

## Introduction

Procédés d'usinage par enlèvement de matière c'est tous les techniques qui nous permettent d'obtenir une pièce finale en enlevant de la matière sur une pièce brute.

Dans ce chapitre on s'intéresse aux trois types d'usinage à savoir le perçage, le fraisage et le tournage.

### 2.1. Le perçage

Le perçage est un usinage consistant à faire un trou dans une pièce. Ce trou peut traverser la pièce de part en part ou bien ne pas déboucher. On parle alors de trou borgne.

Ce trou peut être effectué par un foret sur une perceuse, une mèche sur un vilebrequin, la découpe entre un poinçon et une matrice, laser, électro-érosion, ultrasons, etc.

Ce trou peut servir à faire passer une pièce (un arbre, un tube), un fluide, ou peut encore être taraudé pour recevoir une vis.

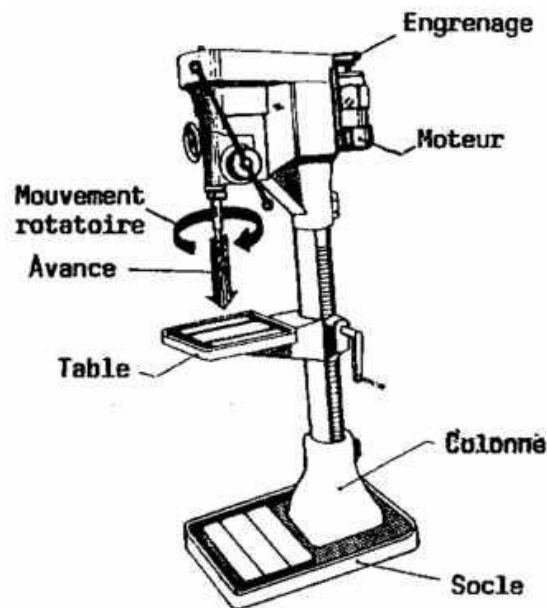


Figure 2.1. Perceuse

Il y a différentes formes de perçage :

- cylindrique ;
- fraisurée ;
- lamée ;
- tronconique ;
- étagée.

### 2.1.1. Types de perceuses mono-broche

**a) La perceuse sensitive :** c'est une perceuse qui convient pour les petits travaux (les petites pièces).elles peuvent réaliser des trous de faible diamètre (jusqu'à 15 mm). Elles peuvent être posé directement sur la table ou monter sur le socle.

- Un levier manuel permet l'avance du foret.

- Un variateur de vitesse) à courroie permet le changement de la vitesse.

**b) Perceuses à colonne :** Permet de réaliser des perçages courant, avec des diamètres importants (15 à 40 mm). Peu posséder un mouvement d'avance automatique. Elles sont munies d'une boîte de vitesse et d'une boîte des avances.

On peut aussi utiliser la machine on avance manuel, la table peut être incliné ou même tourner

**c) Perceuses Radiale :** Permet d'amener le foret au-dessus des différents trous à percer par l'intermédiaire d'un bras radial. La pièce reste fixe. Puisqu'elles sont destinées à des lourdes pièces. Elles sont munies d'un bras qui peut tourner autour de la colonne, monter et descendre sur celle-ci. Ce bras comprend aussi des glissières sur lesquelles est monté le chariot monte broche, lui permettant un déplacement sur la glissière.

### Les machines de perçage

Les outils de perçage comportent tous une machine tournante (le plus souvent un moteur, mais parfois une manivelle pour le perçage à main, voire anciennement une corde enroulée autour de l'axe pour les scies a arc), un dispositif de couplage (mandrin), et un outil d'enlèvement de matière, le tout pouvant être libre (outil portatif) ou affixé a un bâti avec des accessoires (par exemple sur une perceuse à colonne, ou sur un tour). Le plus souvent, la pièce à percer est fixé et l'outil mobile, mais il peut arriver que l'on fixe le foret et fasse tourner la pièce, pour des perçages concentriques au tour par exemple.

### 2.1.2. L'outil d'enlèvement de matière peut être :

- un foret (le plus fréquent)
- un alésoir (pour des percés de précision)
- une scie cloche (pour des trous dont le diamètre est grand devant la profondeur)

- un taraud (pour réaliser un filetage)
- une fraise (pour des profils de perce non cylindriques)
- un foret étagé (pour réaliser en une seule opération un trou à paliers)

## 2.2. Fraisage

Le **fraisage** est un procédé de fabrication où l'enlèvement de matière sous forme de copeaux résulte de la combinaison de deux mouvements : la rotation de l'outil de coupe, d'une part, et l'avancée de la pièce à usiner d'autre part. Le fraisage est habituellement réalisé par une machine-outil, **la fraiseuse** qui est particulièrement adaptée à l'usinage de pièces prismatiques et permet également, si la machine est équipée de commande numérique, de réaliser tous types de formes même complexes. L'outil classiquement utilisé est **la fraise**.

**Fraiseuse** : Machine-outil destiné à l'usinage des pièces prismatiques et faire des rainures sur des pièces prismatiques.

