

USINAGE PAR BROCHAGE

1

1 Généralités

1.1 : Introduction

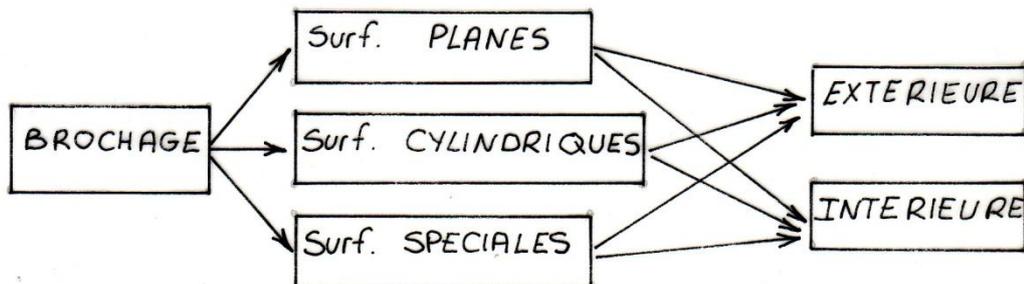
- Le brochage est un procédé d'usinage assez récent (début de ce siècle) et s'est seulement développé après 1925, à la suite de la création des machines à commande hydraulique.
- En remplacement du "mandrinage à la main", le brochage a été inventé pour la réalisation :
 - De formes intérieures à génératrices rectilignes parallèles et débouchantes en concurrence du rainurage et du mortaisage.
 - De formes extérieures (profils variés) en concurrence du fraisage et du rabotage.

1.2 : Définition du brochage

- C'est un procédé d'usinage simple et pratique, précis et à grand rendement.
Il utilise des outils à dents multiples et à sections progressives appelés « BROCHES » qui effectuent le travail en une seule passe.

1.3 : Génération des surfaces

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

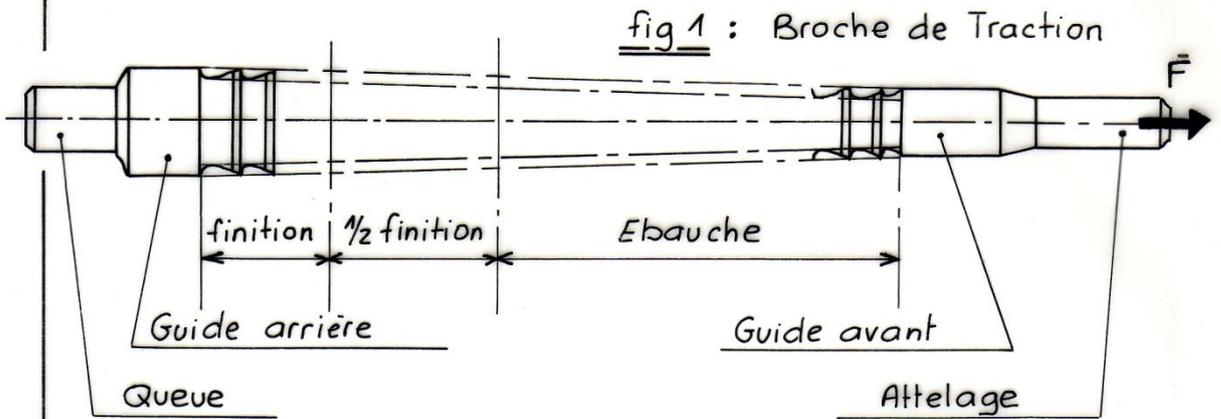


1.4 : Critères d'usinage obtenus en brochage

2

- Le brochage est un procédé d'usinage qui possède sa technique propre.
Il a fait ses preuves de telle façon que l'on doit en tenir compte dans toute fabrication de pièces en moyenne et grande séries.
- Le brochage est un procédé d'usinage qui combine l'Ebauche et la finition.
- Le brochage permet d'enlever une quantité de métal déterminée dans des tolérances bien définies :
 - ➔ Qualités dimensionnelles : 7, 6 ou 5
 - ➔ Etat des surfaces : $Ra=3,2$ à $Ra=0,4$
 - ➔ Temps d'exécution : 3 à 4 fois inférieurs au temps du fraisage ou du mortaisage.
- On peut classer le brochage parmi les opérations les plus précises, les plus rapides et les plus économiques même pour les séries moyennes, puisque :
 - La conduite d'une machine à brocher n'exige pas une main d'œuvre spécialisée.
 - Le temps de réglage d'une machine est extrêmement court pour passer d'une opération à une autre.
 - Les « BROCHES » s'amortissent rapidement pour une production de série, ou pour des opérations difficiles à réaliser par un autre procédé.
- On pourra résumer les avantages du brochage par les critères suivants :
 - Parfaite planéité.
 - Etat de surface correct.
 - Précision difficilement égalée.
 - Interchangeabilité parfaite.
 - Rapidité d'exécution.

