



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 - GUELMA  
FACULTE DES SCIENCES & DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

# FABRICATION MECANIQUE

POLYCOPIE DE COURS



Réalisé par : Pr DJAMAA Mohamed Cherif

Proposé en 2020

## Sommaire :

Objectifs de la matière .....	2
Compétences visées .....	2
Savoir-faire .....	2
Introduction générale .....	3
Définition de l'usinage .....	4
Intérêt de la fabrication mécanique par l'usinage .....	4
Chapitre I : Perçage et Alésage .....	6
1.1. Description générale du perçage .....	6
1.2. Etude des outils de perçage .....	6
1.3. Géométrie et conception de l'outil .....	6
1.4. Travaux courants de perçage .....	7
1.5. Perçage des trous particuliers .....	7
1.6. Choix des conditions de coupe de perçage .....	7
1.7. Description générale de l'opération d'alésage .....	11
1.8. Outils d'alésage .....	11
Chapitre II : Tournage .....	15
2.1. Définition du procédé .....	15
2.2. Mouvements de tournage .....	15
2.3. Outils de tournage .....	15
2.4. Géométrie et angles caractéristiques .....	16
2.5. Matériaux constituant la partie active .....	16
2.6. Régimes de coupe .....	17
2.7. Machines de tournage .....	17
2.8. Principaux travaux de tournage .....	18
Chapitre III : Fraisage .....	22
3.1. Définition du procédé .....	22
3.2. Mouvements de fraisage .....	22
3.3. Outils de fraisage .....	22
3.4. Matériaux constituant la partie active .....	23
3.5. Géométrie et angles caractéristiques d'une fraise .....	23
3.6. Régimes de coupe .....	23
3.7. Machines de fraisage .....	24
3.8. Principaux travaux de fraisage .....	26

---

Chapitre IV : Rabotage, mortaisage et brochage .....	32
4.1. Définition du rabotage et du mortaisage .....	32
4.2. Outils de rabotage .....	32
4.3. Travaux de rabotage .....	32
4.4. Modes de brochage .....	32
4.5. Machines de brochage .....	33
Chapitre V : Filetage et Taraudage .....	38
5.1. Définition du procédé de filetage .....	38
5.2. Procédés de filetage .....	38
5.3. Définition du procédé de taraudage .....	41
Chapitre VI : Rectification, rodage et super finition .....	45
6.1. La rectification .....	45
6.2. Etude de l'outil « Meule » .....	45
6.3. Procédés de rectification .....	46
6.4. Le rodage .....	50
6.5. La super finition .....	51
6.6. Le galetage .....	51
Références bibliographiques .....	59

**Objectifs de la matière :**

La Fabrication Mécanique a pour objectif de donner à l'étudiant les connaissances nécessaires afin de maîtriser les techniques de fabrication des pièces mécaniques par l'application des différents procédés d'usinage. Par ailleurs, l'étudiant est préparé à se familiariser avec certain type de machines-outils conventionnelles utilisées dans ce domaine telles que les perceuses, les aléseuses, les tours, les raboteuses, les fraiseuses, les rectifieuses, etc.

**Compétences visées :**

- Connaître les procédés de fabrication mécanique utilisés pour l'obtention des produits ;
- Proposer les méthodes de fabrication de n'importe quelle pièce mécanique ;
- Définir les moyens et les conditions nécessaires à la production ;
- Augmenter la productivité pour répondre aux exigences des clients ;
- Optimiser la ligne de production d'un professionnel en production mécanique ;
- Détecter les failles qui nuisent la productivité ;
- Prévoir et anticiper les adaptations pour faciliter l'intégration des nouvelles technologies.

**Savoir-faire :**

- Maîtriser le choix des produits bruts et les techniques de leurs mise en œuvre ;
- Maîtriser les techniques de fabrication mécanique par enlèvement de la matière ;
- Identification des montages des outils et des pièces à partir des documents de fabrication ;
- Expliquer les phénomènes physiques liés au processus d'usinage.

## Introduction générale

Pour la fabrication d'une pièce, deux solutions se présentent :

- Mise en forme sans enlèvement de la matière : C'est le domaine de production des pièces par formage à chaud et à froid, par fonderie, par frittage, etc. Ces procédés ont pour objet la production des ébauches qui doivent être, en général, parachevées par usinage.
- Mise en forme par enlèvement de la matière : C'est le domaine de l'usinage dont les moyens sont sans cesse perfectionnés pour diminuer le coût de fabrication et améliorer la qualité des pièces réalisées. L'usinage se présente plus comme complément des procédés cités auparavant que compétitif. Cette technique, d'origine très ancienne, a connu une grande expansion surtout avec l'arrivée de nouvelles machines-outils très performantes. Malgré l'apparition des techniques récentes comme les usinages non conventionnels (l'électrochimie, l'électroérosion, la coupe par laser, par faisceau d'électrons, etc.) ou techniques anciennes qui progressent (forge et fonderie de précision), l'usinage présente l'intérêt d'être plus facile à mettre en œuvre, plus productif et même moins coûteux dans la plus part des cas. L'usinage se pratique sur des matériaux solides tels que les métaux et les alliages, le bois, et bien d'autres matériaux non métalliques.

La figure ci-dessous montre les procédés couramment utilisés pour la mise en forme des pièces.

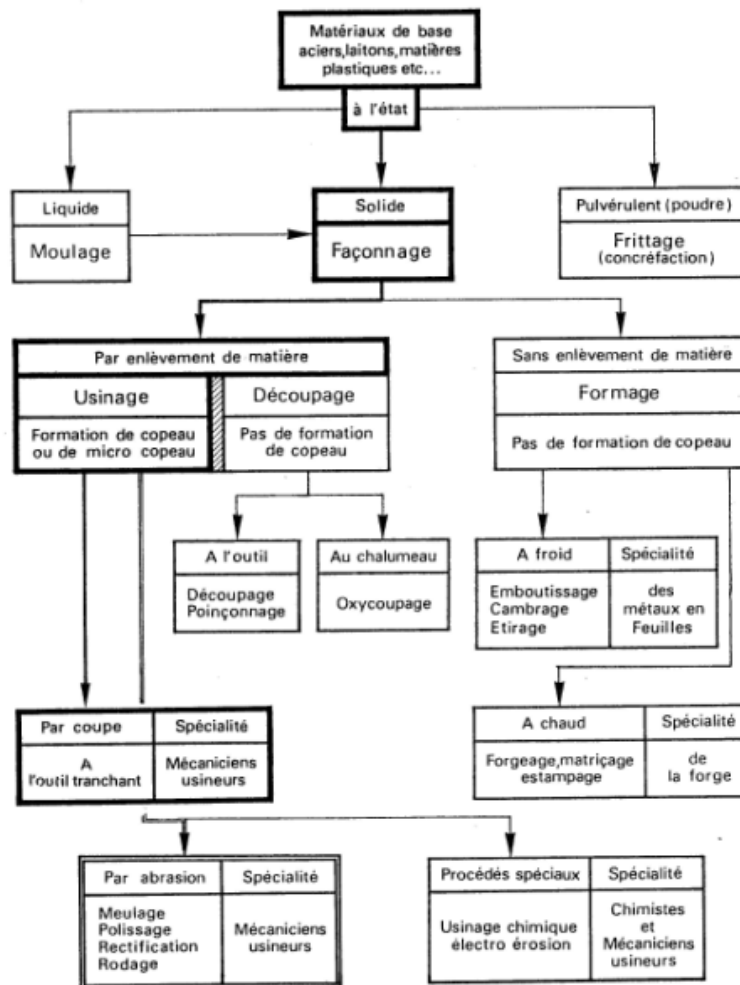


Fig. 1. Procédés de mise en forme des pièces

### Définition de l'usinage :

L'usinage a pour objet d'obtenir, à partir des ébauches, des pièces de forme déterminée avec une précision géométrique nettement exprimée et un état de surface bien spécifié. Le choix rationnel entre les différents procédés d'usinage a, donc, une grande importance. La figure ci-dessous montre le rôle de l'usinage comme étant la transformation de la forme d'un matériau de l'état brut à un état final.

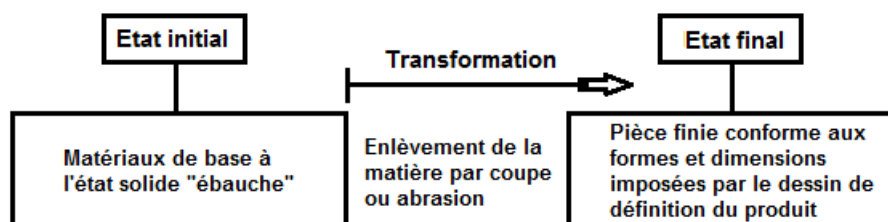


Fig. 2. Transformation de la forme des pièces par usinage

La figure ci-après montre les éléments nécessaires pour qu'un processus d'usinage soit réalisable. Ils forment un circuit fermé de façon que l'absence d'un élément rende l'usinage impossible. Se sont comme suit :

- Une pièce à usiner ;
- Un outil de coupe ;
- Un appareillage destiné à supporter la pièce (porte-pièce) ;
- Un appareillage destiné à supporter l'outil (porte-outil) ;
- Une machine qui assure les mouvements nécessaires à l'usinage.

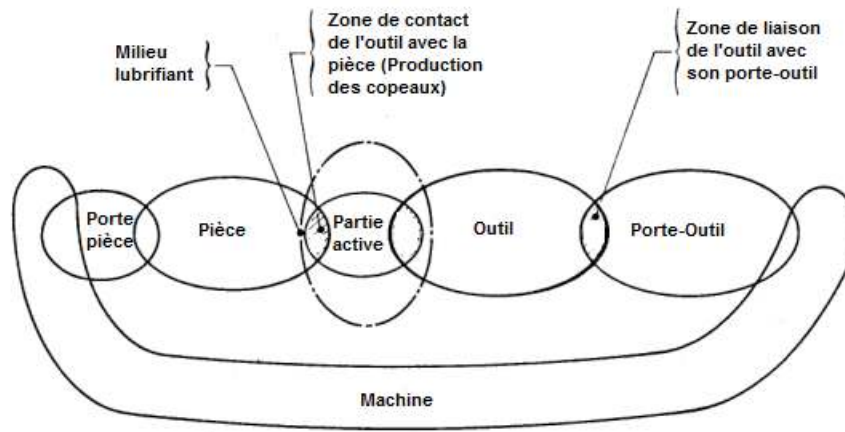


Fig. 3. Principe du processus d'usinage

### Intérêt de la fabrication mécanique par l'usinage :

La question qui se pose à chaque fois qu'on veut concevoir de nouveaux produits est la suivante : Comment transformer des matières premières en produits finis et à quel prix ?

Pour garantir des produits de qualité, les industriels investissent des sommes colossales dans les recherches et développements pour définir les alliages et les techniques de fabrication les plus rentables. Dans une industrie de process, la première étape consiste à étudier le processus à mettre en place et à définir les méthodes de fabrication les plus appropriées. Cette étape est incontournable avant la production. En même temps, il faudrait également déterminer les matériels nécessaires, les machines à acquérir, les outillages, etc.

Une entreprise doit disposer d'un plan de production pour optimiser la productivité afin d'éviter les ruptures de stock.

Pour quel objectif ? L'objectif est de garantir la disponibilité au bon moment et au bon endroit : ressources humaines, matières premières et équipements.

Quels sont les avantages d'avoir une bonne planification ?

Définir dès le départ les techniques de fabrication par l'entreprise permet de :

- Réduire considérablement le besoin en main d'œuvre : les périodes d'inactivité des employés soient limitées ;
- Gagner du temps et de l'argent : en limitant les pièces rebutées (non conformes) ;
- Optimiser l'utilisation du matériel : les machines sont employées de façon optimale pour réduire les déchets, les pertes de temps inutiles et la consommation énergétique ;
- Réduire la quantité de stock : la gestion de processus de fabrication permet de maintenir un niveau de stock fiable pour limiter les besoins en espace et éviter les retards de livraison.

## Chapitre I : Perçage et Alésage

### 1.1. Description générale du perçage :

Le perçage ou le forage est une très ancienne technique. Elle représente environ 15% des travaux industriels par usinage à l'outil coupant. L'opération de perçage consiste à réaliser des surfaces cylindriques intérieures en pleine matière avec des outils « forêts » sur des machines appelées « perceuses ».

Pour que l'opération de perçage soit correctement réalisée, il faut que le système de perçage « Machine-Outil - Dispositif - Outil - Pièce » rempli les conditions suivantes :

- Une bonne coaxialité de l'outil par rapport à la broche de la machine ;
- Une liaison rigide entre l'outil et la broche par cône de centrage et tenon d'entraînement pour les forêts de gros diamètres (Fig. 1.1.a) et par mondain à serrage concentrique pour les forêts de petits diamètres (Fig. 1.1.b) ;
- Une fixation rigide de la pièce sur la table de la machine par un montage de perçage.

Pour couper la matière de la pièce, soit le forêt est animé d'un mouvement de coupe autour de son axe  $xx'$  ( $M_{c1}$ ) et d'un mouvement d'avance le long de cet axe ( $M_{f1}$ ) si on travaille sur une perceuse, soit la pièce est animée d'un mouvement de coupe autour de son axe  $xx'$  ( $M_{c2}$ ) et d'un mouvement d'avance le long de cet axe ( $M_{f2}$ ) si on travaille sur un tour. La conjugaison de ces deux mouvements génère un usinage du trou selon un mouvement hélicoïdal (Fig. 1.2).

### 1.2. Etude des outils de perçage :

En fonction des formes et des dimensions des trous à réaliser, on peut citer les types suivants :

- Forêts à centrer normal, protégé, protégé et tronqué, etc. Destinés à réaliser des trous de centre. (Fig. 1.3.a) ;
- Forêts à queue cylindrique, série normale et série courte. Destinés à réaliser des trous de petits diamètres et de différentes longueurs. (Fig. 1.3.b) ;
- Forêts à queue conique. Destinés à réaliser des trous de gros diamètres et de différentes longueurs. (Fig. 1.1.a) ;
- Forêts à trous d'huile pour réaliser des trous profonds afin d'assurer une bonne lubrification de la zone de coupe. (Fig. 1.3.c).
- Forêts à dégagement central des copeaux. Utilisés principalement pour dégager les copeaux fragmentés.

### 1.3. Géométrie et conception de l'outil :

Un outil est composé de trois parties : la queue, la partie de guidage et la partie active.

- Si l'outil est en acier rapide (Fig. 1.4), la partie de guidage est constituée par deux listels et deux goujures pour le dégagement des copeaux, alors que la partie active est composée de deux arrêtes tranchantes et d'une arrête transversale (une âme). Les angles caractéristiques sont choisis en fonction de la matière à usiner. Le diamètre du forêt, mesuré sur les listels, est calibré (h8) ;
- Si la partie active du forêt est en carbure métallique, une plaquette de géométrie déterminée est brasée ou fixée sur la pointe de l'outil (Fig. 1.5).



#### 1.4. Travaux courants de perçage :

En raison de la forme du forêt, les surfaces résultantes sont cylindriques ou coniques (Fig.1.6). Les trous percés peuvent être borgnes ou débouchant.

- Trou débouchant ①
- Trou borgne ②
- Trou borgne à fond plat ③
- Trou alésé (H8) ④
- Trou taraudé ⑤
- Trou avec lamage cylindrique ⑥
- Trou avec lamage conique ⑦
- Trou avec lamage cylindrique profond ⑧

#### 1.5. Perçage des trous particuliers :

##### A. Perçage d'un trou à fond plat :

Pour réaliser un trou à fond plat (Fig.1.7), on procède de la manière suivante :

- Perçage à une profondeur ( $h_1 = h - d/2$ )
- Fraisage avec une fraise 2 tailles de la profondeur ( $h - h_1$ )

##### B. Perçage d'un trou profond :

A partir d'une profondeur ( $h \geq 4\phi$ ), les problèmes d'exécution des trous deviennent de plus en plus difficiles à résoudre au fur et à mesure que la profondeur augmente. On peut utiliser des forêts de série longue mais le problème de l'échauffement persiste toujours. Pour remédier à ce problème, il est préférable d'utiliser des forêts à trous d'huile qui facilitent la lubrification de la pointe de l'outil sous l'effet du liquide d'arrosage en dégageant à la fois les copeaux.

#### 1.6. Choix des conditions de coupe de perçage :

Les valeurs qui figurent dans les tableaux de perçage ne sont qu'indicatives et ne peuvent être considérées comme valeurs optimales, applicables systématiquement. Malgré cette réserve, les tableaux offrent une aide efficace dans la résolution des problèmes de perçage.

Les vitesses de coupe indiquées sont des vitesses moyennes. Il y a lieu de choisir la valeur immédiatement supérieure si on veut réduire le temps d'opération et inférieure si on veut réduire l'usure.

En se référant à la matière à travailler et la profondeur de perçage, il est possible déterminer successivement :

- a) le matériau du forêt à utiliser ;
- b) les conditions d'utilisation. C'est-à-dire la vitesse de coupe, l'avance et le lubrifiant ;
- c) la référence des forets préconisés ;
- d) les caractéristiques géométriques de ces forêts (angle d'hélice, angle de pointe et forme de l'affûtage).

La lecture de la vitesse de coupe ( $V : m/min$ ) se fait à partir des tableaux. Pour un diamètre du forêt ( $d : mm$ ) connu, la fréquence de rotation ( $N$ ) est obtenue en appliquant la formule :

$$N = \frac{1000V}{\pi d} (tr/min)$$

Les avances ( $a$  :  $mm/tr$ ) sur le tableau de préconisation correspondent à une courbe qui combine le diamètre en abscisse et l'avance en ordonné. Le tableau ci-dessous indique la valeur de l'avance en fonction de la courbe et du diamètre.

Courbe	Diamètre du foret en mm							
	2,5	4	6,3	10	16	25	40	63
	Avance en mm/tr							
16	0,1	0,16	0,25	0,36	0,48	0,63	0,8	-
12	0,08	0,12	0,2	0,28	0,38	0,5	0,63	0,85
10	0,06	0,1	0,16	0,22	0,3	0,4	0,5	0,7
08	0,05	0,08	0,12	0,18	0,25	0,32	0,4	0,56
06	0,04	0,06	0,1	0,14	0,19	0,25	0,32	0,45
05	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15	0,2	0,25	0,36
04	0,02	0,04	0,06	0,09	0,12	0,16	0,2	0,28
03	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,12	0,16	0,22
02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,1	0,14
01	0,005	0,01	0,015	0,02	0,03	-	-	-

Le choix des conditions de coupe dépend principalement de la matière et la géométrie du forêt, du matériau de la pièce, de la profondeur du trou, de la lubrification, etc.

A titre indicatif, la vitesse de coupe et l'avance sont donnée directement sur les tableaux de préconisation.

Exemple de conditions de coupe :

Matière à Travailler	Profondeur de perçage	Conditions d'utilisation			Caractéristiques du foret		
		V moy m/min	Avance Courbe	Lubrifiant	Matière	Angle d'hélice	Angle de pointe
Aciers alliés HB<70	<5d	32	08	Emulsion	ARS	20°-40°	118°
	(5-10)d	25	06	Emulsion	ARS		
Fontes grises HB<25	<5d	20	12	A sec	ARS	20°	118°
		32	06	Air comp.	Carbure	-	
	(5-10)d	16	10	A sec	ARS	30°	
Laiton de décolletage ex. U-Z 40	<5d	63	12	A sec	ARS	10°	118°
		100	06		Carbure	-	
	(5-10)d	63	10	A sec	ARS	20°	
Thermoplastiques : PVC, Plexiglas, ...	<5d	32	12	Eau Air comp.	ARS	10°-20°	118°
	(5-10)d	32	10			30°-40°	130°

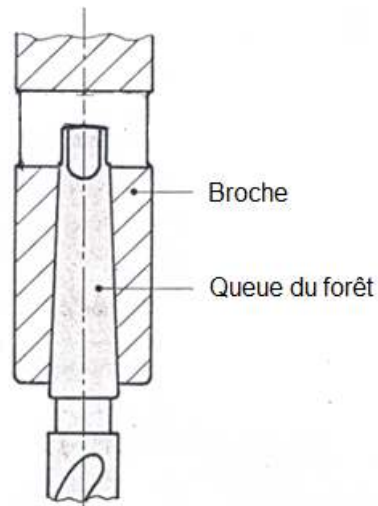


Fig.1.1.a. Fixation outil-broche par cône morse

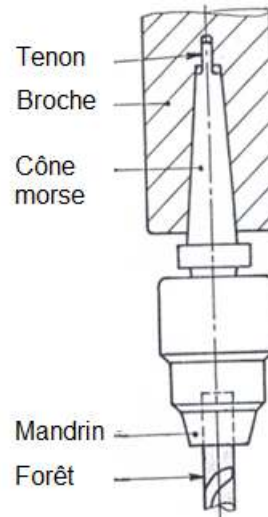


Fig.1.1.b. Fixation de l'outil par mandrin

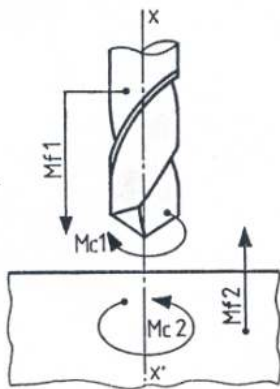


Fig.1.2. Mouvements de perçage



Fig.1.3.a. Forêt à centrer

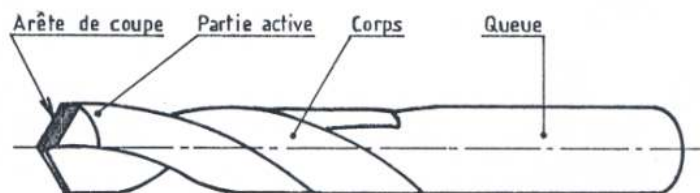


Fig.1.3.b. Forêt à queue cylindrique

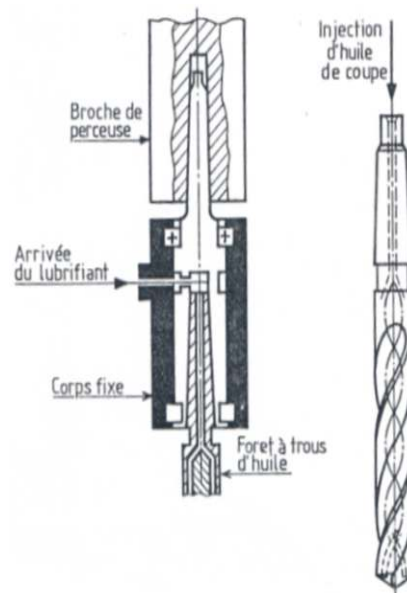


Fig.1.3.c. Forêt à trou d'huile

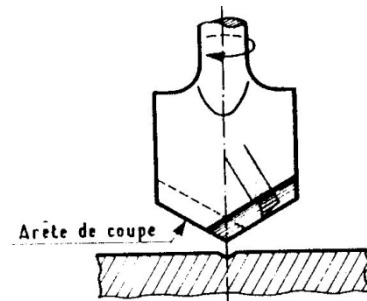
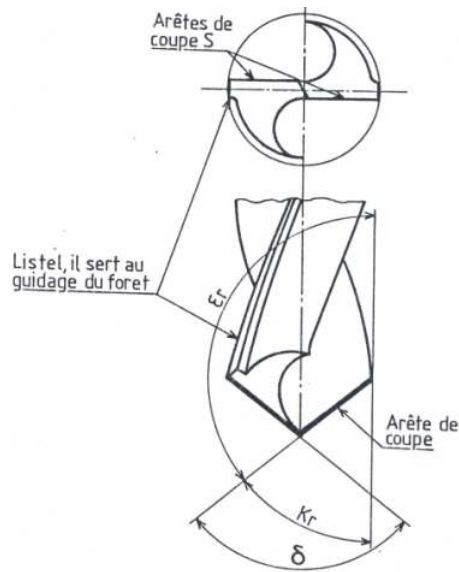


Fig.1.4. Géométrie d'un foret à queue cylindrique Fig. 1.5. Forêt dit « à longue d'aspic »

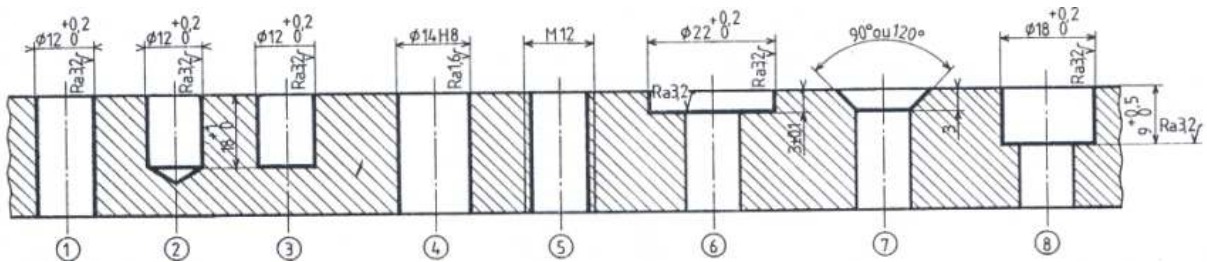


Fig.1.6. Principales formes percées

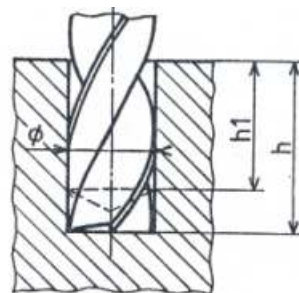


Fig.1.7. Trou à fond plat

### 1.7. Description générale de l'opération d'alésage :

Le mot « Alésage » est, souvent, employé pour désigner l'opération d'usinage des surfaces de révolution intérieures. L'objet de l'opération est d'apporter au trou déjà existant une finition qui en garantit les dimensions et l'état de surface tout en assurant une bonne cylindricité et un bon calibrage du diamètre avec un outil d'alésage. Le procédé est réalisé par rotation de la pièce ou de l'outil selon la machine utilisée (tour, perceuse, fraiseuse, aléseuse, etc.).

