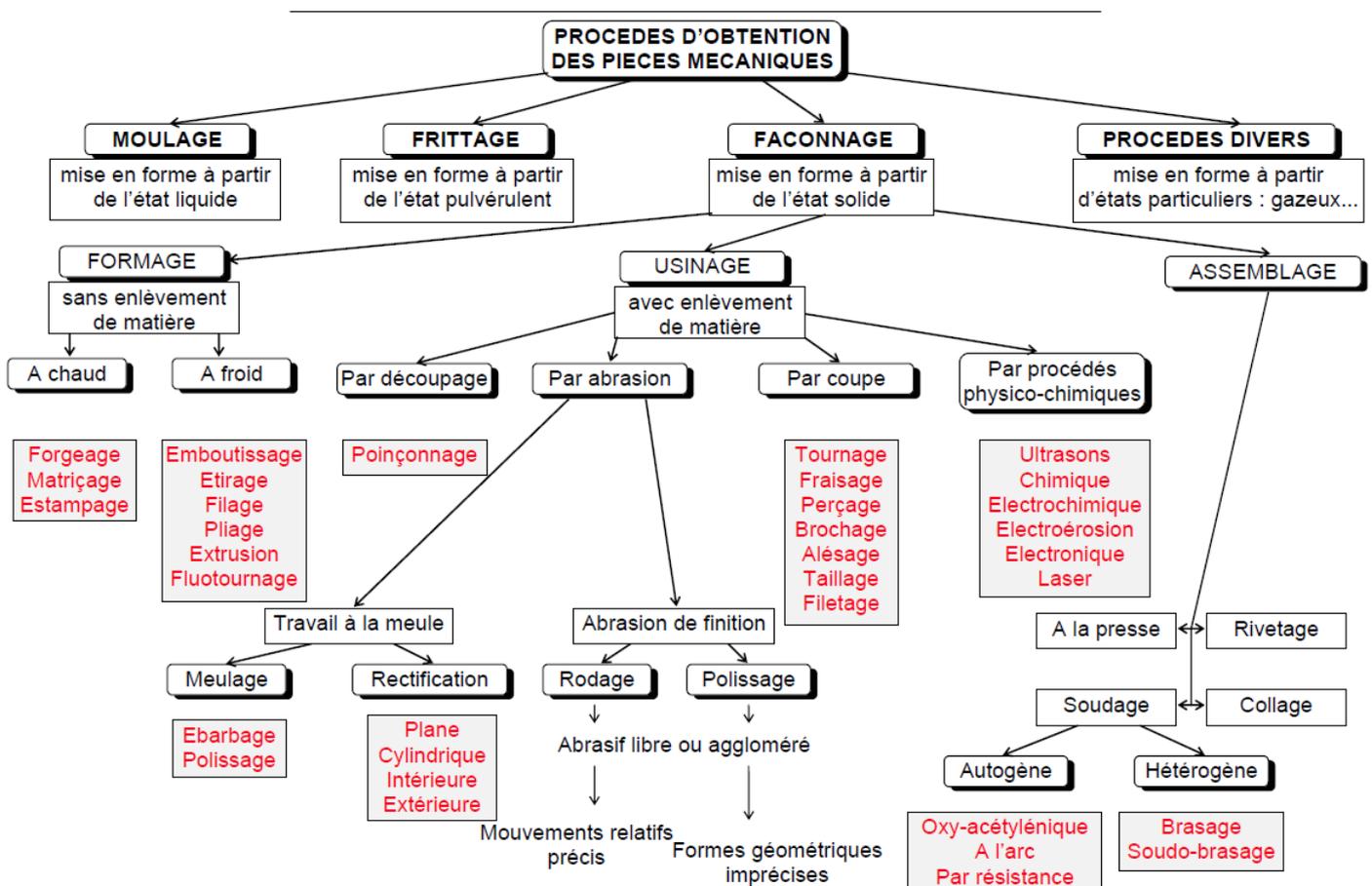


# Principaux procédés d'élaboration des pièces

Ce chapitre présente les principaux procédés d'élaboration des pièces métalliques. Il s'agit uniquement d'une présentation générale, et il n'est absolument pas question ici d'un quelconque approfondissement.

En général, une pièce sera le résultat de la combinaison de différents procédés comme par exemple, une obtention de préforme par moulage, suivi d'usinages des surfaces fonctionnelles et une rectification des surfaces demandant une grande précision. Très souvent, également, les pièces subissent des traitements complémentaires – traitements thermiques, thermochimiques, de surface, ... –

Le tableau ci-dessous propose un arbre des différents procédés.



# 1 - Fonderie

Ce procédé constitue l'une des plus anciennes techniques pour réaliser des pièces mécaniques, et il connaît de nos jours, grâce à l'automatisation de certains procédés de fabrication, un essor nouveau.

## 1.1 – Principe

Le moulage est un procédé d'obtention de pièces de formes complexes qui consiste à couler du métal à l'état liquide dans une empreinte réalisée dans un moule. Il existe de très nombreuses variantes de cette formulation de base, mais on pourra distinguer deux principales familles :

- la fonderie en moule non permanent : moulage en sable, moulage à modèle perdu,...
- la fonderie en moule permanent : moulage en coquille,...

## 1.2 – Le moulage en sable

Ce procédé est utilisé pour des pièces unitaires, des petites séries de pièces en fonte, ou en acier.

Le dessin (figure 1) ci-contre représente l'archétype de pièces obtenues par moulage en sable (composé d'argile et de silice).

Le procédé consiste à réaliser une empreinte dans un moule, grâce à un modèle (figure 2) dont les formes sont proches de celles de la pièce à réaliser.

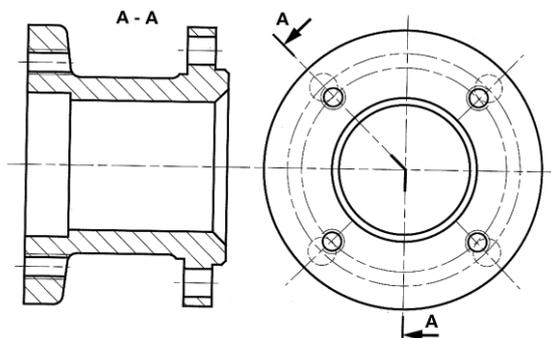


Figure 1

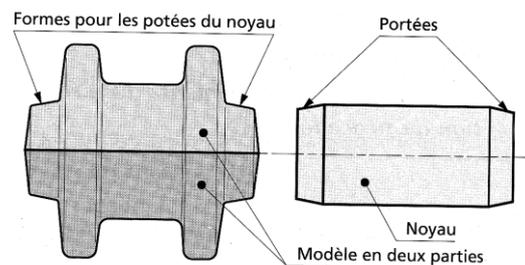


Figure 2

Le modèle n'est pas totalement identique à cette pièce, car il faut prendre en considération différents éléments :

- les surépaisseurs d'usinage ;
- les portées des « noyaux » en sable qui permettent de réaliser notamment les formes intérieures. Ceux-ci sont réalisés dans des « boîtes à noyaux » en bois et en deux parties correctement centrées l'une par rapport à l'autre (figure 2) ;
- le retrait du métal pendant le refroidissement (les dimensions du modèle sont légèrement supérieures à celles de la pièce à obtenir).

Le schéma de la figure 3 présente la méthode manuelle pour la fabrication d'un moule en sable.

- placer le demi modèle sur un support plan à l'intérieur du châssis inférieur ;
- tasser le sable composé d'argile et de silice autour du demi modèle en remplissant le châssis inférieur,
- procéder de manière similaire avec l'autre demi modèle à l'intérieur du châssis supérieur, correctement positionné par rapport au châssis inférieur (le plan de contact entre les deux châssis est appelé le plan de joint), en prévoyant le trou de coulée et un ou plusieurs événements (qui permettent l'évacuation des gaz pendant la coulée) à l'aide de mandrins ;
- séparer les deux demi châssis ;
- sortir le demi modèle de chaque demi châssis en évitant de détériorer l'empreinte. Les dépouilles (léger angle des parois pour le démoulage du modèle) réalisées sur le modèle évitent l'effritement du sable ;
- réaliser le canal de coulée et l'empreinte ;
- mettre en place le noyau sur les portées de l'empreinte ;
- positionner les deux demi-châssis et assurer leur maintien en position.