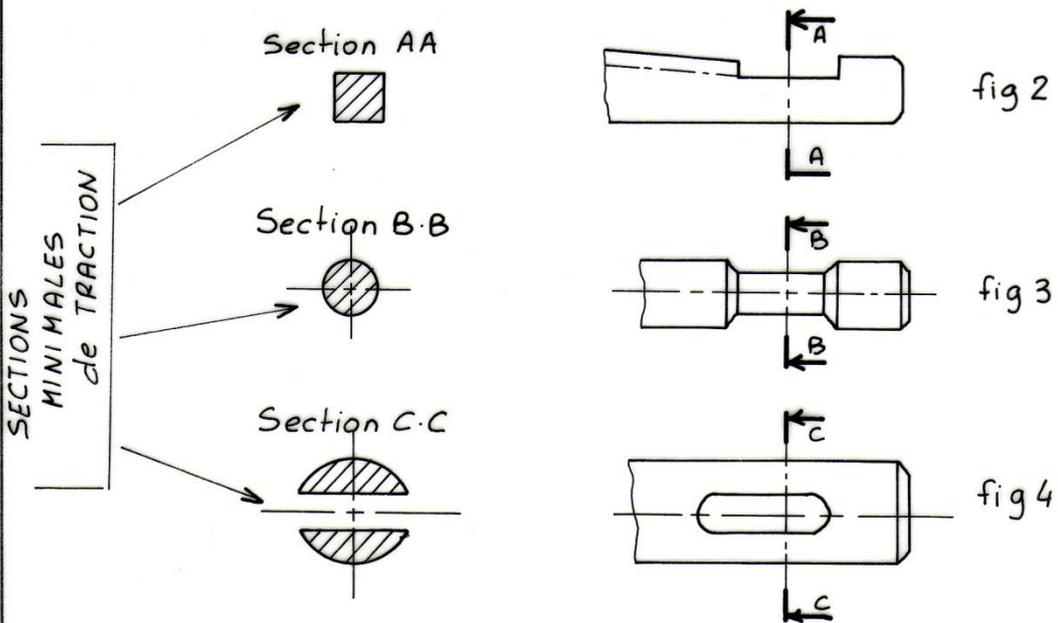
2.1: Différentes parties de la broche



L'entraîneur

Encore appelé "attelage" ou "accrochage" peut-être de formes différentes :

- ➔ Entraîneur à tenon : fig. 2
- ➔ Entraîneur à gorge : fig. 3
- ➔ Entraîneur à lumière : fig. 4



Les surfaces de guidage

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

La denture

Elle comprend généralement 4 parties :

4

→ Dents d'Ebauche :

Nombre assez grand pour enlever la quasi-totalité de la matière.

→ Dents de $\frac{1}{2}$ 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 :

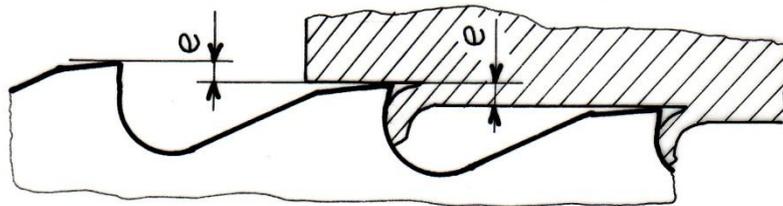
Pour permettre le réaffutage de la broche tout en conservant le profil de finition initial.

2.2: Etude de la denture

2.2.1: Progression de la denture "e"

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

fig 5



MATERIAUX	Ebauche "e ₁ "	$\frac{1}{2}$ Finition "e ₂ "	finition "e ₃ "
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

2.2.2 : Nombre de dents " N "

5

— Le nombre de dents " N " est égal à la somme des quotients des épaisseurs enlevées en ébauche (E_1) en 1/2 Finition (E_2) et en finition (E_3) par la progression correspondante

$$N = \frac{E_1}{e_1} + \frac{E_2}{e_2} + \frac{E_3}{e_3}$$

2.2.3 : Pas de la denture " P "

— Le pas de la denture doit être fonction de :

→ La longueur brochée « L » : il faut qu'il y ait toujours au moins 2 dents en prise pour éviter les chocs,

$$\text{donc : } P < \frac{L}{2}$$

→ De l'épaisseur du copeau « e » : le copeau doit pouvoir contenir dans l'entre dent sans être comprimé.

→ Du métal à brocher (malléable ou non)

→ De la puissance de la machine utilisée.

— En général le pas aura une valeur sensiblement égal à :

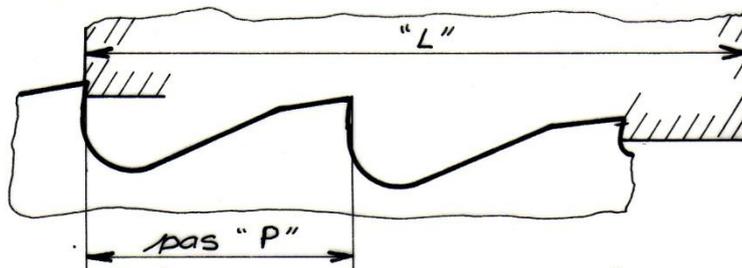
$$P = 1,75 \sqrt{L}$$

— On peut également employer les formules suivantes :

• pour $L \geq 25\text{mm}$ $P = 2\sqrt{L}$

• pour $L < 25\text{mm}$ $P = 0,4 \cdot L$

fig 6



— REMARQUE : Si le pas conserve une valeur constante tout le long de la denture, il se produit un phénomène de chocs à fréquence régulière qui risque de produire un défaut de broutement sur la pièce.