## 1.8. Outils d'alésage :

L'opération d'alésage peut être réalisée à l'aide de deux types d'outils : par les outils de forme tels que les forêts-aléseurs et les alésoirs et par les outils d'enveloppe tels que les barres d'alésage ou les barres porte-grains.

### A) Les outils de forme :

Ce sont des outils à dimensions fixes (non réglables) et ne supportent pas trop d'affûtage pour ne pas affecter leur calibrage. Les deux types sont les suivants :

- **Le forêt-alésageur :** (Fig. 1.8)

Il est utilisé pour agrandir des trous bruts avec forte surépaisseur qui est très souvent irrégulièrement répartie. La forme de cet outil est presque identique à celle du forêt, à la différence que sa partie de guidage comporte un nombre de 3 ou 4 goujures assurant le dégagement des copeaux et un guidage parfait dans le trou. La partie active est caractérisée par la présence de 3 ou 4 arrêtes tranchantes et l'angle de pointe varie entre  $90^\circ$  et  $140^\circ$  alors que l'angle d'hélice est de  $15^\circ$  à  $25^\circ$ .

- **Les alésoirs :**

En fonction du travail à réaliser (ébauche ou finition), les alésions peuvent avoir différentes formes : cylindriques ou coniques (1.9), creux et pleins (Fig. 1.10), à que cylindrique ou conique (Fig. 1.11).

Un alésage de finition est employé souvent pour réaliser un alésage débouchant. Ses arêtes tranchantes sont peu inclinées sur l'axe et les goujures droites ou hélicoïdales ont une influence négligeable sur la qualité de coupe de l'outil mais elles doivent faciliter le guidage et le bon dégagement des copeaux.

**B) Les outils d'enveloppe :** Ce sont des outils à dimension variable avec lesquels on peut obtenir des alésages à dimensions et tolérances diverses et peuvent résister à des affûtages répétés.

- **L'alésageur expansible en bout :** (Fig.1.12)

C'est un alésageur monobloc, rendu expansible sous l'action d'un élément d'expansion (vis de réglage à faible conicité) permettant un léger gonflement de la pointe. Par conséquent, une faible variation du diamètre de l'outil de 0,15 à 0,25 mm

Cet outil est très fragile puisque les lames sont disposées sur sa circonférence.

- **La tête à réglage micrométrique :** (Fig.1.13)

L'unité d'alésage micrométrique est un outil de précision, monté sur une barre en montage droit ( $90^\circ$ ) ou oblique ( $53^\circ$ ). Ce dernier montage (oblique) permet de réduire les vibrations lors de l'alésage des trous borgnes. La tête comporte une plaquette amovible qui peut être réglée à 0.001 mm près. Elle convient pour des alésages courts en réalisant des passes successives jusqu'au calibrage du diamètre. Ceci est rendu possible par déplacement micrométrique de l'outil dans le sens radial.

- **La tête universelle :** (Fig. 1.14)

Les têtes universelles permettent de réaliser, sur des pièces fixes, des opérations diverses sur alésageuses, machines à pointer ou fraiseuses.

Elles sont composées d'un corps comportant une glissière en queue d'aronde, d'un coulisseau porte-outil à réglage micrométrique. Les principales opérations réalisées sont de type : alésage, chariotage, gorgeage, dressage des faces, alésage et dressage consécutifs, etc.

▪ **La barre d'alésage et la barre porte grains :**

La barre d'alésage montée en l'air ou appuyée par son extrémité porte un ou plusieurs outils à plaquettes amovibles (Fig. 1.15) ou des grains (Fig. 1.16). Les différents outils (grains) travaillant successivement ou simultanément. Elles sont utilisées pour des opérations d'ébauche et de demi-finition. En finition, il faut placer les outils symétriquement et prévoir des sections de copeaux égales.

Si la barre est longue, le problème de déformation se pose. Alors, elle doit être supportée à l'autre extrémité par une lunette.

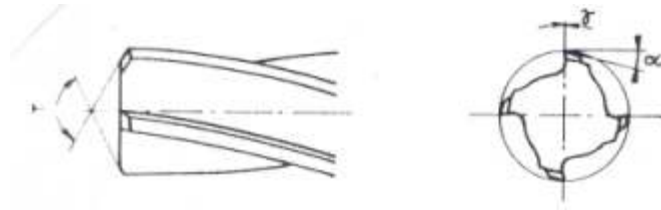


Fig. 1.8. Foret-aléueur

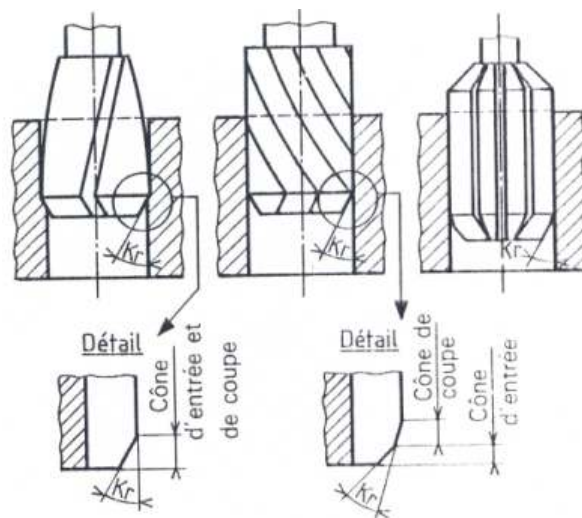


Fig. 1.9. Alésoirs à cannelures hélicoïdales et droites

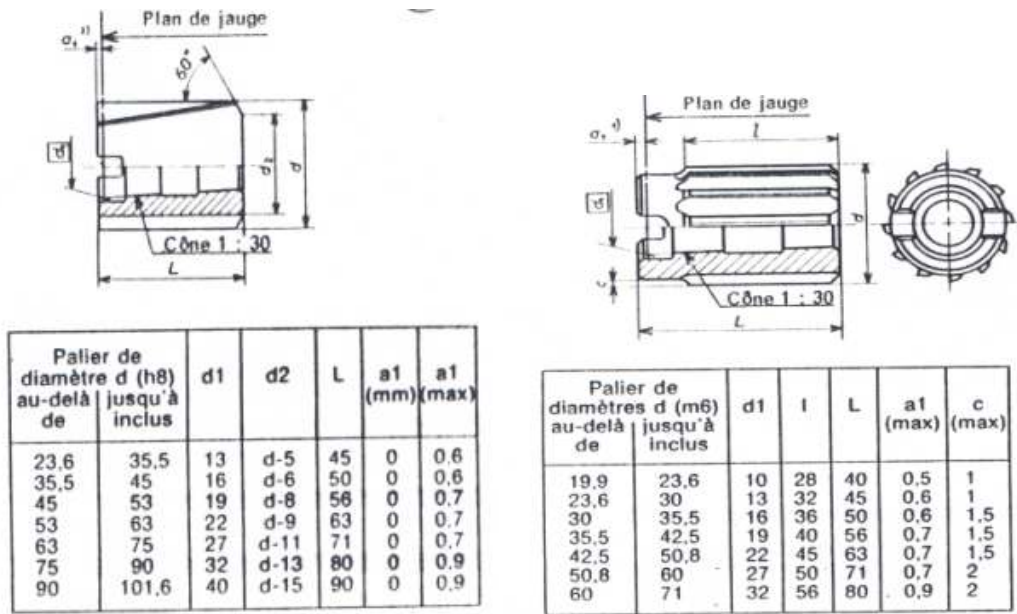


Fig. 1.10. Alésoirs creux pour ébauche (à gauche) et pour finition (à droite)

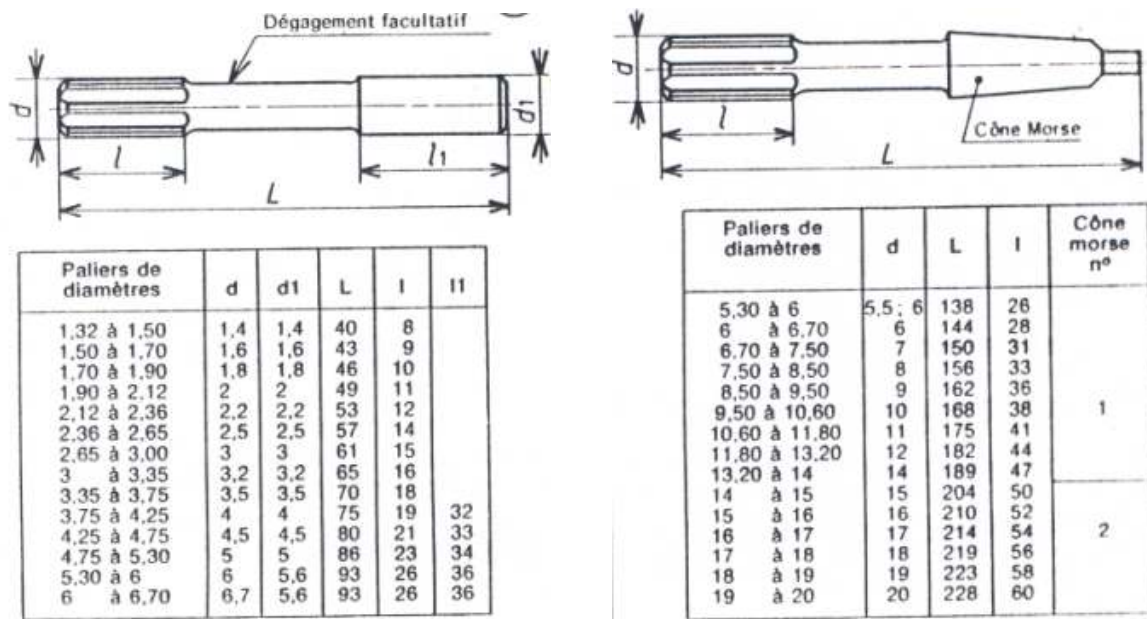


Fig. 1.11. Alésoirs à queue cylindrique (à gauche) et à queue conique (à droite)

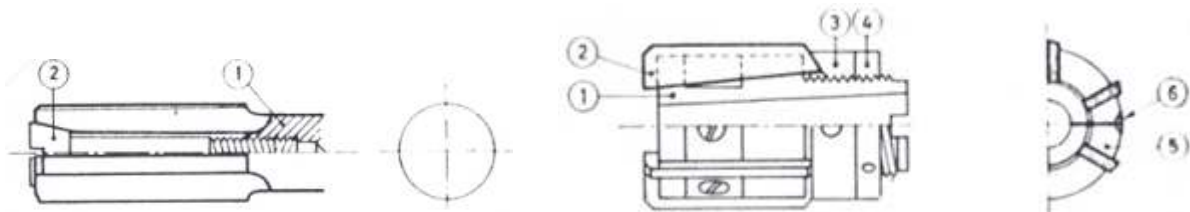


Fig. 1.12. Alésoirs réglables par expansion

A gauche : Alésoir expansible en bout pour finition : 1- corps, 2- vis d'expansion

A droite : Alésoir expansible à lames pour demi-finition et finition : 1-corps, 2-lames, 3-4 écrous de réglage, 5- coins, 6-vis de blocage

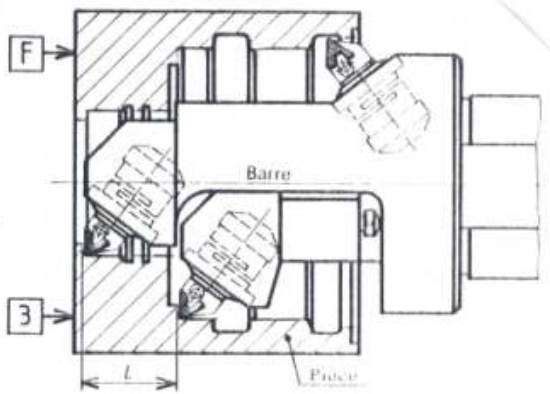


Fig. 1.13. Barre avec unité micrométrique

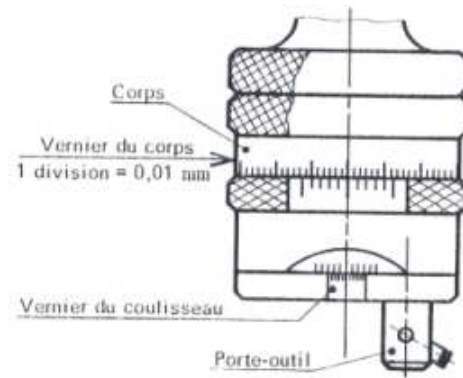


Fig. 1.14. Tête universelle à aléser

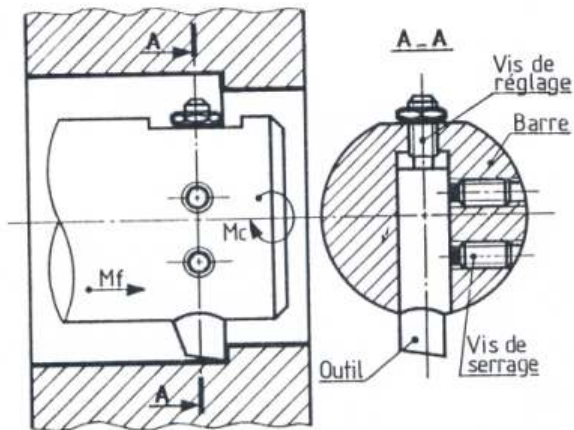


Fig. 1.13. Barre d'alésage

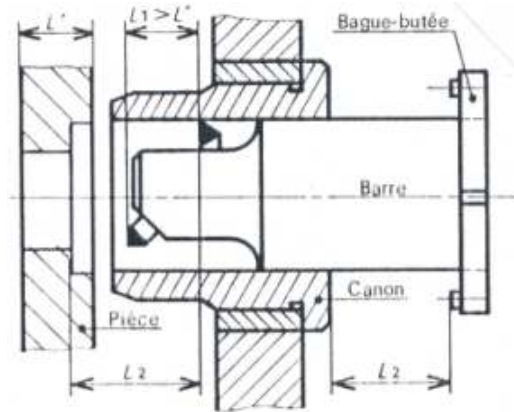


Fig. 1.14. Barre porte grains



## Chapitre II : Tournage

### 2.1. Définition du procédé :

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de la matière qui permet la mise en forme des pièces de révolution sur des machines-outils appelées « Tours ».

### 2.2. Mouvements de tournage : (Fig. 2.1)

En tournage, la combinaison de trois mouvements est nécessaire pour produire, au moyen d'un outil de coupe, les différents types de surfaces des pièces mécaniques :

- Mouvement de coupe ( $M_c$ ) : la rotation de la pièce est le mouvement de coupe. Ce dernier est, généralement, celui le plus rapide parmi les autres, il est exprimé par la vitesse de coupe.

$$V_c = \pi d_p N / 1000 \quad (m / mn)$$

Où :  $d_p$  est le diamètre de la pièce en  $mm$

$N$  est la fréquence de rotation de la pièce en  $tr/min$ .

- Mouvement d'avance ( $M_a$ ) : le déplacement lent de l'outil dans le sens longitudinal, transversal ou oblique par rapport à l'axe de la broche est appelé mouvement d'avance  $a(mm / tr)$
- Mouvement de pénétration ( $M_p$ ) : c'est le déplacement de l'outil dans une direction généralement perpendiculaire au mouvement d'avance et permet de régler la position de l'outil en profondeur avant chaque nouvelle passe  $P(mm)$ .

### 2.3. Outils de tournage :

Les outils de tournage sont des barreaux prismatiques qui se terminent par une partie active (arête vive ou arête tranchante). Cette dernière permet la rupture d'une portion de métal appelée « copeau ».

Pour que l'arête tranchante d'un outil de coupe reste vive le plus longtemps possible, la matière qui constitue la partie active doit être plus dure que la pièce à usiner. Le corps de l'outil doit résister aux contraintes de flexion et de torsion, sa résilience doit être suffisante pour supporter les vibrations brusques dues aux efforts de coupe. D'où l'idée de fabriquer un outil en deux parties : une partie active en matériau dur et une partie passive sur la quelle est rapportée la partie active par brasage ou par fixation mécanique des plaquettes (Fig. 2.2).

Pour réaliser une surface de profil déterminé, les outils de tournage (Fig. 2.3) peuvent être à corps prismatique (non rotatif), des outils de forme ou des outils rotatifs. Ces outils travaillent selon deux modes :

- Travail avec des outils d'enveloppe : Dans ce mode de travail, le mouvement d'avance et le mouvement de coupe sont combinés afin de produire une trajectoire de la pointe de l'outil correspondant au profil souhaité. Ces outils peuvent être d'extérieur ou d'intérieur.

- Travail avec des outils de forme : Dans ce mode de travail, l'arête tranchante de l'outil présente le même profil que celui de la surface à réaliser. Ces outils sont appelés « à profil constant » et peuvent être d'extérieur ou d'intérieur.

#### 2.4. Géométrie et angles caractéristiques :

La partie active d'un outil de tournage (Fig. 2.4) est composée, en général, de deux arêtes tranchantes, une principale et une auxiliaire et de trois surfaces, une d'attaque, une de dépouille principale et une de dépouille auxiliaire. L'arête tranchante principale, rectiligne ou curviligne, est formée par l'intersection de la surface d'attaque et celle de dépouille principale.

Les angles caractéristiques d'un outil de tournage sont définis dans un plan de base perpendiculaire au vecteur de la vitesse de coupe, passant par le bec de l'outil et par le plan de cisaillement, passant par l'arête tranchante principale perpendiculairement au plan de base (Fig. 2.5).

- Angle de direction principale ( $\varphi$ ) : formé par la projection de l'arête tranchante principale sur le plan de base et la direction de l'avance.
- Angle de direction auxiliaire ( $\varphi_1$ ) : formé par la projection de l'arête tranchante auxiliaire sur le plan de base et la direction de l'avance.
- Angle de sommet ( $\varepsilon$ ) : formé par l'intersection des projections de l'arête tranchante principale et auxiliaire sur le plan de base.  $\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$
- Angle de dépouille principale ( $\alpha$ ) : formé par la surface de dépouille principale et le plan de cisaillement. Il sert à réduire le frottement entre cette surface et la surface de coupe. Sa valeur varie entre  $6^\circ$  et  $12^\circ$ .
- Angle de d'attaque ( $\gamma$ ) : formé par la surface d'attaque et le plan de base. Il rend plus facile la formation du copeau. Sa valeur peut être positive, négative ou nulle et varie entre  $0^\circ$  et  $15^\circ$ .
- Angle d'affûtage ( $\beta$ ) : formé par la surface d'attaque et la surface de dépouille principale.  $\alpha + \gamma + \beta = 90^\circ$
- Angle d'obliquité de l'arête tranchante ( $\lambda$ ) : formé par l'arête tranchante principale et le plan de base. Sa valeur peut être positive, négative ou nulle.

#### 2.5. Matériaux constituant la partie active :

Les matériaux qui constituent la partie active sont de natures différentes en fonction de leurs domaines d'application. On peut trouver les aciers rapides, les carbures métalliques, les céramiques, le Nitrure de Bore et le diamant. En général, les deux premiers sont largement utilisés.

- Aciers rapides : Ils comportent généralement une quantité importante de tungstène (W), de cobalt (K) et de chrome (Cr), additionnée à l'acier comportant 0.8 à 1% de carbone. Ils sont trempés entre  $1250^\circ$  et  $1300^\circ\text{C}$  en subissant un revenu à une température de l'ordre de  $600^\circ\text{C}$ . La fabrication par métallurgie des poudres a permis une nette amélioration des performances de coupe de ces outils permettant le travail à des vitesses de coupe allant jusqu'à 30 m/min.

