

<b>LTI</b> <b>M. DELAFOSSE</b>	<b>CHAPITRE 5 :</b> <b>LE BROCHAGE</b>	<b>Classe :</b> <b>Terminale</b>
<b>Année scolaire :</b> <b>20....-20....</b>		<b>EFFECTIF :</b> <b>Elèves</b>

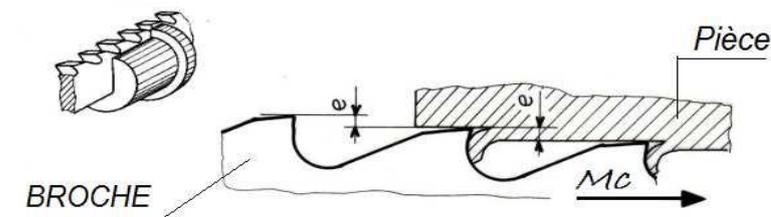
## I. GENERALITES :

Le brochage est procédé d'usinage simple et pratique, précis et à grand rendement par une coupe progressive et rectiligne à l'aide d'un outil à dentures multiples et à sections progressives appelé « **BROCHE** ».

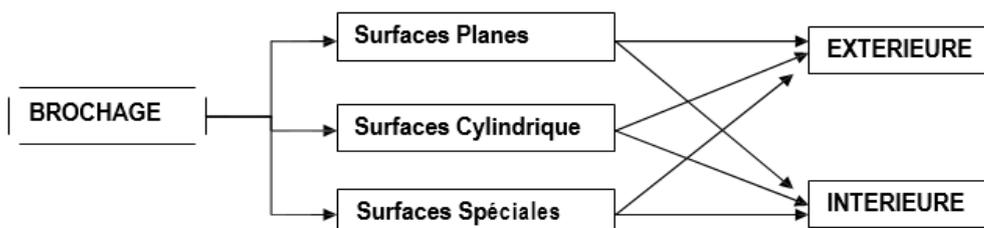
L'usinage se fait généralement en une seule passe dans laquelle sont incluses les opérations d'ébauches, de demi-finition et de finition et à un temps relativement court.

Le brochage a été inventé pour la réalisation de :

- ✓ formes intérieures à génératrices rectilignes parallèles et débouchantes, en concurrence du rainurage et mortaisage.
- ✓ formes extérieures (profils variés) en concurrence du fraisage et du rabotage.



Le brochage par son mouvement de coupe rectiligne s'apparente au rabotage et par son outil à arêtes de coupe multiples au fraisage.



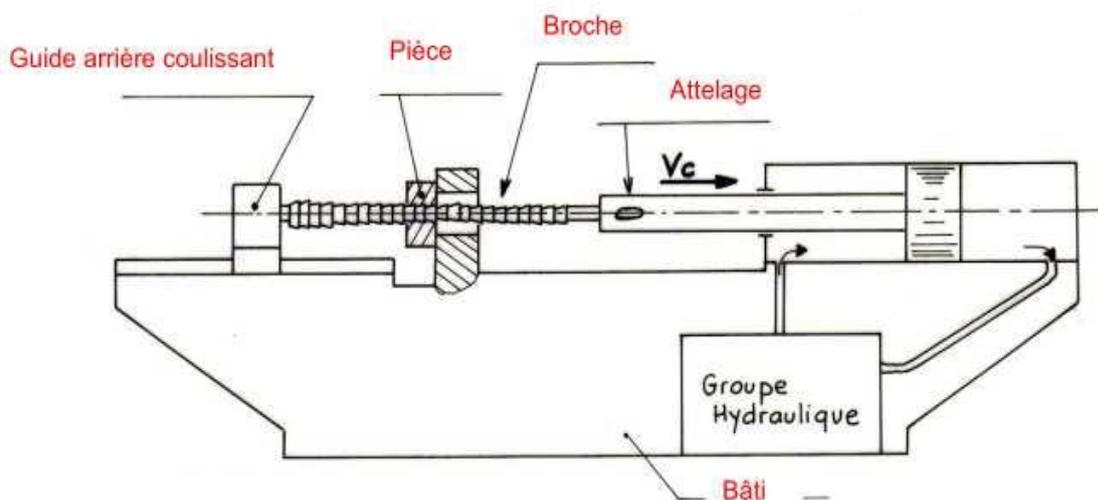
# TECHNOLOGIE GENERALE

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"><li>- Obtention des pièces précises</li><li>- Obtention des profils complexes</li><li>- Rapidité d'usinage et grande cadence de production</li><li>- Montage facile des pièces et des outils</li><li>- Préparation rapide de la machine (opérateur non qualifié)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Usinage des profils débouchants</li><li>- Cout élevé des broches (conception, fabrication)</li><li>- Affutage long et délicat</li><li>- Usinage de grande série de pièces (amortissement des broches) ou <b>sous-traitance</b> des pièces unitaires de profils normalisés</li></ul>