⇒ Pour y remédier on réalisera par groupe de 3, 4 ou 5 dents un pas irrégulier avec des différences de l'ordre du millimètre.
(Exemple : pas de 9 - 9,50 - 10 puis on recommence)

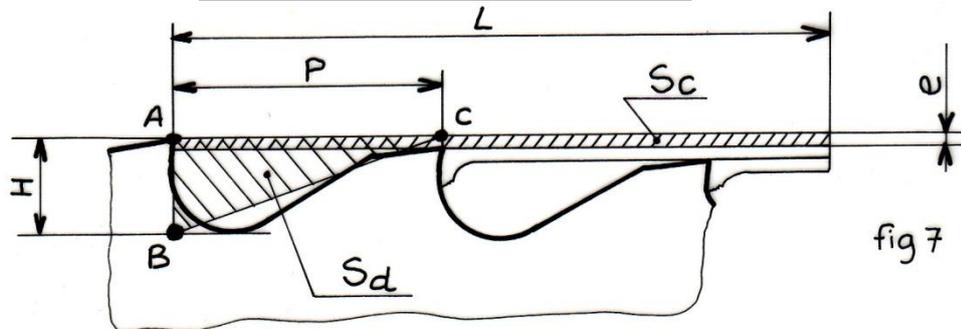
⇒ Une autre solution consiste à remplacer la broche à taille droite par une taille oblique (ou taille inclinée). Cette solution a pour avantage également, de pouvoir tailler des pièces dont $L < P$.

2.2.4 : 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 normale 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 2 dents "Sd" à la section longitudinale du copeau "Sc" produit par une dent :

⇒ L'inégalité à vérifier est :

$$Sd > Sc$$

$$Sd = \frac{AC \times AB}{2} = \frac{P \times H}{2}$$

$$Sc = e \times L$$

$$\frac{P \times H}{2} > e \times L$$

2.3 : Conditions de coupe des broches.

2.3.1 : Matériaux pour broche

— Les broches sont réalisées, généralement, en acier rapide d'une nuance résistant bien à l'usure :

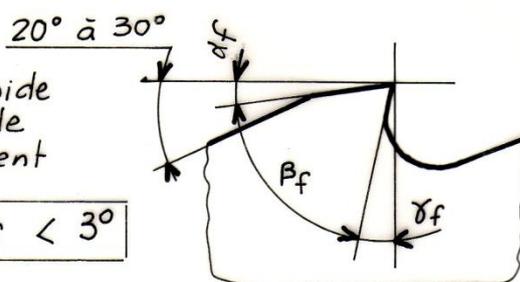
⇒ Ex : Z 85 WCV 18 04 02

La dureté obtenue après traitements thermiques est de : 64 à 65 HRC

2.3.2: Angles de coupe

— Pour éviter une usure rapide de la denture, l'angle de dépouille a généralement une valeur de :

$$1^\circ < \alpha_f < 3^\circ$$



— La valeur de l'angle de coupe est généralement :

- | | | | |
|----------|--|---|----------------------------------|
| • Aciers | $R < 70 \text{ hbar}$ | : | $15^\circ < \delta_f < 20^\circ$ |
| • Aciers | $R > 70 \text{ hbar}$ | : | $10^\circ < \delta_f < 15^\circ$ |
| • Fontes | $\text{ft } 10 \text{ à } \text{ft } 30$ | : | $6^\circ < \delta_f < 8^\circ$ |

2.3.3: Vitesse de coupe

— La vitesse de coupe en brochage se situe dans une zone d'usure minimale et elle est comprise généralement entre :

$$5 \text{ m/mn} < V_c < 10 \text{ m/mn}$$

- | | | | |
|---------------------|---------------------------------|---|-------------|
| • Aciers | $R < 70 \text{ hbar}$ | : | 6 à 8 m/mn |
| • Aciers | $R > 70 \text{ hbar}$ | : | 3 à 6 m/mn |
| • Fontes | $\text{ft } 10 - \text{ft } 30$ | : | 6 à 8 m/mn |
| • Laitons - Bronzes | | : | 8 à 10 m/mn |

2.3.4: Lubrification

— Une lubrification abondante est absolument nécessaire.

- ⇒ Aciers : Huile de coupe.
Huile soufrée non diluée.
Fontes : Huile soluble.
Pétrole.
Bronzes
Laitons
Alliages légers } : Huile soluble.

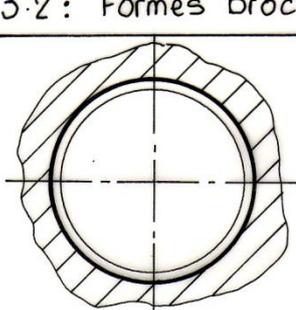
2.3.5 Affûtage des broches

- C'est une opération délicate réalisée sur des machines spéciales par du personnel hautement qualifié.
— Pour favoriser la formation du copeau on réalise souvent des brise-copeaux alternés.

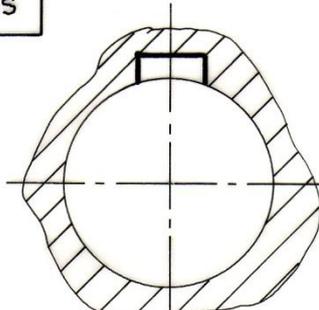
3.1 : Définition

- ➔ Le brochage intérieur est destiné à la réalisation des profils fermés.
- ➔ Ce principe est celui qui est employé le plus couramment.