- **Carbures métalliques :** Ce sont les exigences des industries mécaniques qui ont contribué le plus aux progrès des métaux durs fabriqués selon la technique de frittage sous forme de plaquettes de différentes géométries et de différentes nuances P, K et M. La plaquette, en carbure, est brasée sur le corps ou rapportée mécaniquement. Les alliages frittés sont des carbures de Tungstène et du Cobalt (WC-Co) ainsi que du Tantale (Ta) ou du Titane (Ti). Ces nuances ont résolu le problème d'usinage des aciers et des métaux à copeaux longs et peuvent travailler à des vitesses de coupe allant jusqu'à 150 m/min. L'utilisation des revêtements a fait preuve d'une augmentation de la durée de vie des outils et des vitesses de coupe plus importantes.

## 2.6. Régimes de coupe :

La détermination rationnelle des conditions de coupe optimales est basée sur la connaissance des différentes limitations de production. Des régimes de coupe réduits augmentent le temps indispensable à l'exécution d'une pièce à usiner et par la suite élèvent le prix de revient de la pièce fabriquée. En outre, des régimes de coupe élevés ne sont pas toujours avantageux parce que la puissance de coupe peut dépasser la puissance de la machine d'une part et d'autre part l'outil s'use plus rapidement, ce qui conduit à l'augmentation des frais d'outillage. Pour cela, il faut choisir des régimes de coupe qui assurent à la fois un prix de revient minimal et les exigences des pièces usinées.

Le choix d'un régime de coupe dépend, en général, de la matière, de la précision dimensionnelle et de l'état de surface, de la rigidité de la machine, de la productivité, de la géométrie et de la nature de la partie active de l'outil, de la lubrification etc.

Les conditions de coupe peuvent être prises soit directement à partir des recommandations des fabricants des outils de coupe ou à la suite des calculs par la méthode analytique. Les tableaux : 2.1, 2.2 et 2.3 présentent quelques indications pour le choix de la vitesse de coupe et de l'avance.

## 2.7. Machines de tournage :

Les tours sont des machines les plus anciennes avec les perceuses, les besoins et les possibilités de l'industrie ont entraîné des perfectionnements de plus en plus rapides dans leur conception. Ils constituent une famille de machines-outils comportant un assez grand nombre de modèles, allant du tour parallèle à charioter et à fileter jusqu'aux tours automatiques à une ou plusieurs broches, en passant par les tours revolvers et les tours verticaux.

**Tour parallèle à charioter et à fileter :** C'est l'une des machines-outils les plus anciennes destinée à l'origine pour exécuter les surfaces de révolution et les filetages. Ce type est commandé par un moteur électrique incorporé au bâti assurant les mouvements de l'organe porte-pièce (broche tournante) et celui porte-outil (chariot à deux déplacements). Les vitesses et les avances sont obtenues à partir de boîtes de vitesses et d'avances ainsi que les filetages qui sont obtenus d'une manière presque automatique. Le tour parallèle convient lorsque l'usinage des pièces est traité à l'unité ou en petite série.

## 2.8. Principaux travaux de tournage :

Les travaux de tournage sont très diversifiés allant de la plus simple opération (chariotage et dressage) jusqu'aux opérations complexes telles que le tournage des cônes longs ou courts et le tournage des pièces déformables (pièces longues, creuses, disques, etc.)

- Tournage conique : Il existe deux méthodes pour réaliser un cône.
  - A. Par inclinaison de la tourelle : après avoir calculé l'angle de pente ( $\alpha$ ).
    - Orienter la tourelle pour cet angle (semelle graduée).
    - Bloquer la tourelle sur la semelle.
    - Bloquer le traînard et vérifier la trajectoire de l'outil.

Ce procédé convient pour tous les cônes courts extérieurs ou intérieurs, son inconvénient est le déplacement manuel du chariot porte-outil.

- B. Par déplacement de la contrepointe :

- Calculer le déplacement  $X$  de la contrepointe :  $X = (R - r)(L_p - E) / L$

Où :  $L_p$  longueur de la pièce,  $E$  engagement des pointes,  $L$  longueur du cône,  $r$  et  $R$  petit et grand rayon du cône respectivement.

Ce procédé convient pour l'usinage entre pointes des cônes peu précis, de grande longueur. Ses inconvénients sont la détérioration des pointes et ne permet pas l'exécution des cônes intérieurs.

- Tournage avec lunette à suivre :

Les pièces longues ( $L > 12D$ ) et les pièces minces (en forme de disque, de couronne, de tube) peuvent se déformer en cours de tournage. L'axe de la pièce doit, en permanence, coïncider avec celui de la broche du tour malgré la pesanteur et l'effet de l'effort de coupe. Les appareillages ont pour but d'éviter ces déformations ou les réduire et permettent la coupe normale sans broutage. Ces appareillages peuvent être :

- Lunette fixe : elle occupe une position fixe sur la pièce en rotation.
- Lunette à suivre : elle épouse la pièce, mais elle suit l'outil dans son mouvement d'avance longitudinale.

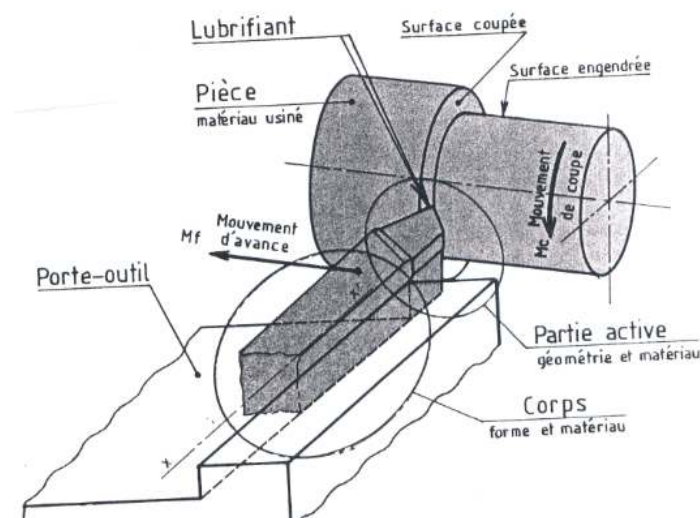
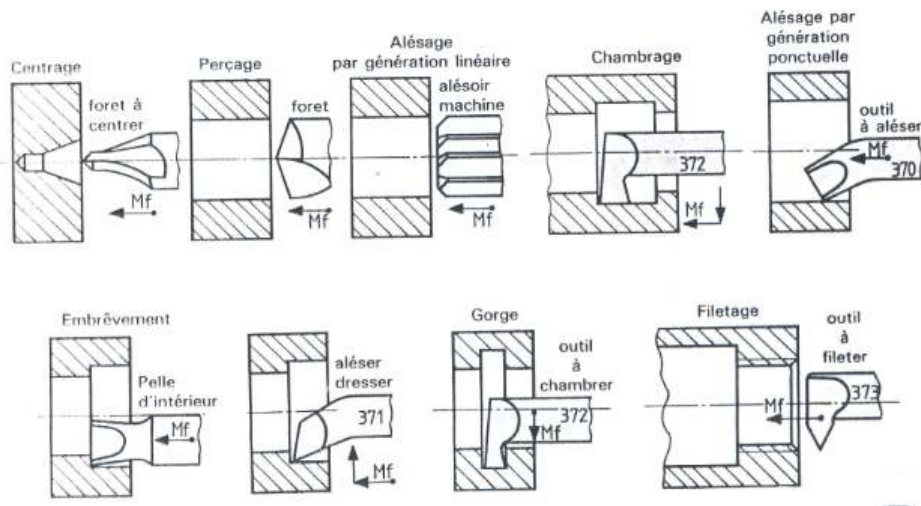


Fig. 2.1. Schéma de principe de tournage : éléments et mouvements





(C)

Fig. 2.3. Outils de tournage : A) Outils d'extérieur B) Outils de forme C) Outils d'intérieur

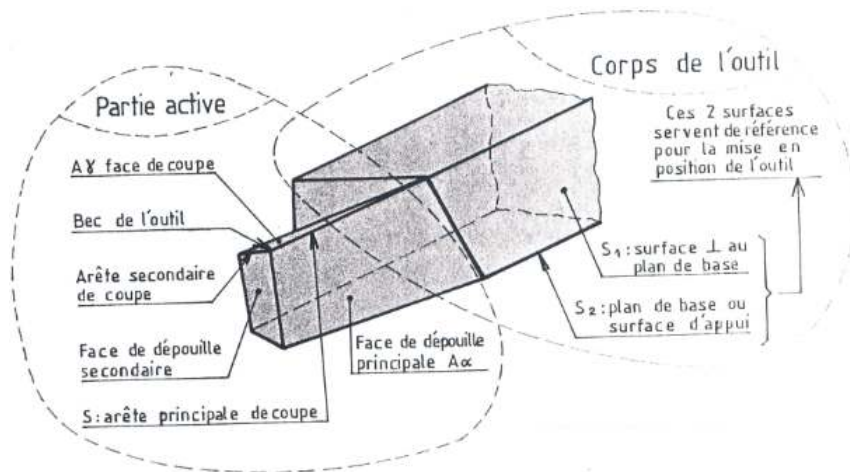


Fig. 2.4. Eléments de la partie active d'un outil à charioter

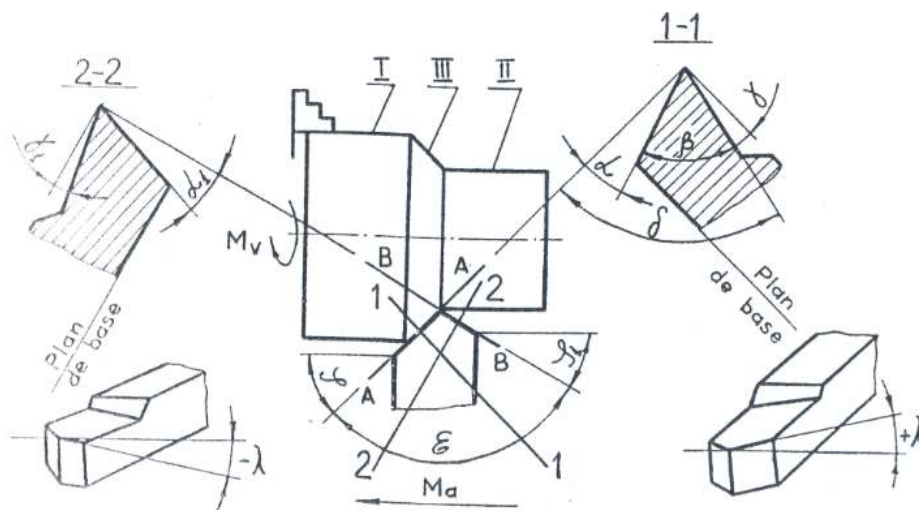


Fig. 2.5. Angles caractéristiques de la partie active d'un outil à charioter

Vitesses de coupe approximatives							Ces valeurs sont établies pour travaux de tournage, fraisage, perçage lubrifié sans tenir compte de la section du copeau. Pour les travaux de rabotage avec outil en acier rapide, prendre les 2/3 des valeurs figurant au tableau.
Matières travaillées	Métal ou alliage qui constitue l'outil						
	Acier rapide ordinaire	Acier rapide supérieur	Carbure pour grande vitesse sans choc	Carbure pour moyen. vitesse sans choc	Carbure pour ébauche avec choc	Carbure pour fonte	
Acier doux. R : 45 g/mm <sup>2</sup>	20 m/mn	25 m/mn	200 m/mn	100 m/mn	50 m/mn		
Acier mi-dur. R : 65 "	15	20	160	80	40		
Acier dur. R : 75 "	12	15	140	70	35		
Acier extra-dur. R : 90 "	8	10	110	60	30		
Acier traité. R : 110 "	4	5	80	40	20		
Fonte grise à cœur	25	30				80	
Fonte dure, croûte de fonte	4	5				20	
Bronze	30	40					
Aluminium et alliages	80	120					

Tableau 2.1. Vitesses de coupe recommandées pour différents matériaux

RELATIONS : Etat de surface/Avance/Rayon du bec							
Etat (Ra (µm))	Bec	Rayon de bec (mm)					
		0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4
0,6	Avance (mm/tour)	0,7	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1,6		0,11	0,15	0,19	0,22	0,24	0,26
3,2		0,17	0,24	0,29	0,34	0,38	0,42
6,3		0,22	0,30	0,37	0,43	0,48	0,53
8		0,27	0,38	0,47	0,54	0,60	0,66
32		0,54	0,76	0,93	1,08	1,20	1,32

Tableau 2.2. Avances de coupe recommandées pour différents rugosités

CONDITIONS DE COUPE POUR PLAQUETTES AMOVIBLES									
Matières à couper					P 01	P 10	P 20	P 30	P 40
Désignation	K (N/mm <sup>2</sup> )	Dureté H.B.	R (daN/mm <sup>2</sup> )	Avance (mm/tour)					
				0,3-0,05	0,7-0,3-0,1	1,2-0,3-0,15	2,0-0,4-0,2	3,0-0,4	
					Vitesse de coupe (m/min)				
Acier non allié	C 0,15 %	1 900	125	45	350-540	200-290-410	130-260-330	80-190-250	45-160
	C 0,35 %	2 100	150	55	290-460	170-240-350	100-210-270	65-150-200	35-125
	C 0,70 %	2 300	250	80	230-370	130-190-280	80-160-210	45-115-160	25-95
Acier allié	Recuit	2 100	150-200	50- 65	230-370	130-190-280	80-160-210	50-120-160	30-95
	Traité	2 500	200-275	65- 90	180-290	105-150-220	65-130-170	40- 95-125	25-75
	Traité	2 750	275-325	90-110	145-230	85-120-175	50-100-130	30- 75-100	20-60
	Traité	3 000	325-450	110-150	115-185	65- 95-140	40- 80-105	25- 60- 80	15-50
Acier inox recuit	Martensitique	2 300				200-280	140-190-225	100-160-200	60-115
	Austénitique	2 600					140-170	90-135-170	90-115
Acier coulé	Non-allié	1 800	< 150	< 50		160-200	80-135-160	55-115-145	35- 90
	Faiblement allié	2 100	150-250	50- 80		115-160	55- 95-115	39- 75-100	20- 60
	Fortement allié	2 400	160-200				140-200	100-135-170	70-105

Tableau 2.3. Conditions de coupe pour le tournage des aciers avec des plaquettes en carbure

## Chapitre III : Fraisage

### 3.1. Définition du procédé :

Le fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de la matière qui permet de réaliser des surfaces planes sur des pièces, généralement, prismatiques sur des machines-outils appelées « Fraiseuses ». Grâce à l'emploi des montages et appareils spéciaux tels que les diviseurs, il est possible de réaliser des usinages très particuliers. Par exemple le taillage des roues dentées, le fraisage hélicoïdal etc.

### 3.2. Mouvements de fraisage : (Fig. 3.1)

En fraisage, pour produire au moyen d'une « Fraise » différents types de surfaces sur des pièces mécaniques, la combinaison de trois mouvements est nécessaire.

- Mouvement de coupe (Mc) : la rotation de la fraise autour de son axe est le mouvement de coupe. Ce dernier est exprimé par la vitesse de coupe ( $V_c$ ).

$$V_c = \pi d_f N_f / 1000 \quad (m / mn)$$

Où :  $d_f$  est le diamètre de la fraise en mm

$N_f$  est la fréquence de rotation de la fraise en tr/min.

- Mouvement d'avance (Ma) : la translation de la table de la machine sur laquelle est fixée la pièce dans le sens longitudinal, transversal et vertical est appelé mouvement d'avance.
  - Avance par dent ( $a_z$  : mm/dent). Valeur proposée par les concepteurs des fraises.
  - Avance par minute ( $a_m$  : mm/min)  $a_m = a_t \cdot N_f = a_z \cdot z \cdot N_f$
- Mouvement de pénétration (Mp) : le déplacement de la fraise ou de la table pour régler de la position de l'outil par rapport à la pièce avant chaque nouvelle passe est appelé mouvement de pénétration. Il est exprimé en (mm).

### 3.3. Outils de fraisage : (Fig. 3.2)

Les outils de fraisage sont de nature différente que celle des outils utilisés en tournage car la fraise est munie de plusieurs dents distribuées sur un corps cylindrique, conique ou de forme et peuvent être hélicoïdales ( $20^\circ$ - $30^\circ$ ) ou droites. Par ailleurs, la fraise est un outil tournant autour d'un axe de telle sorte que les arêtes coupantes sont affectées d'un déplacement propre par rapport à la pièce en mouvement d'avance. Ce déplacement permet à chaque arête tranchante d'enlever une portion de métal appelée « copeau ».

Pour que les dents de la fraise restent toujours vives, elles ne doivent pas s'user rapidement, ainsi la matière qui les constitue doit être plus dure que la pièce à usiner. Le corps de la fraise doit résister aux contraintes de torsion dues aux efforts de coupe d'où l'intérêt de fabriquer la fraise en deux parties (Fig. 3.3) :

- Les dents en plaquettes en matériau dur.
- Le corps sur lequel sont rapportées les dents mécaniquement ou par brasage.

Pour réaliser une surface de profil déterminé que ce soit en fraisage de profil ou de face, les fraises travaillent selon deux modes (Fig. 3.4) :



- Fraisage en « concordance » ou en « avalant » : Dans ce cas, la rotation de la fraise est dans le même sens que le mouvement d'avance de la pièce. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur maximale de copeau. Ce mode de travail est une solution favorable à l'obtention d'une bonne rugosité mais les conditions de travail sont défavorables.
- Fraisage en « opposition » : Dans ce cas, la rotation de la fraise est opposée à celle du mouvement d'avance de la pièce. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur nulle de copeau et se termine par une épaisseur égale à celle du copeau minimum. Ce mode de travail permet un usinage dans des conditions favorables mais la rugosité augmente.

### 3.4. Matériaux constituant la partie active :

Les matériaux qui sont actuellement utilisés sont essentiellement les aciers rapides et les carbures métalliques.

### 3.5. Géométrie et angles caractéristiques d'une fraise : (Fig. 3.5)

La partie active d'une fraise est composée de plusieurs dents où chaque dent est comparable à un outil de tournage. Une dent est composée, en général, d'une ou plusieurs arêtes de coupe, d'une face d'attaque, d'une face de dépouille et le dos.

L'arête tranchante principale, rectiligne ou curviligne, est formée par l'intersection de la face d'attaque et celle de dépouille.

Les angles caractéristiques d'une fraise sont définis comme suit :

- Angle de dépouille ( $\alpha$ ) : formé par la face de dépouille et le plan de cisaillement. Il sert à réduire le frottement entre cette surface et la surface de coupe.
- Angle de d'attaque ( $\gamma$ ) : formé par la surface d'attaque et le plan de base. Il rend plus facile la formation du copeau. Sa valeur peut être positive, négative ou nulle et varie entre  $0^\circ$  et  $15^\circ$ .
- Angle tranchant ( $\beta$ ) : formé par la surface d'attaque et la surface de dépouille.  

$$\alpha + \gamma + \beta = 90^\circ$$

### 3.6. Régimes de coupe :

Les conditions de coupe doivent être optimales. Pour cela, il faut choisir des régimes de coupe qui assurent à la fois un prix de revient minimal et les exigences des pièces usinées.

Le choix d'un régime de coupe dépend, en général, de la matière, de la précision et l'état de surface de la pièce, de la rigidité de la machine, de la productivité, de la géométrie de l'outil et de la nature de sa partie active, de la lubrification etc.

Les conditions de coupe peuvent être prises soit directement à partir des tableaux de coupe des métaux ou à la suite des calculs par la méthode analytique.

Les tableaux : 3.1, 3.2 et 3.3 présentent quelques indications pour le choix de la vitesse de coupe et de l'avance.

### 3.7. Machines de fraisage :

Les fraiseuses sont des machines travaillant des surfaces planes et de forme. Les besoins et les possibilités de l'industrie ont entraîné des perfectionnements de plus en plus rapides dans leurs conceptions et peuvent être classées en deux catégories, chaque catégorie comporte un assez grand nombre de modèles (Fig. 3.6).

- Les fraiseuses de production : elles sont destinées aux travaux de série et peuvent être à broche verticale ou horizontale. Les mouvements des chariots sont en général automatisés.
- Les fraiseuses universelles : elles sont essentiellement utilisées dans les ateliers d'outillage ou de fabrication en petite série. Ces fraiseuses tirent leurs noms de la position variable que peut prendre l'axe de la broche porte-outil (verticale, horizontale et oblique) et de la variété des surfaces susceptibles d'être usinées par ces machines (surfaces planes, cylindriques, hélicoïdales, de forme, etc.).

### 3.8. Principaux travaux de fraisage :

Les travaux de fraisage sont très diversifiés (Fig. 3.7) allant de la plus simple opération (surfaçage) jusqu'aux opérations complexes telles que le fraisage des rainures et le fraisage des roues dentées et des crémaillères en utilisant d'autres accessoires tels que le diviseur et le plateau circulaire.