## II. LES MACHINES A BROCHER

### 1. Machine à brocher horizontale

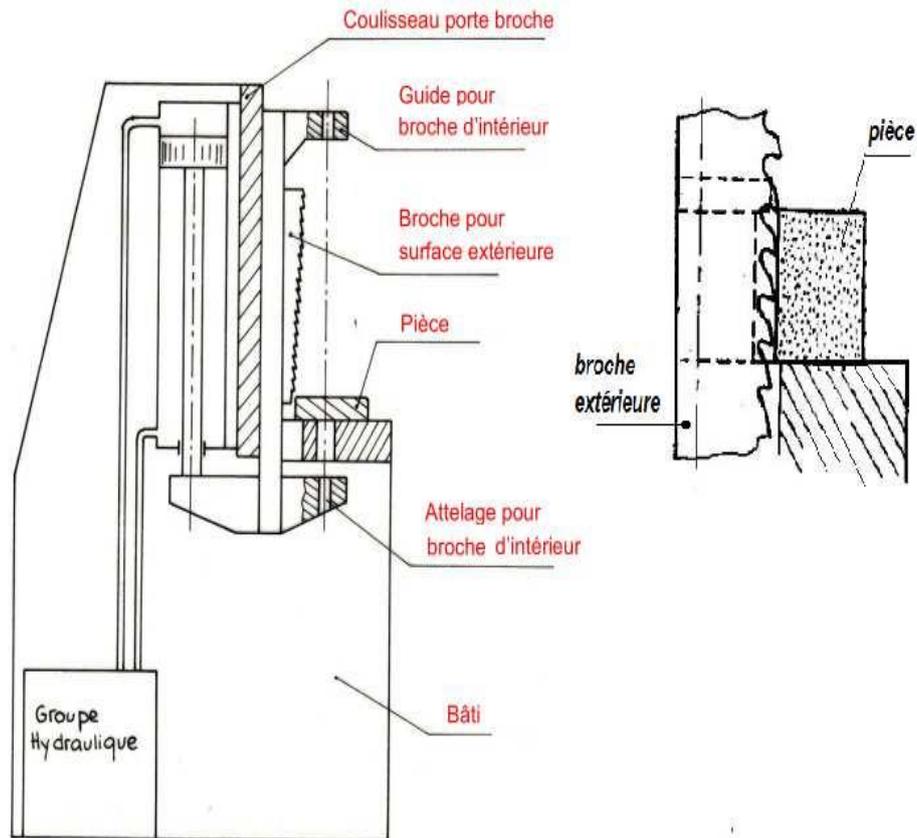
Elles sont utilisées avec des broches de grande longueur et conviennent pour les brochages intérieurs.



### 2. Machine à brocher verticale

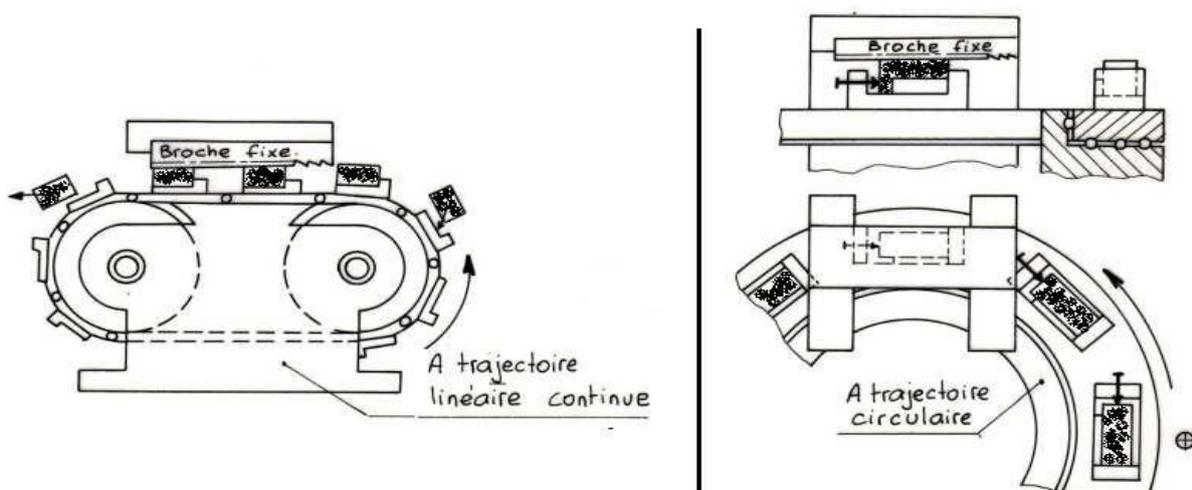
Elles conviennent pour le brochage intérieur ou extérieur. Elles sont en général utilisées avec des broches courtes. Ces machines sont plus adaptées au brochage extérieur et elles comportent deux coulisseaux ; l'un monte pendant que l'autre descend (course active).

Sur ce type de machine la broche est fixée sur un coulisseau porte-broche qui la guide dans son déplacement.



### 3. Machine à brocher spéciale

Elles sont équipées d'accessoires tels que les plateaux rotatifs et permettant une grandes productivité.



# TECHNOLOGIE GENERALE

## 4. Caractéristique générale des machines à brocher

Les machines de petites dimensions sont souvent à commande mécanique par vis et écrou.