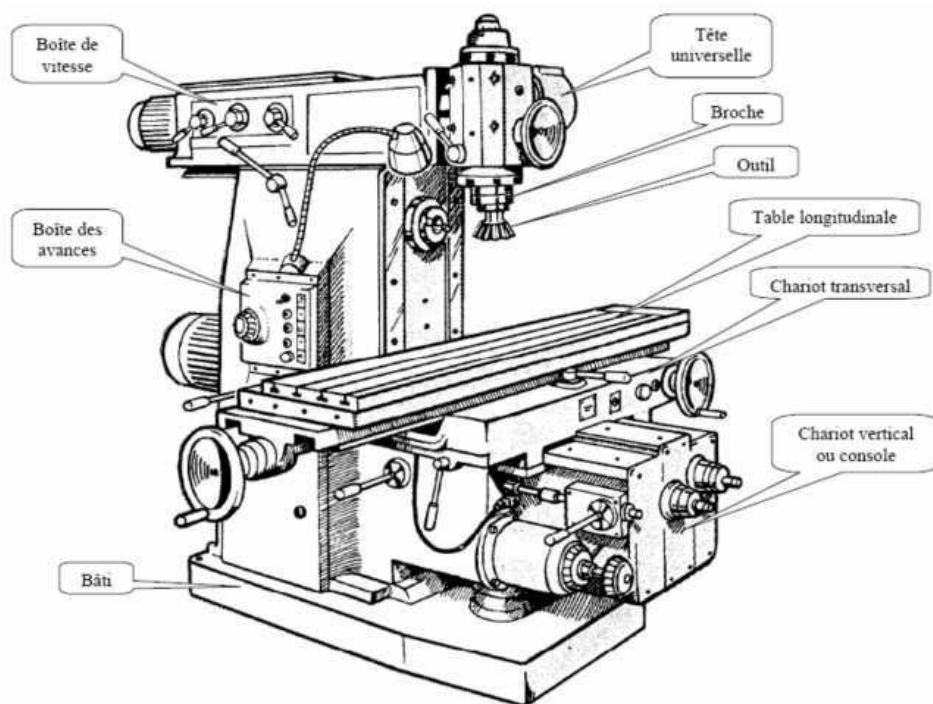


Figure 2.2. Fraiseuse

### 2.2.1. Types de Fraiseuse :

**Fraiseuse universelle :** La machine de base est une fraiseuse à axe horizontal dont la table est orientable ; les mouvements d'avance sont donnés à la table ; l'arbre porte-fraise est animé du mouvement de rotation uniquement. La machine est conçue de telle manière qu'elle peut recevoir une tête universelle et des équipements spéciaux tels que : appareils diviseurs, tables circulaires, appareil à mortaiser, etc. Elle permet en principe l'exécution de toutes les opérations courantes : son universalité est due surtout à la possibilité de la convertir en fraiseuse horizontale ou verticale et de pouvoir assurer l'entraînement des appareils diviseurs.

**Fraiseuse verticale :** Ce qui différencie le plus cette dernière de la précédente, c'est que la tête verticale possède un déplacement axial de broche ; la table n'est pas orientable ; elle n'est pas conçue pour recevoir des organes de conversion ; la tête ne peut être démontée mais elle est orientable dans un plan. Elle est surtout employée pour exécuter des surfaçages, rainures et épaulements avec des capacités de coupe bien supérieures, comparé à une machine tête universelle. En outre, le déplacement axial du fourreau de broche permet la réalisation successive d'épaulements ou des surfaçages à des niveaux étagés sur une même pièce en épargnant le mécanisme du mouvement vertical de la console qui reste bloqué pendant toute la durée des opérations.

**Fraiseuse horizontale :** Trois mouvements d'avance de la table porte-pièce ; la table n'est pas orientable. La machine est rarement commercialisée sous cette forme. Les constructeurs prévoient dans la plupart des cas la possibilité d'y adapter des accessoires - tête universelle - tête verticale. Elle est souvent cataloguée comme fraiseuse universelle.

**Fraiseuse universelle d'outillage :** Bien que dans la plupart des cas, ses capacités soient assez réduites, c'est la plus universelle de toutes. La machine de base se caractérise par l'absence de console et c'est en fait la table qui a sa surface placée verticalement ; cette table peut recevoir une table d'équerre ou une table universelle orientable dans 2 plans. La broche horizontale possède un déplacement axial du fourreau. Le mouvement transversal est obtenu par déplacement du coulisseau supérieur qui peut recevoir un grand nombre de têtes diverses : universelles, verticales, à pointer, à percer, etc. Son emploi est réservé à la réalisation de matrices, poinçons, moules, gabarits et prototypes. Elle est souvent munie de lecteurs optiques pour des déplacements très précis.

**Fraiseuse avec coulisseau :** Supérieur motorisé : le coulisseau supérieur contient tous les mécanismes d'entraînement de la broche et un moteur autonome ; la tête de fraisage à

l'extrémité du coulisseau peut être universelle ou verticale. Cette version est souvent également prévue avec broche horizontale entraînée par système classique ainsi conçue avec 2 broches ; la machine est rapidement adaptable à des travaux qui nécessitent de fréquents changements de tête à fraiser.