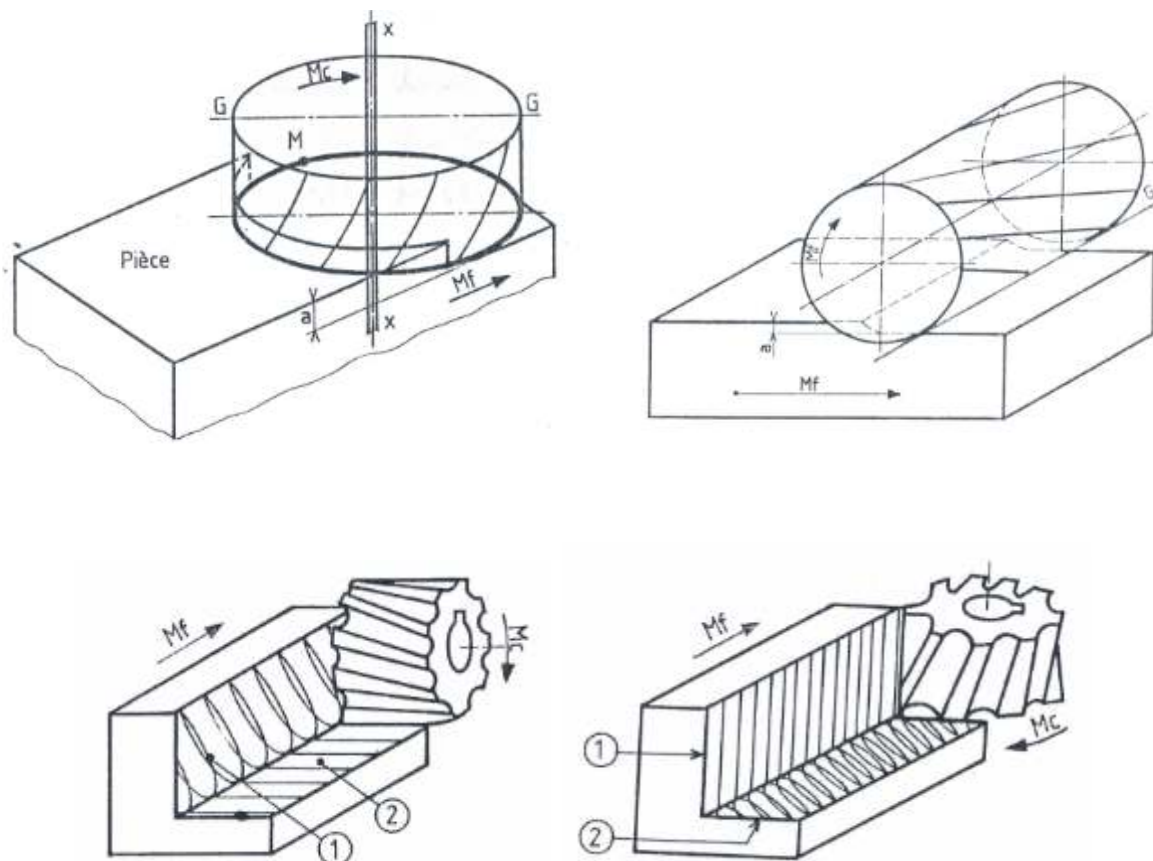


Fig. 3.1. Mode de génération des surfaces par fraisage :  
de face (à gauche) et en roulant (à droite)

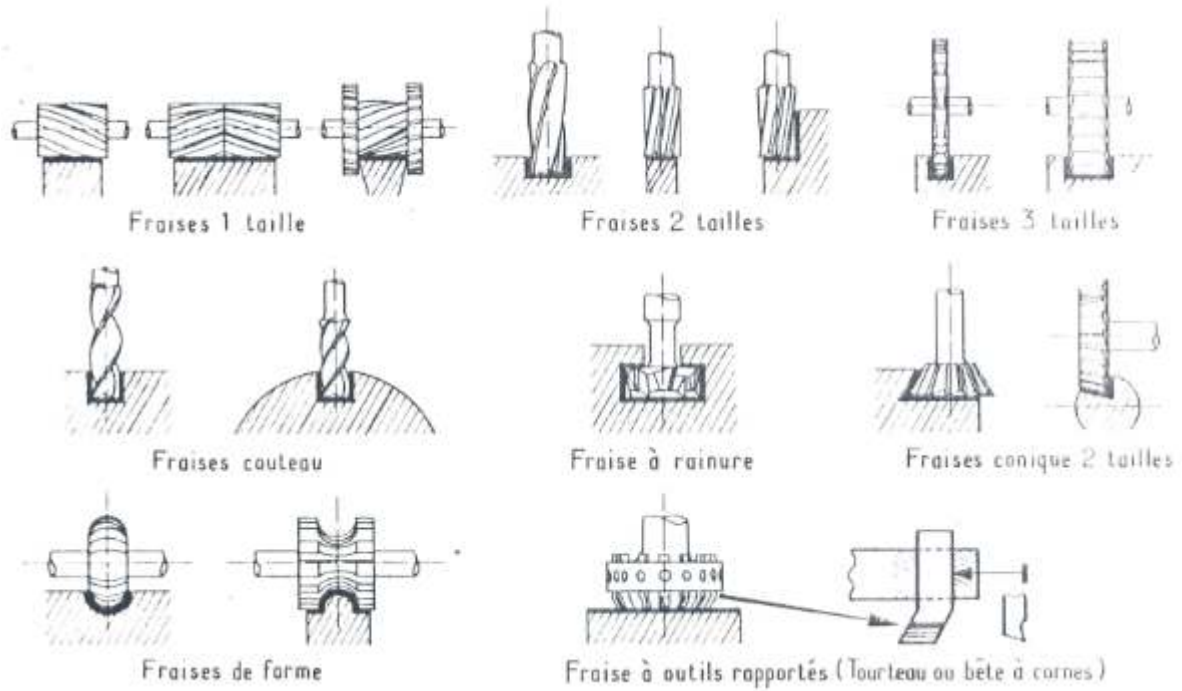


Fig. 3.2. Outils de fraisage

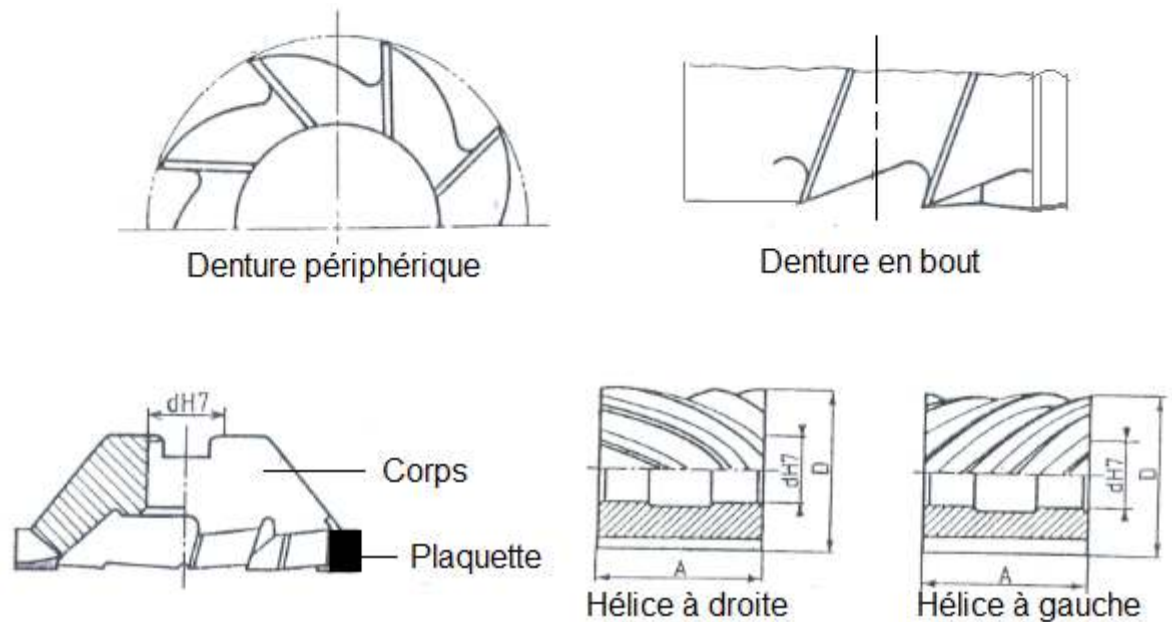


Fig. 3.3. Type de fraises : en acier rapide ou en plaquettes rapportées en carbure

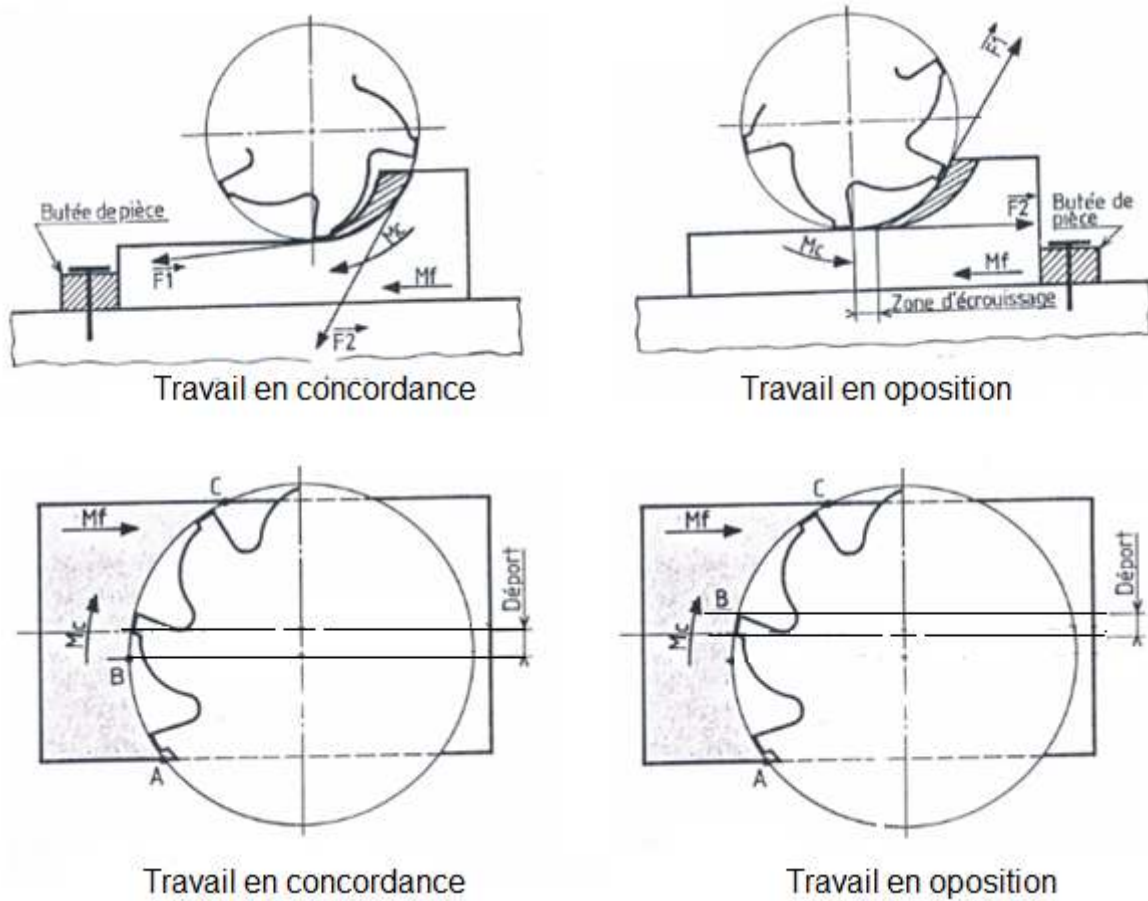


Fig. 3.4. Modes de fraisage des surfaces

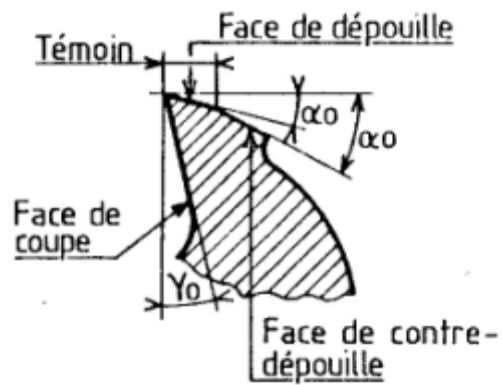


Fig. 3.5. Géométrie d'une dent de fraise

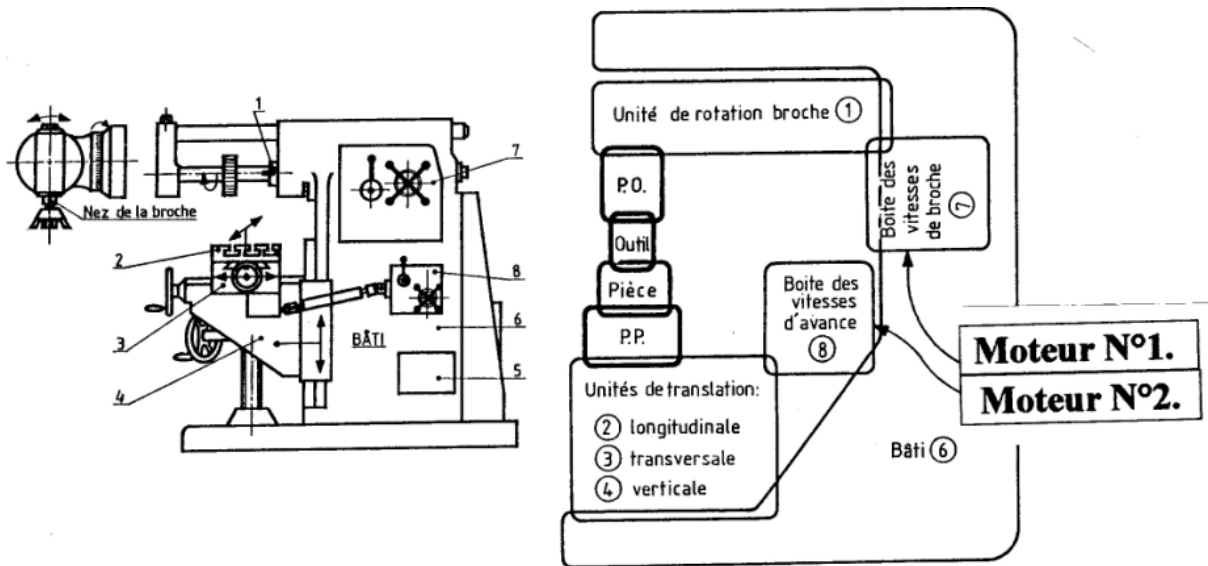


Fig. 3.6. Machines de fraisage

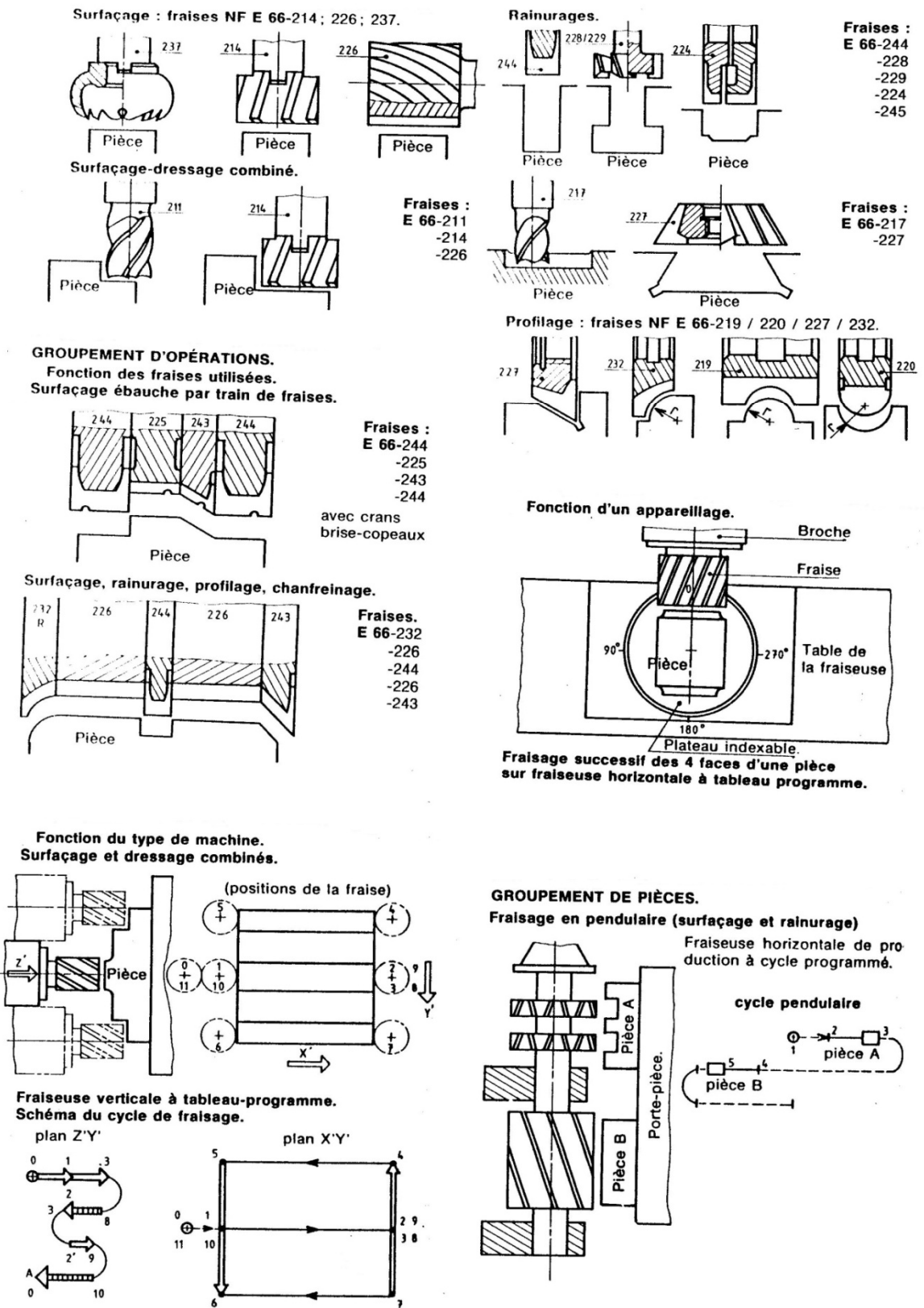
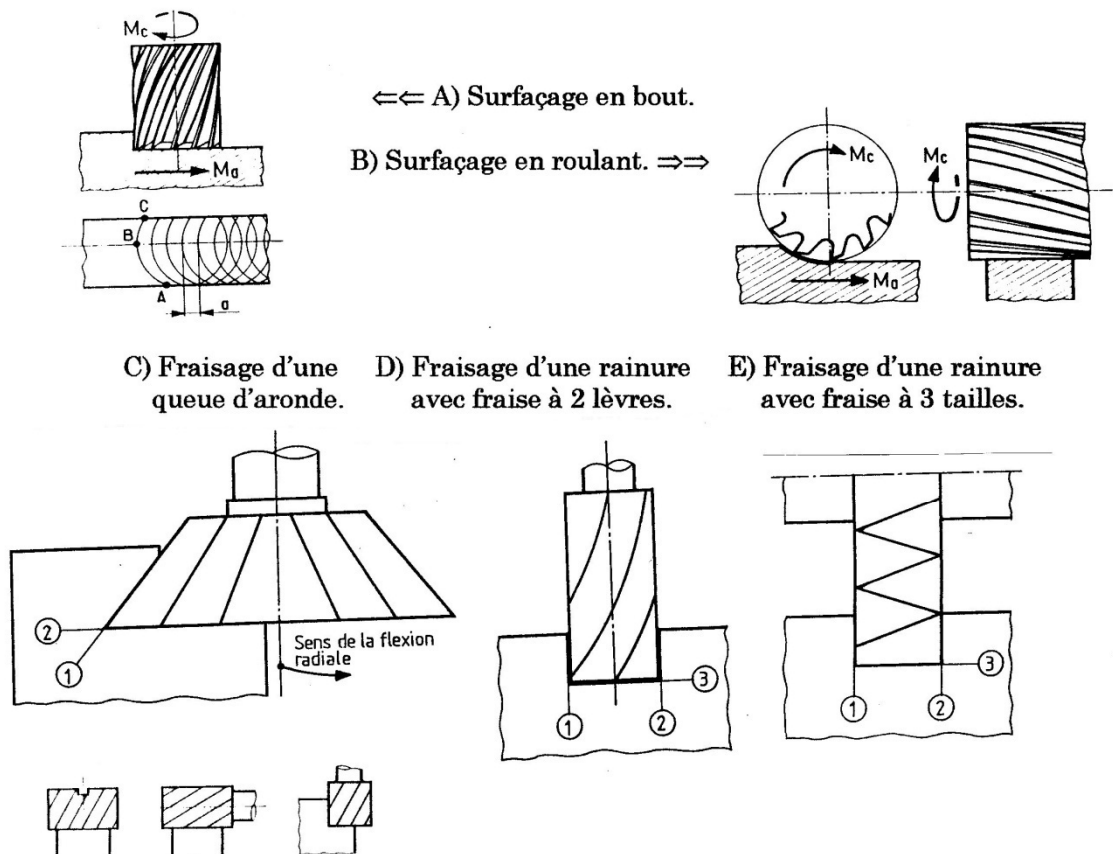


Fig. 3.7. Travaux de fraisage



Matière	$R_m$ en N/mm <sup>2</sup> ou HB	Vitesses de coupe moyennes en m/mm		
		Outil en acier rapide*	Outil à plaquette carbure** Nuances	
			P 10	P 35
Aciers non alliés ou faiblement alliés	$R_m < 600$	32 à 45	200 à 235	150 à 190
	$600 < R_m < 800$	25 à 32	150 à 235	125 à 150
	$800 < R_m < 1\ 100$	15 à 25	125 à 150	100 à 125
	$1\ 100 < R_m < 1\ 400$	8 à 15	70 à 125	60 à 100
Fontes grises Ft 10-15 et 20	$110 < HB < 140$	30 à 50	k 20	M10-20
Fontes grises Ft 25 - Ft 30	$150 < HB < 200$	20 à 30	80 à 100	150 à 160
Fonte malléable	$R_m < 420$	32 à 45	60 à 75	110 à 140
Laitons Bronzes Maillechorts	$60 < HB < 100$	70 à 30	150 à 300	
Cupro-aluminiums et cupro-nickels	$130 < HB < 200$	30 à 15	80 à 130	
Alliages légers au silicium		300 à 60	k 10	
Alliages légers sans silicium	$15 < HB < 90$	600 à 300	130 à 300	
			300 à 600	

Tableau 3.1. Conditions de coupe pour diverses opérations de fraisage (A, B, C, D et E)

## Fraises à surfer et à surfer-dresser T-MAX

CMC No.	Matière	Brinell dureté HB	GC120	SMA	S6	S1P	SM30	
			Avance mm/dent					
			0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	
			Vitesse de coupe m/min					
01.1	Acier non allié	C < 0.25%	110	300 - 390	180 - 250 - 310	100 - 130 - 160	170 - 235 - 300	135 - 185 - 235
01.3		C < 0.8%	150	180 - 255	120 - 145 - 205	65 - 85 - 100	105 - 150 - 200	90 - 110 - 150
01.5		C < 1.4%	310	165 - 210	95 - 130 - 170	50 - 75 - 85	90 - 125 - 165	70 - 100 - 125
02.1	Acier faiblement allié	Recuit	125-225	200 - 250	120 - 160 - 200	65 - 85 - 105	115 - 155 - 190	90 - 120 - 150
02.2		Trempé	220-450	130 - 150	70 - 100 - 125	40 - 55 - 65	95 - 120	55 - 75 - 95
03.11	Acier hautement allié	Recuit	150-250	170 - 225	110 - 140 - 180	60 - 80 - 90	135 - 180	80 - 105 - 135
03.22		Trempé	250-500	110 - 150	65 - 90 - 120	40 - 50 - 60	90 - 110	50 - 65 - 90
03.13	Acier rapide, recuit		150-250	160 - 195	90 - 125 - 155	50 - 60 - 75	95 - 120	70 - 95 - 120
03.21	Acier à outils, hautement allié	Trempé	250-350	120 - 150	70 - 95 - 120	30 - 40 - 50	70 - 90	55 - 75 - 90
05.1	Acier inoxydable recuit	Ferr. Mart.	150-270		120 - 165 - 210	80 - 105 - 130 <sup>*)</sup>	190 - 245	110 - 150 - 190
05.2		Aust.	150-220		95 - 130 - 180	65 - 85 - 100 <sup>*)</sup>	150 - 185	85 - 115 - 150
06.1	Acier coulé	Non allié	150	180 - 225	100 - 145 - 180	60 - 75 - 95	140 - 175	75 - 110 - 135
06.2		Faiblement allié	150-250	150 - 190	90 - 120 - 150	50 - 65 - 80	115 - 145	65 - 90 - 110
06.3		Hautement allié	160-200	110 - 130	65 - 90 - 100	35 - 45 - 55	80 - 100	50 - 65 - 75
06.31	Acier inoxydable coulé	Ferr. Mart.	200		50 - 70 - 80	30 - 40 - 50	70 - 95	45 - 60 - 70
06.32		Aust.	200		50 - 60	18 - 25 - 35	55 - 75	45 - 55

CMC No.	Matière	Brinell dureté HB	GC3015	HM	GC320	H13A	SMA	
			Avance mm/dent					
			0,3 0,2	0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2	0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	
			Vitesse de coupe m/min					
04.1	Acier <sup>*)</sup> trempé	HRC 50-65						
06.33	Acier au manganèse coulé 12-14% Mn	250		15 - 20 - 30		12 - 18 - 20	15 - 20 - 30	
07.1	Fonte malléable	Copeaux courts	110-145	120/250 150/300	100 - 125 - 150	115 - 145	65 - 80 - 95	100 - 125 - 150
07.2			Copeaux longs	200-230	70/150 110/200	90 115 - 135	105 - 130	50 - 65 - 80
08.1	Fonte grise	Faible résist. à la traction Forte résist. à la traction, allié	180	120/250 150/300	85 - 120 - 155	95 - 140	70 - 95 - 120	85 - 120 - 155
08.2			260	80/170 110/250	70 - 90 - 115	80 - 105	50 - 70 - 90	70 - 90 - 115
09.1	Fonte grise nodulaire	Ferr. Perl.	160	70/110 80/140	70 - 90 - 115	80 - 105	50 - 65 - 80	70 - 90 - 115
09.2			250	70/110 70/120	65 - 85 - 100	75 - 100	45 - 60 - 70	65 - 85 - 100
10.1	Fonte <sup>*)</sup> trempée	HRC 40-60						
20.1	Fe-bas	180-300				10 - 35		
20.2	Ni-bas	220-300				10 - 20		
20.3	Co-bas							
23.4	Ti-leg	300-400				20 - 80		
30.1	Alliages aluminium	Non coulés	30-150			200 - 500		
30.2		Coulés	40-185			250 - 450		
30.3	Aluminium, non allié (Al > 99%)					250 - 1000		

- GC120(P10-30), SMA(P15-40), S6(P30-40), SNP(P05-15), SM30(P20-40), CT520(P05-25), R4(P40-50).
  - GC3015(K01-25), HM(K10-20), GC320(K10-25), H13A(K11-30), SMA(K10-25).
- Les Nuances GC320 et GC3015 sont des carbures revêtus.