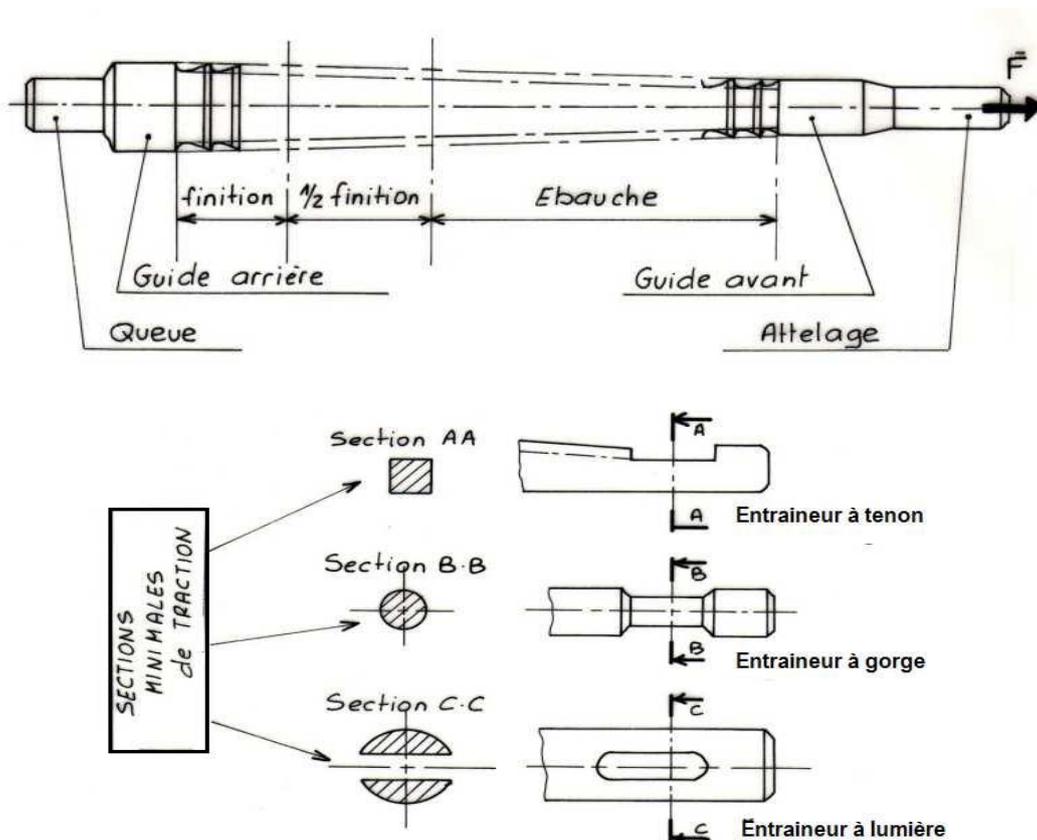
Celles de grandes courses et à forte puissance sont à commande hydraulique :

- ✓ Souplesse de la commande.
- ✓ Limitation de l'effort de traction : (prévenir la rupture de la broche).
- ✓ Retour rapide

	Machine à brocher horizontale	Machine à brocher verticale
<b>Force maximale</b>	40 kN	250 kN
<b>Course maximale</b>	2000 mm	2200 mm
<b>Vc maximale</b>	6 m/mn	2 à 24 m/mn
<b>Qualité obtenue</b>	(5) 6	(5) 6
<b>Rugosité (Ra)</b>	(0,4) 0,8	(0,4) 0,8

## III. OUTILS DE BROCHAGE

### 1. Broche circulaire



L'entraineur : encore appelé « attelage » ou « accrochage » peut être de formes différentes.

# TECHNOLOGIE GENERALE

## a. Les surfaces de guidages :

- ❖ Le guidage avant se positionne dans le trou préalablement réalisé sur la pièce.
- ❖ Le guidage arrière permet de soutenir la broche à l'arrière pendant le travail.

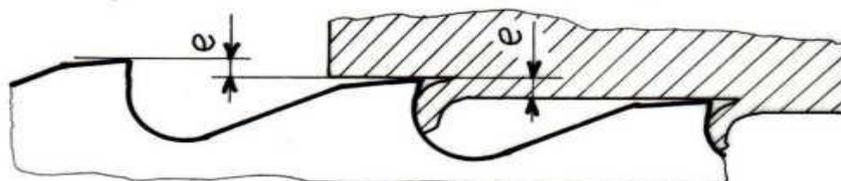
## b. La denture :

Elle comprend généralement 4 parties

- ❖ **Dents d'ébauche** : nombre assez grand pour enlever la quasi-totalité de la matière.
- ❖ **Dents de 1/2 finition** : petit nombre à progression réduite, destinées à préparer l'état de surface requis
- ❖ **Dents de finition** : au minimum au nombre de 4. Elles ont la même cote (pas de progression).elles permettent le calibrage.
- ❖ **Dents de réserve** : pour permettre le réaffutage de la broche tout en conservant le profil de finition initial.

## c. Epaisseur de la broche

Encore appelé « épaisseur coupée » par chaque dent. Elle détermine l'épaisseur du copeau et correspond à l'avance dans un usinage classique.



MATERIAUX	Ebauche "e <sub>1</sub> "	1/2 Finition "e <sub>2</sub> "	finition "e <sub>3</sub> "
Aciers → R < 70 hbar	0,05 à 0,08	0,03 à 0,05	0,01
Aciers → R > 70 hbar	0,04 à 0,05	0,02 à 0,04	0,01
Fontes : Ft 10 à Ft 30	0,06 à 0,1	0,03 à 0,05	0,01
Alliages d'Aluminium	0,1 à 0,2	0,05 à 0,1	0,02
Bronzes	0,15 à 0,3	0,05 à 0,1	0,01

## d. Nombre de dents de la broche

Le nombre de dents « N » est égal à la somme des quotients des épaisseurs enlevées en ébauche (E1), en 1/2 finition (E2) et en finition (E3) par progression correspondante.

$$N = \frac{E1}{e1} + \frac{E2}{e2} + \frac{E3}{e3}$$

## e. Pas « P » et longueur totale de la denture « L » :

Le pas de la denture doit être fonction de :

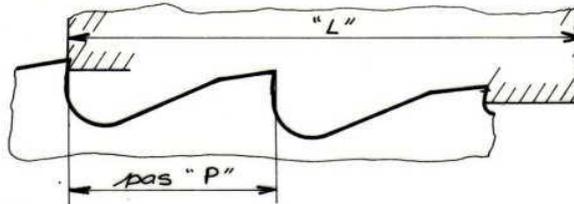
- ✓ La longueur brochée « L ou Lo » : il faut qu'il ait toujours au moins deux dents en prise pour éviter les chocs, donc :  $P = L_o / 2$
- ✓ De l'épaisseur du copeau « e » le copeau doit pouvoir contenir dans l'entre dent sans être comprimé.
- ✓ Du métal à brocher
- ✓ De la puissance de la machine utilisée.