### 2.2.2. Modes de fraisage

#### Fraisage En Opposition

PRINCIPE On dit que le fraisage est en opposition (ou conventionnel, ou en roulant) lorsque le sens de l'avance est opposé au sens de rotation de la fraise au niveau de la coupe. Ce mode de fraisage pourrait être représenté par ce petit croquis.

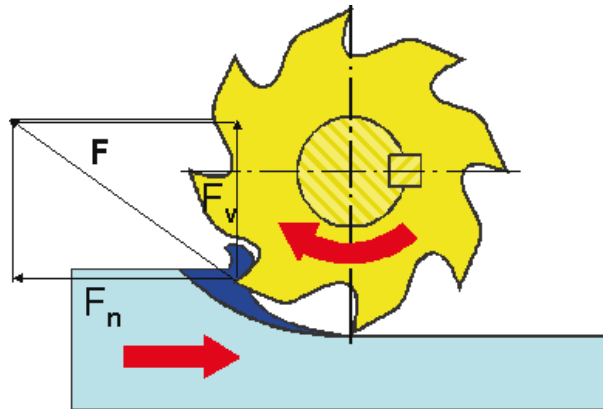


Figure 2.3. Fraisage en Opposition

**Formation Du Copeau :** Au début de la coupe, le tranchant de la dent glisse sur la surface de la pièce (1), le copeau a alors une épaisseur nulle. Ensuite, la dent pénètre lentement dans la matière (2) pour atteindre sa profondeur maximum à la fin de la coupe (3).

**Avantage :** Lors de l'écroutage, les dents de la fraise soulèvent les impuretés éventuelles.

#### Inconvénients :

1. Lorsque la fraise entre en prise avec la matière, la dent refuse de tailler à cause du copeau minimum. Il s'ensuit que l'outil frotte exagérément sur la pièce, s'use et détériore la surface usinée.
2. À la suite de cette usure, la pression devient trop importante et à chaque sortie de dent (4), l'outil plonge dans la matière (5). Il y a alors production de marques de broutage et l'état de surface n'est pas bon (6).

3. L'effort de coupe tend à soulever la pièce et la table sur laquelle elle est fixée. Ce qui demande un blocage de la pièce beaucoup plus conséquent.

### Fraisage En Avalant :

**Principe :** On dit que le fraisage se fait en avalant (ou en concordance) lorsque le sens de l'avance est identique au sens de rotation de la fraise au niveau de la coupe. Ce mode de fraisage pourrait être représenté par ce petit croquis.

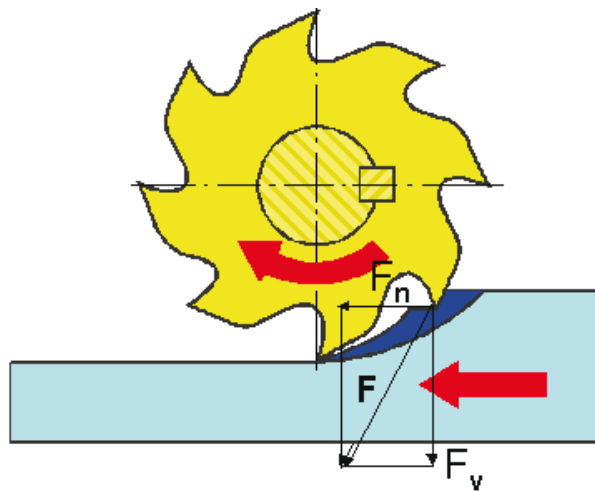


Figure 2.4. Fraisage en Avalant

**Formation Du Copeau :** Au début de la coupe, le copeau est à son épaisseur maximale (1), pour diminuer au fur et à mesure et se terminer par une valeur nulle.

**Avantage :** L'effort de coupe applique d'avantage la pièce sur la table et celle-ci sur ses glissières.

### Inconvénients :

1. Il se produit une contrainte due aux chocs sur l'arête de coupe. Ceci implique l'utilisation d'une arête de coupe plus tenace.
2. Il importe de veiller à ce que le rapport entre le nombre de dents et la profondeur de passe soit tel qu'il n'y ait jamais une seule dent en prise.
3. Ce mode de fraisage demande un dispositif de rattrapage de jeu sur la machine.

### 2.2.3. Types de fraisage

#### a) Fraisage en bout

L'axe de la fraise est placé perpendiculairement à la surface à usiner (figure 10). La fraise coupe avec son diamètre, mais aussi avec sa partie frontale. Les copeaux sont de même épaisseur, ainsi la charge de la machine est plus régulière. La capacité de coupe est supérieure à celle réalisée par le fraisage en roulant. La qualité de l'état de surface est meilleure.