Tableau 3.2. Conditions de HRC coupe en fraisage pour des fraises à surfer en carbure



**Fraises-disques T-MAX**

CMC No.	Matière	Brinell dureté HB	GC120	SMA	S6	CT520	SM30	R4		
			Epaisseur de copeau moyenne $h_m$ ) 0,05-0,12 mm							
			Vitesse de coupe m/min.							
01.	Acier non allié	110-310	140 - 240	130 - 250	70 - 135	100 - 400	80 - 185			
02.	Acier faiblement allié	125-450	130 - 210	85 - 180	45 - 80	80 - 300	55 - 135			
03.	Acier hautement allié	150-500	120 - 180	60 - 120	30 - 65	80 - 300	40 - 90			
05.	Acier inoxydable	150-270			40 - 90	100 - 200	55 - 125	30 - 60		
06.	Acier coulé	150-250	130 - 210	55 - 115	25 - 60		35 - 85	20 - 45		

CMC No.	Matière	Brinell dureté HB	GC3015	HM	GC320	H13A	H1P	SMA		
			Epaisseur de copeau moyenne $h_m$ ) 0,05-0,12 mm							
			Vitesse de coupe m/min.							
04.	Acier trempé	HRC 50-65					10 - 15			
07.	Fonte malléable	110-230	70 - 300	55 - 100	75 - 110	25 - 70	65 - 120	55 - 100		
08.	Fonte grise	180-260	80 - 300	60 - 120	80 - 125	35 - 85	60 - 140	60 - 120		
09.	Fonte GS	160-250	70 - 140	40 - 80	60 - 80	25 - 50	50 - 90	40 - 80		
10.	Fonte trempée	HRC 40-60					8 - 12			
30.	Alliages aluminium	30-100		300 - 600		210 - 400				
33.	Bronze et alliages de laiton	60-150		110 - 200		75 - 140	130 - 240			

**Fraises en bout, vitesse**

CMC No.	Matière	Brinell dureté HB	T-MAX				Carbure monobloc	Hélicoïdale brasée	
			SMA	S6	SM30	P30	S6	P40	
			Vitesse de coupe m/min.						
01.	Acier non allié	110-310	130 - 190	80 - 120	100 - 140	80 - 120	65 - 95	60 - 80	
02.	Acier faiblement allié	125-450	80 - 170	45 - 105	60 - 125	40 - 70	35 - 85	30 - 70	
03.	Acier hautement allié	150-500	70 - 155	40 - 100	55 - 120	20 - 70	30 - 80	30 - 70	
05.	Acier inoxydable	150-270		55 - 90	65 - 110	60 - 80	45 - 70	40 - 65	
06.	Acier coulé	150-250	55 - 130	35 - 80	40 - 100		30 - 65	30 - 60	
CMC No.	Matière	Brinell dureté HB	HM	H13A	SMA	P30	H13A	K20	
			Vitesse de coupe m/min.						
04.	Acier trempé	HRC 50-65	10 - 25	8 - 18					
07.	Fonte malléable	110-230	80 - 120	60 - 90	80 - 120		50 - 80	50 - 80	
08.	Fonte grise	180-260	50 - 115	50 - 90	50 - 115	60 - 90	50 - 70	50 - 70	
09.	Fonte GS	160-250	40 - 80	30 - 60	40 - 80	40 - 80	30 - 60	30 - 60	
10.	Fonte trempée	HRC 40-60	10 - 35	8 - 25			8 - 20	8 - 20	
30.	Alliages aluminium	30-100						400 - 900	
33.	Bronze et alliages de laiton	60-150	100 - 160	80 - 120			80 - 120	80 - 120	

Tableau 3.3. Avances moyennes pour le fraisage en bout

Type de fraise	Epaisseur de copeau moyenne $h_m$ ) , mm						
	D=3 - 4	D=6 - 8	D=10 - 12	D=16	D=20	D=25 - 32	D=40 - 50
T-MAX				0,04 - 0,06	0,05 - 0,07	0,06 - 0,12	0,10 - 0,15
Forage T-MAX			0,03 - 0,05	0,03 - 0,06	0,04 - 0,08	0,05 - 0,10	0,06 - 0,13
Carbure monobloc/brasé	0,005 - 0,008	0,010 - 0,018	0,015 - 0,025	0,03 - 0,04	0,04 - 0,05	0,04 - 0,08	0,05 - 0,12

**1) Facteur de correction avance/dent**

$S_2 = f_1 \cdot h_m$	$\frac{D}{a_r}$	50	40	20	10	5	2,5	2	1,5	1
	$f_1$	7,1	6,3	4,5	3,2	2,3	1,7	1,6	1,4	1,6

Tableau 3.3. Conditions de coupe en fraisage pour des fraises disques en carbure

## Chapitre IV : Rabotage, mortaisage et brochage

### 4.1. Définition du rabotage et du mortaisage :

Le rabotage est une opération d'usinage qui consiste à exécuter des surfaces planes ou de forme à génératrice droite avec un outil à raboter semblable à un outil de tournage sur des raboteuses, sur des étaux limeurs ou sur des mortaiseuses. Le mouvement de coupe et celui d'avance sont donnés à l'outil ou à la pièce suivant la machine utilisée. Le mouvement de coupe est rectiligne alternatif alors que le mouvement d'avance est rectiligne discontinu. Les travaux de rabotage sont limités à la production des pièces en petite série et unitaire. Actuellement, les travaux de rabotage ont pratiquement disparu au profit des procédés de fraisage et de brochage dans la production en grande série.

### 4.2. Outils de rabotage :

Les outils de rabotage sont identiques à ceux utilisés en tournage. Les plus courants sont normalisés dont les parties actives sont fabriquées en acier rapide ou en plaquettes de carbure métallique brasées sur un corps en acier résistant aux chocs. Les outils en carbure sont utilisés avec profit lorsque les machines sont puissantes et en bon état tout en choisissant des nuances qui peuvent résister aux chocs.

### 4.3. Travaux de rabotage :

Les travaux de rabotage peuvent être des travaux de surfacage et de réalisation des profils à génératrice de forme courbe ou droite selon une directrice droite. Les formes courantes des outils de rabotage et les opérations résultantes sont représentées par la (Fig. 4.1).

Des travaux spécifiques peuvent être réalisés sur mortaiseuses dans des surfaces intérieures dont le mouvement de coupe rectiligne alternatif donné à l'outil qui se déplace verticalement sur un coulisseau, alors que la pièce reçoit un mouvement de déplacement discontinu à chaque aller-retour de l'outil (Fig. 4.2).

### 4.4. Définition du brochage :

Le brochage est un procédé d'usinage des surfaces intérieures et extérieures à l'aide d'un outil de forme à tranchant multiple appelé « broche ». Les broches sont fabriquées en acier rapide ayant une dureté de (64 à 68 HRC) ou en carbure dans le cas où la dureté des pièces peut atteindre 40 HRC. Une broche est formée de plusieurs outils pelles placés les uns derrière les autres, dont chacun enlève un copeau d'épaisseur ( $e$ ). En général, l'outil est animé d'un mouvement de coupe rectiligne (Fig. 4.3) en réalisant l'usinage en un seul passage de l'outil. Ce procédé est très rapide et très productif par rapport à d'autres procédés d'usinage, c'est pour cela qu'il est utilisé dans la production en grande série et en masse.

### 4.5. Modes de brochage :

Le brochage peut être réalisé dans un contour fermé et il est appelé « brochage intérieur » ou dans un contour ouvert et il est appelé « brochage extérieur ».

**A) Brochage intérieur :** Ce genre de travail permet le brochage dans des surfaces intérieures fermées dont le profil est pratiquement difficile ou impossible à réaliser par d'autres procédés. Les cannelures droites, les rainures de clavette, les dentures droites ou hélicoïdales, les profils carrés ou autres sont les principaux sujets du brochage intérieur. Dans ce cas, il est nécessaire d'avoir un avant trou pour le passage de la partie avant de la broche qui a un aspect général conique (Fig. 4.4). La broche possède des dents rangées sur différents diamètres de la broche dont les premières sont destinées à l'ébauchage, les intermédiaires pour la demi-finition et les dernières pour la finition. Les broches d'intérieur sont montées sur des brocheuses qui travaillent par traction dans le plan vertical ou horizontal, tandis que la pièce reste fixe sur la table de la machine. Le centrage de la broche dans le trou de la pièce nécessite la présence d'un guide avant situé avant la zone taillée. Donc, le diamètre doit être rigoureusement calculé en fonction du diamètre de l'avant trou de la pièce. De même, les broches de grande longueur ( $L \geq 12d$ ) sont guidées par l'arrière pour éviter les vibrations, la déviation pendant le travail et le défaut de coaxialité.

Quelques travaux de brochage intérieur sont présentés par la (Fig. 4.5).

**B) Brochage extérieur :** On entend par brochage extérieur, le brochage des profils ouverts tels que les surfaces planes, les crémaillères, les rainures et toutes les formes à directrice droite. La pièce est maintenue sur la table de la machine par un montage d'usinage permettant sa fixation. Par contre, la broche fixée sur le coulisseau est animée d'un mouvement de coupe rectiligne à la vitesse de brochage.

Lors du brochage extérieur, l'enlèvement de la matière s'effectue de deux manières selon la quantité de la matière à enlever et la qualité de la surface usinée.

▪ **Brochage par attaque latérale :** (Fig. 4.6)

Dans ce type de brochage, la broche attaque la pièce latéralement et sa progression dans la matière est parallèle à la surface brochée. Ce type est utilisé lorsque la surépaisseur est très importante ( $S > 1mm$ ).

▪ **Brochage par attaque frontale :** (Fig. 4.7)

Dans ce type de brochage, la broche attaque la pièce de front et sa progression est normale à la surface brochée. Ce type est utilisé pour la finition des surfaces où la surépaisseur est faible ( $S \leq 1mm$ ).

▪ **Brochage combiné :** (Fig. 4.8)

Le principe de ce type de brochage est que plusieurs broches sont montées sur le même coulisseau. Dans le cas de brochage d'une surface plane par exemple, les broches sont montées superposées, celles inférieures travaillent par attaque latérale en ébauchage et celles supérieures travaillent par attaque frontale pour garantir la finition de la surface. Très souvent, il est aussi possible de combiner plusieurs broches extérieures sur la même machine pour usiner différentes formes de surfaces (Fig. 4.9).

#### 4.6. Machines de brochage :

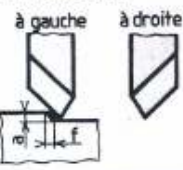
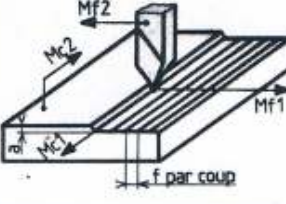
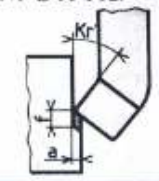
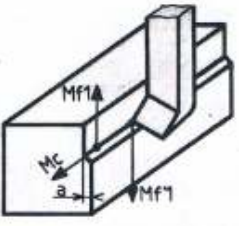
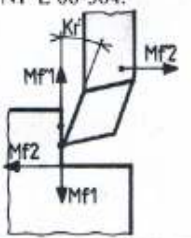
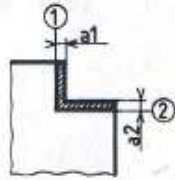
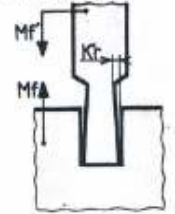
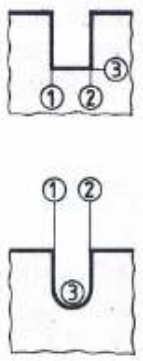
Les machines de brochage ont une conception très simple. Un seul mouvement de translation est nécessaire dont la commande est réalisée par un système hydraulique. En fonction du sens de déplacement de la broche, les machines de brochage sont de deux types :

▪ **Machines à brocher horizontales :** (Fig. 4.10)

Elles possèdent un chariot horizontal pour le déplacement de la broche et sont réservées aux travaux d'intérieur. Elles occupent une grande surface au sol.

▪ **Machines à brocher verticales :** (Fig. 4.11)

Elles sont de plus en plus utilisées aussi bien pour les brochages intérieurs et extérieurs. Elles correspondent à la tendance actuelle de fabrication qui exige l'utilisation des machines moins encombrantes au sol.

Type d'usinage	Outil	Schéma et mouvements	Travail sur	
			étau limeur	raboteuse
① Dressage horizontal	Droit à chariotier. NFE 66-361.  à gauche    à droite 		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mouvement d'avance communiqué :</b></li> <li>• la pièce à chaque fin de course, retour de l'outil (<math>M_r</math>).</li> <li>• <b>Mouvement de coupe communiqué :</b></li> <li>• à l'outil (<math>M_c</math>).</li> <li>• <b>Pénétration communiquée :</b></li> <li>• à l'outil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• à l'outil à chaque fin de course, retour de la pièce (<math>M_r</math>).</li> <li>• à la pièce (<math>M_c</math>).</li> <li>• à l'outil.</li> </ul>
② Dressage vertical	Coudé à chariotier et dresser à gauche ou à droite. NFE 66-362. 		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mouvement d'avance communiqué :</b></li> <li>• à la pièce (<math>M_r</math>) ou à l'outil (<math>M_r</math>).</li> <li>• <b>Pénétration communiquée :</b></li> <li>• à la pièce.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• toujours à l'outil (<math>M_r</math>).</li> <li>• à l'outil.</li> </ul>
③ Finition d'un épaulement	Outil à dresser d'angle à gauche ou à droite. NFE 66-364. 		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mouvements d'avance communiqués</b></li> <li>• à l'outil <math>M_r</math> ou pour à la pièce <math>M_r</math>; usiner ①.</li> <li>• à la pièce <math>M_r</math>; pour usiner ②.</li> <li>• <b>Pénétration communiquée :</b></li> <li>• à la pièce pour <math>a_1</math>.</li> <li>• à la pièce ou à l'outil pour <math>a_2</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toujours à l'outil. <math>M_r</math>; pour usiner ①.</li> <li>• <math>M_r</math>; pour usiner ②.</li> <li>• Toujours à l'outil.</li> </ul>
④ Rainure droite ou circulaire	Outil à rainurer. NFE 66-367. 		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mouvement d'avance communiqué :</b></li> <li>• à la pièce <math>M_r</math>.</li> <li>• ou à l'outil <math>M_r</math>.</li> <li>• <b>Les usinages de ①, ②, ③ sont associés :</b></li> <li>• ① et ② résultent d'une génération ponctuelle.</li> <li>• ③ résulte d'une génération linéaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• à l'outil <math>M_r</math>.</li> </ul>

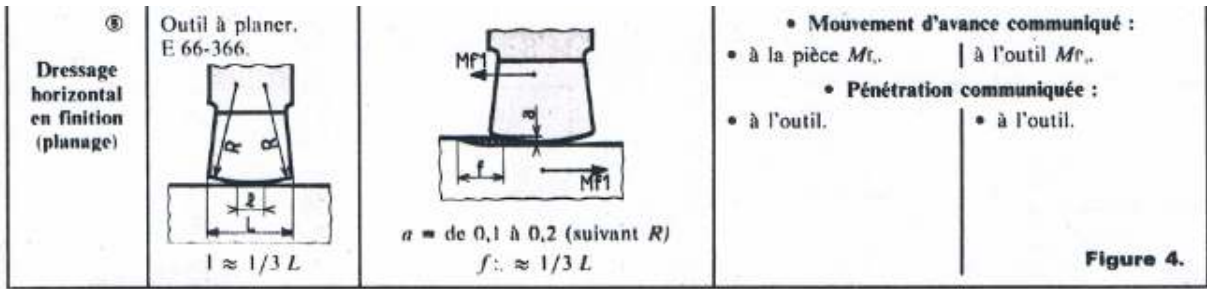


Fig. 4.1. Modes de génération des surfaces par rabotage

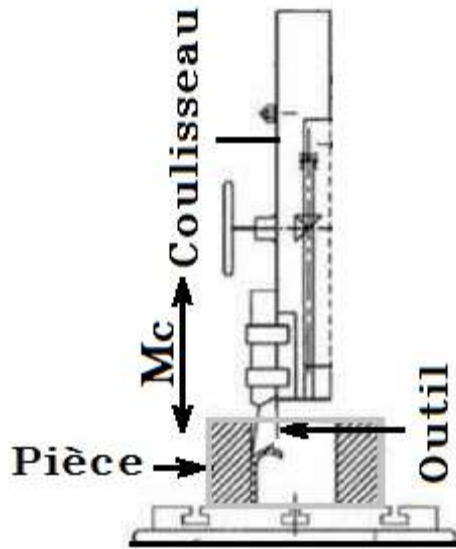


Fig. 4.2. Mode de génération d'une surface intérieure par mortaisage

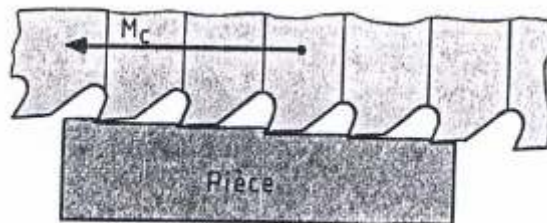


Fig. 4.3. Mouvement principal de brochage

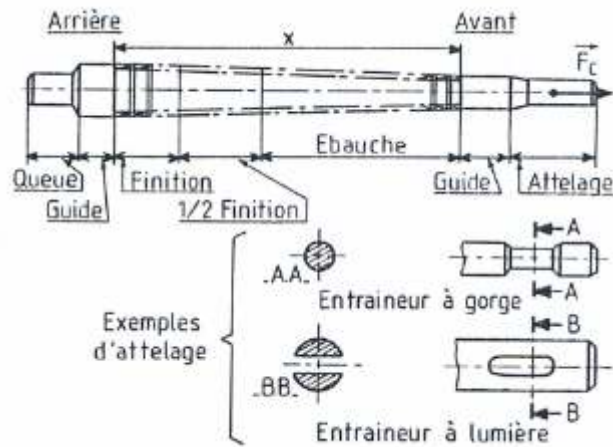


Fig. 4.4. Description d'une broche d'intérieur

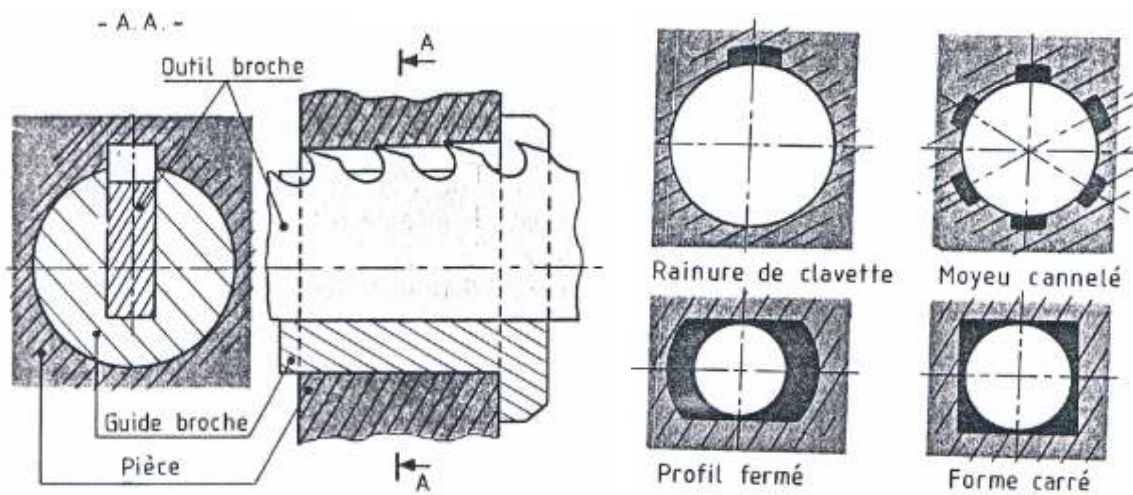


Fig. 4.5. Types de surfaces générées par brochage intérieur

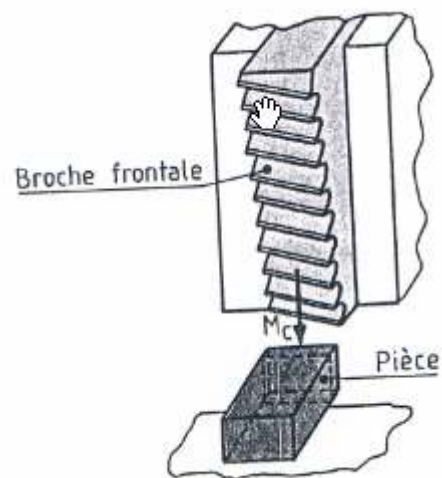
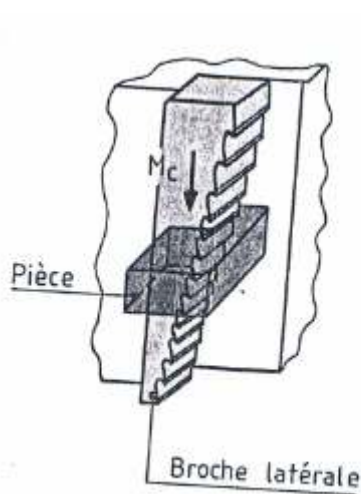


Fig. 4.6. Brochage par attaque latérale

Fig. 4.7. Brochage par attaque frontale

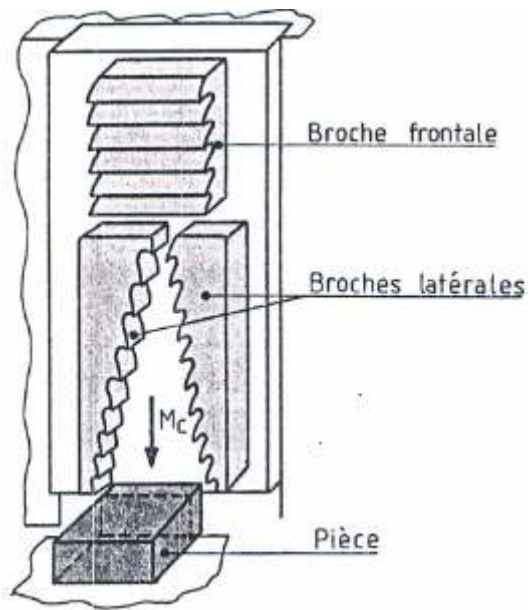
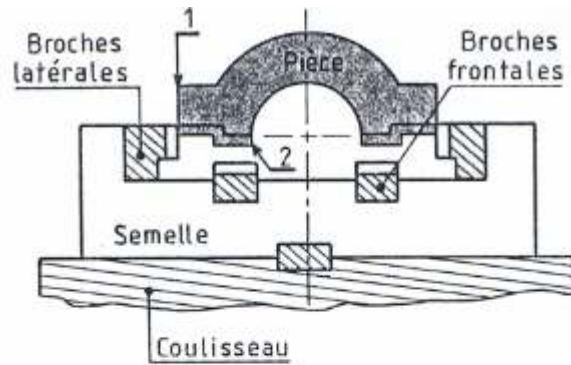
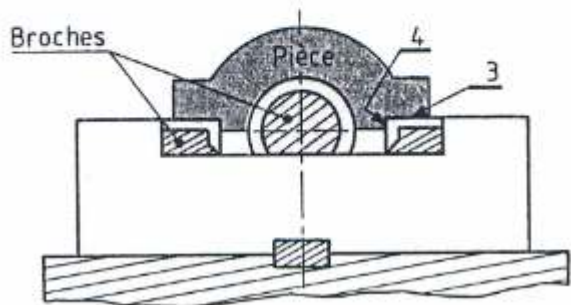


Fig. 4.8. Principe du brochage combiné



Usinage des surfaces ① et ②.