En général le **Pas** aura une valeur sensible égal à :

$$P = 1,75 \sqrt{L}$$

On peut en général employer les formules suivantes

- pour  $L \geq 25\text{mm}$   $P = 2\sqrt{L}$
- pour  $L < 25\text{mm}$   $P = 0,4 \cdot L$



La longueur totale de la denture est donnée par :

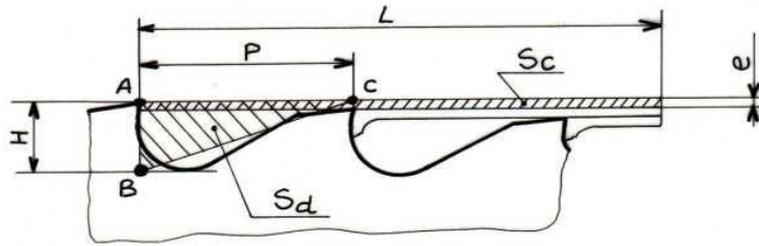
$$LT = LE + LF/2 + LF$$

## f. Profondeur de la denture « H » :

La profondeur de la denture doit être suffisante pour permettre le logement du copeau sans pour cela réduire de façon trop importante le noyau de la broche, car il représente la section supportant l'effort de traction.

La valeur de H est comprise entre :

$$\frac{P}{4} < H < \frac{P}{3}$$

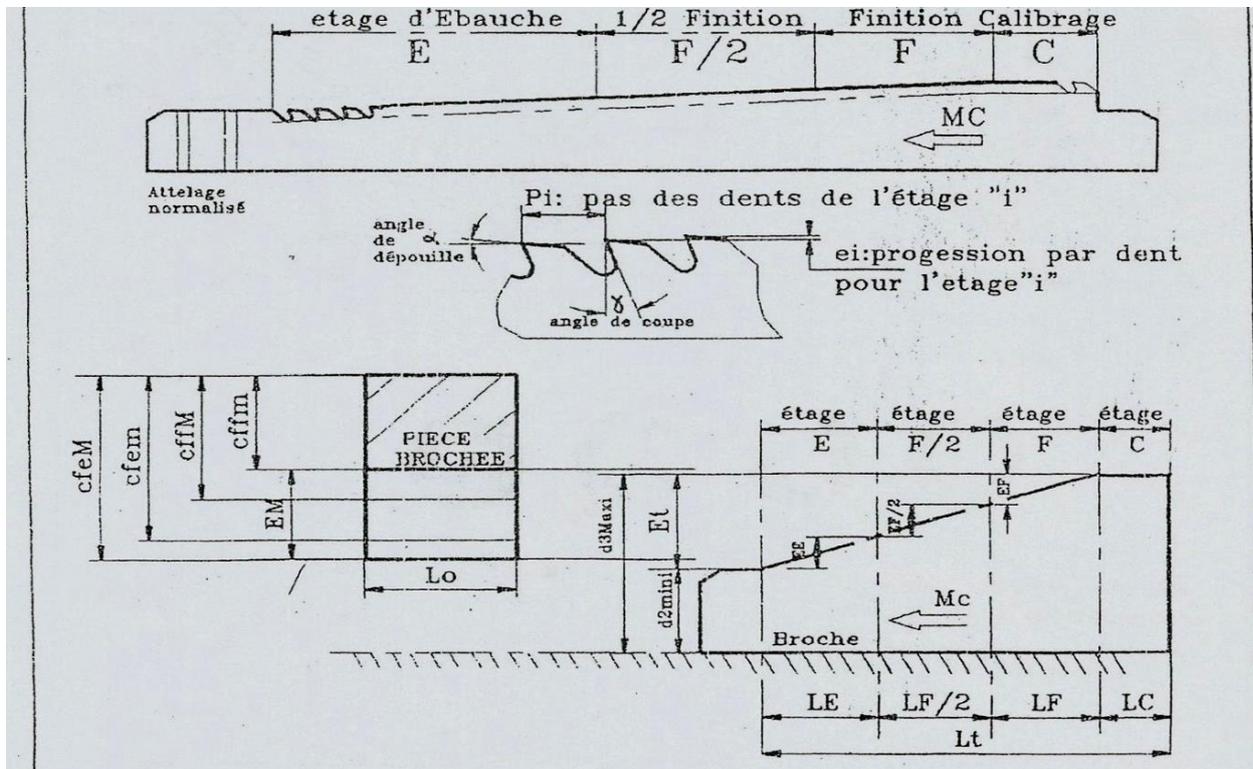


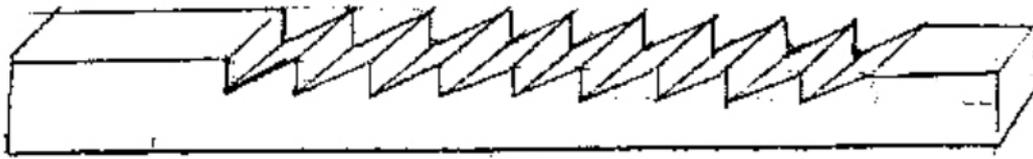
Pour s'assurer que le copeau produit par chaque dent puisse se loger entre 2 dents sans bourrage, on compare la section longitudinale de l'espace compris entre deux dents  $S_d$  à la section longitudinale du copeau  $S_c$  produit par une dent.

$$S_d = \frac{AC \cdot AB}{2} = \frac{P \cdot H}{2} \quad \text{et} \quad S_c = e \cdot L \quad S_d > S_c \quad \frac{P \cdot H}{2} > e \cdot L$$

## 2. Broche plate

Cette broche se caractérise par des étages désignés par : E, F/2, F et C.





