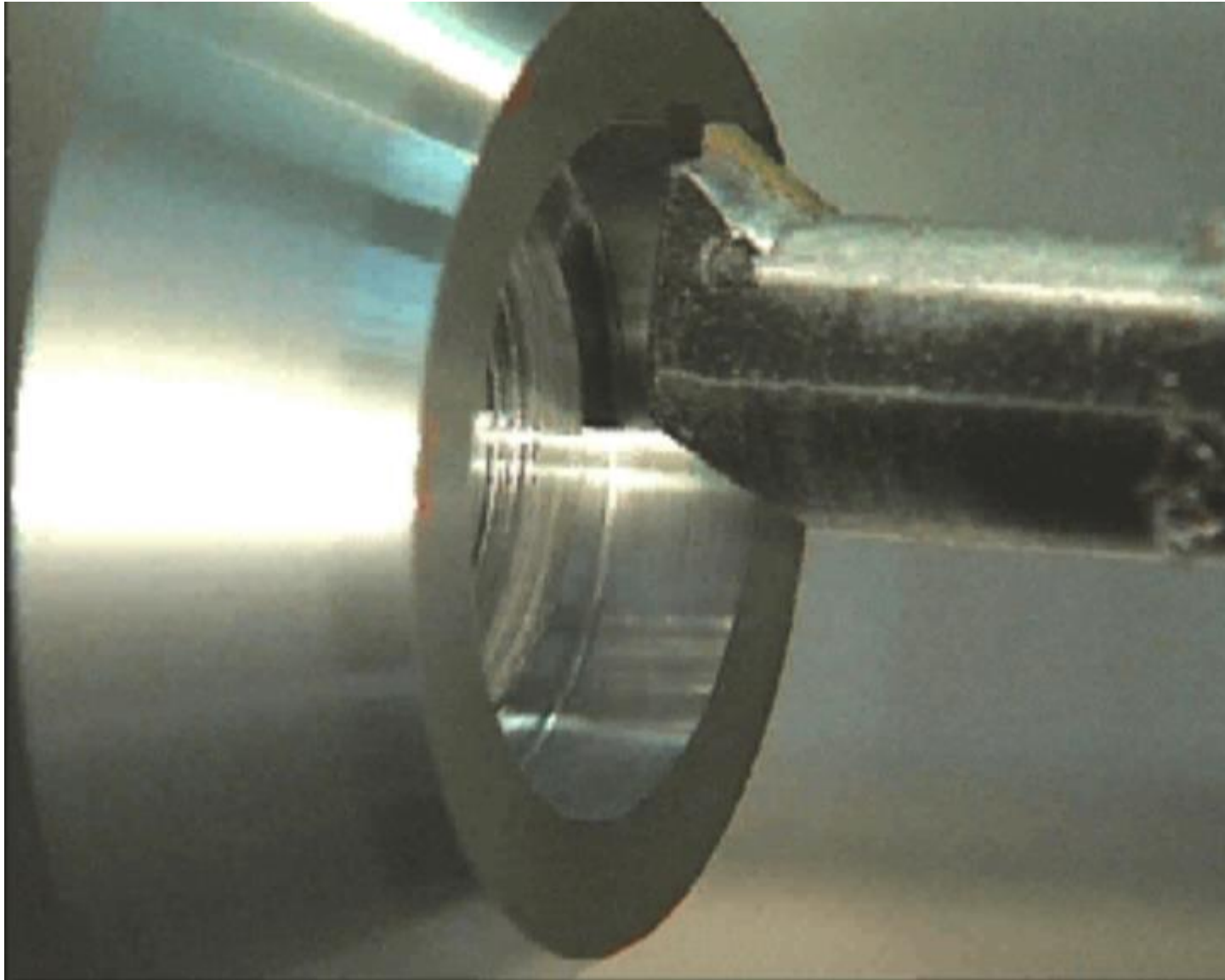
TOURNAGE – tronçonnage / Gorge



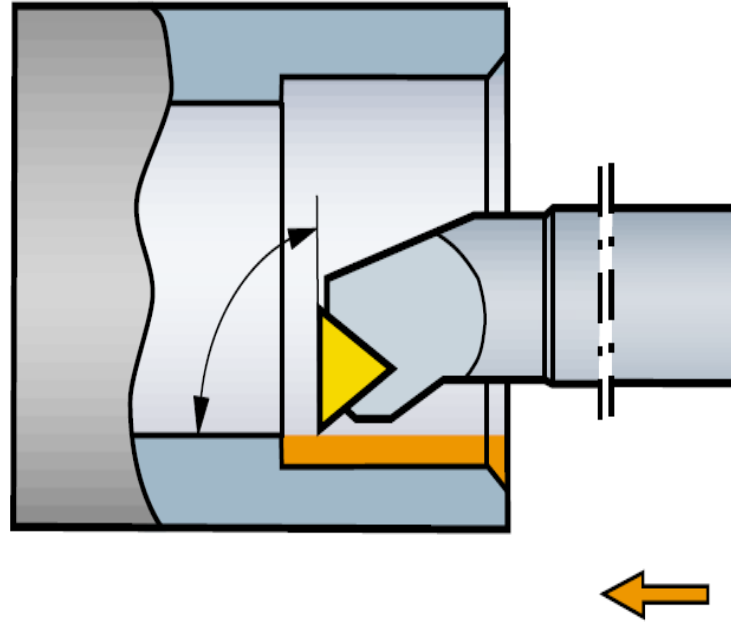
TOURNAGE - filetage