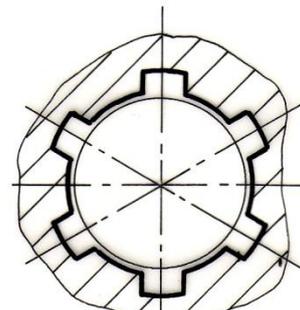
3.2 : Formes brochées



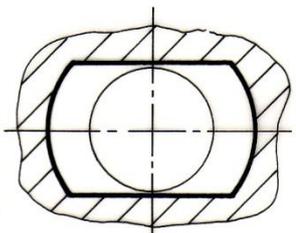
Alésages
cylindriques



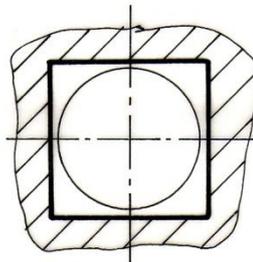
Rainures de
clavettes



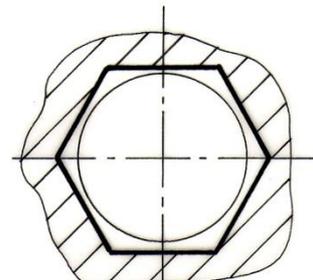
Moyeux cannelés
à cannelures
rectilignes, hélicoïdales.



forme rectangulaire



forme carrée



forme hexagonale

- Le brochage des profils fermés nécessite que la broche puisse traverser. Il est donc nécessaire de réaliser au préalable un trou débouchant.
- Tout profil irrégulier peut-être brochée à condition que la broche ne rencontre pas d'obstacles dans l'axe du travail.
- Par rotation relative, entre pièce et broche, conjuguée avec la translation de la broche, il est possible d'engendrer des surfaces hélicoïdales (angle d'hélice maxi = 45°)

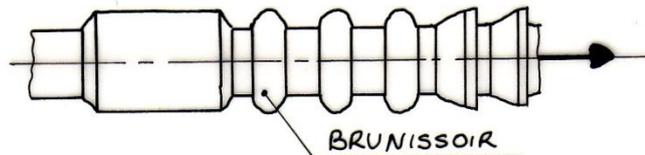
Ex : taraudage à plusieurs filets,
rayage des canons d'armes.

3.3: Caractéristiques des broches d'intérieur.

- Les broches d'intérieurs peuvent être de grande longueur (jusqu'à 1,50 m)
- Si la partie active de la broche (PxN) est trop importante il faut répartir le nombre de dents sur 2 ou 3 broches.
- ⇒ Elles sont généralement utilisées en « traction » pour éviter le flambage (machines horizontales).
- Dans le cas où le travail exige un petit nombre de dents, la broche est courte, elle peut être poussée.
(sur machines verticales)
→ l'opération porte le nom de "mandrinage".

3.4: Types de broches.

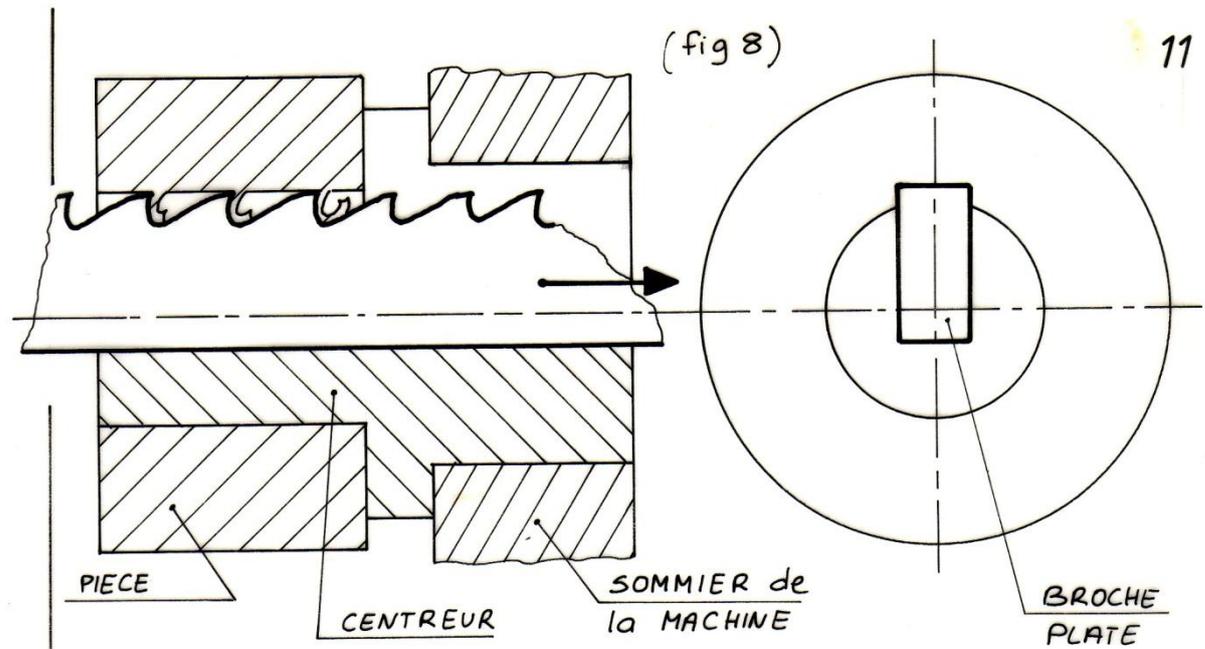
3.4.1: Broches pour alésages cylindriques