BROCHE

**a. Caractéristiques de la pièce :**

- ❖  $c_{feM}$  : cote de fabrication ébauche Maxi
  - ❖  $c_{feM}$  : cote de fabrication ébauche mini
  - ❖  $c_{ffM}$  : cote de fabrication finition Maxi
  - ❖  $c_{ffm}$  : cote de fabrication finition mini
  - ❖  $EM$  : Maximum de matière enlevée sur une pièce.
  - ❖  $L_o$  : longueur de la pièce taillée
- $EM = c_{feM} - c_{ffm}$

**b. Caractéristiques de la broche**

- ❖  $d_{2mini}$  : cote de fabrication mini de hauteur de la première dent ( $IT=K5$ )
- ❖  $d_{3Maxi}$  : cote de fabrication Maxi de la dernière dent ( $IT=K5$ )
- ❖  $E_t$  : progression de la denture depuis l'ébauche jusqu'à la finition
- ❖  $E_t = d_{2Maxi} - d_{2mini}$  :  $E_t = EM - 0.01$
- ❖  $E_i$  : progression pour l'étage  $i$   $E_i = 6E_t/10$  ;  $E_{F/2} = 3E_t/10$  ;  $E_F = E_t/10$
- ❖  $e_i$  : progression par dent :
- ❖  $P$  : Distance entre deux dents consécutives. Si la longueur de la pièce est inférieure à 16mm alors  $P = 0.4L_o$

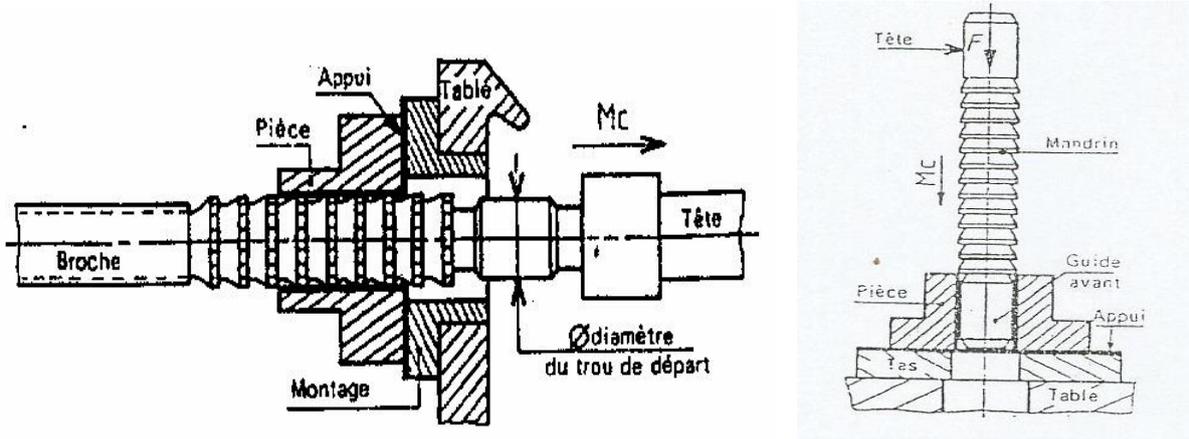
Si  $L_o > 16$  alors :

- ❖  $Z_i$  : nombre de dents pour l'étage  $i$  :  $Z_i = E_i/e_i$
- ❖  $L_i$  : longueur de l'étage  $i$  :  $L_i = Z_i \cdot P_i$
- ❖  $L_T$  : Longueur totale de la broche :  $L_T = L_E + L_{F/2} + L_F + L_C$

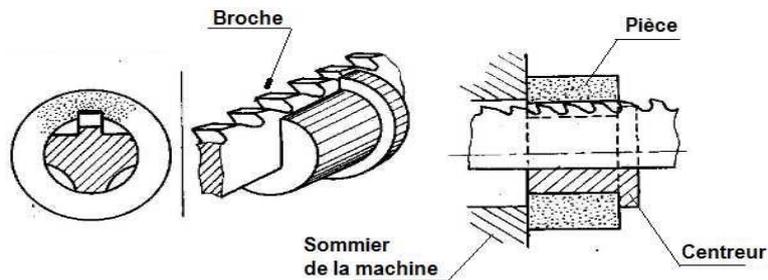
Etage	E	F/2	F	C
Valeur de $P_i$	$1.7\sqrt{L_o}$	$1.5\sqrt{L_o}$	$1.3\sqrt{L_o}$	$P_c = P_F$

## IV. BROCHAGE INTERIEUR :

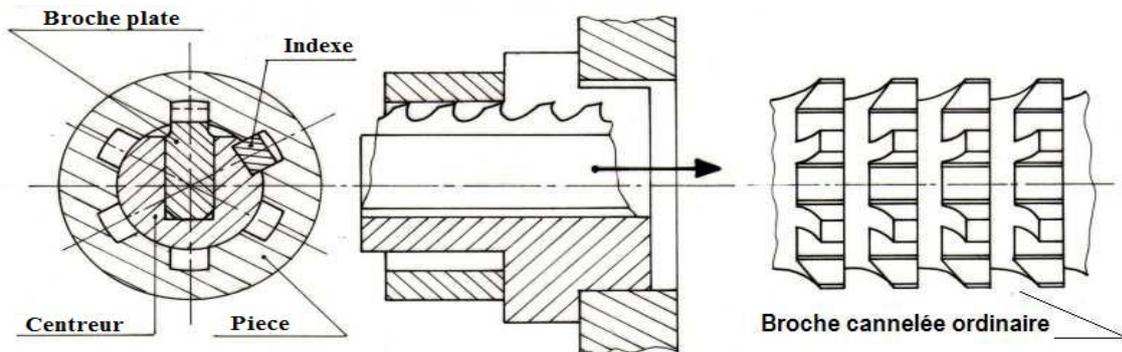
Ce type de brochage est plus répandu que le brochage extérieur. Il permet l'usinage des profils fermés. On l'utilise pour ébaucher ou finir des alésages en très grandes séries, ou à usiner des profils normalisés tels que les cannelures à flancs droits ou en développante de cercle, les dents droites ou hélicoïdales, les rainures de clavette, etc....