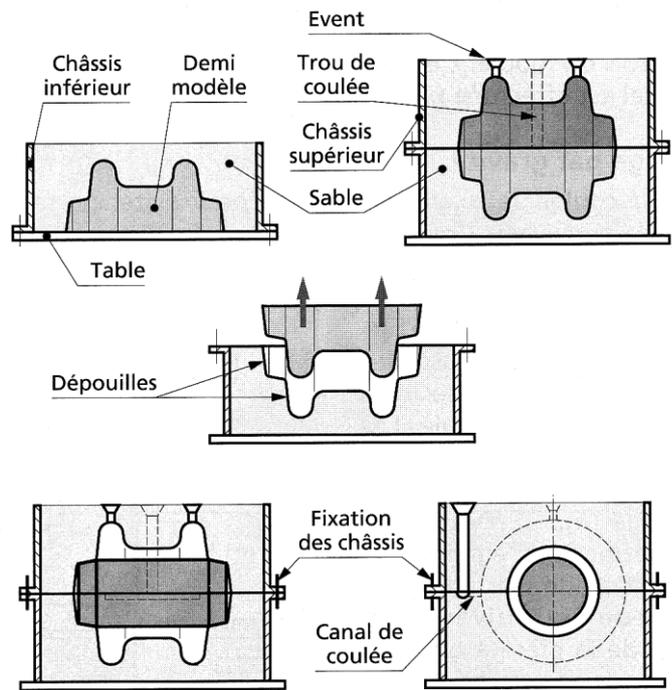


Figure 3

Le moule est alors prêt pour la coulée du métal en fusion. Après solidification de celui-ci, démouler la pièce en brisant le moule en sable (décochage), puis ébarber la pièce (enlever le canal de coulée, les événements ainsi que les bavures).

### 1.3 Le moulage en coquille

Le métal en fusion est coulé dans un moule métallique en plusieurs parties pour permettre le démoulage aisé de la pièce. Ce procédé est surtout utilisé pour les matériaux dont le point de fusion est bas (inférieur à  $+900^{\circ}\text{C}$ ) afin de ne pas être trop proche du point de fusion du moule et pour réduire le temps de solidification pour des questions d'adhésion du métal coulé au moule et pour des cadences supérieures. L'empreinte dans le moule est réalisée par usinage dans la masse. La coulée du métal peut être effectuée par gravité ou sous pression

### 1.3.1 – Le moulage par gravité

Avant la coulée, le moule est chauffé pour éviter un refroidissement trop rapide du métal. La température est ensuite maintenue par le rythme de coulée. Un enduit recouvre l'empreinte du moule afin de le protéger mais aussi de faciliter le démoulage lors de l'ouverture du moule. Le canal de coulée et les événements sont usinés dans les parties du moule (figure 4). Des tirées d'air permettent également l'évacuation des gaz au cours de la coulée. Suivant les formes de la pièce à obtenir des noyaux en acier sont placés dans le moule.

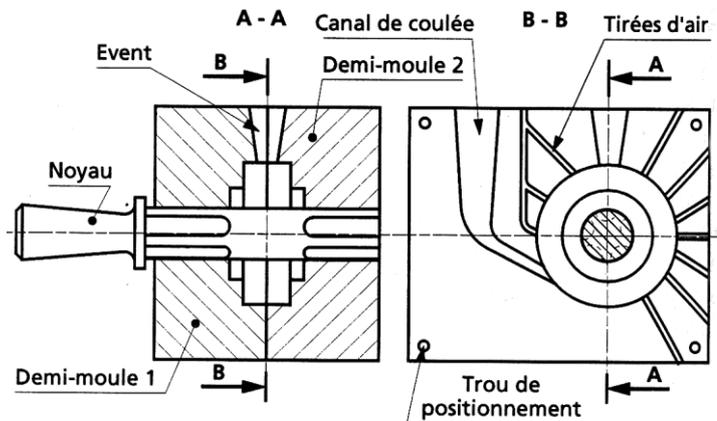


Figure 4

### 1.3.2 – Le moulage sous pression

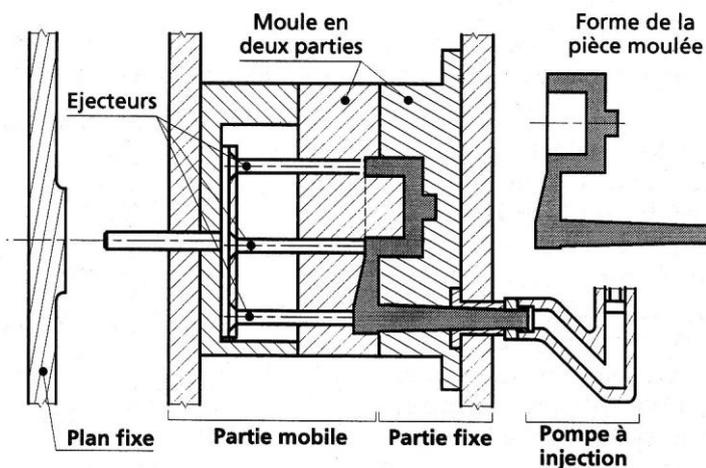


Figure 5

Le métal en fusion est envoyé dans un moule en deux parties à l'aide d'une pompe à injection. Une partie du moule est fixe, l'autre est mobile et permet lors de son ouverture l'éjection de la pièce. L'automatisation du procédé permet d'avoir un rythme de production élevé (figure 5).

Le moulage en coquille permet de réaliser des pièces ayant un bon état de surface et ainsi, on diminue le nombre de surface à usiner. Ce procédé est assez rapide mais le prix de revient des moules est très élevé,

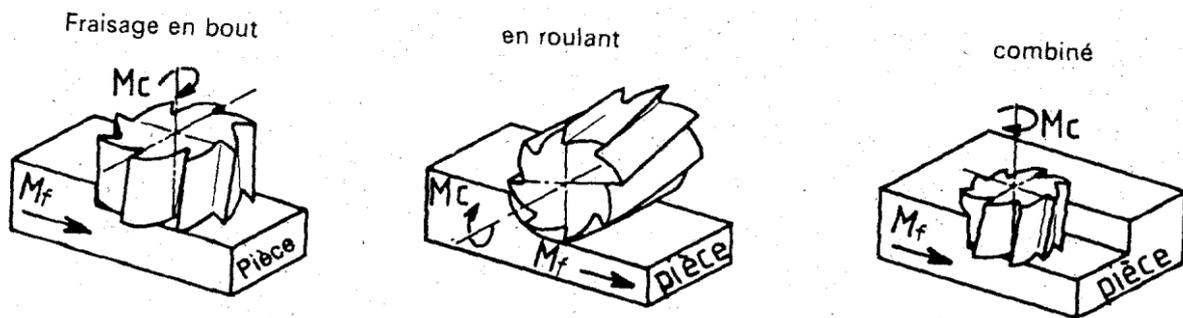
et, par conséquent, son utilisation est limitée à des grandes séries de pièces de formes complexes et de dimensions réduites.

## 2 - Usinage

L'usinage est un procédé de finition de pièces consistant à obtenir des surfaces fonctionnelles de bonne précision par enlèvement de matière (production de copeaux).

### 2.1- Fraisage

La pièce maintenue par un porte-pièce (exemple classique : un étau), subit un mouvement de translation qui constitue le mouvement d'avance ( $M_f$ ). L'outil, appelé fraise, monté dans la broche de la machine-outil (la fraiseuse) est en mouvement de rotation uniforme : c'est le mouvement de coupe ( $M_c$ ).



La figure 6, ci-dessous, présente une fraiseuse classique dite « universelle ».

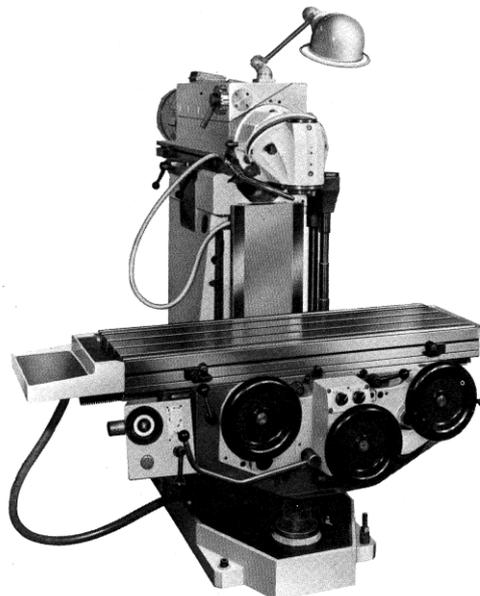


Figure 6

Les surfaces obtenues :



L'association du mouvement de coupe et du mouvement d'avance permet de générer des surfaces planes (travail d'enveloppe) ou des surfaces cylindriques ou coniques (travail de forme suivant la géométrie de l'outil fraise).

Les formes de l'outil fraise permettent éventuellement de réaliser des rainures (pour clavettes, par exemple), des queues d'arondes (figure 8),...