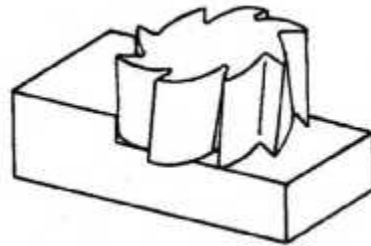


Figure 2.5. Fraisage en bout

#### b) Fraisage en roulant

L'axe de la fraise est placé parallèlement à la surface à usiner (figure 11). La fraise coupe avec son diamètre. La charge de la machine en est irrégulière, surtout lors de l'emploi de fraises à denture droite. Les à-coups provoqués par cette façon de faire donnent une surface ondulée et striée. Pour pallier ces défauts, on utilisera une fraise à denture hélicoïdale. L'amélioration enregistrée s'explique ainsi : la denture est chargée et déchargée progressivement.

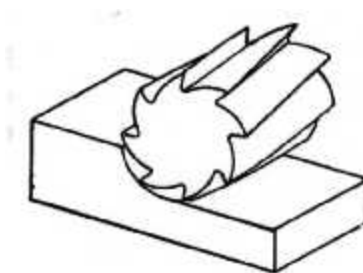


Figure 2.6. Fraisage en roulant

#### c) Fraisage combiné

La surface usinée est obtenue par l'usinage simultané de 2 surfaces dont l'une est faite en fraisage de face et l'autre en fraisage de profil (figure 12). Les dents situées en bout et sur la périphérie coupent le métal.

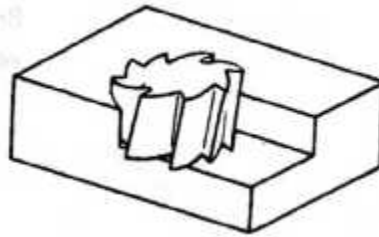


Figure 2.7. Fraisage combiné

#### 2.2.4. Différentes opération de fraisage.

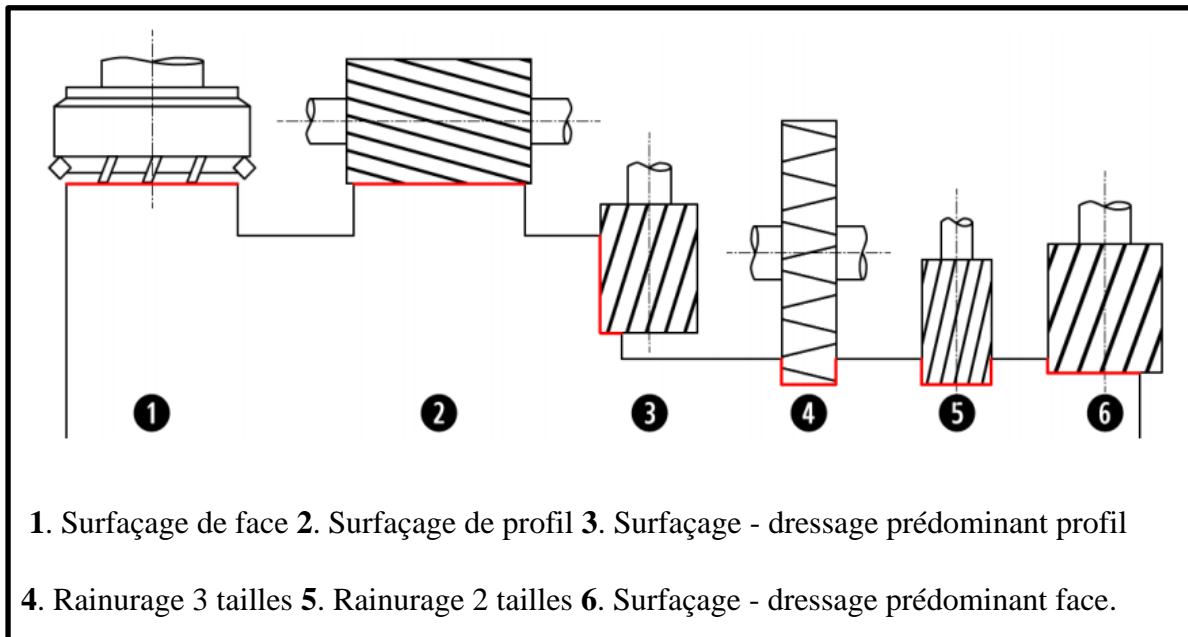


Figure 2.8. Différentes opération de fraisage.

### 2.3. Tournage

Le **tournage** est un procédé d'**usinage** par enlèvement de copeaux qui consiste à l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tour.

La pièce à usiner est fixée dans un **mandrin**, ou entre pointes. Il est également possible de fileter, percer, aléser sur un tour, même si ce n'est pas sa fonction première.

En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un **mandrin**, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'**outil** coupant. La combinaison de ces deux mouvements permet l'enlèvement de matière sous forme de **copeaux**.



Ces pièces peuvent être :

- métalliques ou en plastique (tour mécanique) ;
- en bois (tour à bois) ;
- en terre (tour vertical de potier).