Broches pour alésages cylindriques



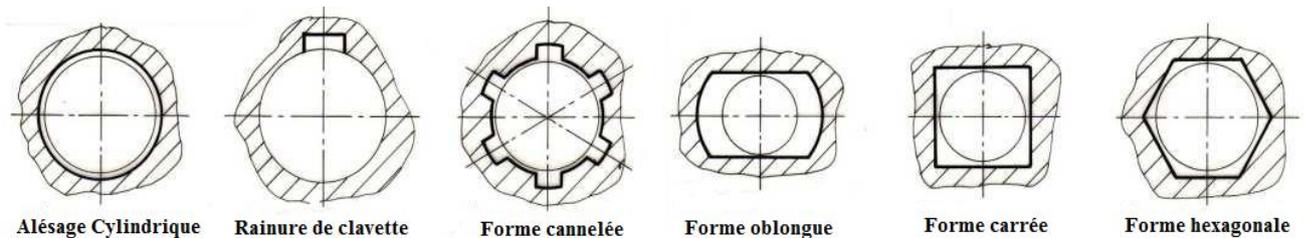
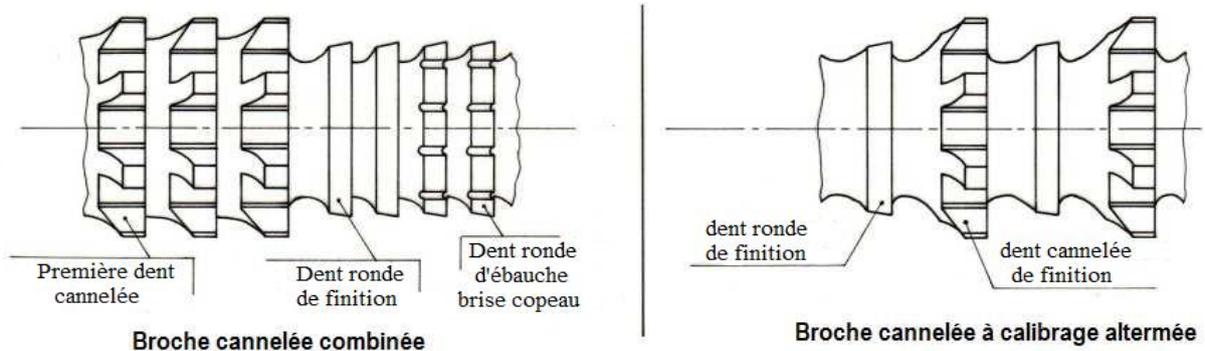
Broches pour rainures de clavettes



Broches pour moyeux cannelés

# TECHNOLOGIE GENERALE

**NB :** La broche plate permet d'usinée une seule cannelure à la fois et nécessite la montée de la pièce sur un diviseur. La broche cannelée ordinaire permet d'usinée toutes les cannelures en même temps.



## Exemples de formes de surface obtenues en brochage intérieur



### Broche hélicoïdal

Pour un angle d'hélice  $\beta < 20^\circ$ , la broche est libre en rotation et se visse elle-même dans la pièce.

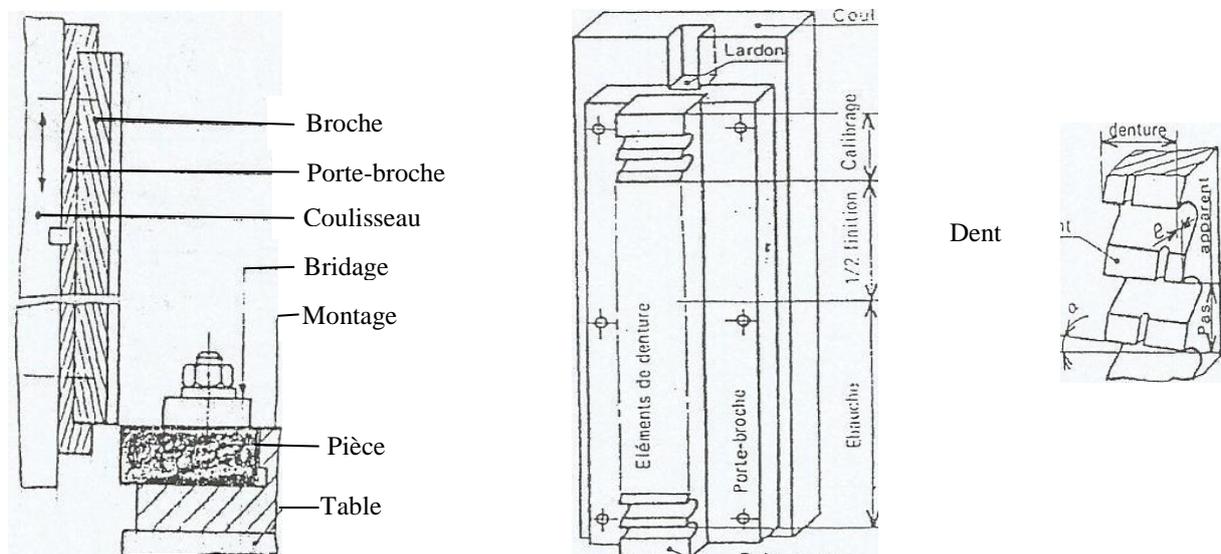
Si  $\beta > 20^\circ$  un mouvement de rotation combiné avec un mouvement de translation doit être donné à la broche à l'aide d'un guide hélicoïdal, soit à la pièce par l'intermédiaire d'un montage tournant.

**NB** : Le départ d'usinage se fait à partir d'un trou brut de perçage, de forgeage ou de fonderie. La broche possède parfois de calibrage lisse (brunissage permettant l'obtention de surface de qualité 5, un très bon état de surface pour un temps d'usinage faible.)