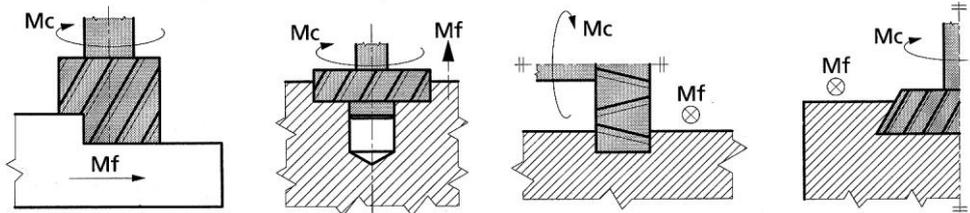


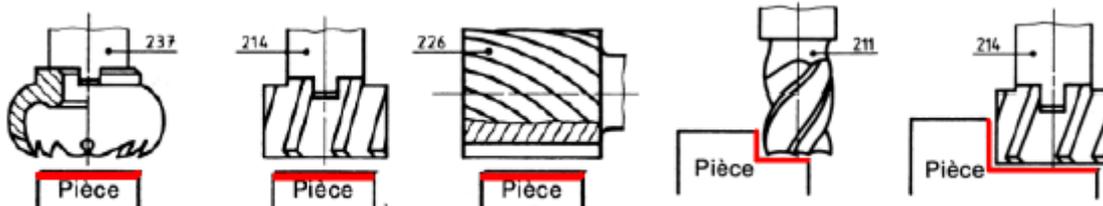
Figure 8



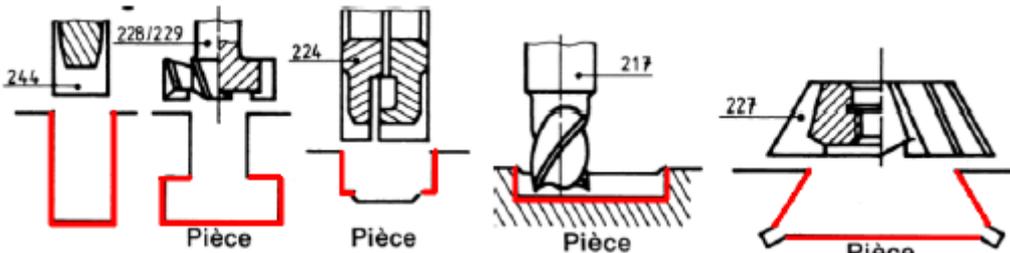
Figure 7

La figure 7 présente en partie supérieure une fraise à queue cylindrique, en partie centrale, une fraise deux tailles pour des fraisages en bout, et en partie inférieure une fraise trois tailles. Ces fraises sont réalisées en acier pour outils ou acier rapide spécial (ARS).

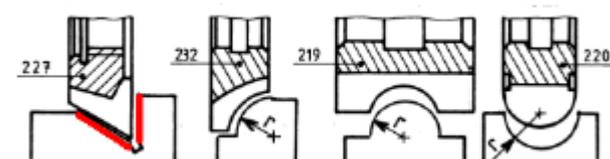
Surfaçage



Rainurage

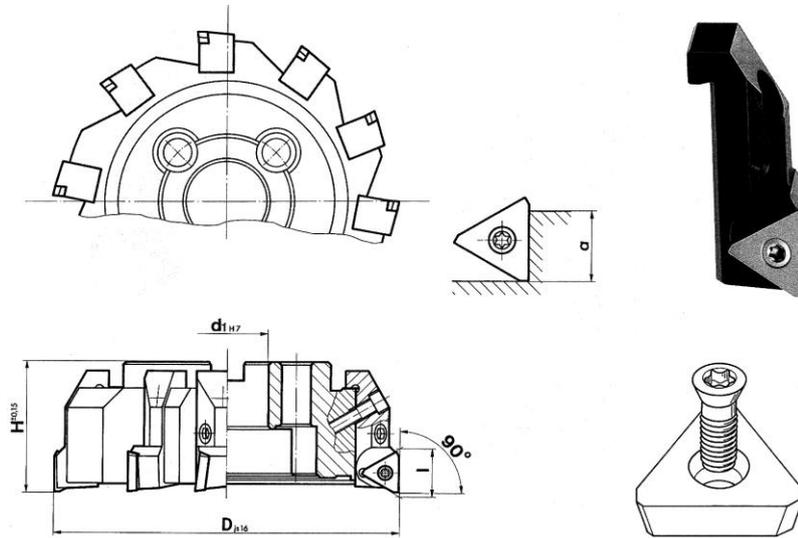


Profilage



Sur la figure 9, ci-dessous, on peut voir une fraise équipée de dents en plaquettes de carbure métallique permettant un usinage de meilleure qualité et plus rapide qu'avec des fraises en ARS.

Figure 9



## 2.2- Tournage

La figure 10 présente une machine classique de tournage (un tour)

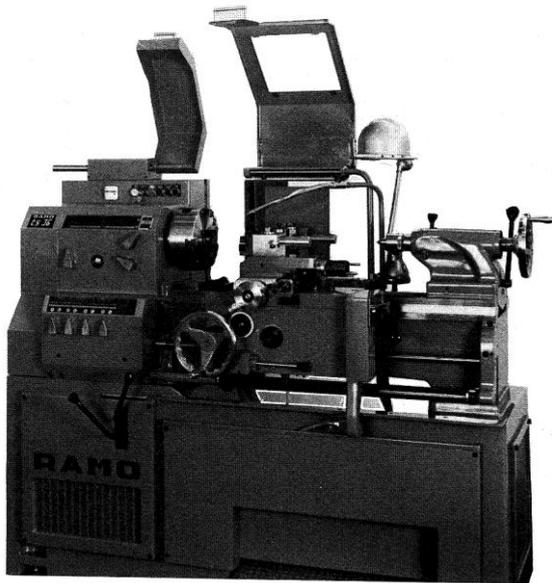


Figure 10

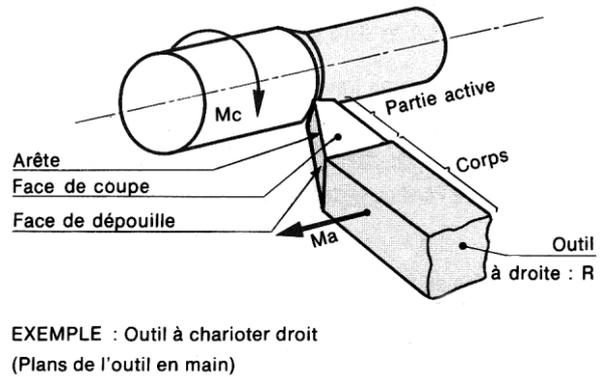


Figure 11

La pièce, maintenue dans un porte-pièce appelé mandrin, reçoit, de la broche de la machine-outil (tour), un mouvement de rotation uniforme. Ce mouvement est le mouvement de coupe ( $M_c$ ).

L'outil, monté sur un chariot reçoit de celui-ci un mouvement rectiligne. Ce mouvement est le mouvement d'avance ( $M_f$ ).

La figure 11 présente un outil coupant de tour. Celui-ci est constitué d'un corps comportant une ou plusieurs parties actives. L'élément essentiel de la partie active est l'arête formée par l'intersection de la face de coupe et de la face de dépouille.

Enfin, sur les figures 12 et 13, on trouve un outil de tournage à plaquettes en carbure métallique et différentes formes de ces plaquettes.

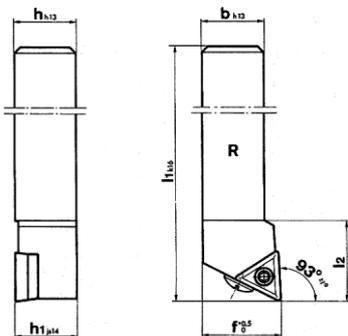


Figure 12

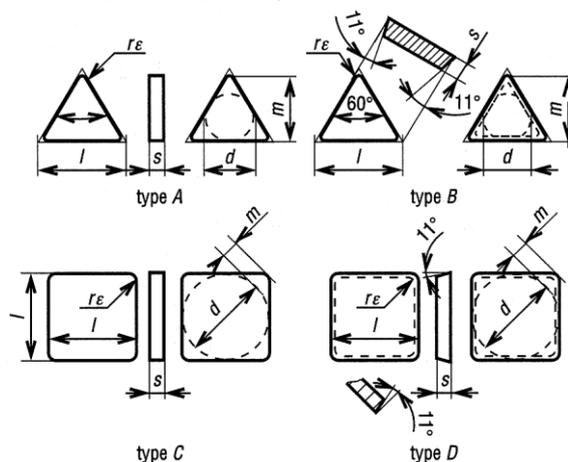


Figure 13

L'association des mouvements de coupe et d'avance permet de générer (figure 14) :

- des surfaces de révolution cylindriques extérieures et intérieures, lorsque le mouvement d'avance est parallèle à l'axe de rotation de la broche ;
- des surfaces de révolution coniques extérieures et intérieures, lorsque le mouvement d'avance est oblique à l'axe de rotation de la broche ;
- des surfaces de révolution quelconques, lorsque le mouvement d'avance est curviligne à l'axe de rotation de la broche ;
- des surfaces planes, lorsque le mouvement d'avance est perpendiculaire à l'axe de rotation de la broche ;
- des surfaces hélicoïdales caractérisées par le pas (l'avance de l'outil pour un tour de la pièce).