Usinage des surfaces ③ et ④.

Fig. 4.9. Brochage combiné des surfaces

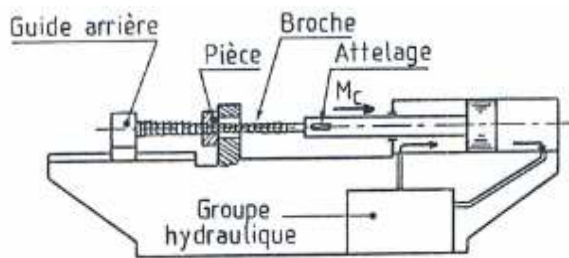


Fig. 4.10. Machine de brochage horizontale

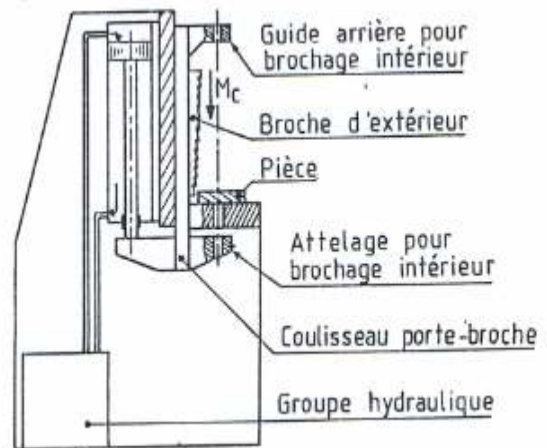


Fig. 4.11. Machine de brochage verticale

## Chapitre V : Filetage et Taraudage

### 5.1. Définition du procédé de filetage :

La réalisation d'un filetage consiste à creuser un sillon hélicoïdal de section constante (triangulaire, carrée, trapézoïdale, ronde, etc.) sur une surface de révolution extérieure ou intérieure. La représentation normalisée ainsi que le filetage réel sont données en (Fig. 5.1) pour le filetage extérieur et en (Fig. 5.2) pour le filetage intérieur.

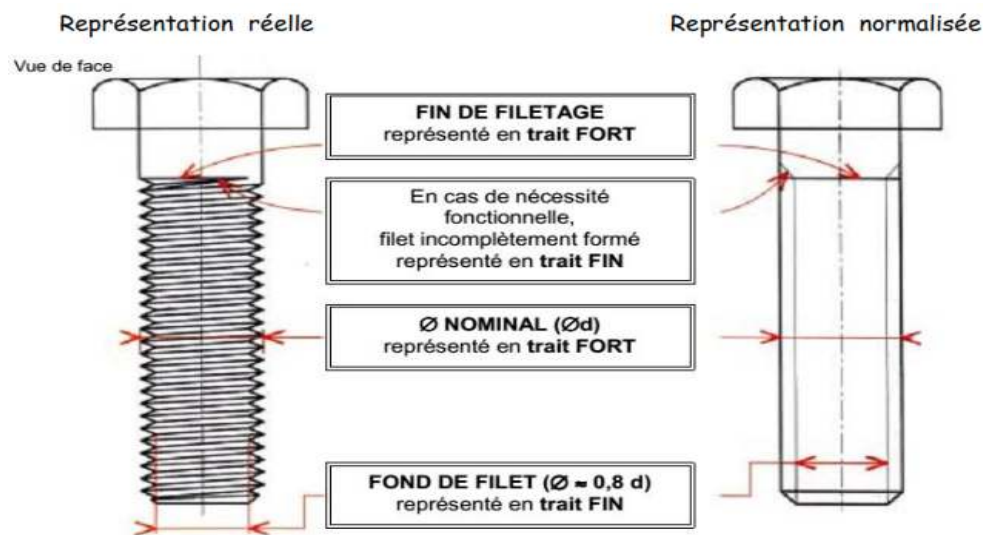


Fig. 5.1. Représentation d'un filetage extérieur

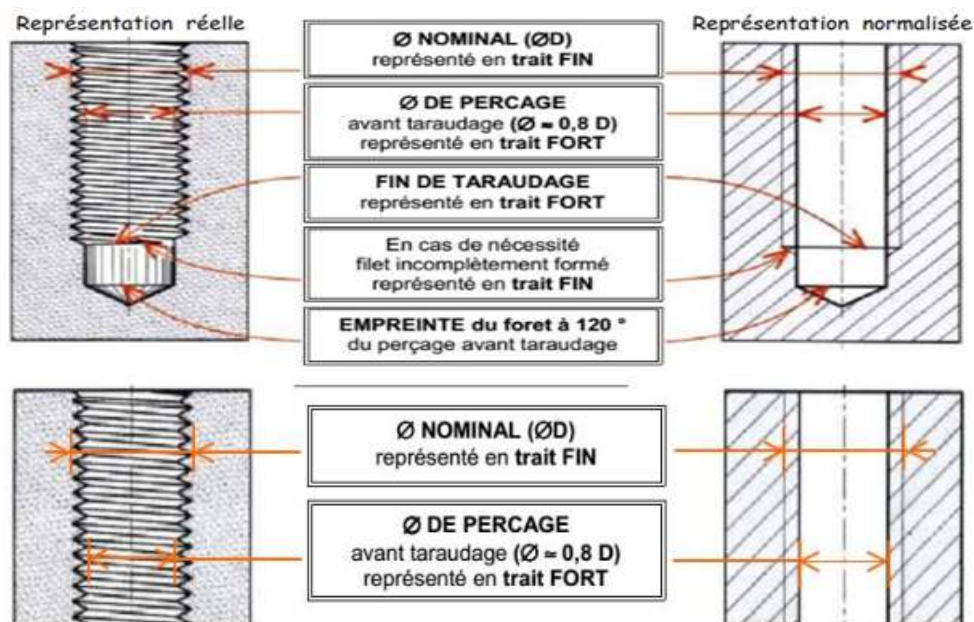


Fig. 5.2. Représentation d'un filetage intérieur

Le filetage est réalisé sur différentes machines universelles (tours, perceuses, fraiseuses, rectifieuses) ou bien sur des machines à fileter spéciales. Ce procédé exige un rapport constant entre les vitesses de rotation et d'avance afin de respecter le pas à produire.



En règle générale, le filetage sur des machines universelles ne convient que pour des travaux unitaires et en petite série. Alors qu'en grande série, on emploie souvent des machines à fileter spéciales.

En fonction du nombre de profils coupants (tranchants) de l'outil, on distingue :

- Les outils à profil unique
- Les outils à profil multiple

Quel que soit le mode de filetage, la forme de la partie active de l'outil doit correspondre à celle de la rainure du filet.

## 5.2. Procédés de filetage :

Parmi les procédés employés pour la fabrication des filets, on distingue :

### A) Filetage à l'outil de coupe : (Fig. 5.3)

Pour exécuter ce procédé, l'outil est fixe sur le chariot du tour et se déplace longitudinalement avec une avance égale au pas du filet lorsque la pièce est en mouvement de rotation. Pour assurer la profondeur nécessaire du creux, l'opération se répète tout en conservant la même trajectoire de l'outil.

### B) Filetage à la filière : (Fig. 5.4)

La filière est un outil sous forme d'un écrou possédant plusieurs arêtes tranchantes et recevant un mouvement de rotation autour de l'axe de la pièce à fileter. Pour dégager la filière, on inverse le sens de rotation.

Ce procédé peut être réalisé en une ou plusieurs passes avec un jeu de filières. L'inconvénient de ce procédé est que le diamètre de la filière est non réglable.

### C) Filetage à la filière à peignes : (Fig. 5.5)

Dans la production en série, les peignes à fileter sont largement utilisés. Ce sont des barres prismatiques, au nombre de quatre, disposées radialement ou tangentielllement à la pièce et sont affûtées selon le type de filet à produire. Le filetage est réalisé sur des perceuses, sur des tours revolver, ou sur des machines spéciales à fileter.

L'avantage de ce mode de filetage est que la variation du diamètre de la filière est possible en fonction des diamètres à fileter, ainsi que la possibilité de réaffûter les peignes chaque fois qu'il est nécessaire.

### D) Filetage par l'outil à tourbillonnement : (Fig. 5.6)

On utilise cette méthode, en général, pour le filetage des pièces de grande longueur et de profils divers dans la production en petite et moyenne série. L'axe du porte outil est incliné suivant l'angle de l'hélice moyenne du filet ( $\beta$ ).

Les outils (un ou plusieurs) sont fixés sur un porte outil qui tourne à la vitesse de coupe ( $M_c$ ) et se déplace en mouvement d'avance linéaire ( $M_a$ ) en même temps que la pièce est en mouvement de rotation ( $M_r$ ). La pénétration de l'outil dans la pièce est assurée par déplacement de l'axe de l'outil ( $O_1$ ) par rapport à l'axe de la pièce ( $O_2$ ).

### E) Filetage à la fraise :

Ce type de filetage permet de réaliser, par une fraise à profil constant, un filet. Il conduit à une répartition du travail sur un grand nombre d'arêtes en réduisant, ainsi, l'usure de la fraise. On distingue deux modes de filetage à la fraise :

- **Filetage à la fraise a profil unique :** (Fig. 5.7)

Lors de filetage à la fraise à profil unique, l'axe de la pièce est incliné suivant la tangente à l'hélice du filet. La fraise est animée d'un mouvement de coupe rotatif ( $M_c$ ) autour de son axe alors que le mouvement d'avance ( $M_a$ ) conjugué avec le mouvement de rotation ( $M_r$ ) sont donnés à la pièce. Ce procédé convient pour les filetages longs surtout pour les filets de section carrée dans la production en petite série.

- **Filetage à la fraise a profil multiple :**

On utilise comme outil, une fraise à gorges (son profil n'est pas une vis). Le mouvement de coupe ( $M_c$ ) est donné à la fraise tandis que la pièce reçoit un mouvement rotatif très lent accompagné d'un déplacement axial égal au pas par tour de la pièce.

Pratiquement, pour assurer le raccordement correct des filets, on ajoute un tour supplémentaire de la pièce.

### F) Filetage à la meule :

Ce mode de filetage est utilisé lorsque la pièce présente une grande difficulté d'usinage par les outils de coupe traditionnels pour une raison de dureté de la pièce. Les machines utilisées fonctionnent comme des machines à fraiser les vis on la meule remplace la fraise. Les meules sont de grand diamètre pour qu'elles gardent leur profil exact le plus longtemps que possible entre deux réaffutages (diamantage).

On distingue deux modes de filetage à la meule :

- **Filetage à la meule a profil unique :** (Fig. 5.8)

Lors de filetage à la meule a profil unique, l'axe de la pièce est incliné suivant la tangente à l'hélice du filet chaque tour de la pièce ( $\beta$ ), le chariot porte-pièce avance parallèlement à l'axe de la pièce d'une valeur égale au pas de la vis.

La meule est affûtée avec un diamant sur les deux flancs exactement au profil à exécuter et reçoit un mouvement de coupe rotatif ( $M_c$ ) autour de son axe.

A chaque tour de la pièce ( $R$ ), le chariot porte-meule avance parallèlement à l'axe de la pièce ( $T$ ) d'une valeur égale au pas de la vis.

- **Filetage à la meule à profil multiple :**

La meule porte des sillons circulaires non hélicoïdaux comme la fraise à profil multiple et reçoit un mouvement de coupe rotatif ( $M_c$ ) autour de son axe.

Si la longueur du filetage ( $L_i$ ) est inférieure ou égale à la largeur de la meule ( $B$ ), le meulage de tout le filet sera obtenu en faisant tourner la pièce d'un tour ( $R$ ) en même temps que l'on produira le déplacement axial du chariot porte meule ( $T$ ) d'une valeur égale au pas.

Si la longueur à fileter ( $L_f$ ) est plus grande que la largeur de la meule ( $B$ ), le filetage est réalisé secteur par secteur dont le nombre de tours de la pièce devient ( $L_f/B$ ) et le déplacement total du chariot porte meule pendant la coupe sera ( $L_f-B$ ).

### G) Filetage par déformation plastique :

Les méthodes d'obtention d'un filet par la déformation plastique des métaux sont très répandues à condition que la matière de la pièce doit posséder un allongement ( $A > 10\%$ ) et une résistance mécanique ( $R_m < 1200 \text{ N/mm}^2$ ).

Le filetage est formé à froid par roulage d'une ébauche cylindrique au moyens de molettes, de peignes ou de galets. Le diamètre des ébauches ne peut être défini qu'après essais, il se situe autour du diamètre sur flancs ( $d_z = d - 0.65P$ ).

Le filetage par déformation plastique présente les avantages suivants :

- Rapidité de production ;
- Economie de matière (pas de copeaux) ;
- Bonne précision dimensionnelle des filets ;
- Bon état de surface ( $R_a = 0.4 \mu\text{m}$ ) ;
- Amélioration des caractéristiques mécaniques du filetage, en particulier l'augmentation de la dureté superficielle par écrouissage et l'augmentation de la résistance à la rupture de 10% par conservation de la continuité des fibres de laminage.

Le seul inconvénient du filetage par déformation plastique c'est bien qu'il ne convient ni pour les pièces creuses (des tubes par exemple) ni pour les pièces dures.

On distingue trois sortes de production d'un filet par déformation plastique :

- **Par laminage avec des molettes :** (Fig. 5.9)

La pièce est placée sur un support entre deux molettes rotatives dont l'une est fixe en translation. En exerçant une force sur la pièce par avancement radial de la mollette mobile, les profils des deux mollettes seront recopiés (imprimés) sur la pièce au fur et à mesure du déplacement de la pièce. Ce procédé est souvent employé surtout pour fileter des barres de grandes longueurs.

- **Par roulage :** (Fig. 5.10)

Le filetage est réalisé par une tête à rouler similaire à une filière à peignes, elle se compose de trois galets sous forme d'une vis qui sont libres en rotation dans un corps. La tête à rouler peut se monter dans la contre-pointe d'un tour parallèle ou dans la tourelle d'un tour semi-automatique ou automatique. Grâce à un dispositif, l'ouverture automatique de la tête est assurée en fin de filetage. Le roulage doit s'effectuer avec une lubrification abondante à l'huile de coupe.

### 5.3. Définition du procédé de Taraudage :

Le taraudage s'effectue dans un trou, borgne ou débouchant, déjà percé à dimension convenable ( $d = d_f - 0.57P$ ). Cette opération est réalisée par un outil appelé «Taraud» soit à la main, soit sur des machines spéciales à tarauder, sur des tours, sur des perceuses ou autres.

### A) Taraudage manuel :

Le taraudage manuel s'opère pour de petits diamètres des trous en production unitaire à l'aide d'un jeu de trois tarauds : un ébaucheur, un intermédiaire et un finisseur (Fig. 5.8).

Le taraud est une vis dotée de rainures droites ou hélicoïdales (1, 2, 3, 4) formant les arêtes tranchantes (Fig. 5.9). Il comprend une partie taillée et une queue de forme carrée pour l'entraînement de l'outil en rotation par une tourne à gauche (Fig. 5.10).

Le mode d'action d'un taraud dans un trou percé est représenté par la (Fig. 5.11).

### B) Taraudage Mécanique :

Pour améliorer la productivité, le taraudage doit s'effectuer à l'aide des machines qui donnent à l'outil le mouvement de rotation dans le sens voulu ( $M_c$ ) et de l'inverser dès que le filet sera formé afin de dégager l'outil.

Parmi ces machines, on utilise des perceuses, des tours ou des perceuses spécialement équipées de mandrins à tarauder de sécurité (Fig. 5.12) qui déclenchent la rotation du taraud aussitôt que le couple devient anormalement élevé.

Des taraudeuses portatives munies de tarauds spéciaux sont généralement utilisées pour exécuter des taraudages dans des pièces encombrantes et même au cours d'assemblage et de montage, ces taraudeuses peuvent être électriques ou pneumatiques.

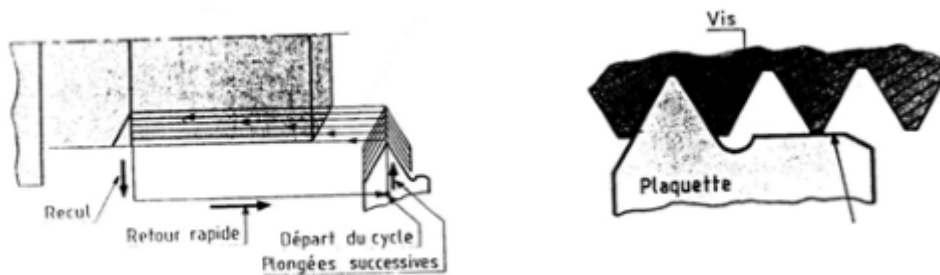


Fig. 5.3. Filetage à l'outil de coupe

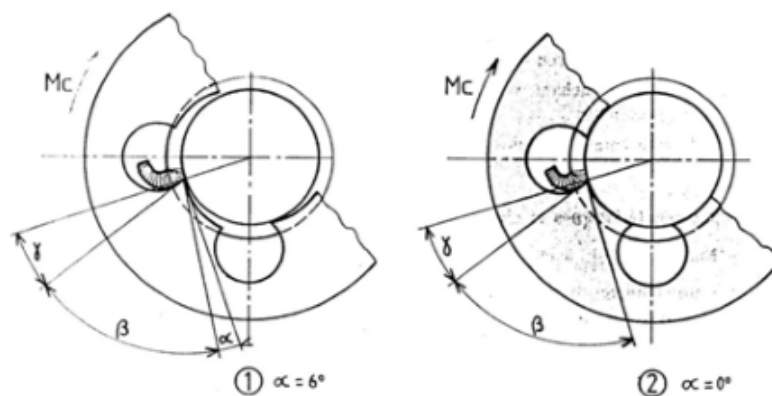


Fig. 5.4. Filetage à la filière

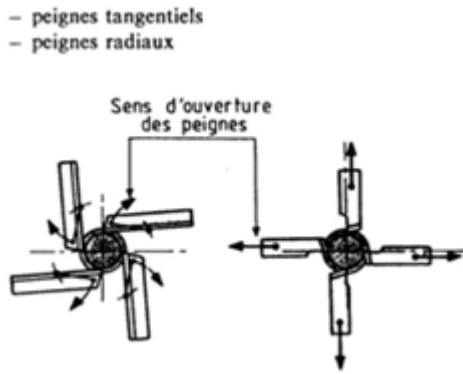


Fig. 5.5. Filetage à la filière à peignes.

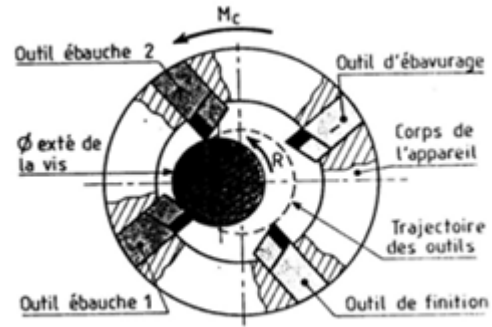


Fig. 5.6. Filetage à l'outil tourbillonnant.