- Les dents sont de sections circulaires avec brise-copeaux.
 - ⇒ Le brise-copeau permet d'obtenir des copeaux plus petits, ces derniers peuvent s'échapper plus facilement de l'entre-dent ⇒ moins de bourrage.
- Parfois les dernières dents de finition sont arrondies et agissent comme un brunissoir (olives de brunissage)
 - ⇒ écouvissage de la surface brochée.
 - dureté superficielle augmentée.
 - facilitent le calibrage dans le cas des métaux ductiles.
 - permettent d'obtenir des dimensions de qualité 5.

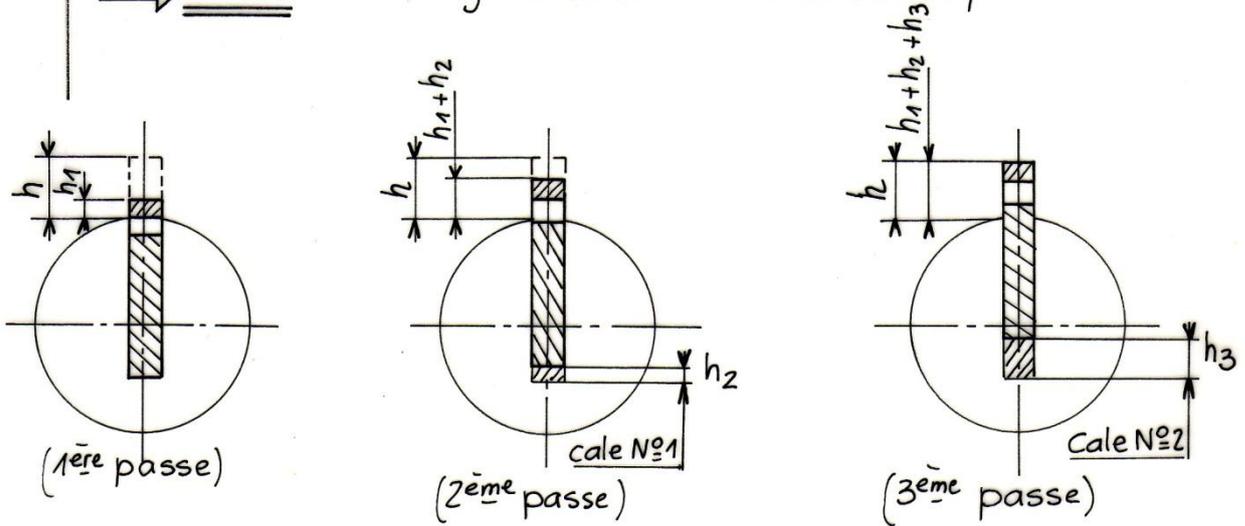
3.4.2: Broches pour rainures de clavettes

- On utilise dans ce cas des broches plates et une seule suffit pour chacune des dimensions normalisées de clavette (Ex: 4, 5, 6, 8...)
- ⇒ Le guidage de la broche est obtenu par l'intermédiaire d'un centreur correspondant au diamètre de l'alésage de la pièce brochée. (voir fig 8)



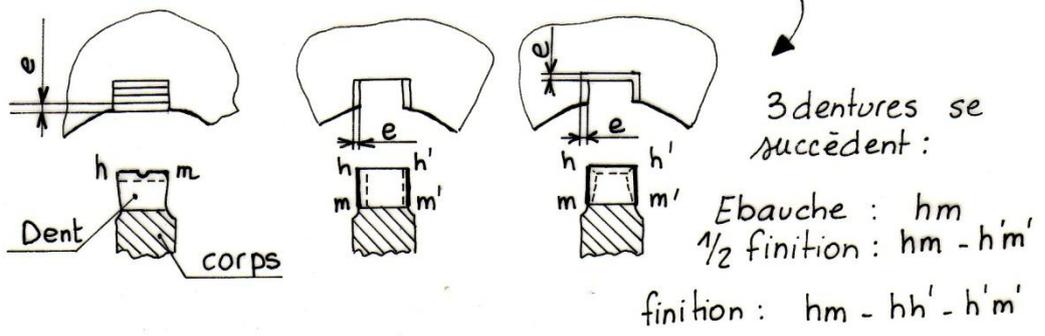
— Suivant la matière à enlever, il n'est pas toujours possible d'exécuter la rainure en une seule passe, on a alors affaire à l'un des deux cas suivants :

→ 1er Cas : Brochage avec une broche et une ou plusieurs cales



→ 2eme Cas : Brochage avec jeu de broches.