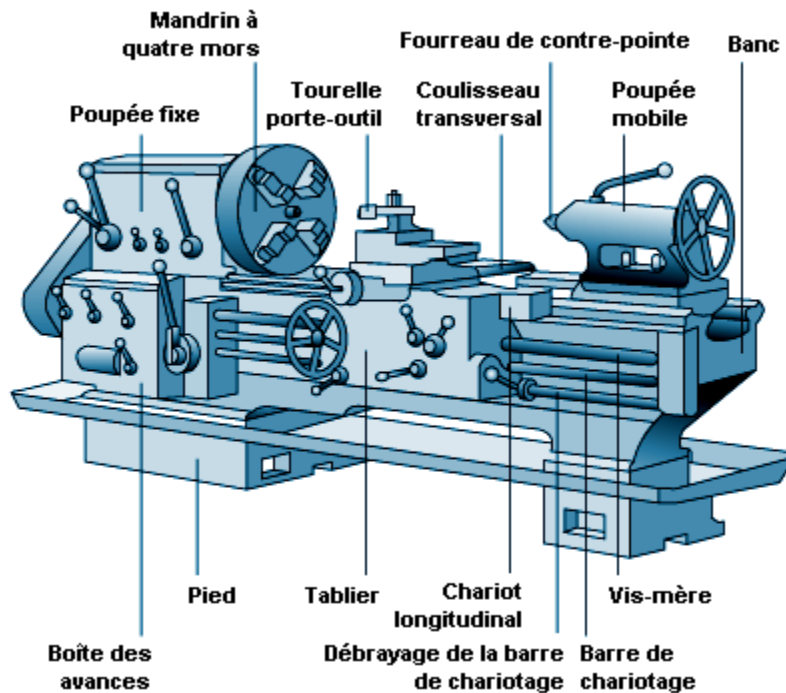


Figure.2.9. Composants d'un tour.

### 2.3.1. Types de tour

Les machines-outils les plus courantes utilisées pour le tournage sont :

#### a) Les tours parallèles à charioter et à fileter

Ces machines sont utilisées pour les travaux unitaires ou de petites et moyennes séries sur des pièces très simples. Ces tours sont peu flexibles. Seules les surfaces dont les génératrices sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe de la broche sont réalisables en travail d'enveloppe.

#### b) Les tours à copier

Ils permettent l'usinage de pièces par reproduction, à partir d'un gabarit, grâce à un système de copiage hydraulique qui pilote le déplacement du chariot transversal. C'est une machine assez flexible qui peut convenir pour des travaux de petites à grandes séries. La génératrice des surfaces de révolution peut être quelconque.

**c) Les tours semi-automatiques**

Ce sont des tours équipés d'un traînard semblable à celui d'un tour parallèle avec une tour hexagonale indexable munie de 6 postes d'outils animée d'un mouvement longitudinal contrôlé par des butées. Les outillages spécialement conçus pour la machine permettent des opérations simples et précises. La commande de ces tours peut être manuelle ou en partie automatique. La flexibilité de ces machines est très limitée. On les utilisera pour des travaux de moyenne série.

**d) Les tours automatiques**

Plusieurs outils sont montés tangentiellement à la pièce. Les mouvements sont obtenus par des cames qui donnent la vitesse d'avance et la course de chaque outil. Une came est spécifique à une opération et à une pièce. Ces tours sont entièrement automatiques. Ces machines n'ont aucune flexibilité. Elles conviennent pour les très grandes séries.

**e) Les tours automatiques multibroches**

Ce type de tour comportera par exemple huit broches. Huit outils soit un par broche travaillent en même temps et effectuent une opération différente. Ce sont les broches qui tournent d'un huitième de tour pour présenter la pièce devant l'outil suivant. Lorsque les broches ont effectuées un tour complet la pièce est terminée. Il est possible de travailler dans la barre. Sur ce type de tour les réglages sont longs et le temps de passage d'une série à l'autre immobilise la machine. Ce tour sera réservé pour les grandes et très grandes séries à des pièces de dimensions réduites à cause de l'espacement entre les broches.

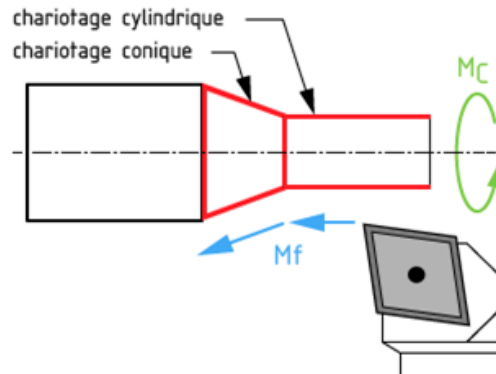
**f) Les tours à commande numérique**

Les machines à commandes numériques typiques sont en fait des tours et des fraiseuses conventionnels qui sont actionnées par des moteurs électriques et comme le nom le dit, commandés numériquement et dont la trajectoire est contrôlée par un ordinateur. On peut retrouver comme machine-outil CNC : un tour, centre d'usinage, une fraiseuse, une rectifieuse, machines à identifier les pièces, en fait n'importe quelle machine que l'on peut programmer.