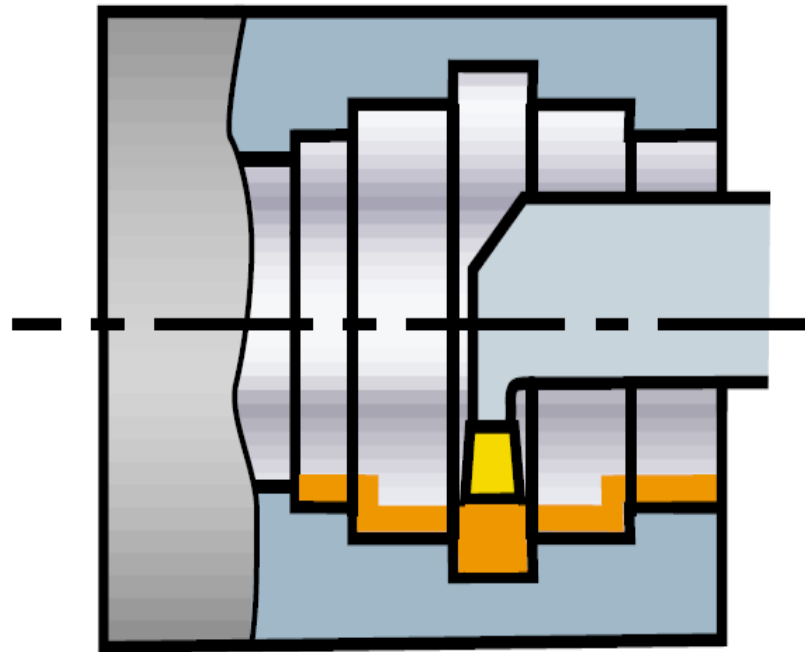
TOURNAGE - alésage



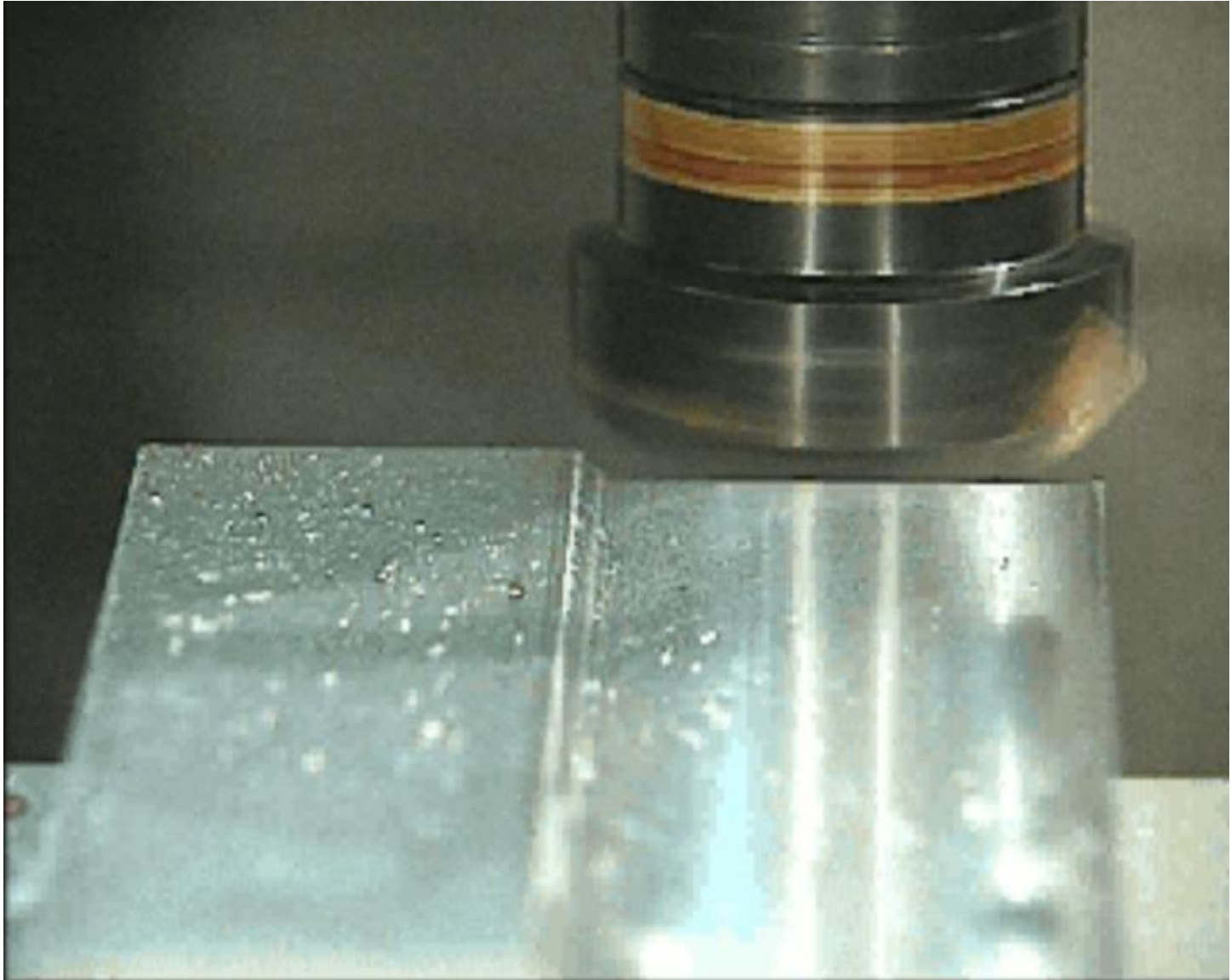
TOURNAGE - Lamage



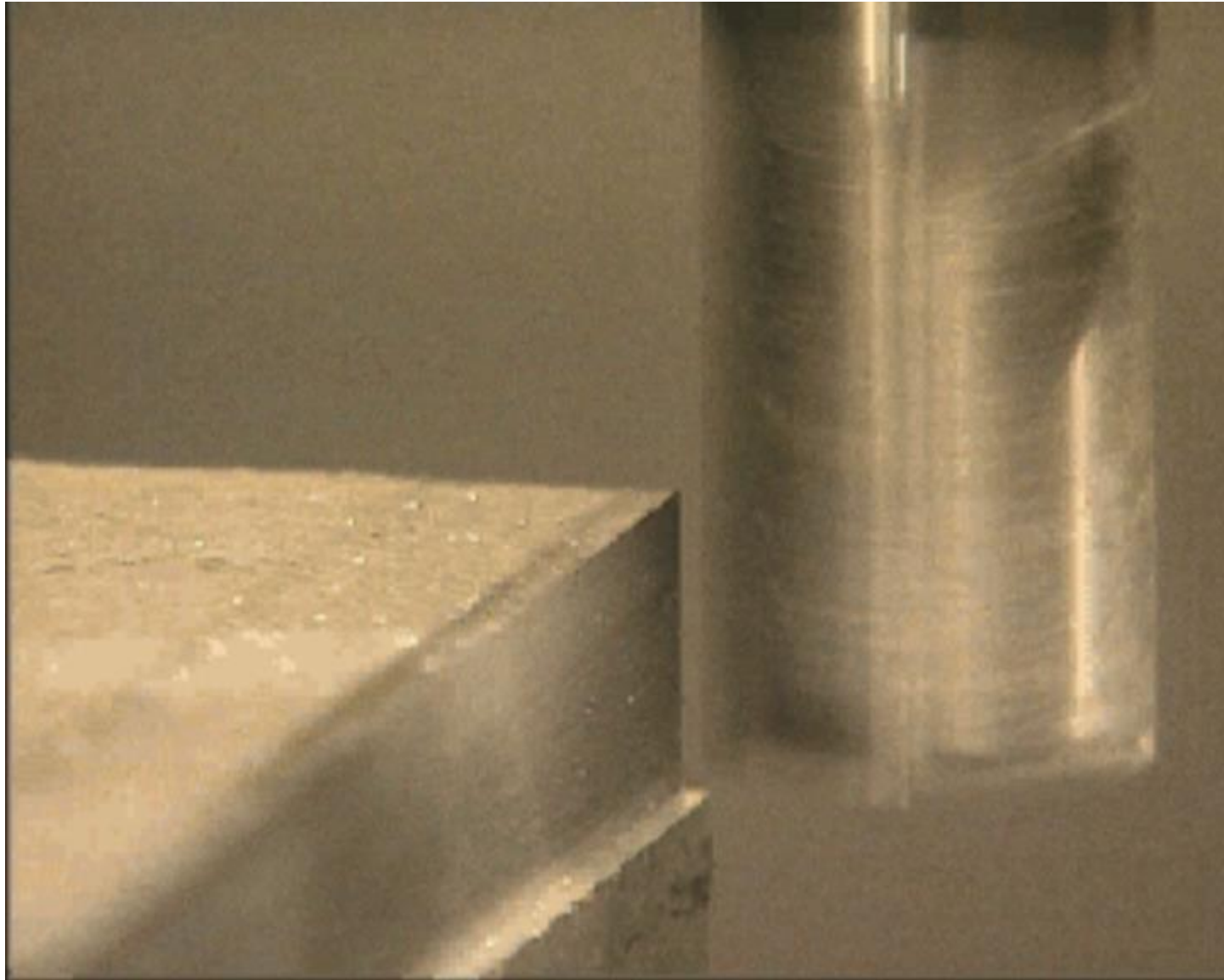