### V. BROCHAGE EXTERIEUR :

Le brochage extérieur est destiné à la réalisation de profils ouverts : surfaces planes ou de formes variées.

Les broches d'extérieur sont généralement constituées par des éléments coupants fixés dans un boîtier : déplacement du haut vers le bas face à la surface brochée.



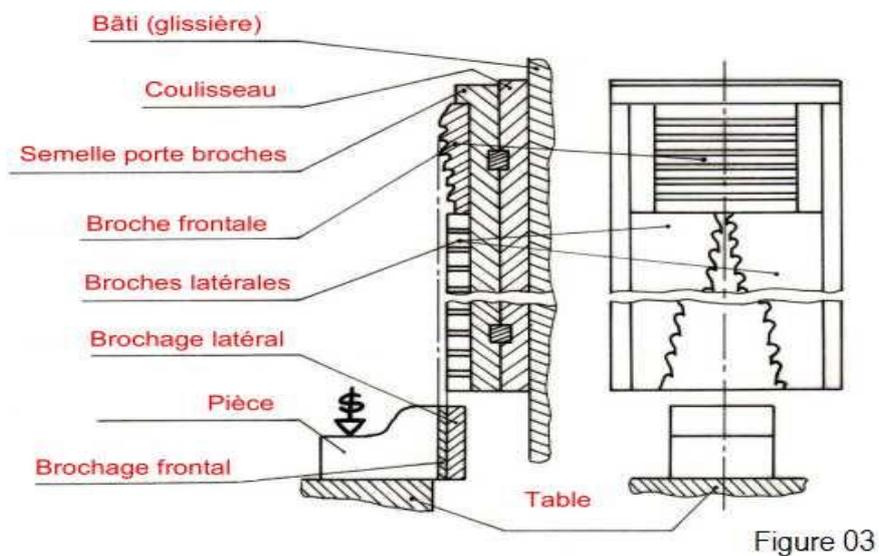
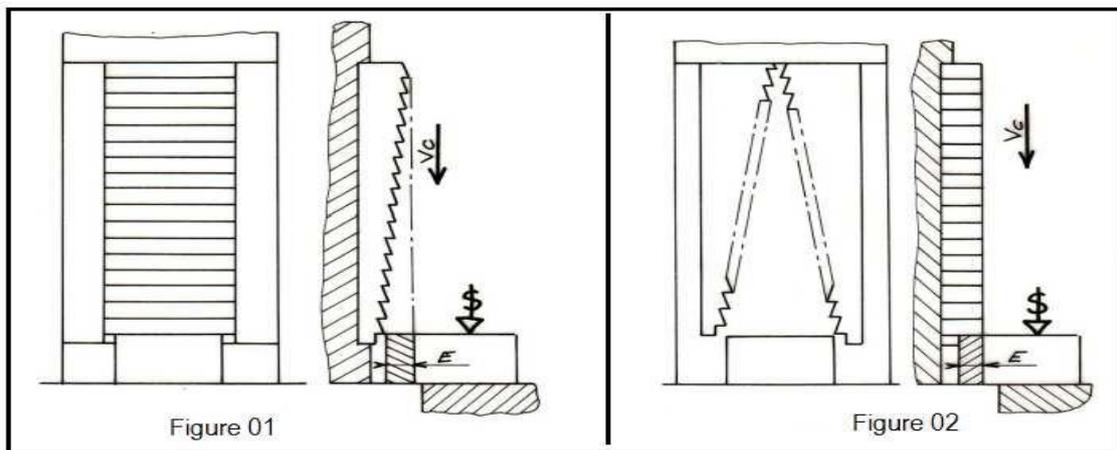
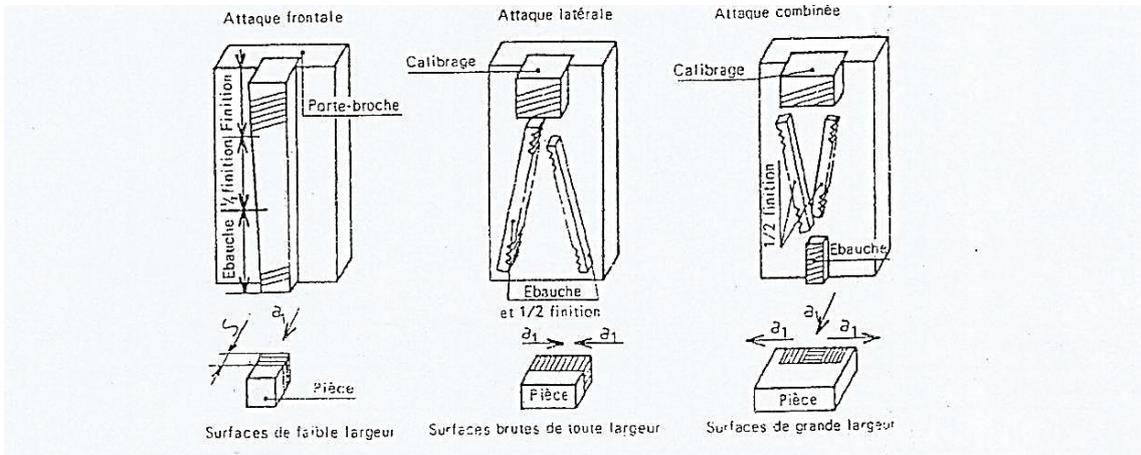
Type d'attaque :