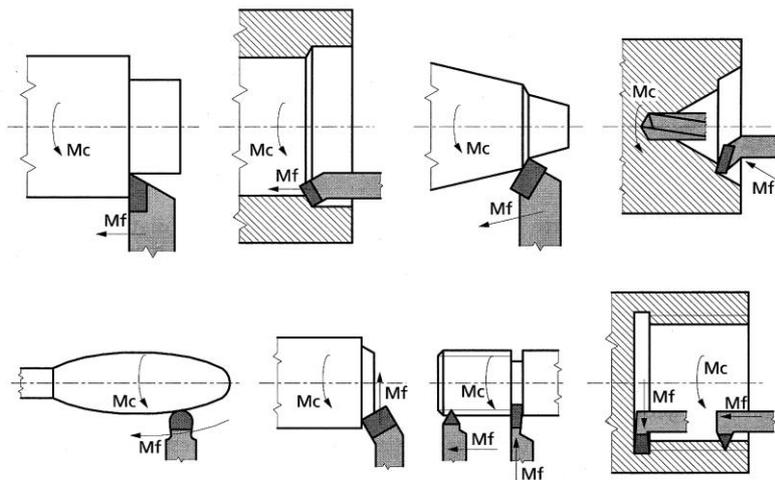


Figure 14

Principales formes d'outils de tournage des formes extérieures et intérieures

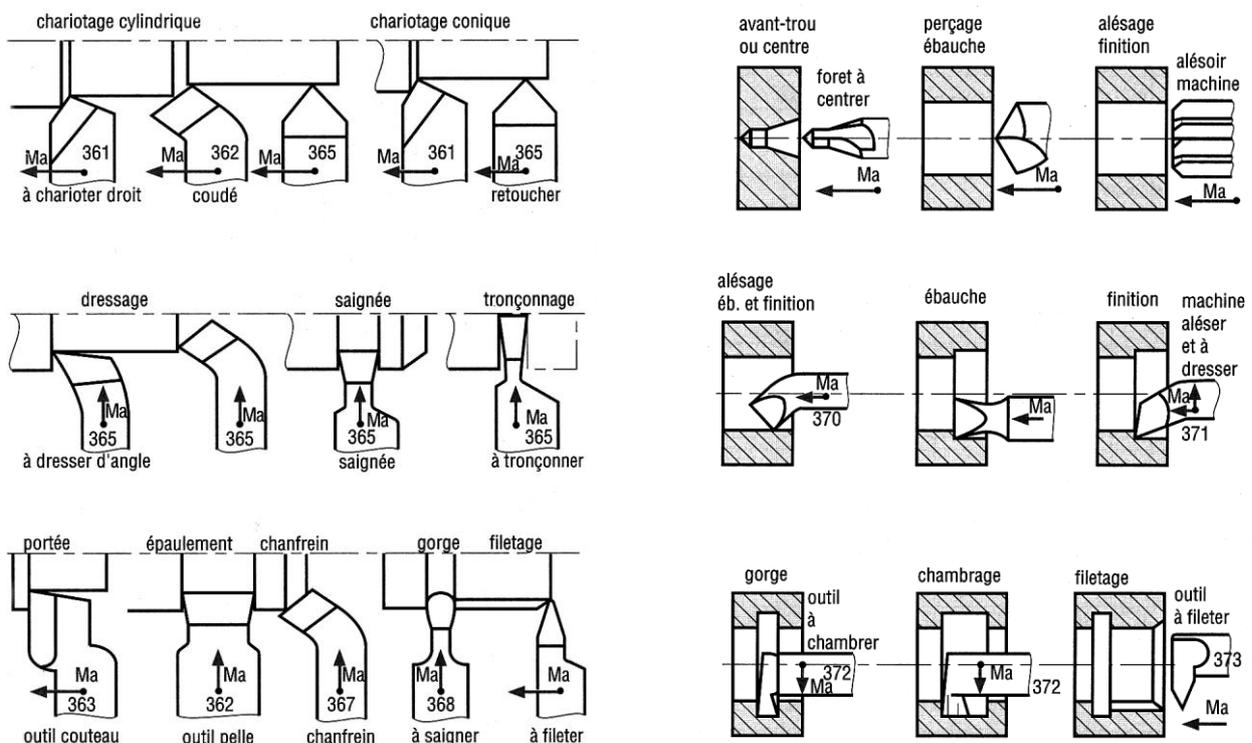


Figure 15

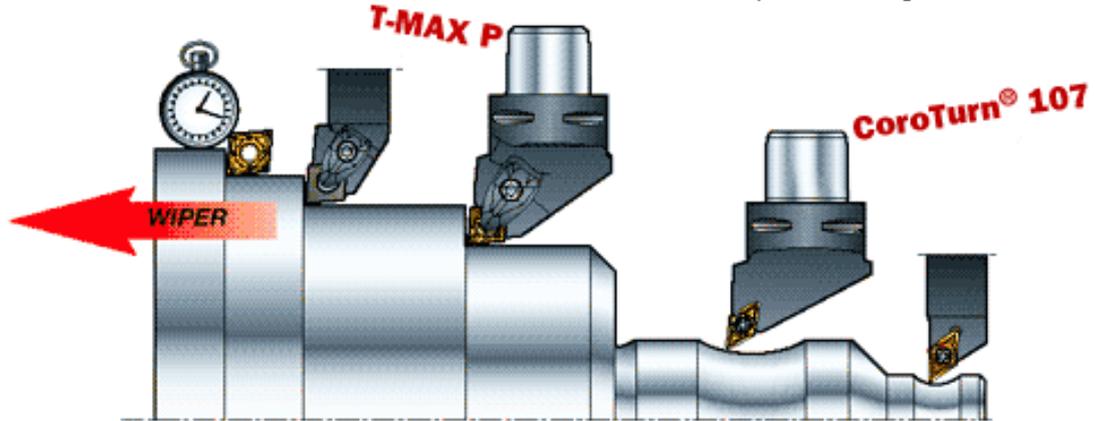
Figure 16

## Usinage extérieur

Usinage sous hautes avances

Usinage extérieur, de l'ébauche à la finition

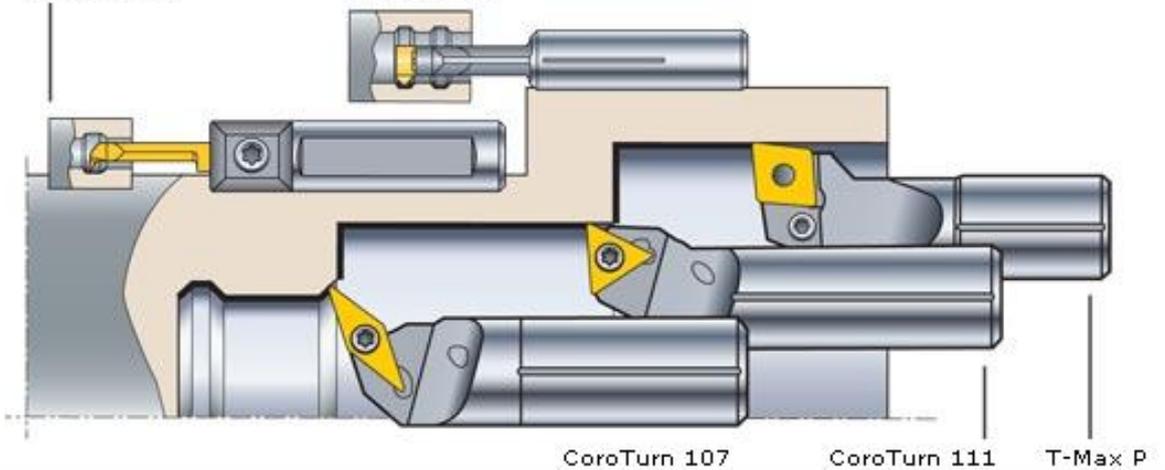
Usinage extérieur de pièces petites, longues ou minces