TOURNAGE – Gorge intérieure



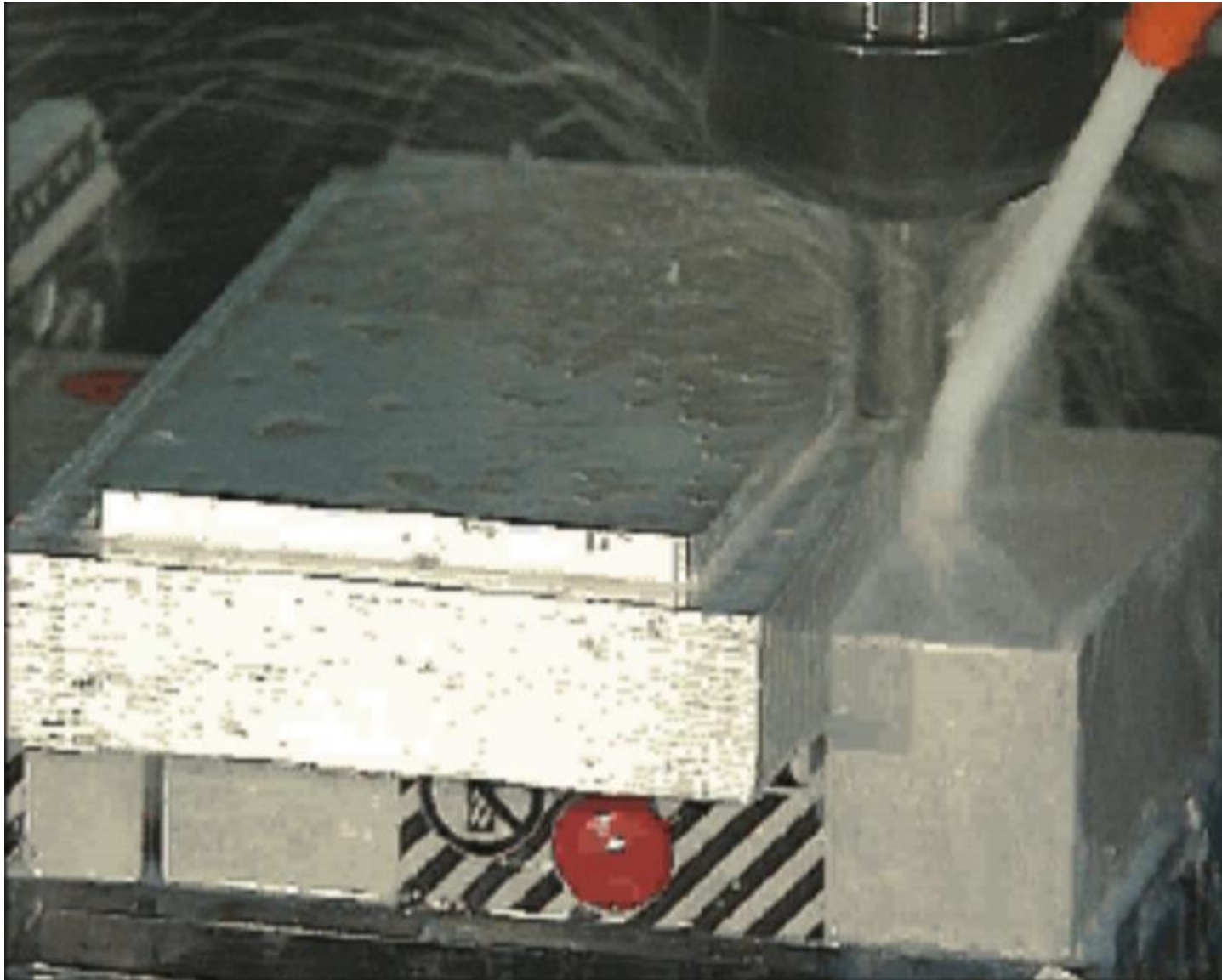
FRAISAGE EN BOUT



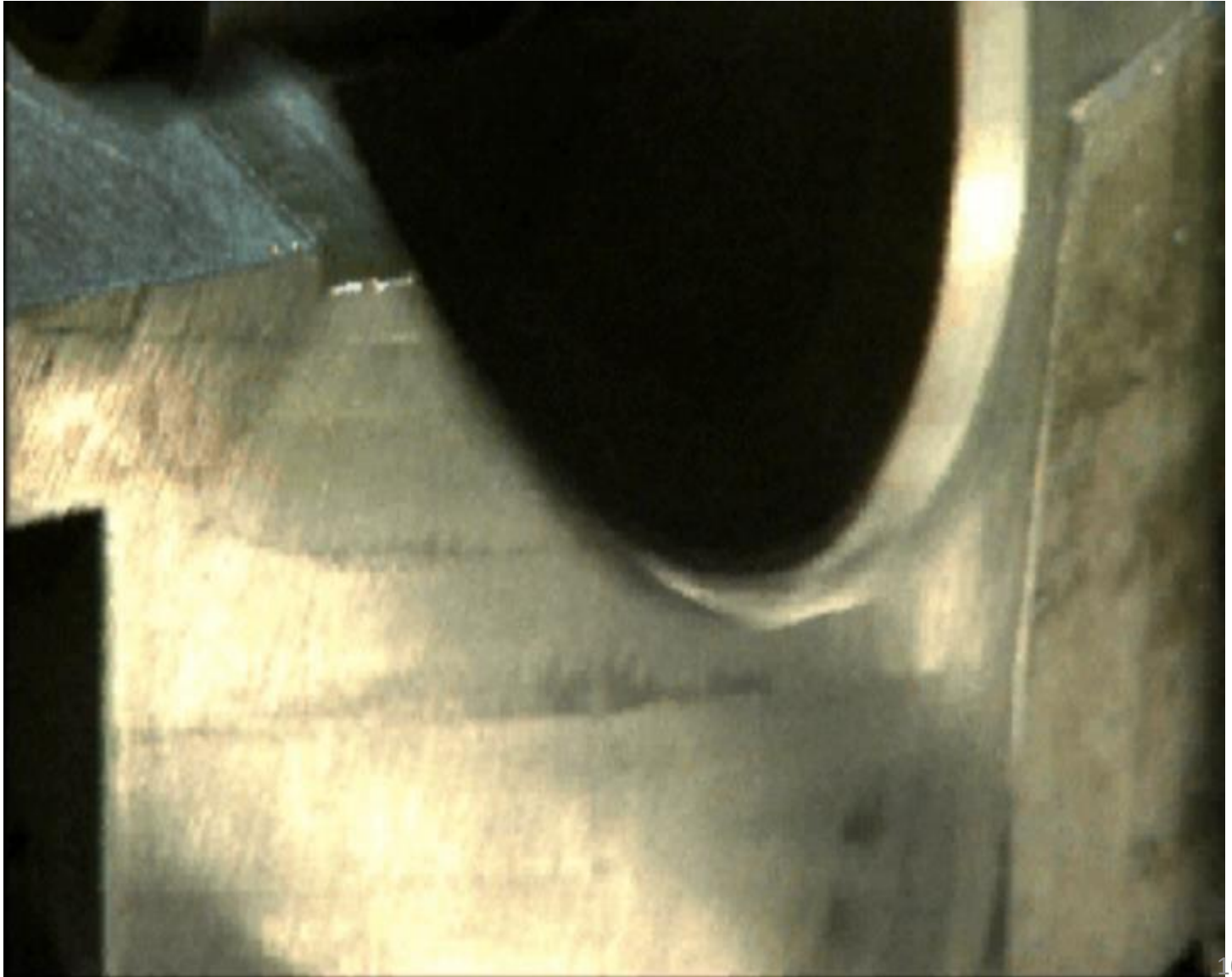