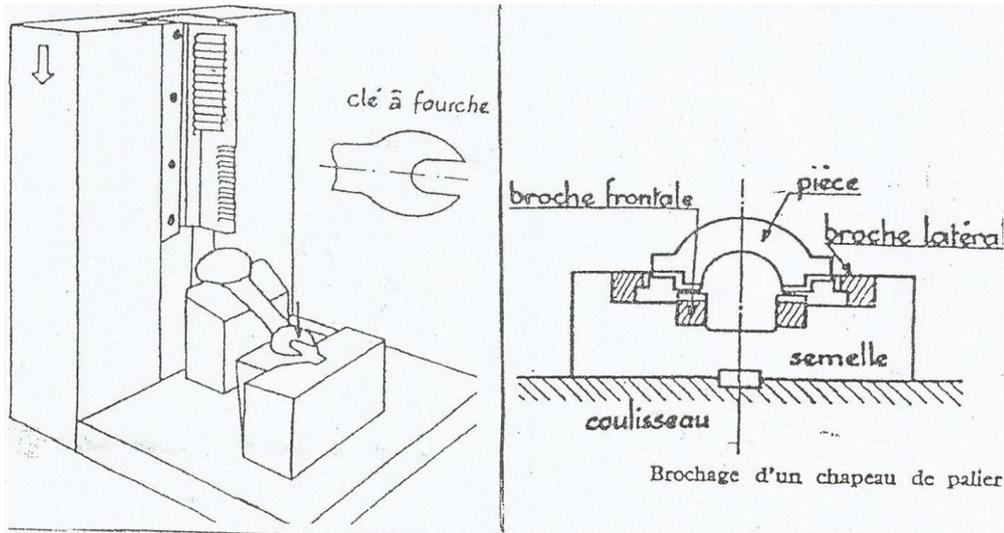
Les broches extérieures sont constituées par des éléments à dentures rapportées sur un coulisseau. Selon la qualité de la matière à enlever, les arêtes coupantes des broches pour surface plane peuvent enlever des copeaux suivant des plans :

- Brochage frontal : la broche attaque la pièce de front ; la progression est normale à la surface usinée. C'est un travail de forme (figure 01), utilisé pour une surépaisseur inférieure ou égal à 1mm pour des travaux de finition.
- Brochage latéral : la pièce est attaquée de flanc par une ou deux broches ; la progression est parallèle à la surface brochée. C'est un travail d'enveloppe (figure 02), utilisé pour une surépaisseur supérieure à 1mm pour l'ébauche.

# TECHNOLOGIE GENERALE

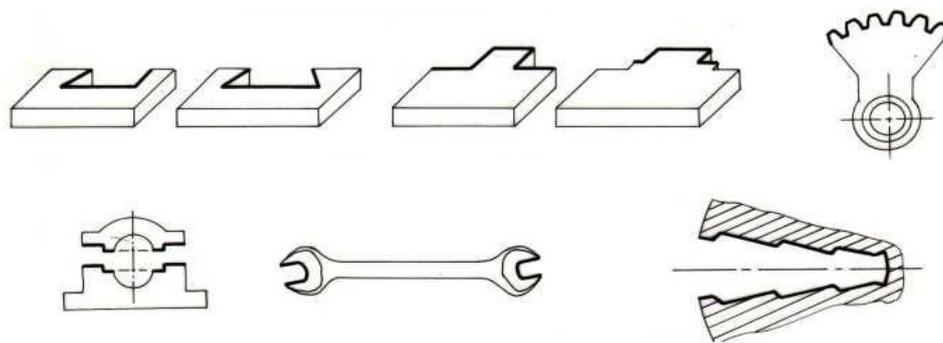
- Brochage combiné : l'usinage est réalisé par la combinaison de 2 broches latérales qui ébauchent la surface et 1 broche latérale qui assure la finition (Figure 03)





## Exemple de travaux de brochage

**Remarque :** Le brochage latéral est assimilable au fraisage en bout. Il est surtout employé aux faces brutes.



## Exemples de formes de surface obtenues en brochage extérieur

### VI. EFFORT DE COUPE ET PUISSANCE :

Soit  $Z'$  le nombre de dents en prise en ébauche. On a :  $Z' = L_0/PE$

$a$  : largeur de coupe

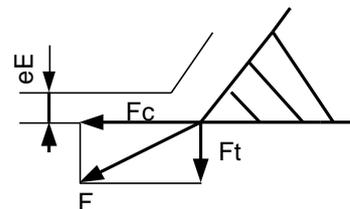
$eE$  : progression par dent de l'ébauche

$K_s$  : pression spécifique de coupe

Alors :  $F_t = Z' \cdot a \cdot eE \cdot K_s$  et  $P = F_t \cdot V_c = Z' \cdot a \cdot eE \cdot K_s \cdot V_c$

$F_t$  : Effort de coupe

$P$  : Puissance absorbée par la coupe



# TECHNOLOGIE GENERALE

MATERIAUX USINEE Rm en N/mm <sup>2</sup>	PROFILS INTERIEURS			PROFILS EXTERIEURS		
	Ks en daN/mm <sup>2</sup>			Vc m/mn	Ks	Vc
	Ronds	polygonaux	cannelés			
Acier Rm=600	380	360	340	15 à 20	330	16 à 24
Acier Rm=750	480	480	440	6 à 8	420	6 à 12
Acier Rm=950	600	580	560	12 à 16	540	5 à 8
Fontes douces	240	210	200	6 à 10	190	12 à 16
Fontes dures	280	240	220	24 à 30	200	6 à 10
Bronze tendres	180	160	140	24 à 30	120	24 à 30
AS13	85	80	70	24 à 30	70	24 à 30
AUG	100	95	70	26 à 36	70	26 à 36

## EXERCICE D'APPLIQUATION :

Choisir la broche adéquate pour réaliser la rainure de clavette de la roue dentée de la pièce ci-dessous.  
La pièce est en XC70 avec  $R_m=88\text{daN/mm}^2$   
On prendra  $d_2=14\text{ mm}$

Calculer :

- $d_{3\text{Max}}$
- la progression par étage
- Choisir la progression ou accroissement par dent
- le nombre de dent par étage
- La longueur de chaque étage
- La longueur totale de la partie dentée
- L'effort de coupe