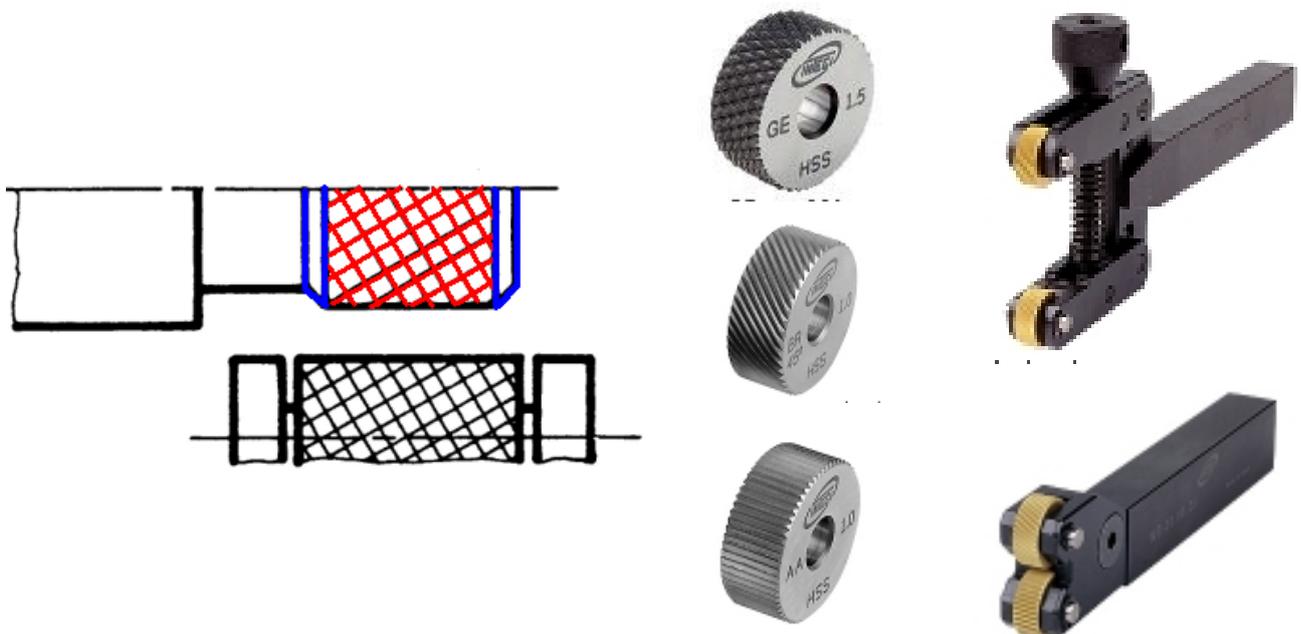
## Usinage intérieur

CoroTurn XS

CoroCut MB



## Moletage



## 2.3 – Perçage

La pièce à usiner est fixe. L'outil, fixé dans la broche de la machine (perceuse) par l'intermédiaire d'un mandrin ou d'un fourreau à alésage conique, en mouvement de rotation et de translation suivant son axe, est animé à la fois du mouvement de coupe et du mouvement d'avance.

Les surfaces obtenues sont présentées figure 17. Les mouvements de coupe et d'avance combinés permettent de générer :

- des trous qui peuvent être obtenus également par tournage lorsque l'axe de l'outil (fixe en rotation mais animé du mouvement d'avance) coïncide avec l'axe de rotation de la pièce ;

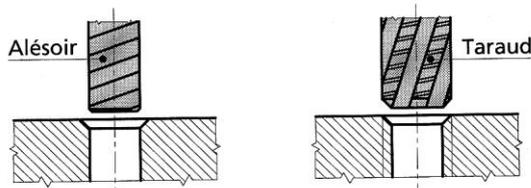
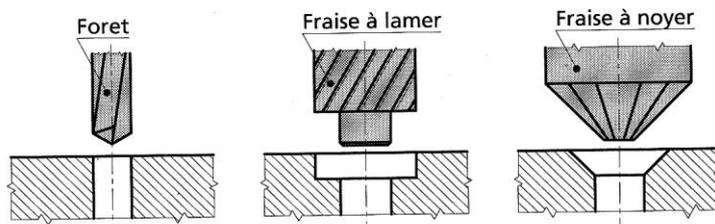


Figure 18

Figure 17

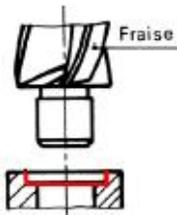
- des lamages, qui permet notamment l'appui correct d'une tête de vis ou d'un écrou ou encore d'une rondelle ;
- des chanfreins, dont la forme conique (fraisure) permet de faciliter l'introduction des éléments dans le trou ou d'y noyer une tête de vis ;
- des alésages qui permettent d'améliorer les qualités d'usinage des surfaces cylindriques intérieures obtenues par perçage (opération réalisable également sur un tour) ;
- des taraudages constitués d'une rainure hélicoïdale réalisée dans un trou (opération réalisable également sur un tour).

Un taraud outil pour la réalisation des taraudages est montré figure 18.

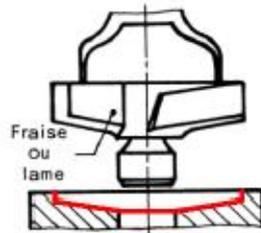
**Pointage**



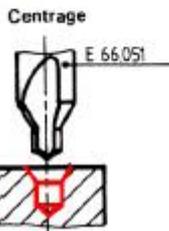
**Lamage**



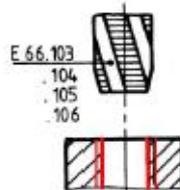
**Chambrage**



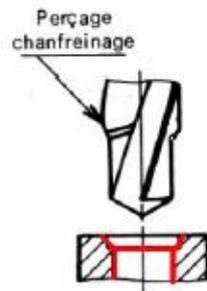
**Centrage**



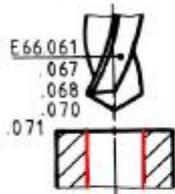
**Taroudage**



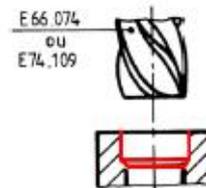
**Perçage Chanfreinage**



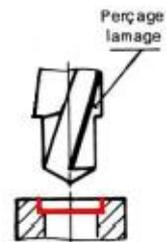
**Perçage**



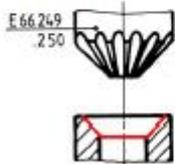
**Alésage**



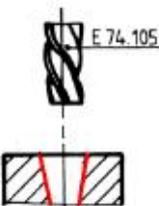
**Perçage Lamage**



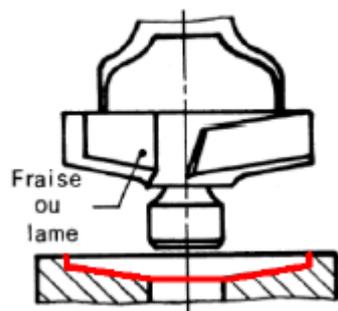
**Fraisurage**



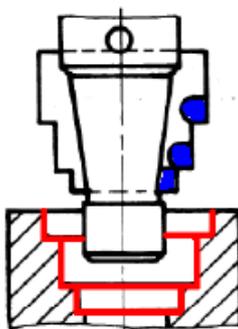
**Alésage conique**



**Chambrage**



**Alésage étagé**



## 2.4 – Brochage

Le brochage est un procédé d'usinage qui permet de réaliser, à l'aide d'un outil appelé broche, animé d'un mouvement de translation, des formes de section constante autres que celles de révolution. La broche est munie de dents dont la hauteur augmente progressivement afin que chaque dent entaille plus profondément la pièce que la dent précédente (figure 19).

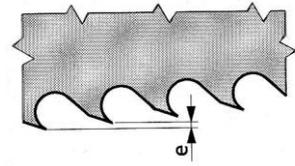


Figure 19

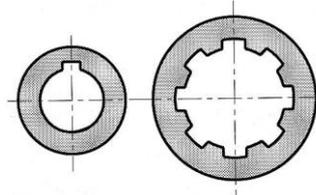


Figure 20

On obtient, par ce procédé, des rainures de clavettes ou encore des cannelures (figure 20). Dans ce cas, le profil à réaliser est fermé et le brochage est intérieur : un trou débouchant dans la pièce à usiner est alors nécessaire.

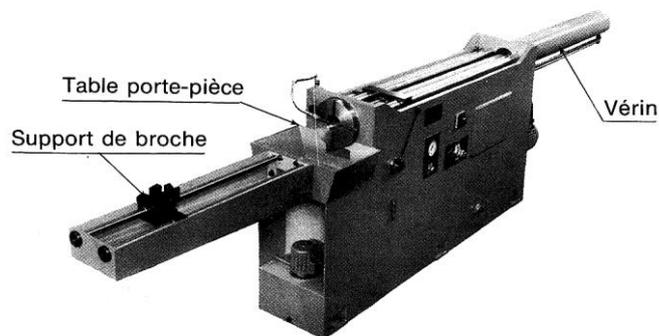


Figure 21

Si le profil à réaliser est ouvert, le brochage est extérieur.

La figure 21 présente une machine à brocher.

## 2.5 – Rectification

Une meule, constituée de grains abrasifs liés par un agglomérant, complète l'usinage des pièces préalablement ébauchées par un usinage et soumises à des traitements thermiques.

On rencontre deux types de rectification : le rectification plane et les rectifications cylindriques extérieure et intérieure (figure 22).