FRAISAGE DE PROFIL



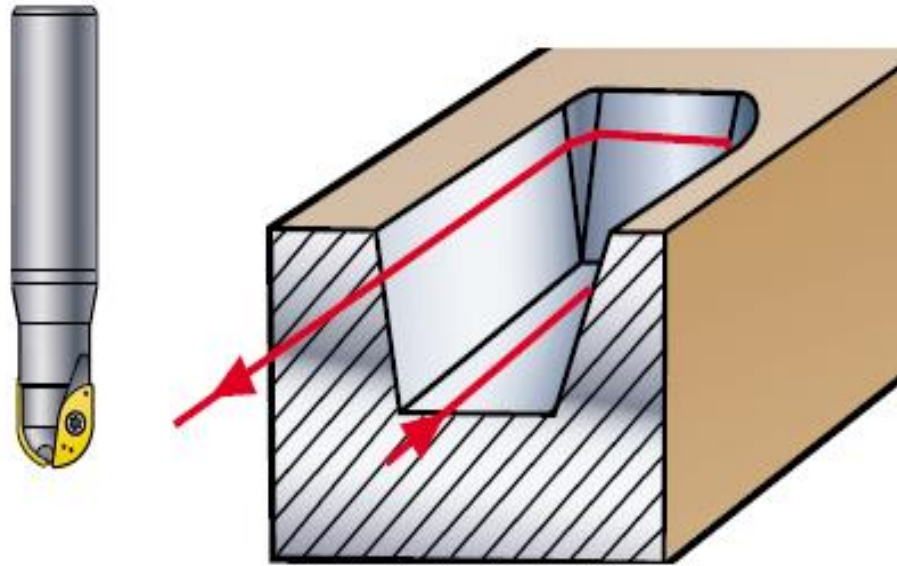
SURFACAGE - DRESSAGE



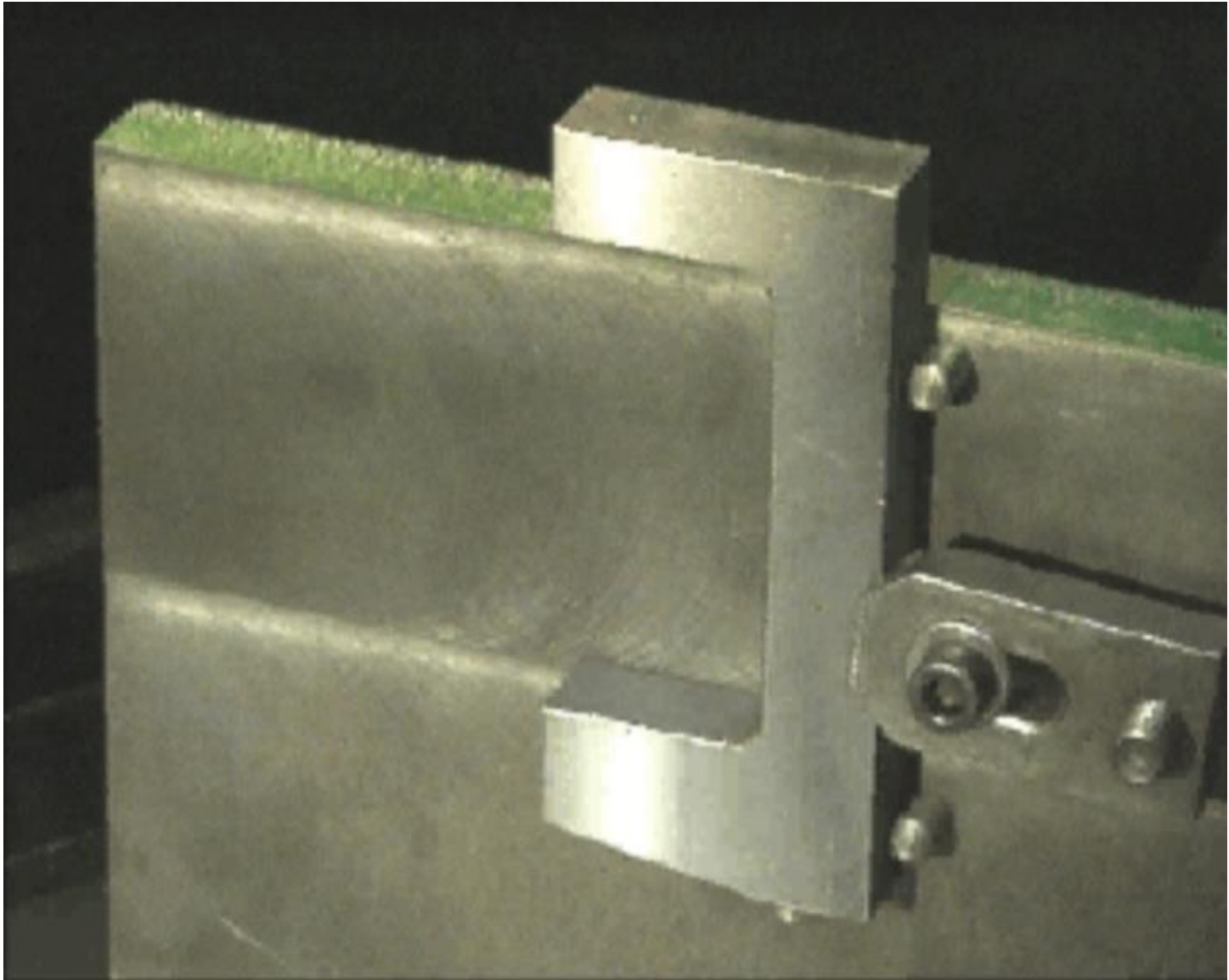
RAINURAGE