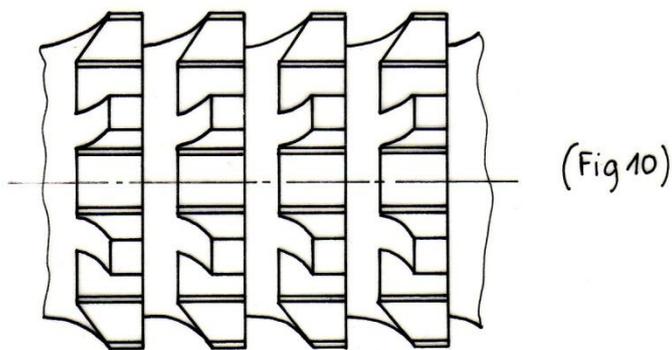
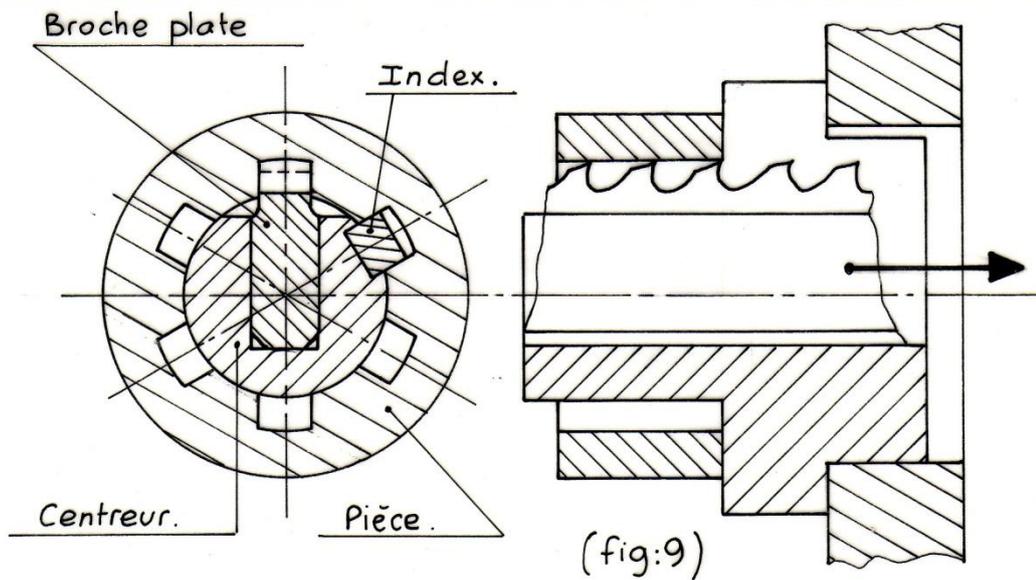
→ 3eme Cas : Brochage d'une rainure calibrée



3.4.3 Broches pour moyeux cannelés

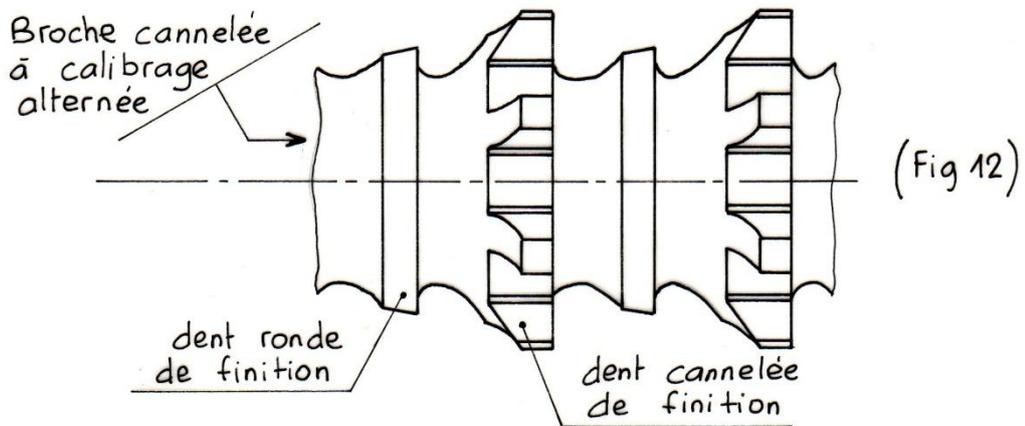
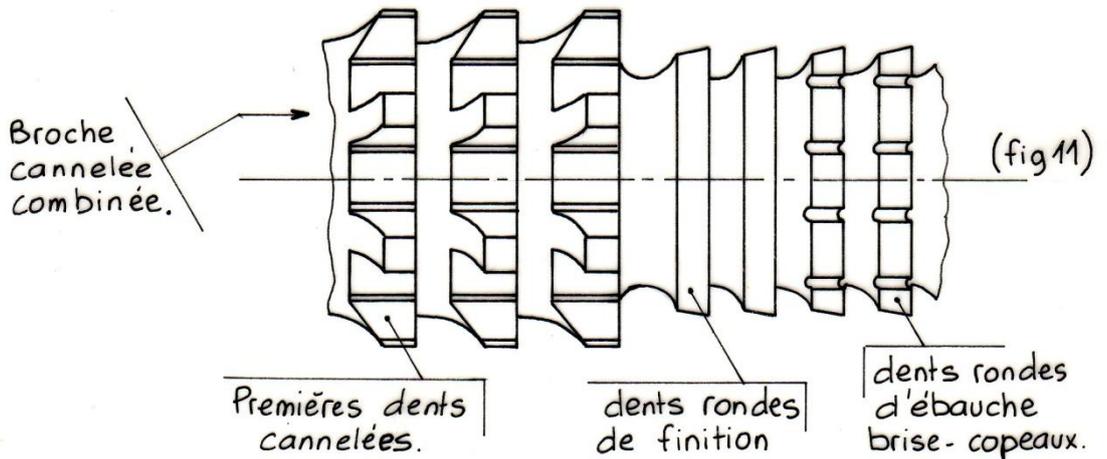
→ Cannelures seules.