Les surfaces obtenues sont :

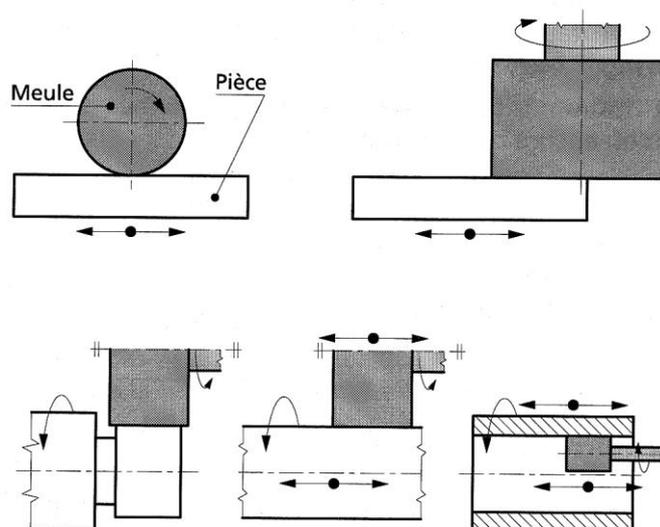


Figure 22

- les surfaces planes réalisées avec une meule animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe) ; le mouvement d'avance (mouvement de translation rectiligne alternatif) est communiqué à la pièce à rectifier ;
- les surfaces cylindriques intérieures et extérieures sont obtenues en communiquant à la meule et à la pièce, un mouvement de rotation ; le mouvement d'avance (mouvement de translation rectiligne alternatif) est donné soit à la meule soit à la pièce à rectifier.

## 2.6 – Electroérosion

Un arc électrique créé, dans un liquide diélectrique, entre une électrode–outil et une électrode–pièce enlève de petites particules de métal. Celles–ci sont évacuées par la circulation du liquide diélectrique. La forme de l'électrode est à peu près équivalente à la forme de la cavité à obtenir. Cette cavité est réalisée par déplacement progressif de l'électrode–outil. Le contact électrode–outil et électrode–pièce n'a jamais lieu.

Ce procédé permet d'obtenir des formes complexes sur des matériaux conducteurs. Les formes usinées doivent être démoulables.

Ce procédé est utilisé pour la réalisation des moules. L'obtention de trous de très faible diamètre est possible grâce à ce procédé.

## 3 – Formage

Le formage regroupe les procédés d'obtention de pièces, plus ou moins complexes, mis en œuvre par des actions mécaniques appliquées à la matière. Les techniques de formage sont nombreuses et se différencient par le type d'action mécanique.

### 3.1– Estampage et matriçage

Un lopin de matière (figure 23) est chauffé, puis déformé entre deux matrices (figure 23), portant des empreintes de la forme désirée. La déformation du lopin se fait par pression, ou par chocs. Après l'ouverture des matrices et l'éjection de la pièce, il subsiste une bavure due au surplus de matière. Un ébavurage est nécessaire.

L'estampage désigne le forgeage des aciers et le matriçage celui des métaux non ferreux.

Ce procédé d'obtention de pièces métalliques permet l'utilisation des aciers non moulables et d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la matière par une orientation cristalline de la structure (fibrage).

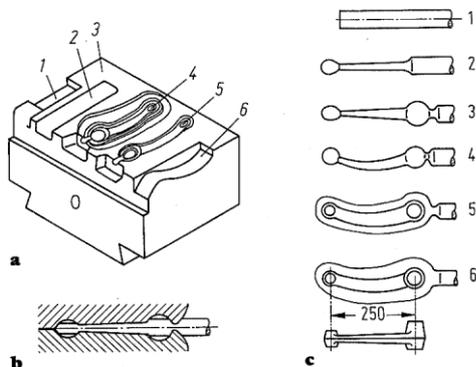
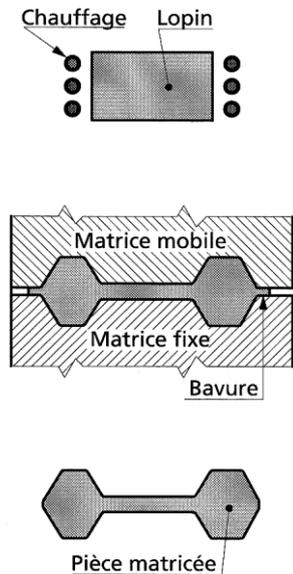


Figure 24

#### Règles de tracé des pièces estampées

- éviter les variations brusques de sections qui coupent le fibrage ;
- raccorder les différentes sections d'une pièce par des congés ;
- prévoir des dépouilles pour faciliter l'extraction de la pièce ;
- songer aux surépaisseurs pour les faces qui seront usinées ultérieurement ;
- tenir compte des problèmes d'écoulement de la matière,...

Figure 23

La figure 24 montre la séquence des opérations de forgeage dans une matrice multi-empreintes à partir du lopin jusqu'à la pièce non ébavurée.

### 3.2– Filage

Un poinçon (figure 25) comprime un lopin dans une matrice. La matière est amenée à occuper le volume entre la matrice et le poinçon. On rencontre deux cas :

- le filage direct : la matière s'écoule suivant le sens du déplacement du poinçon ;
- le filage indirect ou extrusion : la matière s'écoule suivant le sens inverse du déplacement du poinçon.

Ce procédé d'obtention de pièces permet d'avoir un très bon état de surface et une amélioration des caractéristiques mécaniques notamment par le fibrage.

Les pressions exercées par le poinçon sont très importantes ce qui engendre des risques de rupture des outils.

#### Règles de tracé des pièces filées

- concevoir des pièces de révolution ou symétriques, de formes géométriquement simples ;
- proscrire les formes coniques ;
- éviter les trous de faible diamètre ;
- éliminer les formes en dépouilles.

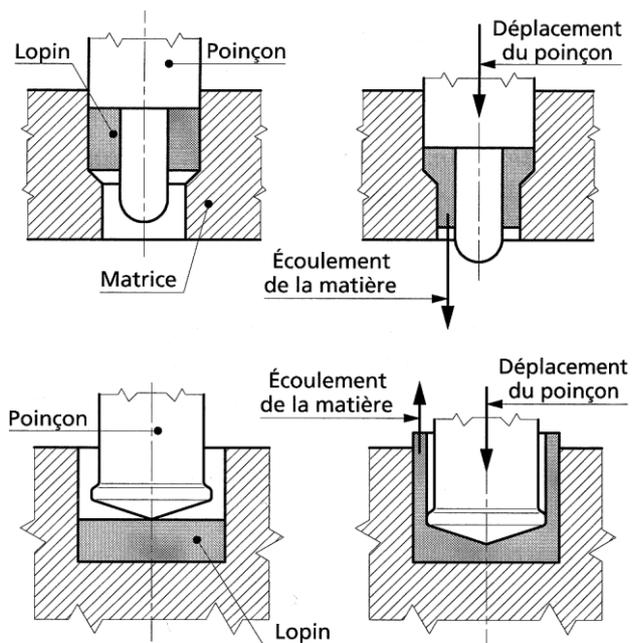


Figure 25

### 3.3– Emboutissage et repoussage

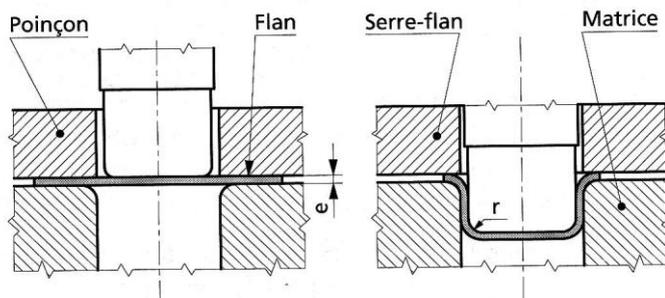


Figure 26

Le procédé d'emboutissage (figure 26) permet l'obtention de pièces creuses, à partir d'un flan découpé dans une feuille de métal. Le poinçon appuie le flan qui se déforme et épouse les formes de la matrice. Un serre-flan permet d'éviter la formation de plis que la matière a tendance à produire lors de son déplacement radial.

Le procédé de repoussage (figure 27) permet d'obtenir des pièces de révolution creuses, de formes ouvertes et d'épaisseur pratiquement constante, à partir d'un flan découpé dans une feuille de métal. La forme de la pièce s'obtient à partir d'un mandrin animé d'un mouvement de rotation et d'une molette. Ce procédé s'applique uniquement aux pièces de révolution de petite série.

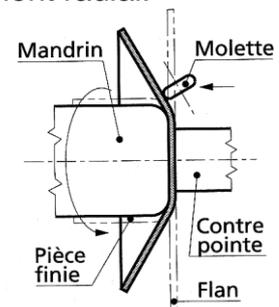


Figure 27

### 3.4– Pliage

Le pliage permet de réaliser, sous l'action d'un poinçon, des plis rectilignes sur des pièces développables (figure 28). Dans la zone de pliage, les fibres extérieures s'allongent et les fibres intérieures se raccourcissent. Une fibre dite « neutre » ne subit aucune variation de longueur.

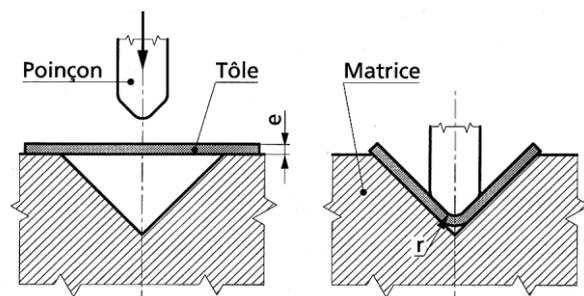


Figure 28

Ce procédé a l'avantage d'utiliser un outillage simple mais la longueur du pli est limitée par la longueur de la machine.