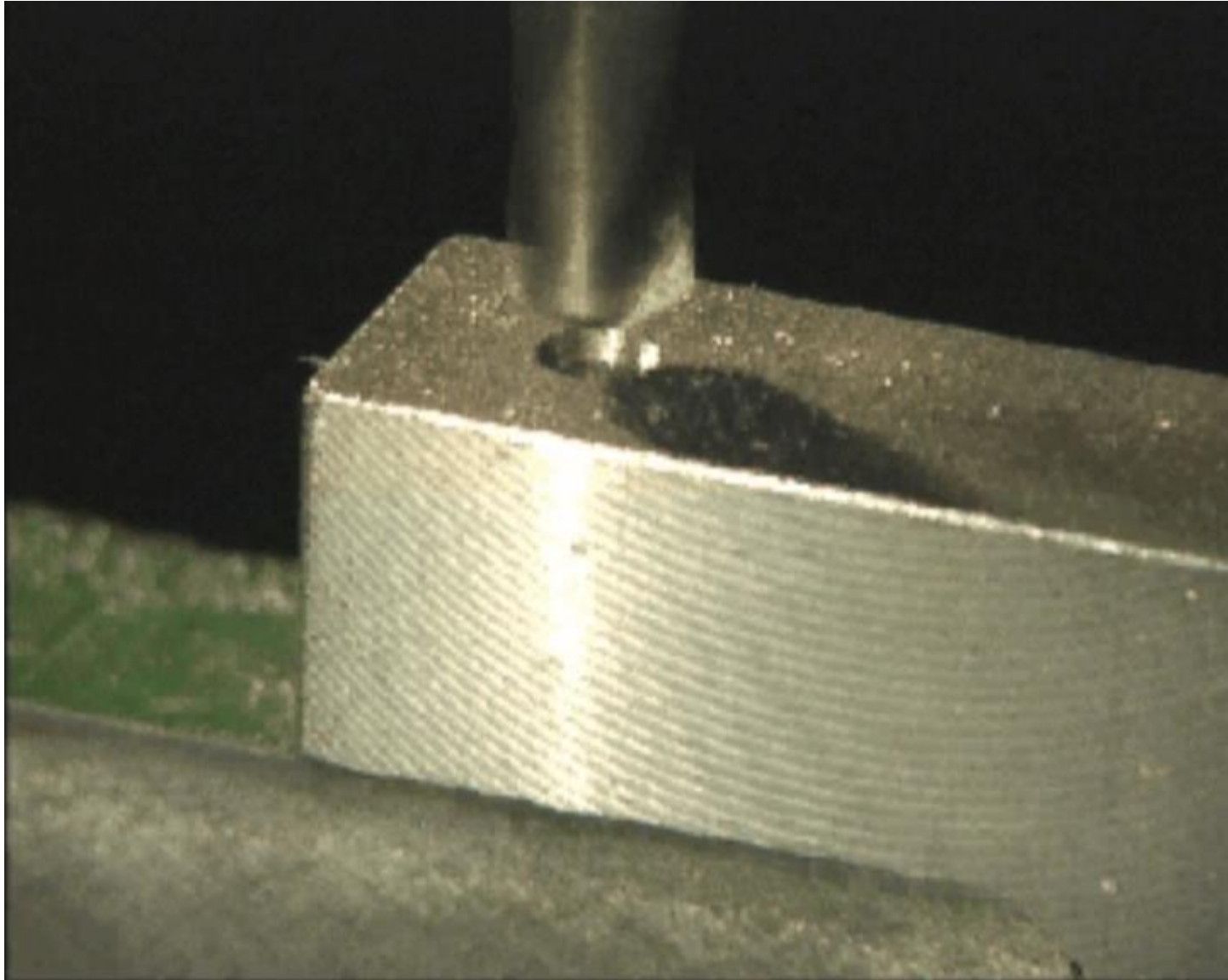
CONTOURNAGE - PROFILAGE



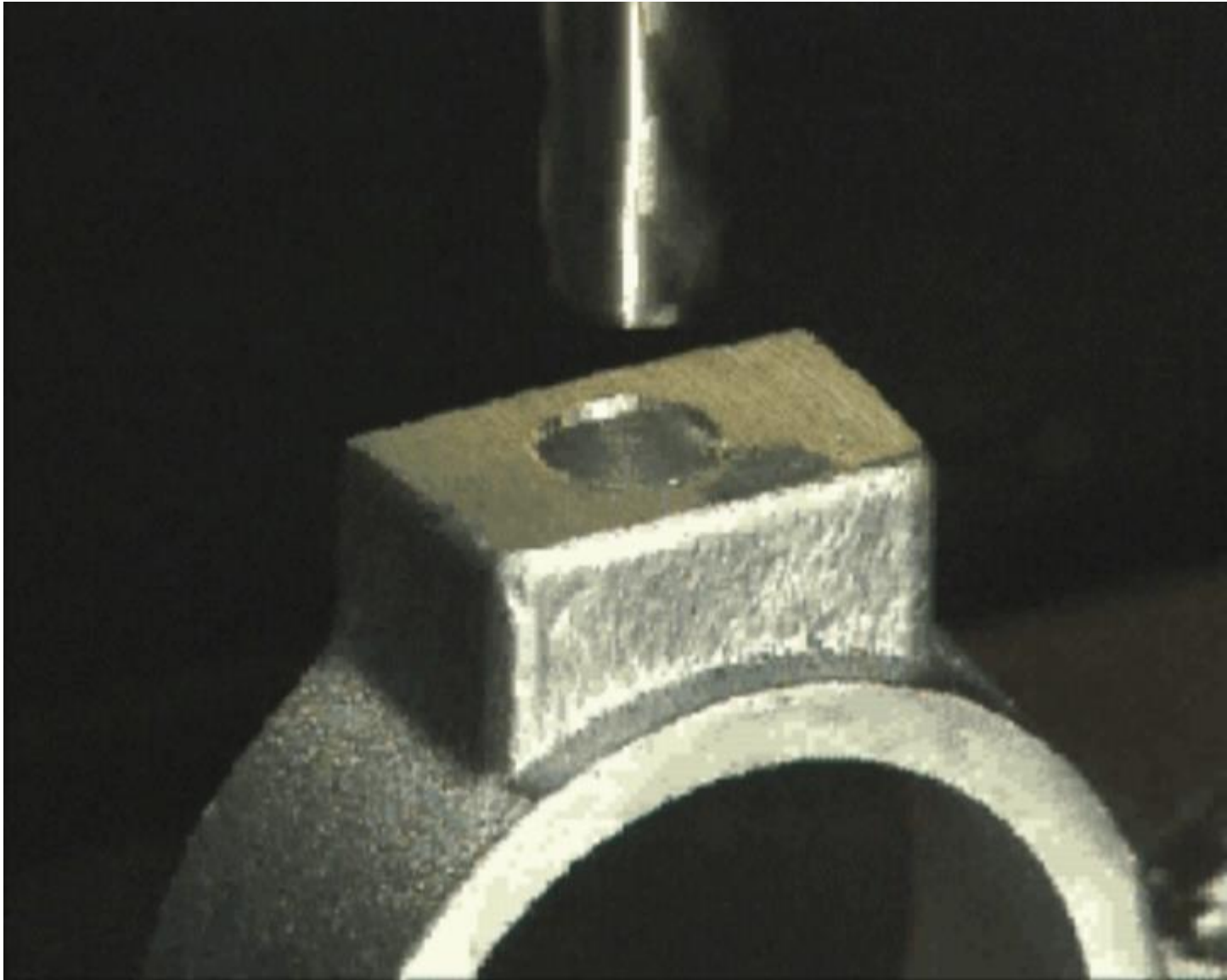
CENTRAGE



PERCAGE