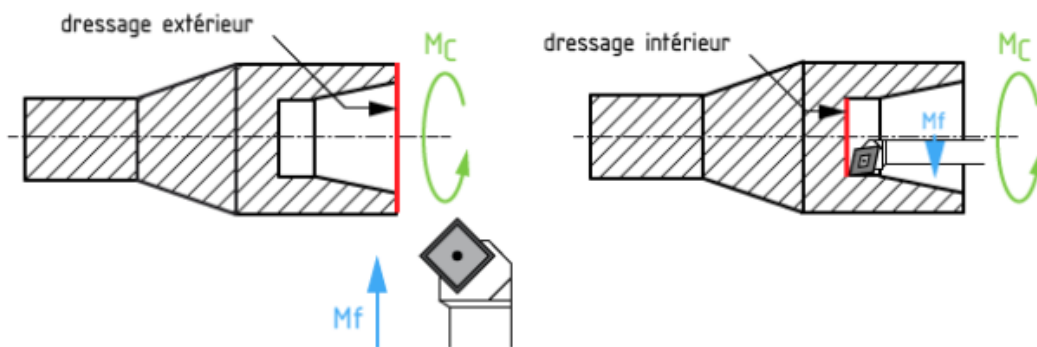
Comme en copiage la génératrice de la pièce peut être quelconque mais ici la trajectoire de l'outil est obtenue par le déplacement simultané de deux axes dont les positions successives sont données par un calculateur travaillant à partir d'un programme propre à la

### 2.3.2. Les principales opérations de tournage :

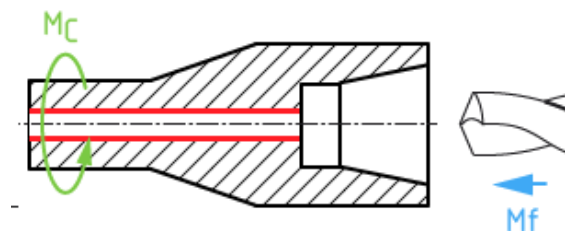
**Le chariotage :** Le chariotage est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure.



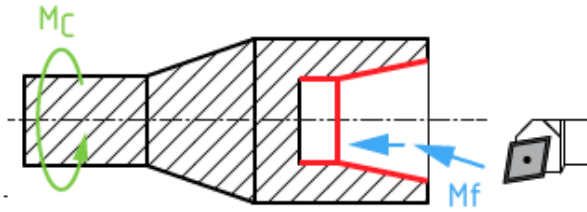
**Le dressage :** c'est l'opération qui consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche.



**Le perçage :** c'est l'opération qui consiste à usiner un trou dans la pièce (débouchant ou borgne) à l'aide d'une forêt. Souvent, l'axe du trou est confondu avec celui de la pièce.