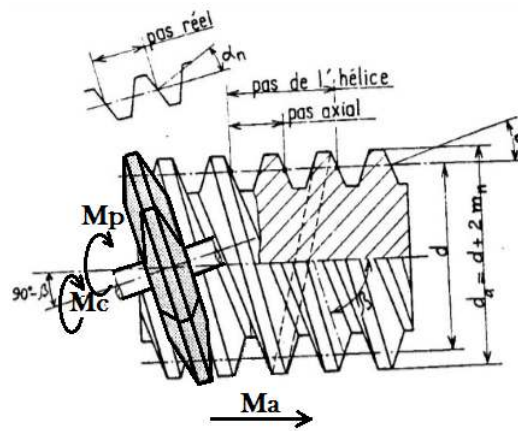


Fig. 5.7. Filetage à la fraise à profil unique

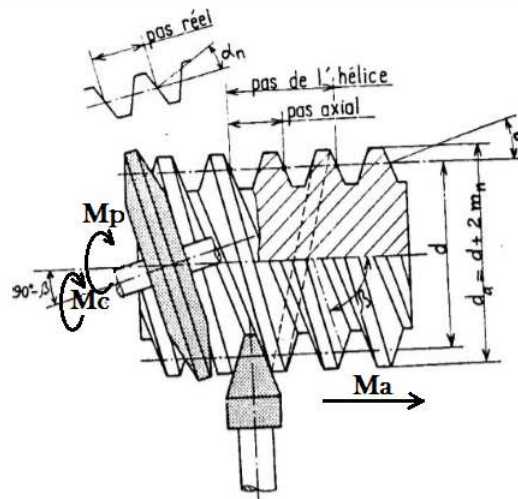


Fig. 5.8. Filetage à la meule à profil unique

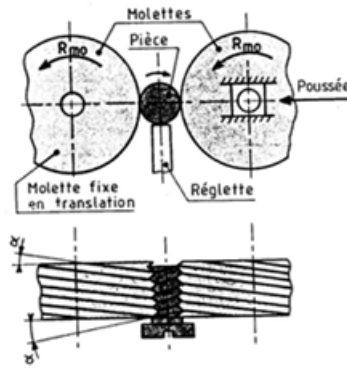


Fig. 5.9. Laminage avec des molettes

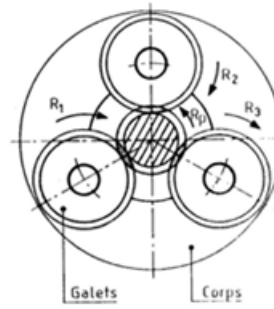


Fig. 5.10. Filetage par roulage

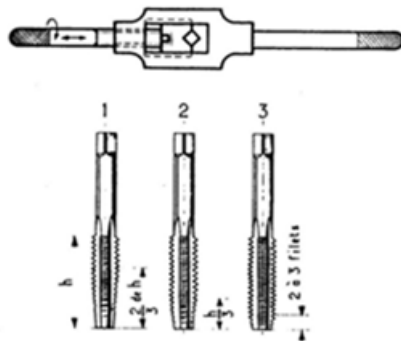


Fig. 5.11. Jeu de tarauds avec une tourne à gauche

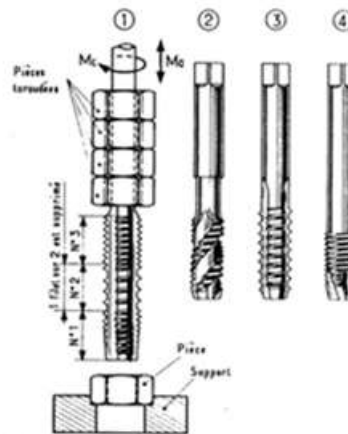


Fig. 5.12. Types de tarauds

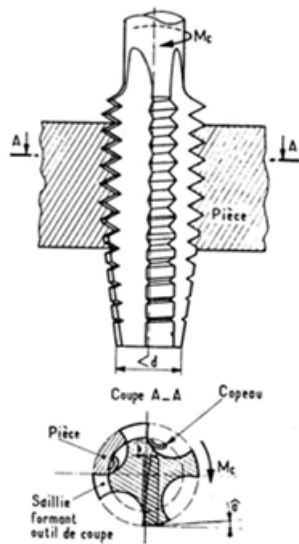


Fig. 5.13. Mode de travail d'un taraud

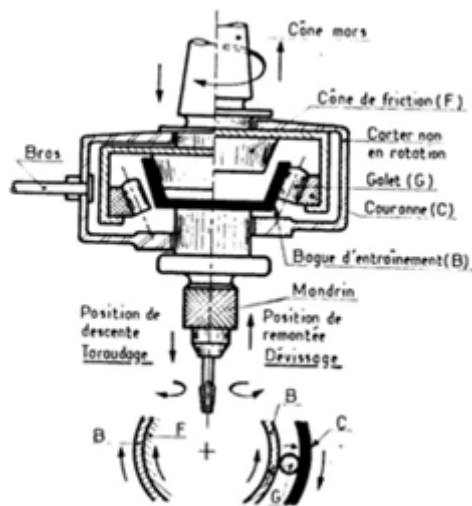


Fig. 5.14. Dispositif de taraudage mécanique

## Chapitre VI : Rectification, rodage et super finition

### 6.1. La Rectification :

Pour des raisons de précision qui tiennent à la fois aux dimensions, aux états de surface et aux conditions de dureté des pièces, on est amené à utiliser des outils différents de ceux qui sont généralement utilisés pour couper la matière.

Le meulage ou rectification est un procédé qui consiste à couper rapidement et en assez grande quantité de très petites particules de matière à l'aide d'un outil à tranchants multiples appelé « meule ». Ce procédé est utilisé, dans la plupart des cas, pour des travaux d'ébauche fine, de finition, voire de super finition (qualité 7-6-5) des pièces très dures en acier ayant subi des traitements thermiques (cimentation, trempe, carbonitruration, etc.), en fonte ou en d'autres alliages.

Pour qu'un travail de rectification conduise à un bon résultat, il faut judicieusement choisir la meule et les conditions de travail.

### 6.2. Etude de l'outil « Meule » :

Les meules sont constituées de grains abrasifs très durs maintenus entre eux par un agglomérant qui leur sert de support. L'aspect général d'une meule est donné par (Fig. 6.1).

Une meule est caractérisée par sa forme, ses dimensions et ses spécifications.

#### A) Formes et dimensions des meules :

Les meules ont des dimensions normalisées et se définissent par les diamètres extérieur et intérieur ainsi que par l'épaisseur (Fig. 6.2).

Les meules sont de différentes formes (Fig. 6.3) et le choix d'une telle forme dépend de la nature du travail à réaliser (rectification cylindrique extérieure ou intérieure, plane, de forme, etc.).

#### B) Spécifications d'une meule : (Fig. 6.4)

- **Principaux abrasifs** : L'abrasif est l'élément utilisé sous forme de grains pour permettre l'action de coupe de la meule. On peut trouver les abrasifs suivants :
  - **Abrasifs naturels** : Ce sont les corindons naturels à base d'Alumine plus ou moins pure et le diamant naturel.
  - **Abrasifs artificiels** : dans ce type, on distingue les classes suivantes :
    - Les abrasifs alumineux (symbole A) : Ils sont tirés de la Bauxite et dénommés Alundun, Corindon, etc.
    - Les abrasifs siliceux (symbole C) : Ce sont des carbures de silicium et sont appelés Crystalon, Carborundon, etc.
    - Le diamant en poudre (symbole D) : Il est utilisé pour la finition de l'affutage des outils en carbure métallique.

A titre comparatif on peut classer les abrasifs précités en fonction de leurs duretés (Knoop) : - Alumine : 2000, - Carbure de Si : 2500, - Diamant : 8000.
- **Grosseur des grains** : La grosseur d'un grain abrasif peut être déduite de son numéro de référence qui indique le nombre de mailles par pouce linéaire (un pouce = 25,4 mm). La grosseur de grain est normalisée :

Grains grossiers : 6-8-10-12-14-16-20-24  
 Grains moyens : 30-36-46-54-60-70-80  
 Grains fins : 90-100-120-150-180  
 Grains très fins : 220-240-280-320  
 Poudres : 400-500-600

**Exemple :**

Pour un grain de N°60, sa dimension est égale à  $25.4/60 = 0.42$  mm

- **Grade de dureté :** Le grade de dureté est une indication de la résistance des grains à l'arrachement, il est désigné par des lettres majuscules de D à Z.
  - **Grade tendre : D-H**
  - **Grade moyen : I-M**
  - **Grade dur : N-R**
  - **Grade très dur : S-Z**

En règle générale, on utilise des meules dites « tendres » pour la rectification des métaux durs et « inversement ».
- **Structure :** L'espace entre des grains abrasifs est appelé « structure de la meule ». Elle est caractérisée par un chiffre variant de 1 à 12. Plus le nombre est faible, plus les grains sont serrés.
- **Agglomérant :** Les grains abrasifs sont liés entre eux à l'aide d'un liant ou agglomérant symbolisé par des lettres qui indiquent la nature de l'agglomérant utilisé.
  - Vitrifié (céramique) : Symbole (V)
  - Silicate : Symbole (S)
  - Caoutchouc : Symbole (R)
  - Résine synthétique : Symbole (B)
  - Métallique : Symbole (M)

**C) Désignation normalisée :**

La spécification comporte sept symboles rangés dans l'ordre :

- Type et origine de l'abrasif (facultatif)
- Nature de l'abrasif
- Grosseur des grains
- Grade de dureté
- Structure (facultative)
- Nature de l'agglomérant
- Marque d'identification du type de l'agglomérant (facultative)

**Exemples**

- 38A 60 L 6 VG : Cette meule est destinée pour rectifier les aciers traités.
- 37C 46 L 5 M : Cette meule est destinée pour rectifier les fontes.
- 37C 46 K 5 VBE : Cette meule est destinée pour rectifier les laitons et le bronze.

**6.3. Procédés de rectification :****A) Rectification cylindrique extérieure :**

Dans les travaux de rectification extérieure, on envisage deux cas :



□ **Rectification par balayage :** (Fig. 6.5)

Dans le cas où la longueur de la surface à rectifier est largement supérieure à la largeur de la meule ( $L \gg B$ ), le mode de rectification le mieux adopté est celui par génération ponctuelle (par balayage). La pièce est montée selon un montage mixte ou entre pointes et entraînée par un toc ou par des griffes après avoir roder les centres qui servent de référence. Le mouvement de coupe ( $M_c$ ) est donné à la meule par sa rotation, alors que la pièce reçoit deux mouvements à la fois ; une rotation ( $M_r$ ) et une translation alternative ( $M_t$ ) parallèle à la génératrice à rectifier.

Les surfaces rectifiées par ce mode sont les cylindres et les cônes longs.

□ **Rectification par plongée :** (Fig. 6.6)

Dans ce mode, la rectification est réalisée par génération linéaire (par plongée). Elle est adoptée pour rectifier des arbres étagés, des surfaces de forme et des cônes courts. Le travail par plongée consiste à donner un mouvement d'avance continu ( $T$ ) à la meule, perpendiculaire à l'axe de la surface à rectifier lorsqu'elle est en mouvement de coupe ( $M_c$ ). La pièce reçoit toujours une rotation ( $M_r$ ) autour de son axe.

□ **Cas de rectification des épaulements :**

Pour rectifier un épaulement droit, la rectification du cylindre et de l'épaulement doit être réalisée séparément. Par contre, pour rectifier l'épaulement en plongée, on utilise une meule assiette (Fig. 6.7.A). Parfois, si la machine le permet, il est possible de rectifier par génération ponctuelle aussi bien l'épaulement droit et le cylindre par meule tronconique (Fig. 6.7.B).

**Conclusion :**

La rectification par balayage est avantageuse par rapport à la rectification en plongée du point de vue précision car les défauts de géométrie de la meule ont un effet presque nul sur la surface rectifiée. Par contre, on émit beaucoup de temps lors de la rectification.

**B) Rectification cylindrique intérieure :** (Fig. 6.8)

Ce procédé est prévu pour la rectification des surfaces de révolution intérieures (cylindriques, coniques ou de forme) qui peuvent être réalisées par balayage ou par plongée.

En raison du montage de la meule sur un support toujours en porte à faux et de sa fréquence de rotation très élevée (jusqu'à 100.000 tr/min), l'arbre porte-meule doit être aussi rigide que possible et les profondeurs de passe doivent être minimales.

Le diamètre de la meule ( $D$ ) est choisi en fonction du diamètre du trou ( $d$ ) d'après la formule :

$$D = kd$$

Avec :  $k=0.9$  si  $d=30-80$  mm

$k=0.85-0.8$  si  $d=80-125$  mm et  $k=0.75$  si  $d=125-160$  mm

**C) Rectification par planétaire :** (Fig. 6.9)

Ce type de rectification est pratiqué lorsque la surface à rectifier se trouve à l'intérieur d'une pièce lourde ou très excentrique. Dans ce cas, la pièce est fixée sur la table de la machine à rectifier spéciale et la meule reçoit deux mouvements en même temps ; le premier autour de

son axe ( $V_m$ ) et le second autour de l'axe de la surface à rectifier ( $V_p$ ). Parfois, il est possible de réaliser la rectification longitudinale par balayage ( $M_f$ ) ou par plongée (T).

#### D) Rectification sans centres ou « Centless » :

La pièce est placée sur une réglette entre la meule de travail et celle d'entraînement juste au-dessus du plan passant par les axes des meules sur une hauteur (H). Ce procédé est très rapide et assez précis.

La rectification est réalisée soit en plongée soit à l'enfilade sur des rectifieuses sans centres.

##### □ Rectification sans centres en plongée : (Fig. 6.10)

Pour la rectification en plongée, la pièce est immobile en translation pendant toute la durée de l'opération. Le mouvement de pénétration ( $M_p$ ) est effectué par la meule d'entraînement qui à l'axe parallèle à celui de la meule de travail. Ce mode de rectification est adopté pour des pièces de forme, des arbres étagés et des tubes (Fig. 6.11).

##### □ Rectification sans centres à l'enfilade : (Fig. 6.12)

Pour rectifier à l'enfilade, l'avance axiale des pièces est assurée par inclinaison de l'axe de la meule d'entraînement d'un angle ( $\alpha$ ) variant entre  $3^\circ$  et  $5^\circ$ .

L'avance est calculée comme suit :  $a = V_{me} \sin(\alpha)$

où  $V_{me}$  : vitesse de la meule d'entraînement.

On utilise la rectification sans centres à l'enfilade pour rectifier des surfaces cylindriques ayant un même diamètre tels que les barres longues (Fig. 6.13), des bagues et toutes les pièces qui peuvent être rangées sur la réglette support de la rectifieuse.

$$H=0.5d \text{ si } d < 15\text{mm} \text{ et } H=0.2d+4 \text{ si } d > 15 \text{ mm}$$

#### E) Rectification plane :

La rectification plane est destinée pour rectifier des surfaces planes et des surfaces réglées à directrice curviligne par une meule qui travaille de profil ou de face ou avec un train de meules. Ce procédé peut être effectué sur des rectifieuses planes qui sont souvent équipées de plateaux magnétiques (Fig. 6.14).

Les rectifieuses à table rectangulaire (Fig. 6.15) assurent les mouvements suivants :

- Mouvement de coupe ( $M_{cm}$ ) : donné à la meule par sa rotation et exprimé par (m/s)
- Mouvement d'avance ( $M_f$ ) : donné à la meule. Il est rectiligne et discontinue en rectification de profil et exprimé en (mm/cd) ou rectiligne continu en rectification de face et exprimé en (mm/min)
- Mouvement d'avance ( $M_{cp}$ ) : donné à la pièce par sa translation alternative et exprimé par (cd/min).

Les rectifieuses à table circulaire (Fig. 6.16) assurent les mouvements suivants :

- Mouvement de coupe ( $M_{cm}$ ) : donné à la meule par sa rotation et exprimé par (m/s)
- Mouvement d'avance ( $M_f$ ) : rectiligne et continue en rectification de profil et exprimé en (mm/min) ou circulaire continu en rectification de face et exprimé en (tr/min)

- Mouvement d'avance ( $M_{cp}$ ) : donné à la pièce par sa rotation continue et exprimé en (tr/min).

En général, pour éviter la déformation des pièces à cause de l'échauffement, il est nécessaire de lubrifier la zone de contact entre la meule et la pièce.

### F) Rectification des filetages :

La rectification d'un filetage fin, très précis et lisse (filets des tarauds, fraises-mère, tampons filetés etc.) est réalisée avec deux types de meules :

- **Rectification par meule dite à un seul profil :** (Fig. 6.17)

L'axe de la meule ayant la forme du creux du filet est incliné suivant l'hélice moyenne du filet à rectifier. La rectification est réalisée flanc par flanc tout en assurant une concordance entre les mouvements de la pièce et de la meule.

Ce procédé est lent mais très précis surtout si le réaffutage de la meule est fréquent.

- **La rectification par meule à profil multiple :**

Dans ce procédé les axes de la meule et de la pièce sont parallèles et la largeur de la meule doit être supérieure à celle de la zone fileté. La rectification est réalisée, en général, en plongée tout en assurant un mouvement d'avance axial dont la valeur est égale au pas par tour de la pièce pour générer toute la surface fileté.

### G) Rectification des engrenages :

La rectification des dents permet d'obtenir un profil précis (qualité 7) et une surface très polie. Cependant, cette méthode est la moins productive par rapport à d'autres procédés de finition et elle exige des machines spéciales. La rectification des dents peut être réalisée par l'une des deux méthodes suivantes :

- **Rectification par transformation :**

Dans cette méthode, on utilise une meule de forme qui reçoit un mouvement de coupe rotatif. Dans le procédé « Orcutt, Fig. 6.18.A », la meule ayant la forme du creux de l'entre dent à rectifier reçoit une avance rectiligne alternative et un mouvement de pénétration en plongé tandis que la pièce est immobile. Pour rectifier toute la denture, la pièce reçoit une division au nombre de dents. Un autre procédé appelé « Zahnradwerke, Fig. 6.18.B » utilise deux meules disposées en parallèle qui reçoivent les mêmes mouvements pour rectifier des flancs de deux dents différentes.

- **Rectification par génération :**

Dans cette méthode, on peut utiliser une ou deux meules assiettes (Fig. 6.19.A), tournant en mouvement de coupe et reçoivent un mouvement d'avance rectiligne alternatif.

Pour reproduire une translation à la crémaillère fictive, formée par les deux meules assiettes, la roue à rectifier reçoit une rotation autour de son axe immobile ( $M_r$ ) et un déplacement rectiligne dans le sens opposé ( $M_d$ ). On rectifie, de cette façon, un seul flanc d'une dent mais en changeant le sens de pivotement de la pièce, on peut rectifier le deuxième flanc. Le passage à un second entre dents nécessite une opération de division.

Un autre procédé appelé « Reishauer, Fig. 6.19.B » utilise un principe de travail identique à celui de la machine à tailler par fraise-mère. La meule est taillée comme une vis sans fin et entraîne la roue à rectifier libre en rotation.

#### 6.4. Le Rodage :

Le rodage a pour but d'améliorer les états de surfaces en diminuant l'importance des stries et permet d'obtenir une surface rodée de rugosité entre 0.1-0.2  $\mu\text{m}$ . Par contre, ce procédé ne peut pas corriger les défauts de forme de la surface usinée s'ils existent (circularité, cylindricité, rectitude, etc.)

On peut distinguer deux types de rodage

##### A) Rodage des surfaces cylindriques intérieures : (Fig. 6.20)

Le rodage intérieur est, fréquemment, utilisé au cours des opérations de finition des cylindres de moteurs ou des alésages sur lesquels une bonne qualité de surface est exigée (0.25  $\mu\text{m}$ ).

L'outil comportant trois ou quatre bâtons rodoirs, fixés sur un support expansible, est monté flottant sur la broche de la machine à roder. Ce montage permet l'auto-centrage du rodoir dans l'alésage.

L'outil reçoit un mouvement hélicoïdal résultant de la combinaison d'une rotation à la vitesse de 30-50 m/min et d'une translation alternative à la vitesse de 10-20 m/min.

Le dispositif permettant l'expansion du rodoir assure une pression de rodage de l'ordre de 1-5 bars ( $\text{Bar}=\text{Kgf/cm}^2$ ) pour le rodage de finition.

Au cours du rodage, la surface doit être lubrifiée avec de l'huile, du pétrole, du gazole etc.

Pratiquement, tous les matériaux peuvent être rodés : aciers traités ou non traités, pièces chromées, matières plastiques, carbures, etc.

Le contrôle de la cote rodée s'effectue automatiquement par déclenchement de la machine si le calibre entre dans l'alésage.

##### B) Rodage des surfaces planes : (Fig. 6.21)

En fonction de dimensions des pièces rodées, on peut envisager deux montages de rodage :

###### □ Premier montage :

Dans le cas où les pièces sont de petites dimensions, on peut roder plusieurs pièces à la fois. Les pièces sont emprisonnées dans des cages entre deux plateaux en fonte dont les faces sont rigoureusement planes. Le plateau supérieur est fixe en rotation assurant la pression de rodage, alors que le plateau inférieur est animé de deux mouvements de rotation dont l'un autour de l'axe X-X et l'autre autour de l'axe Y-Y.

Pour qu'il y ait un rodage, l'abrasif est amené par le liquide d'arrosage.

###### □ Deuxième montage :

Lorsque la pièce a des dimensions importantes, le rodoir plan en fonte, enrobé d'une pâte à roder, reçoit un mouvement de rotation continue accompagné parfois d'un mouvement oscillatoire. Le support porte-pièce est animé, à son tour, d'un mouvement de rotation. Une légère pression est appliquée sur le rodoir pour assurer le rodage.

### 6.5. La Superfinition :

Comme le rodage, la superfinition (Fig. 6.22) a pour objet de réduire la rugosité des surfaces de révolution extérieures et de supprimer la couche altérée par la rectification (couche de Beilby). La superfinition s'effectue sur une machine spéciale ou bien sur un tour spécialement équipé avec un outil constitué par des pierres abrasives à finesse de grains ayant l'indice jusqu'à 1000.

A la différence du rodage, la rotation est donnée à la pièce, alors que la translation et le battement sont donnés à l'outil. L'amplitude de battement est faible (1 à 6 mm), alors que sa fréquence est très élevée (2500 battements par minute).

### 6.6. Le Galetage :

Les surfaces préalablement ébauchées par usinage conventionnel (tournage ou rectification) présentent toujours des sillons constitués par des sommets et des creux situés par rapport à la ligne moyenne. Le galetage a pour effet de réduire les sommets et de les ramener, par déformation, au niveau de la ligne moyenne (Fig. 6.23.A).

Le galetage s'applique, principalement, sur des aciers ayant une limite d'allongement se situe à environ 6% et une résistance mécanique équivalente à 150 daN/mm<sup>2</sup>. Cependant, certaines fontes se prêtent assez bien à l'opération de galetage de finition.

La technique de galetage s'est progressivement imposée vis-à-vis de la rectification par l'amélioration des états de surface, par l'amélioration des caractéristiques mécaniques des couches superficielles du matériau et par sa rentabilité élevée pour les grandes séries.

Un dispositif de galetage (Fig. 6.23.B) se compose d'un galet de travail en acier dur (100C6 ou Z100CD17) et de deux galets-supports. L'ensemble exerce une pression constante sur le métal qui se déforme dans des conditions dynamiques et oblige la matière à remplir les creux par écoulement forcé.

Selon les caractéristiques de base du matériau, les surépaisseurs de matière nécessaires au galetage sont assez variables :

- De 15 à 20 µm sur les pièces ébauchées par tournage
- De 6 à 8 µm sur les pièces ébauchées par rectification.