Il faut prévoir des rayons de pliage supérieurs ou égaux à l'épaisseur de la tôle et il est nécessaire de considérer la légère réouverture du pli ( $0,5$  à  $3^\circ$ ) due à l'élasticité de la matière.

### 3.5– Fluotournage

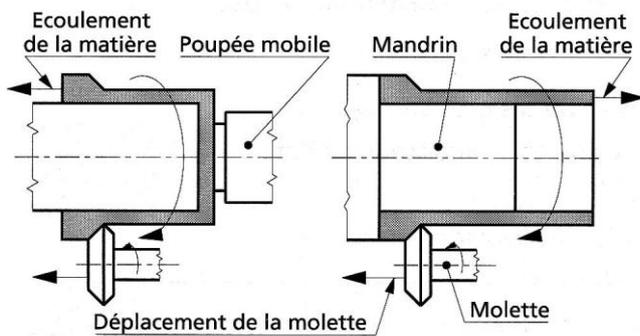


Figure 29

Le fluotournage permet l'obtention de formes qui s'apparente à celles du repoussage. Le flan est monté sur un mandrin (figure 29) animé d'un mouvement de rotation et la molette plaque la matière sur le mandrin. La matière se déforme suivant un glissement axial sous la pression de la molette. On rencontre deux cas :

- *filage* : la matière s'écoule suivant le sens du déplacement de la molette ;
- *extrusion* : la matière s'écoule suivant le sens inverse du déplacement de la molette.

### 3.6– Cisailage

Le cisailage est un procédé qui consiste à découper des tôles à l'aide d'une lame rectiligne fixe et d'une lame rectiligne mobile (figure 30). Une tôle, positionnée par une butée réglable, est maintenue par un presse-tôle. Le déplacement de la lame mobile provoque un cisaillement des fibres jusqu'à la rupture. Un léger jeu entre les lames favorise la rupture de la tôle.

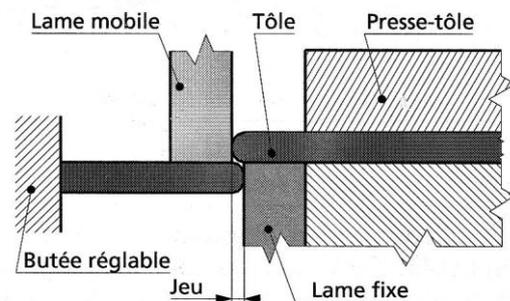


Figure 30

### 3.7– Poinçonnage et Découpage

L'outillage de poinçonnage ou de découpage se compose d'un poinçon et d'une matrice (figure 31). Le poinçon découpe, en descendant, un flan qui tombe sous la matrice, pour être évacué. Si l'opération est exécutée sur un contour fermé (ouverture), il s'agit d'un poinçonnage, si elle est exécutée sur une forme extérieure, il s'agit d'un découpage.

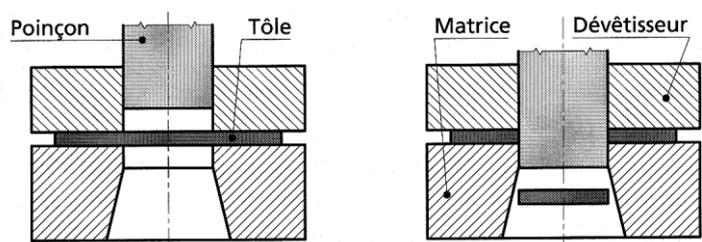


Figure 31

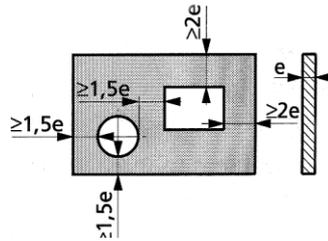


Figure 32

Le poinçon, en remontant, a tendance à relever la tôle restante, ce qui nécessite de placer un dévêtitseur pour maintenir la tôle.

Un faible jeu est indispensable entre le poinçon et la matrice pour favoriser le cisailage.

Il est indispensable de maintenir une distance assez grande, lors du poinçonnage multiple d'une tôle, afin d'éviter des déformations de celle-ci (figure 32).

## 4 – Frittage

Le frittage, ou métallurgie des poudres, permet d'obtenir des pièces de compositions très diverses avec une très grande précision géométrique, éliminant souvent toute opération d'usinage.

La métallurgie des poudres diffère de la plupart des techniques métallurgiques dans la mesure où elle n'implique jamais la fusion totale du matériau mis en œuvre. Le frittage est employé soit parce qu'il est un moyen commode de produire certains métaux où alliages dotés de propriétés physiques ou mécaniques particulières (élaboration de métaux réfractaires, tel le tungstène) soit parce qu'elle est un méthode de fabrication relativement économique quand un grand nombre de petites pièces mécaniques identiques est requis.

Il existe deux types de frittage :

- le frittage à l'état solide parce qu'il s'effectue à une température telle qu'il n'y a aucune fusion des constituants du système pendant l'opération ;
- le frittage en phase liquide se produit lorsqu'on est en présence d'un mélange de poudres de métaux à bas et haut point de fusion ; la température de frittage est supérieure à la température de fusion du composant le plus facilement fusible, de telle sorte que ce dernier baigne la phase solide résiduelle pendant tout ou partie de la durée de l'opération.

On obtient des pièces pesant jusqu'à 5,5 kg (tambours de freins) et pouvant résister à des efforts mécaniques importants. Des essais sont en cours pour la production d'engrenages de transmission frittés.

## Questionnaire Frittage

### Séquence 1 : La métallurgie des poudres

1 – Donner deux exemples de pièces obtenues par frittage ?

.....

2 – Comment se présentent les métaux mélangés ?

.....

3 – Quel est l'ordre de grandeur du rapport entre le volume de la pièce compactée et le volume initial du mélange de poudre ?

.....

4 – Comment sont liés les grains après compactage ?

.....

5 – Quels sont les caractéristiques mécaniques de la pièce après compactage ?

.....

### Séquence 2 : Frittage à l'état solide et calibrage

1 – À quelle température s'effectue le frittage à l'état solide ?

.....

2 – Le frittage à l'état solide est-il un processus réversible ?

.....

3 – Quelle opération succède au frittage ? Pourquoi ?

.....

4 – Comment expliquer la porosité de l'alliage obtenu ?

.....

5 – Citer un exemple caractéristique de pièce frittée à l'état solide.

.....

### Séquence 3 : Frittage en phase liquide

1 – Quelles sont les caractéristiques des métaux utilisés pour les alliages des pièces obtenues par frittage en phase liquide ?

.....

2 – Quel type de liant est utilisé pour réaliser des pastilles d'usinage au carbure ?

.....

3 – À quelle température s'effectue le frittage en phase liquide ?

.....

4 – Que représente le phénomène de coalescence ?

.....

5 – Peut-on usiner une pièce en carbure obtenue par frittage en phase liquide ?

.....

## 5 – Procédés d'assemblage par soudage et par collage

### 5.1 – Généralités

Une liaison encastrement entre deux solides est dite indémontable, si la séparation des deux solides ne peut se faire sans détérioration soit de l'une des deux pièces, soit de l'élément assurant la liaison.

Il existe de nombreuses solutions techniques pour réaliser ce type de liaison encastrement :

- l'assemblage par sertissage (déformation permanente de l'une des deux pièces qui vient épouser la forme de l'autre pièce) ;
- l'assemblage par rivetage (déformation de l'extrémité d'une tige avec tête ; la rivure (seconde tête) est réalisée par refoulement à froid ou à chaud au cours de la pose ;
- l'assemblage par soudage ;
- l'assemblage par collage...

Nous détaillons par la suite les deux derniers procédés.

### 5.2 – Assemblage par soudage

L'opération de soudage consiste à assembler deux ou plusieurs pièces, principalement métalliques, par chauffage, par pression ou par combinaison des deux. Le soudage par chauffage est la méthode la plus courante aujourd'hui.

Grâce au développement de nouvelles techniques dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, le soudage a remplacé progressivement le boulonnage et le rivetage dans la construction d'un grand nombre de structures comme les ponts, les bâtiments et les navires. C'est également un procédé de base dans l'industrie automobile, l'aviation et la fabrication des machines-outils.