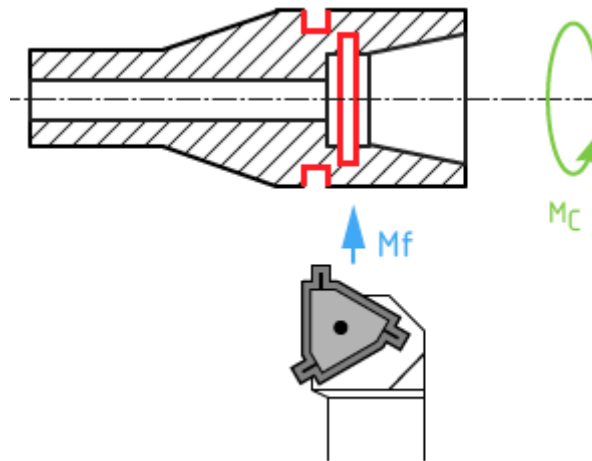


**L'alésage :** c'est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique de qualité à l'intérieur d'une pièce.

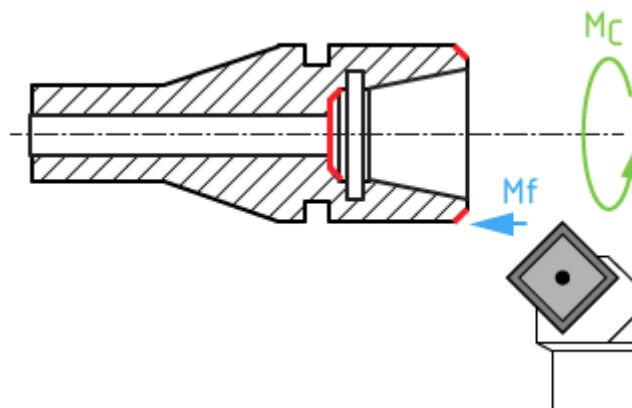


**Le rainurage :**

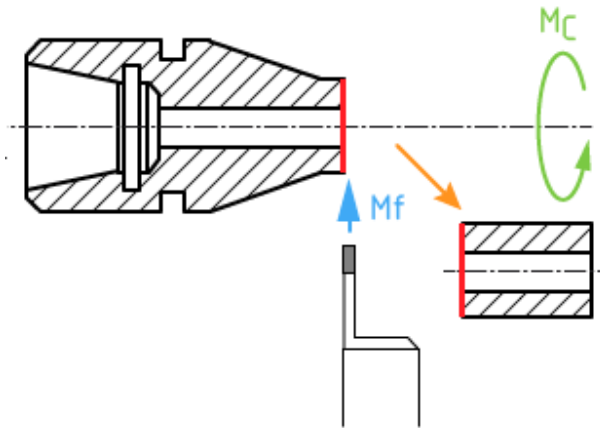
Le **rainurage** est l'opération qui consiste à usiner une rainure (association de 3 plans) intérieure ou extérieure. Celle-ci peut servir par exemple pour le logement d'un circlips ou d'un joint torique.



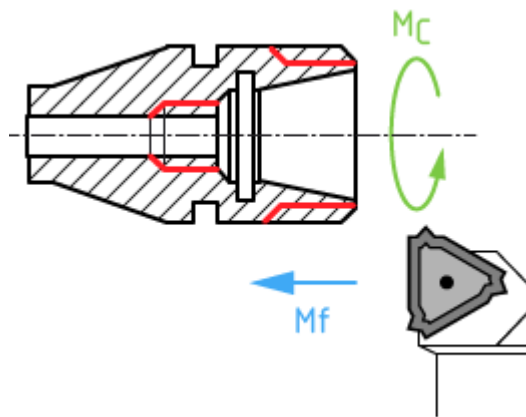
**Le chanfreinage** : c'est l'opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension, de façon à supprimer un angle vif.



**Le tronçonnage :** Le tronçonnage est l'opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin de détacher un tronçon.



**Le filetage :** Le filetage est l'usinage consistant à réaliser un filetage extérieur ou intérieur.



**L'épaulement :** L'épaulement est l'association d'un chariotage et d'un dressage.

**Le profilage :** C'est la réalisation de surfaces quelconques par l'association de surfaces cylindriques, planes, coniques, sphériques, etc...

### 2.3.3. Les types de montage :

**a) Montage en l'air :** La mise en position de la pièce est assurée sur le porte pièce par une seule extrémité. Ce type de montages est utilisé pour le cas d'un maintien en position des pièces courtes ( $L \leq 2D$ ).

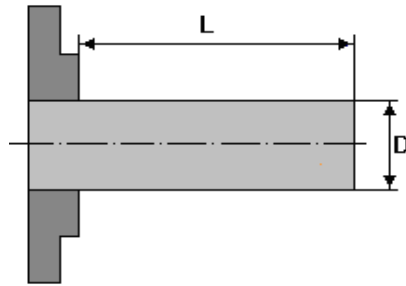


Figure 2.10. Montage en l'air.

**b) Montages mixte :** Appelé encore montage entre mandrin et pointe; il assure à la pièce déjà tenue en l'air à une extrémité, un soutien à l'aide de la contre pointe à l'autre extrémité.

Ce type de montages permet la réalisation de l'usinage des pièces relativement longues, il est établi dans le cas où  $2D < L \leq 8D$ .

L'inconvénient majeur de ce montage réside dans le fait qu'il n'autorise pas des travaux intérieurs.

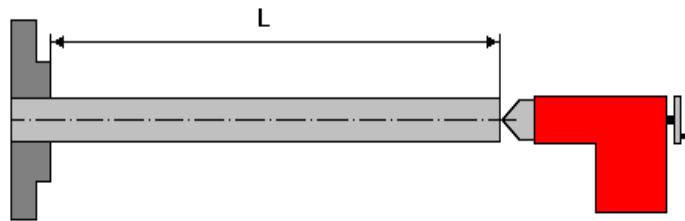


Figure 2.11. Montage mixte.

**b) Montages entre-pointe :**

- Utilisé pour l'usinage des pièces longues,
- Diminue le démontage de la pièce.

La pièce sera soutenue par deux pointes. La pointe fixe (poupée fixe) et la pointe mobile (poupée mobile).

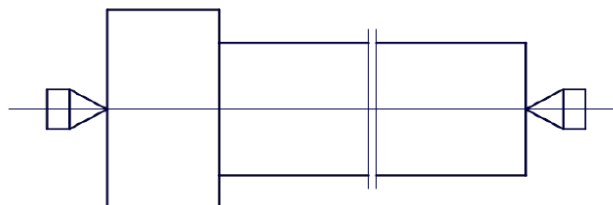


Figure 2.12. Montage entre-pointe.

## 2.4. Les matériaux des outils :

### a) *ARS (Acier Rapides Supérieurs) :*

Les outils ARS (Acier Rapides Supérieurs) sont élaborés à partir d'un acier faiblement allié subissant un traitement thermique. Il est toujours utilisé pour certains types d'outils comme les forets, ou les outils nécessitant un angle de tranchant très faible.

Ils ne permettent pas une vitesse de coupe élevée car un échauffement trop important élimine la trempe de l'outil, et crée donc un effondrement rapide de l'arête de coupe.