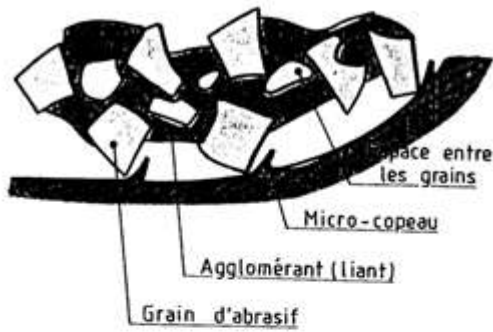


Fig. 6.1 Structure d'une meule

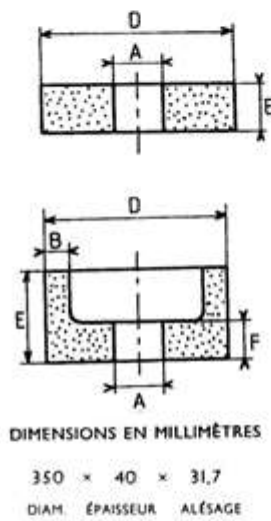


Fig. 6.2 Dimensions d'une meule

Forme	Désignation
	Plate ou disque
	A embrèvement (un côté)
	Boisseau droit
	A embrèvements (deux côtés)
	Boisseau conique
	Assiette
	Meules sur tige
	Meule boisseau droit à support métallique

Fig. 6.3 Formes des meules

GRADE

D	I	N	S	X
E	J	O	T	Y
F	K	P	U	Z
G	L	Q	V	
H	M	R	W	

NATURE DE L'ABRASIF

Symbole Norton	Symbole universel	Marque Norton	Nature
Néant	A	Alundum régulier	Corindon ordinaire
19	A	— 19	— spécial
57	A	— 57	— spécial
38	A	— 38	— supérieur
32	A	— 32	—
37	C	Crystolon 37	Carbure de Si noir
39	C	— 39	— vert
"	D	"	Diamant

AGGLOMÉRANT

Symbole universel	Nature	Symbole Norton complémentaire facultatif
V	Vitrifié	BA, BE, P
B	Résinoïde	H, S, 7, P
S	Silicate	V
R	Rubber	F
E	Shellac	V
M	Métallique	"

\* caoutchouc

GROSSEUR DE GRAIN

Très gros	Gros	Moyen	Fin	Très fin	Poudres
6	12	30	90	220	400
8	14	36	100	240	500
10	16	44	120	280	600
"	20	54	150	320	"
"	24	64	180	"	"
"	"	70	"	"	"
"	"	80	"	"	"

\* Ancrage n° 40  
\*\* Ancrage n° 50

STRUCTURE

Grains très tassés	Espacement de grains moyen	Grains très écartés
0	4	7 10
1	5	8 11
2	6	9 12
3	"	" "

(FACULTATIF)

**38A 46 - K 5 VBE**

Fig. 6.4. Désignation normalisée d'une meule

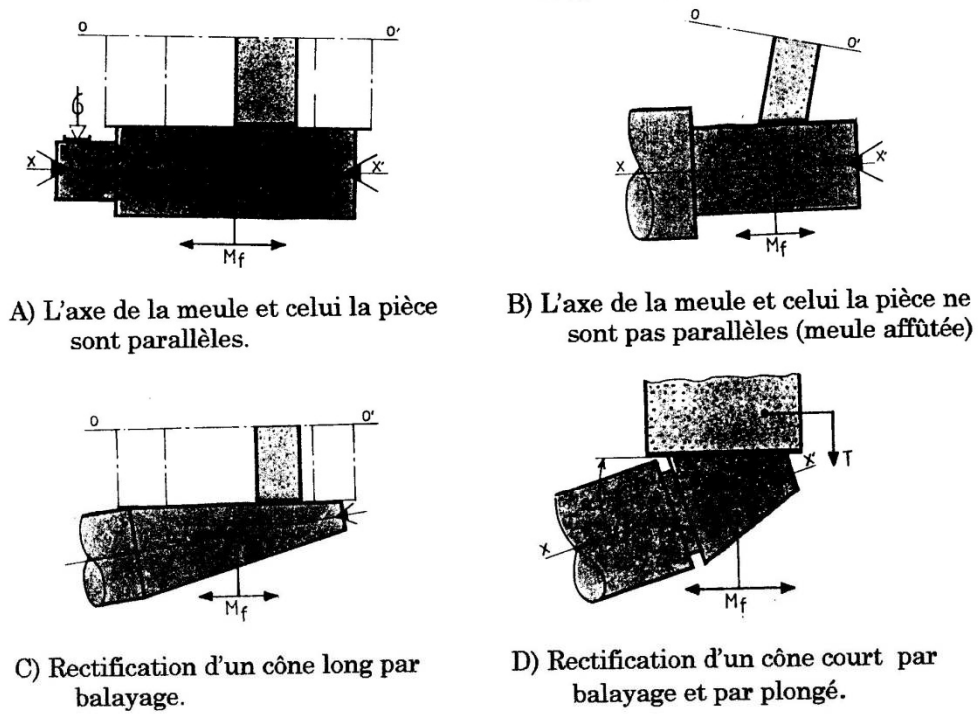


Fig. 6.5. Rectification cylindrique extérieure par balayage

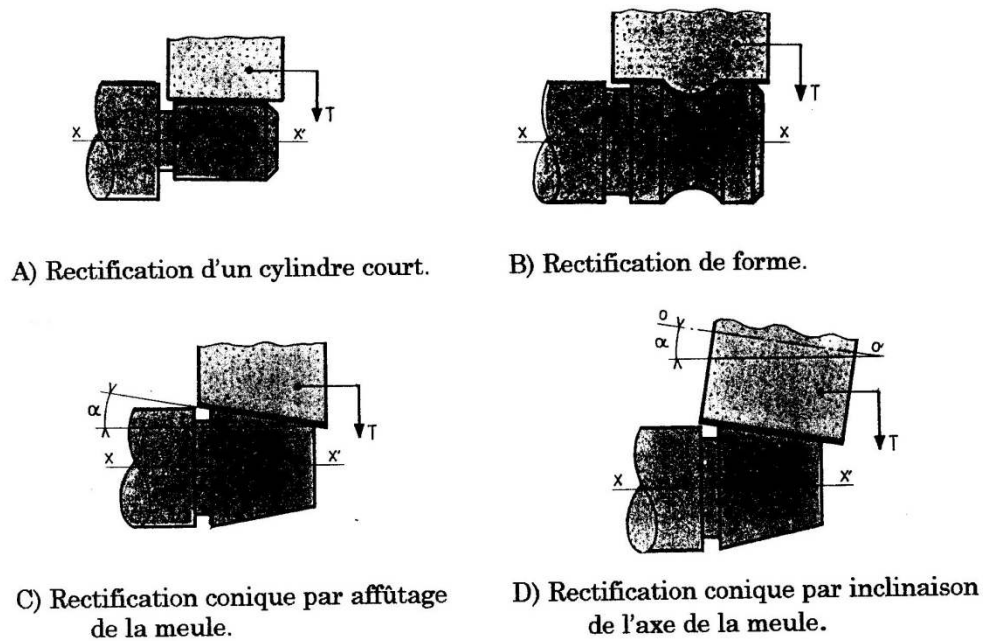
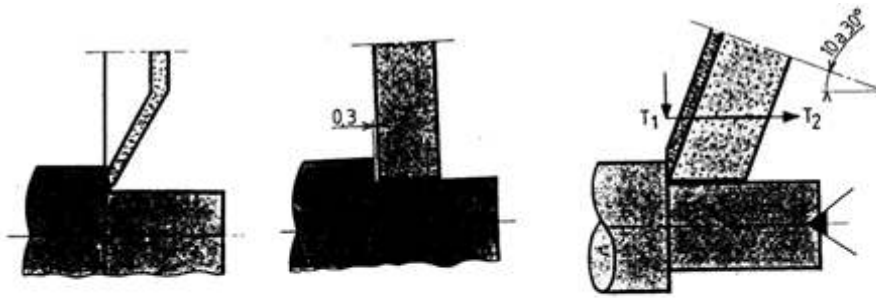


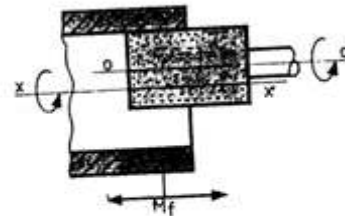
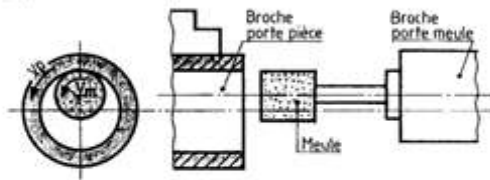
Fig. 6.6. Rectification cylindrique extérieure par plongée



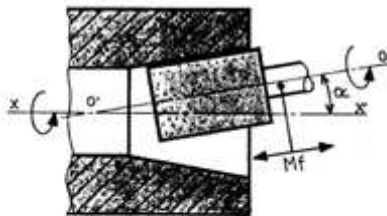
A) Rectification du cône et du cylindre séparément      B) Rectification du cône et du cylindre par meule tronconique

**Fig. 6.7. Rectification cylindrique extérieure des épaulements**

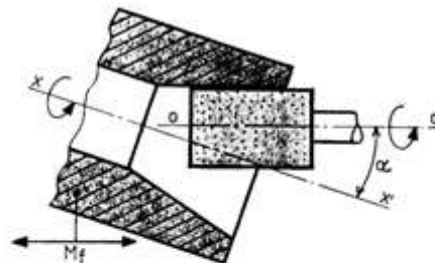
$V_m = 25 \text{ à } 32 \text{ m/s}$   
 $V_p = 8 \text{ à } 25 \text{ m/min}$



A) Rectification d'un cylindre intérieur



B) Rectification d'un cône par inclinaison du porte-meule



C) Rectification d'un cône par inclinaison du porte-pièce

**Fig. 6.8. Rectification cylindrique intérieur**



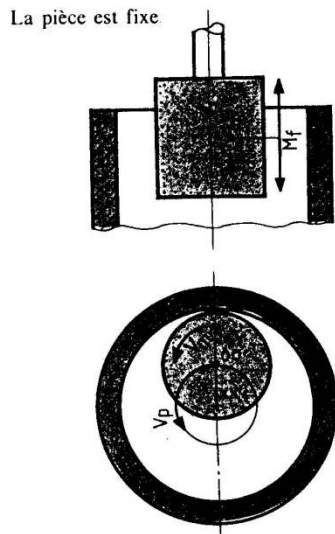


Fig. 6.9. Rectification par planétaire

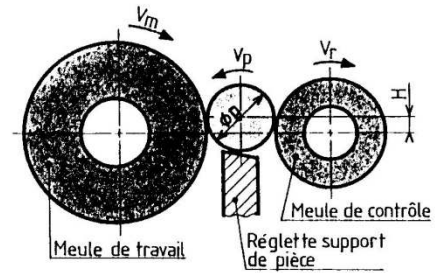
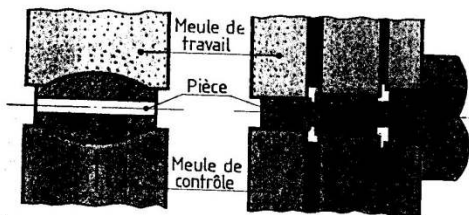
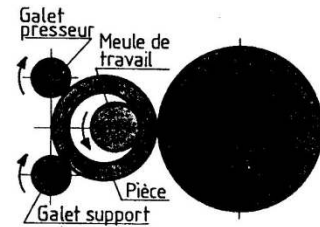


Fig. 6.10. Rectification sans centre en plongée



A) Rectification d'une surface de forme



B) Rectification d'un arbre étagé

C) Rectification d'un anneau

Fig. 6.11. Exemples de rectification sans centre en plongée

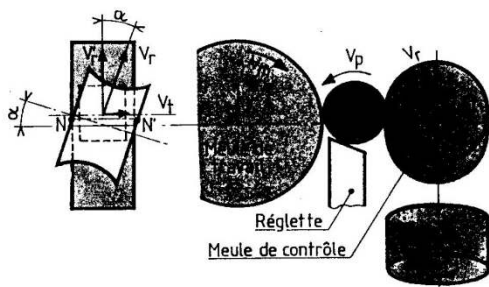


Fig. 6.12. Rectification sans centre à l'enfilade

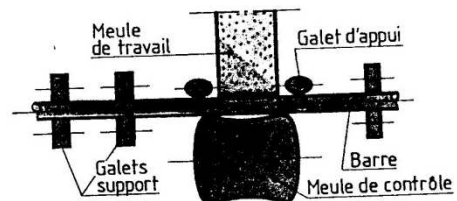


Fig. 6.13. Rectification sans centre à l'enfilade d'une barre longue

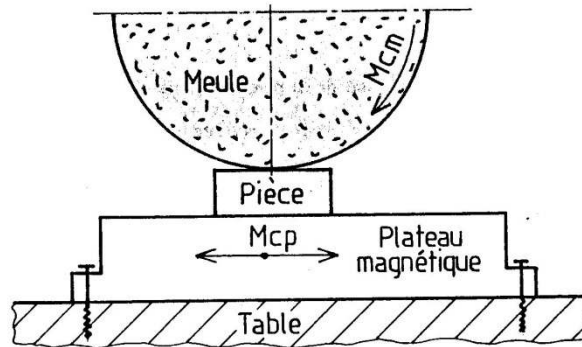


Fig. 6.14. Pièce montée sur plateau magnétique.

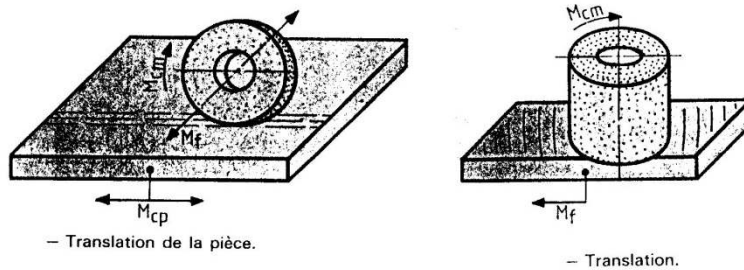


Fig. 6.15. Rectification plane sur table rectangulaire.

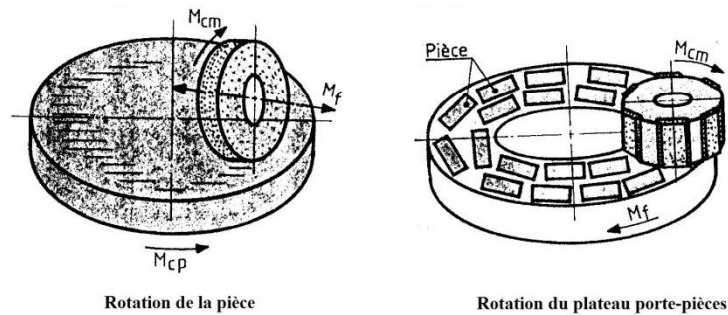


Fig. 6.16. Rectification plane sur table circulaire

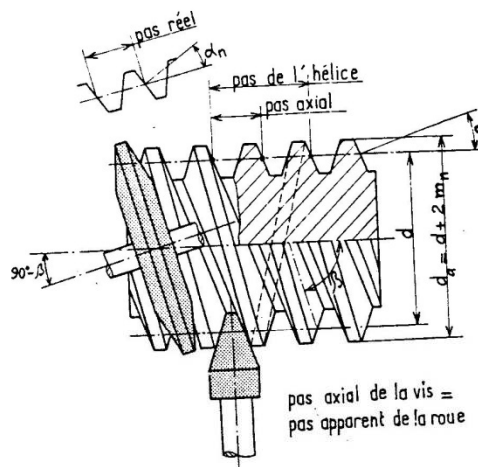
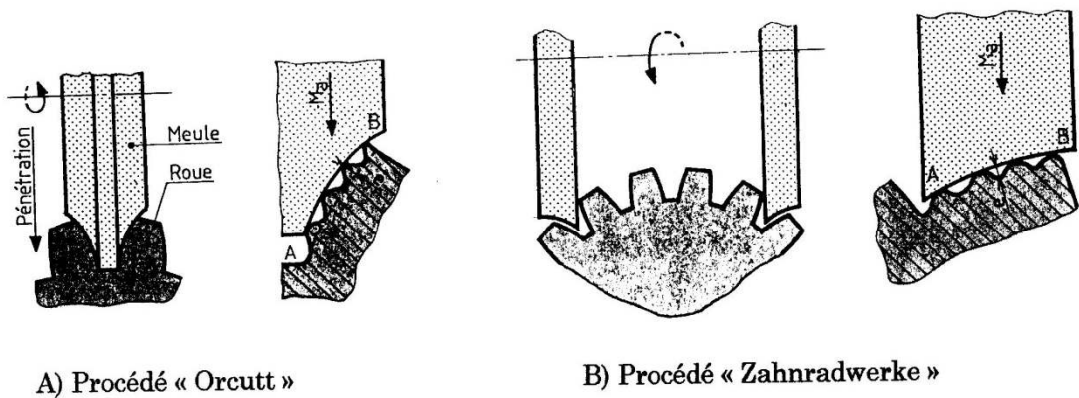


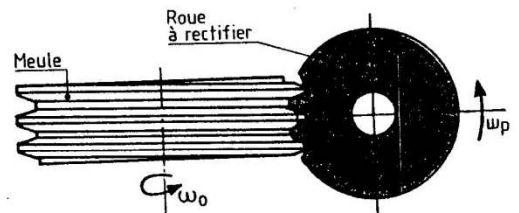
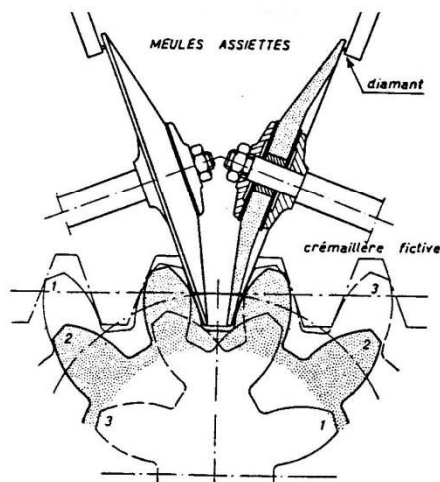
Fig. 6.17. Rectification des filets par meule à profil unique



A) Procédé « Orcutt »

B) Procédé « Zahnradwerke »

Fig. 6.18. Rectification par meules de forme



A) Par deux meules assiettes

B) Procédé « Reishauer »

Fig. 6.19. Rectification par génération

L'outil est animé d'un mouvement hélicoïdal

- Vitesse de rotation : 35 à 45 m/min
- Vitesse de translation : 8 à 15 m/min

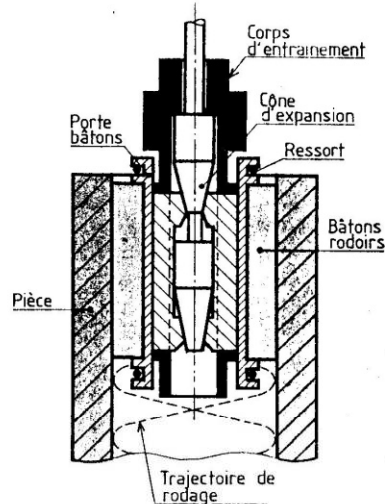


Fig. 6.20. Rodage cylindrique intérieure

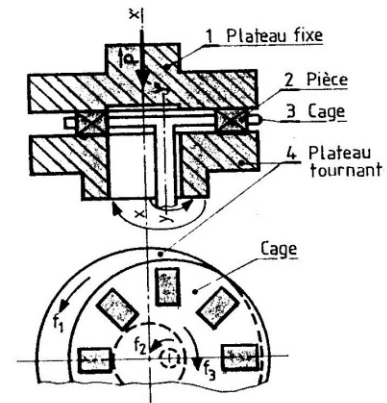


Fig. 6.21. Rodage plan de plusieurs pièces

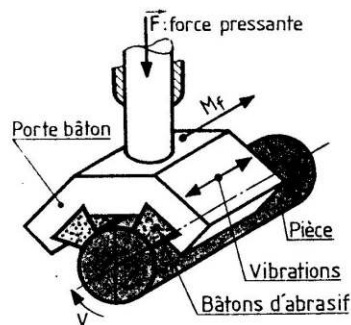


Fig. 6.22. Superfinition d'une pièce cylindrique

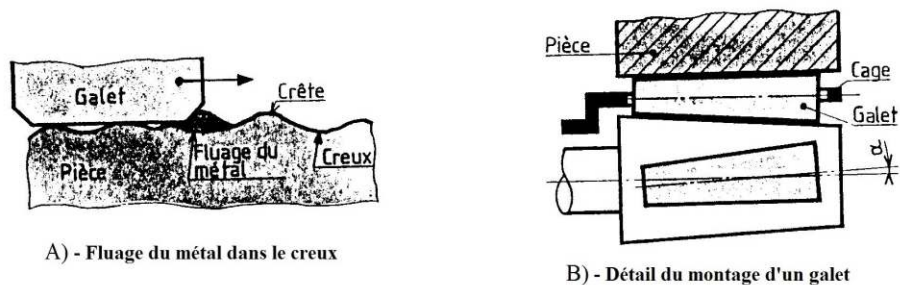


Fig. 6.23. Finition des surfaces par galetage (brunissage)

**Références bibliographiques :**

- [1] J. VERNGNAS, « Usinage, technologie et pratique ». Edition Dunod.
- [2] J. BASSINO, « Technologie en ouvrages métalliques –T.1 : Matériaux, usinage, machines » Edition Foucher.
- [3] CHEVALIER, « Tournage des Métaux ». Edition Delagrave.
- [4] E. LECOEUR, « Usinage sur Machines-Outils ». Edition Delagrave.
- [5] D. POLICET, « Technologie de fabrication ». Edition Foucher.
- [6] DOURNIER, « Fraisage des Métaux ». Edition Delagrave.
- [7] R. BUTIN, « Fabrication Mécanique : Technologie – I, II, III ». Edition Foucher.
- [8] Chevalier, « Usinage par abrasion ». Edition Delagrave.
- [9] J. P. TROTIGNON, « Productique. Organisation et technique des systèmes de production ». Edition Nathan.
- [10] R. DIETRICH et *al.* « Précis, Méthodes d'usinage ». Edition Nathan.
- [11] P. PADELLA, « Guide des fabrications mécaniques ». Edition Dunod.
- [12] D. BAUR et *al.* « Mémontech : Technologies industrielles ». Edition Castilla.
- [13] M. VINCENT et D. GELIN, « Eléments de Fabrication ». Edition Ellipse.
- [14] P. DEPEYRE, « Cours de Fabrication mécanique ». Université de la réunion, France.
- [15] Bibliothèque : <http://www.univ-guelma.dz/bibliotheque/catalogue.asp>
- [16] <http://serge79.over-blog.com/liste-des-articles-r%C3%A9alis%C3%A9s.html>