Sources d'énergie	Éléments de protection du joint soudé				
	Flux solide	Gaz inerte	Gaz actif	Sous vide	Sans protection
<b>Arc électrique</b>	Electrodes enrobées Automatique sous flux solide MAG avec fil fourré	TIG MIG avec fil électrode fusible Electrogaz Plasma	MAG avec fil électrode fusible		Soudage des goujons Avec électrode au carbone Par décharge de condensateur
<b>Résistance électrique</b>					Par point Par bossage Par étincelage En bout, résistance pure
<b>Focalisée</b>		Laser		Bombardement électronique	
<b>Thermochimique</b>	Aluminothermie	Plasma – arc non transféré	Oxyacétylénique Oxypropane Oxydrique		
<b>Mécanique</b>				Par pression à froid	Par friction Par pression à froid Par ultrasons Par explosion A la forge

TIG : Tungsten electrode – Inert Gas

MIG : Metal Inert Gas

MAG : Metal Active Gas

Lorsqu'on assemble deux solides métalliques, il faut tenir compte de leurs propriétés physiques, de l'usage auquel le produit final est destiné et des installations de production disponibles. C'est pourquoi il existe plusieurs méthodes de soudage comme le présente le tableau page précédente

### 5.2.1 – Soudage à l'arc électrique

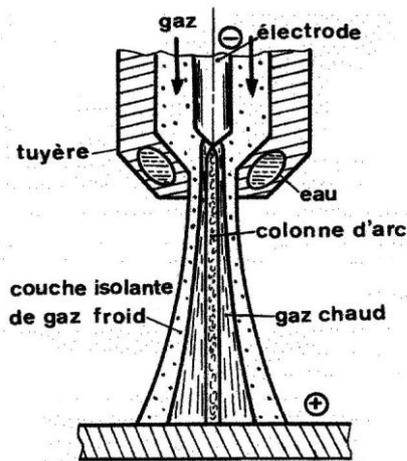


Figure 33

Un courant électrique de caractéristiques définies (nature et intensité), fait jaillir sous une tension donnée un arc entre deux électrodes, au travers d'une colonne de gaz ionisés, appelée plasma d'arc.

Dans les procédés de soudage à l'arc les plus courants, l'une des électrodes est constituée par la pièce à souder. La quantité de chaleur dégagée par l'arc électrique permet une fusion instantanée des bords des pièces à souder et du métal d'apport.

Sur la figure 34, on voit le schéma de principe du soudage à l'arc avec électrode enrobée. L'âme métallique sert de conducteur pour le passage du courant et de métal d'apport. L'enrobage, protège le bain de fusion et entoure l'âme métallique.

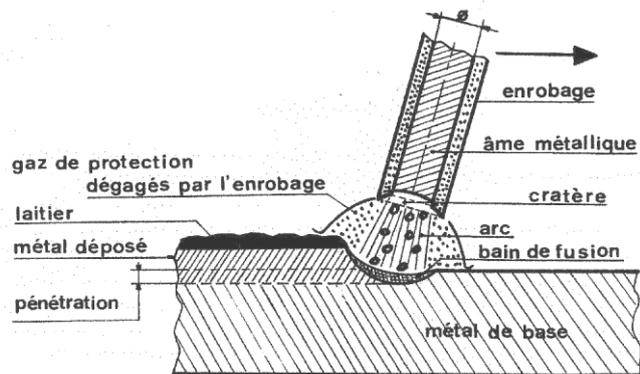


Figure 34

La productivité de ce procédé « manuel » est assez faible, et il existe des techniques semi-automatiques et automatiques très performantes qui produisent un joint soudé d'excellente qualité : ce sont les procédés TIG, MIG ou MAG.

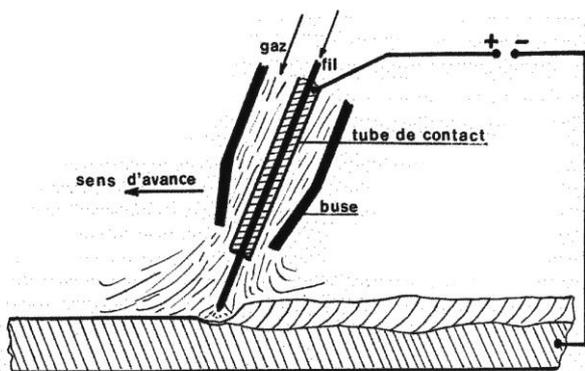


Figure 35

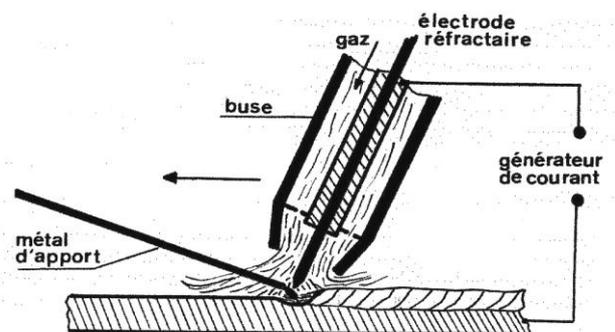


Figure 36

Dans le procédé TIG (tungsten inert gas), l'arc est établi au sein d'une atmosphère neutre (argon ou hélium) entre la pièce à souder et une électrode métallique réfractaire non consommable en tungstène. Le flux de gaz inerte protège de l'air environnant l'électrode, le bain de fusion et, le cas échéant, l'extrémité du fil d'apport (figure 36).

L'emploi d'un fil-électrode fusible dévidé automatiquement en remplacement de l'électrode réfractaire du procédé TIG a donné naissance aux procédés MIG (metal inert gas) et MAG (metal active gas) (figure 35).

### 5.2.2 – Soudage au gaz

Une flamme est obtenue à l'extrémité d'un chalumeau qui vient chauffer par convection et rayonnement la zone à souder.

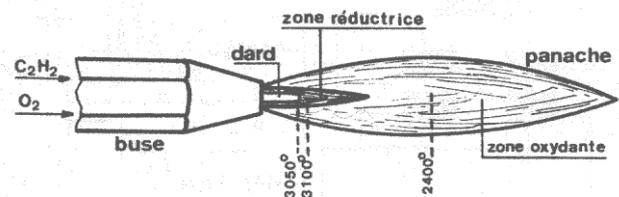


Figure 37

Cette appellation regroupe un nombre assez important de mélanges gazeux permettant de réaliser des assemblages généralement hétérogènes. Ils se caractérisent tous par l'absence d'une zone réductrice. L'énergie nécessaire à la fusion locale des pièces à assembler est fournie par une flamme obtenue à partir de deux gaz : un combustible (souvent l'acétylène) mélangé à un comburant (l'oxygène).

Par ce procédé de soudage, il est possible de réaliser des soudures autogènes (matériau à souder et métal d'apport de même nature) ou hétérogènes (brasure : le métal d'apport est différent des matériaux à lier).

Nous n'aborderons pas les autres procédés.

## 5.3 – Assemblage par collage

Le collage consiste à lier deux pièces, de même nature ou de natures différentes, par l'apport de matière adhésive (colle) dans un contact surfacique.

Les techniques de collage se développent dans un grand nombre de secteurs industriels notamment dans les industries mécaniques (freinage d'organes filetés), dans le secteur de la menuiserie,...

Les colles sont à base de matériaux synthétiques comme par exemple, les résines acryliques et les résines époxydes.

Les étapes pour le collage de deux pièces sont :

- préparation des surfaces de contact (propreté, rugosité) ;
- préparation de la colle ;
- maintien, sous pression, du contact des deux surfaces à lier, suivant une température et un temps indiqués par le fabricant.

Ce procédé permet de réduire le prix de revient des assemblages par la réduction des usinages et la suppression des éléments permettant d'assurer la liaison complète. Par exemple, le montage d'un roulement sur son arbre, qui nécessite l'usinage d'une rainure et la mise en place d'un écrou à encoches et d'une rondelle frein, peut avantageusement être remplacé par un collage (figure 38). Cependant les joints résistent mal aux élévations de température et à l'humidité mais également aux efforts de traction, d'arrachement (clivage) et de flexion (pelage) (figure 39).

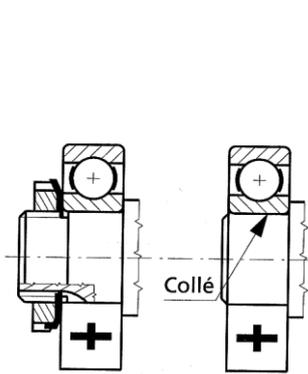


Figure 38

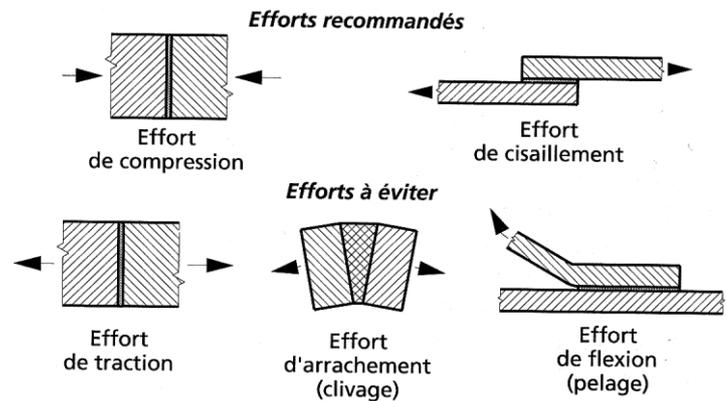


Figure 39