**Fabrication :** par coulée en coquille ou par métallurgie des poudres

**Composition :** 0,7 % de Carbone minimum

4 % de Chrome environ

Tungstène, Molybdène, Vanadium

Cobalt pour les plus durs.

**Dureté :** de 63 à 66 Hrc.

### b) *CARBURES*

Les outils carbures sont les plus utilisés actuellement. Il en existe de toutes formes pour chaque type de matériau et pour chaque type d'usinage. Ils se présentent sous la forme d'une plaquette que l'on vient fixer sur un porte outil. Le remplacement de la plaquette est donc très rapide.

Ils sont souvent revêtus d'un carbure plus dur. On obtient ainsi une plaquette dont le noyau est tenace et dont la surface extérieure est très dure.

**Fabrication :** par frittage de poudre, puis revêtement

**Composition :** Noyau en carbure de tungstène (T° de fusion 2600°)

Ou en carbure de titane (3100°), ou tantale (3780°) ou mobium (3500°)

Liant : cobalt : le plus courant ou nickel.

Revêtement en oxyde d'aluminium (céramique appelée corindon : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

### c) *CERMETS*

Ce nom vient de céramique-métal car il représente les carbures ayant des particules de Titane, de carbonitride de Titane ou de nitrure de Titane.

Ces outils doivent être alliés à du carbure de Molybdène pour augmenter leur ténacité. Ils sont utilisés pour des grandes vitesses de coupe associées à de faibles avances, donc pour de la finition.

Le matériau étant fragile, il ne faut pas d'interruption de coupe (plan de joint...).

### d) *CERAMIQUES*

Ce sont, pour les outils de coupe, les oxydes et les nitrures : oxyde d'aluminium et nitrure de silicium.

Les céramiques ont une grande dureté (donc une faible ténacité) avec une grande stabilité à haute température et aucune réaction avec la matière usinée.

Les céramiques permettent un grand débit de matière, mais nécessitent une grande stabilité de la machine, un strict respect des conditions de coupe et une méthode d'usinage adaptée (approche de l'outil).

#### e) NITRURE DE BORE CUBIQUE (CBN)

Le CBN offre une très grande dureté, c'est le matériau le plus dur après le diamant. Il comporte l'avantage par rapport au diamant de ne pas s'oxyder à haute température. Il est aussi utilisé pour faire des meules de rectification, pour usiner les pièces dures...

Son utilisation requiert :

- Une machine stable.
- Une grande rigidité de la pièce et de porte pièce.
- Un arrosage.

#### f) DIAMANT

L'utilisation du diamant est fortement répandue comme constituant des meules, ou des grains de réaffûtage des meules. Il a un faible coefficient de frottement ce qui limite l'apparition d'arête rapportée (donc peut d'encrassement).

Par contre, son énorme inconvénient réside dans sa non-stabilité à haute température. Un diamant soumis à une température de plus de 650 ° se transforme en un vulgaire morceau de graphite. On ne peut donc pas l'utiliser pour les matériaux ferreux.

Par contre, il convient aux matériaux non ferreux s'usinant à basse température : alliage d'aluminium, de cuivre, de magnésium, résines thermodurcissables.

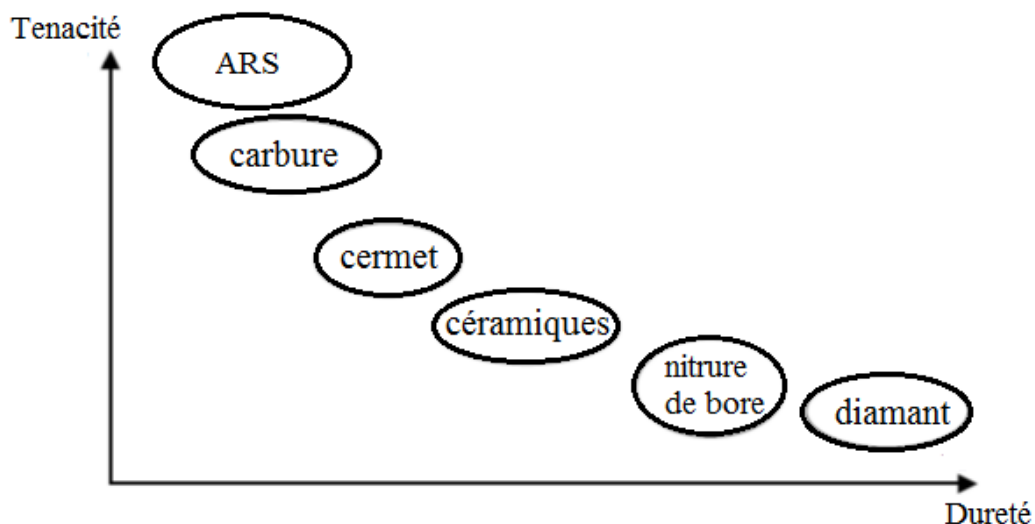


Figure 2.13. Différents matériaux en fonction de la dureté et de la ténacité.