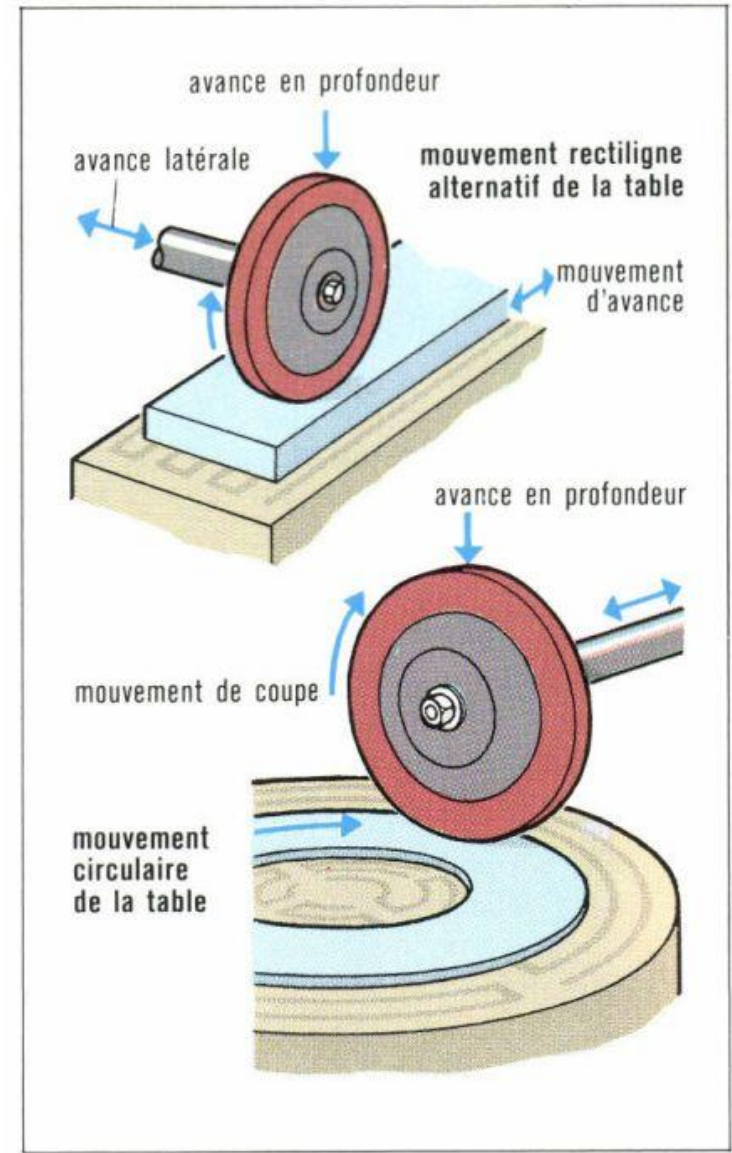


ALESAGE



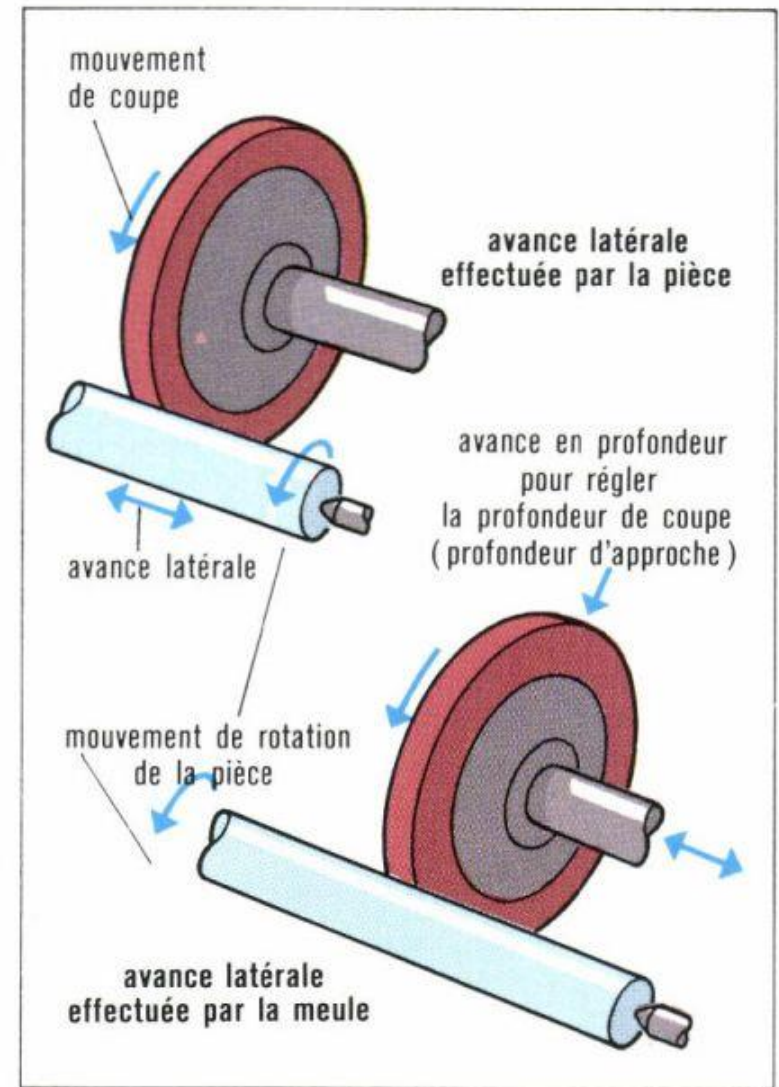
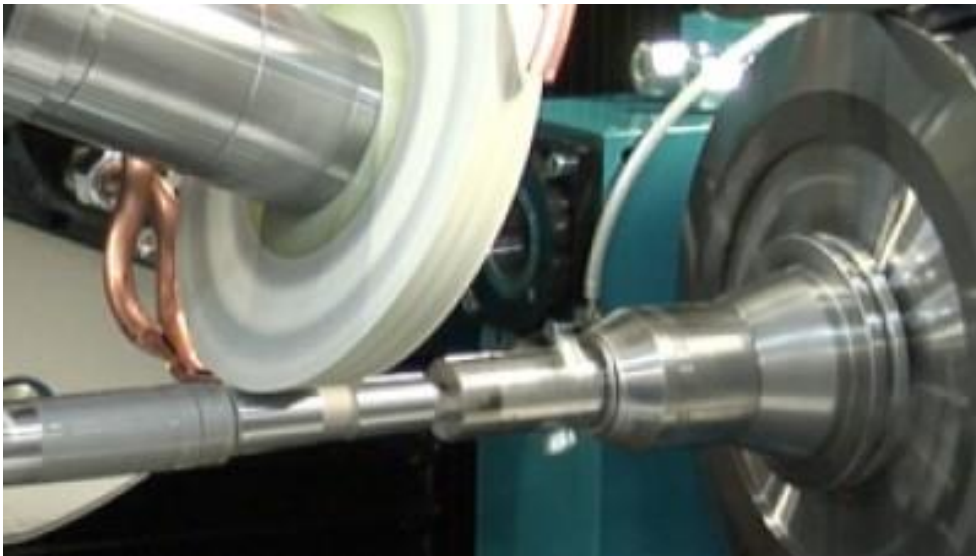
RECTIFICATION