Exemples	Fabrication	Centrage	Types de Broches	⊙ obtenue.
Alésage terminé avant le brochage. Donc pas de trait. thermiques envisagés. Alésage : qualité 7 Gain de temps : 30% sur le mortaisage.	Petites séries	par l'alésage	Broche plate (une seule cannelure usinée à la fois). Pièce montée sur diviseur. (Fig 9)	Pas très bonne ⊙ = ΣIT de l'alésage + le jeu de glissement de la broche.
Alésage terminé ou non avant le brochage. Si alésage pas terminé un T.Th. est possible après brochage. Une rectification de l'alésage sera envisagée. (cas de moyeux cimentés, trempés)	Petites et moyennes séries	par l'extérieur	Broche cannelée ordinaire (toutes les cannelures sont usinées en même temps.) NB: Si faible précision ébauche possible avec broche plate. et diviseur (Fig 10)	Pas très bonne ⊙ = ΣIT de l'alésage + le jeu de glissement de la broche.



→ Cannelures + Alésage

Exemples	Fabrication	Centrage	Types de broches	⊙ obtenue
<p>Alésage terminé en brochage. → Cas de pièces où T.Th pas prévu.</p> <p>Alésage 1/2 fini en brochage. → Cas de pièces cémentées dont le noyau doit être trempé et l'alésage rectifié après trempé. Cette trempé est réalisé après brochage.</p>	<p>moyennes, grandes et très grandes séries</p>	<p>par l'extérieur</p>	<p>Broche cannelée combinée. (calibre l'alésage en début de passe : dents d'ébauche + dents de finition - broche les cannelures ensuite : dents d'ébauche + dents de finition.) (Fig 11)</p> <p>Broche cannelée à calibrage alternée. (Ebauche les cannelures en début de passe. Calibre l'alésage et les cannelures en fin de passe.) (Fig 12)</p>	<p>bonne.</p> <p>bonne.</p>



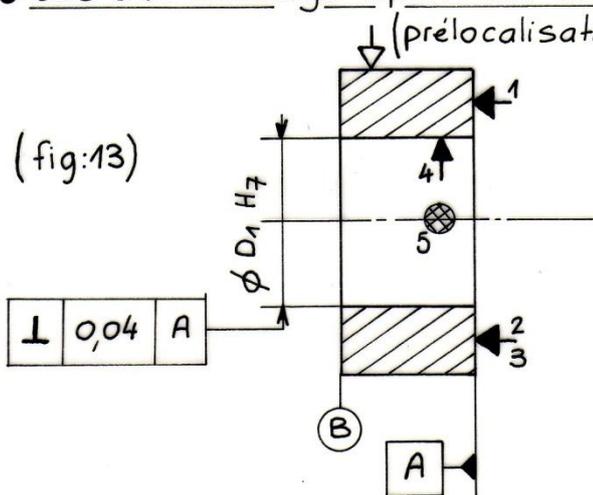
3.5 : Situation du brochage dans la gamme d'usinage

Règle : En général le brochage intérieur doit être réalisé dans l'une des premières phases de finition (exception faite pour les rainures de clavettes)

- Pour les phases suivantes éventuelles, la pièce est reprise par les surfaces brochées.
- Si la reprise par les surfaces brochées n'est pas possible le brochage est effectué à la dernière phase et le montage est conçu pour centrer à la fois la pièce et la broche.

3.5.1 : Mise en position des pièces.

- Cas d'un brochage réparti sur tout le profil intérieur.



• Dans le cas d'un brochage cylindrique, si D diamètre de finition :

- Les efforts de coupe s'équilibrent, la pièce est montée flottante.
- Mise en position axiale : appui plan (1, 2, 3) sur le sommier de la machine.
- Mise en position radiale : centrage court (4, 5) par le guide de centrage de la broche.

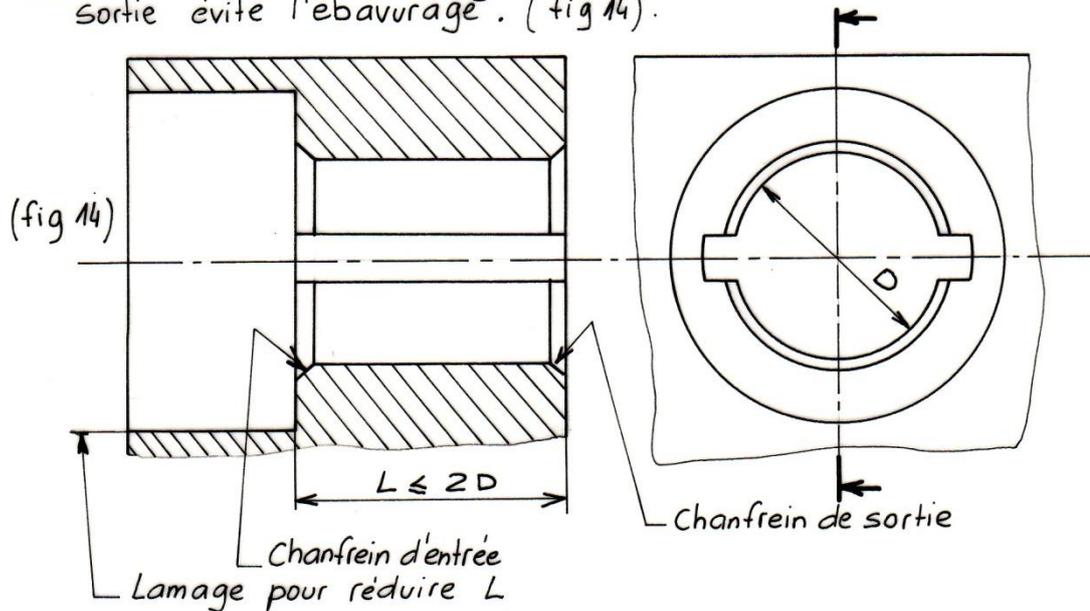
- Cas d'un brochage de rainures de clavettes