La rectification consiste en un meulage de la pièce de façon à éliminer à plusieurs reprises des couches de matériau allant de 20 à 40 micromètres



Rectification plane tangentielle.

RECTIFICATION



Mouvements en rectification cylindrique.

Qualité usinage

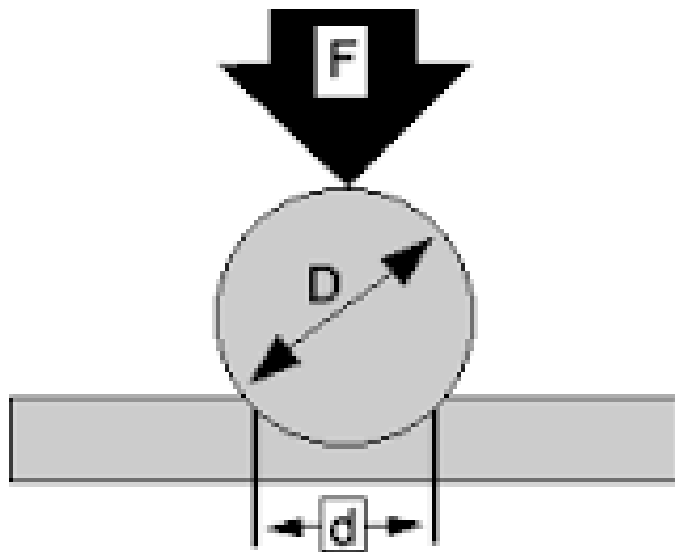
	Classe de qualité	Tolérance sur une dimension de 40 mm
Usinage d'ébauche	11 à 13	0,2 à 0,5 mm
Usinage de finition	7 ou 8	0,025 à 0,04 mm
Rectification	5 ou 6	0,01 à 0,016 mm
Rodage	4	quelques microns...

Essais Mécaniques

- Essais de dureté
- Essais de résilience
- Essais de traction
- Essais de fatigue

Essai de dureté

- Essai Brinell

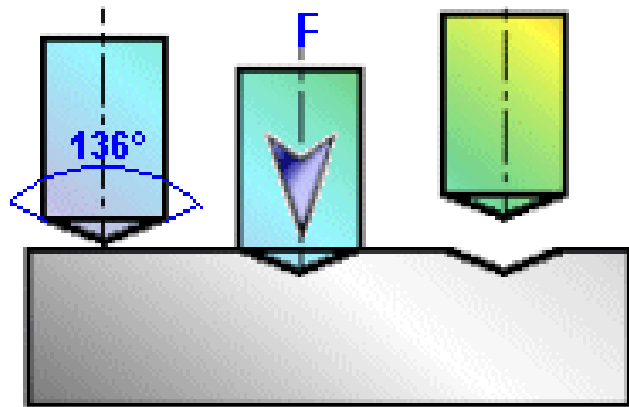


$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

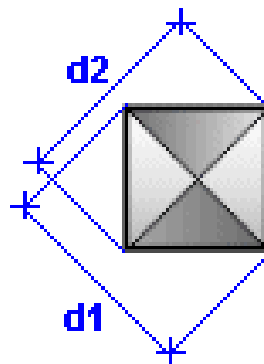


Essai de dureté

- Essai Vickers



$$HV = 0,189 \times \frac{F}{d \times d}$$

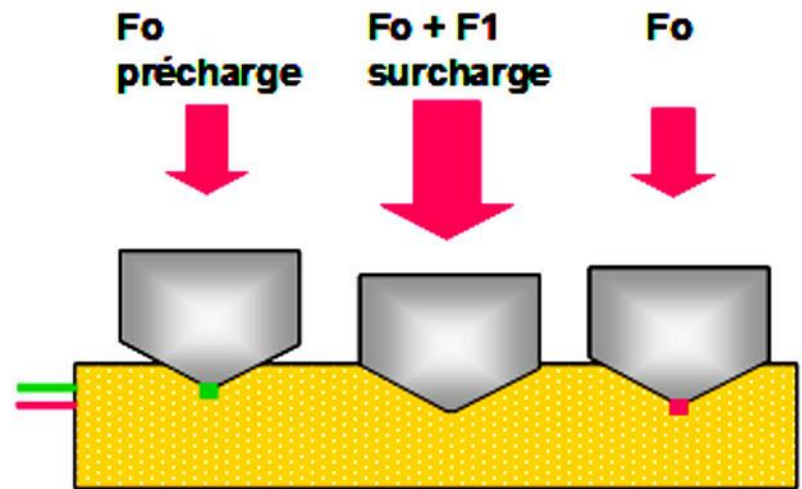
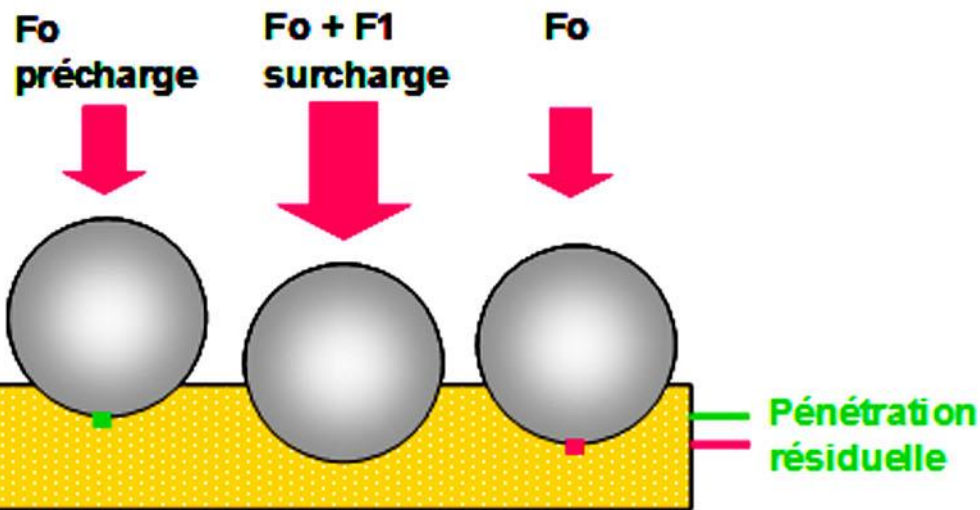


$$d = \frac{d1 + d2}{2}$$



Essai de dureté

- Essai Rockwell

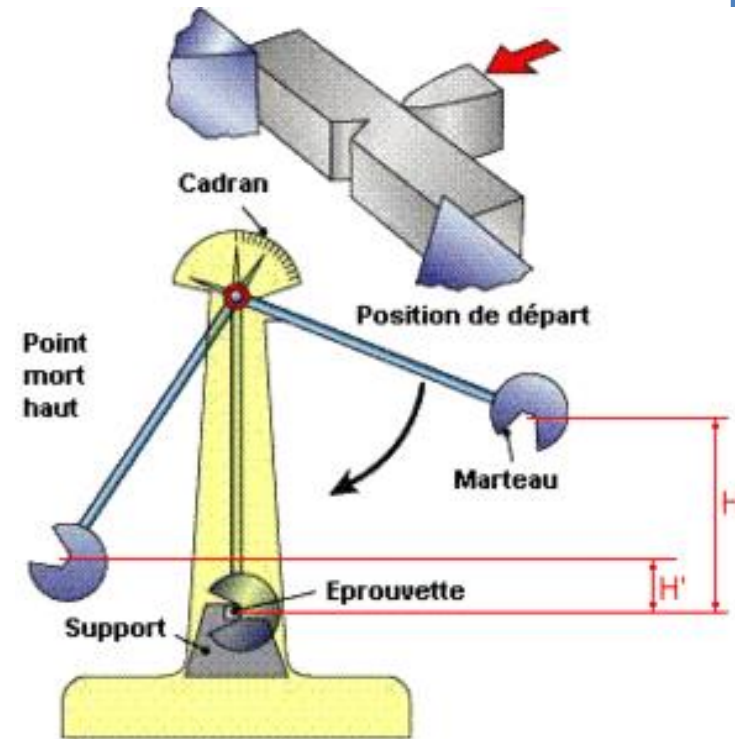


$$\text{HRC} = 100 - e$$

$$\text{HRB} = 130 - e$$

Essai de résilience

- Mouton de Charpy



$$KCU \text{ J/cm}^2 = \frac{Mg (H - h)}{S}$$

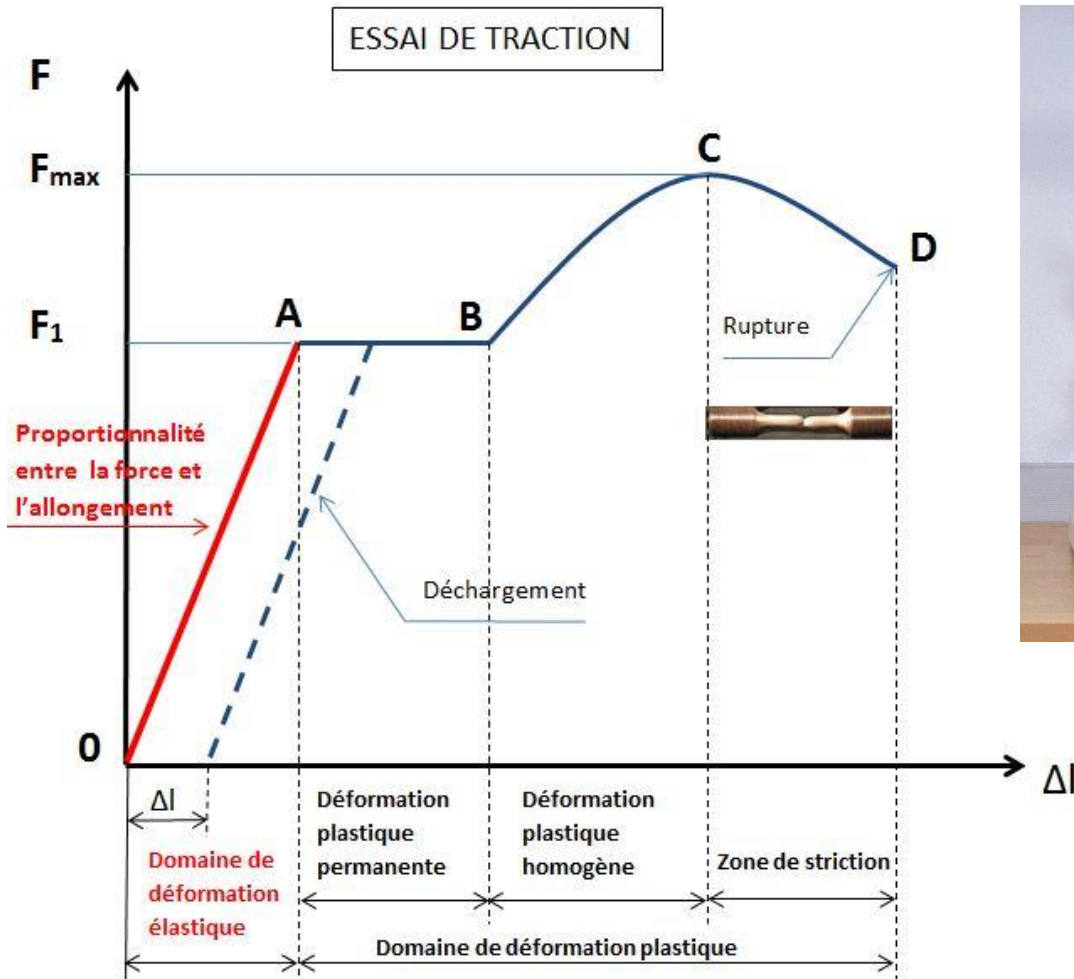
← Énergie absorbée

← Section rompue (cm²)

W en J
 M en kg
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 h en m

Essai de traction

- Courbe de traction



Essai de fatigue

- Courbe de Wohler