- Les efforts de coupe ne s'équilibrent pas, la pièce est montée sur un centreur (voir fig. 8).
- La mise en position est faite à partir du centreur.

- Afin de réduire la longueur des broches on évite en principe de brocher des longueurs supérieures à 2 fois le diamètre de la broche.

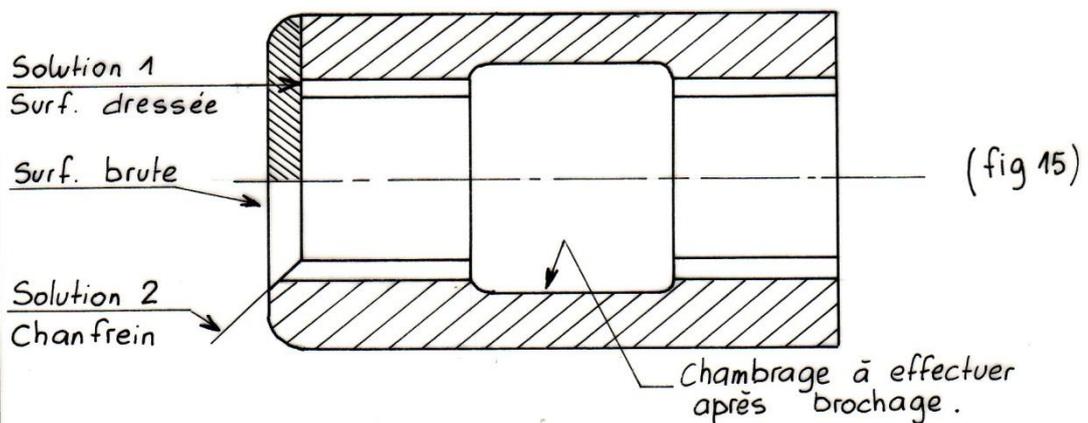
→ On peut réduire la longueur à brocher en effectuant, par exemple, un lamage à une ou aux deux extrémités . (voir fig 14).

- L'exécution, avant brochage, de chanfreins d'entrée et de sortie évite l'ébavurage . (fig 14).



- Il faut éviter le bourrage des copeaux ; on doit donc effectuer les gorges et chambrages de faibles volumes qu'après le brochage . (fig 15)

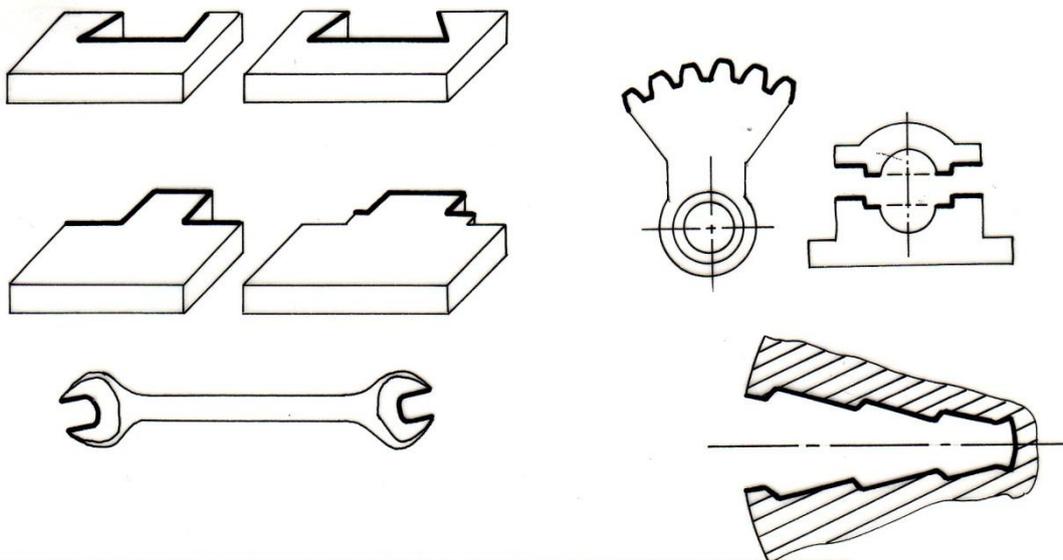
- Afin de réduire l'usure de l'outil il faut éviter que les dents n'attaquent directement sur une surface brute (voir fig. 15).



4.1 : Définition – Principe

- Le brochage extérieur est destiné à la réalisation des 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.

4.2 : Formes brochées



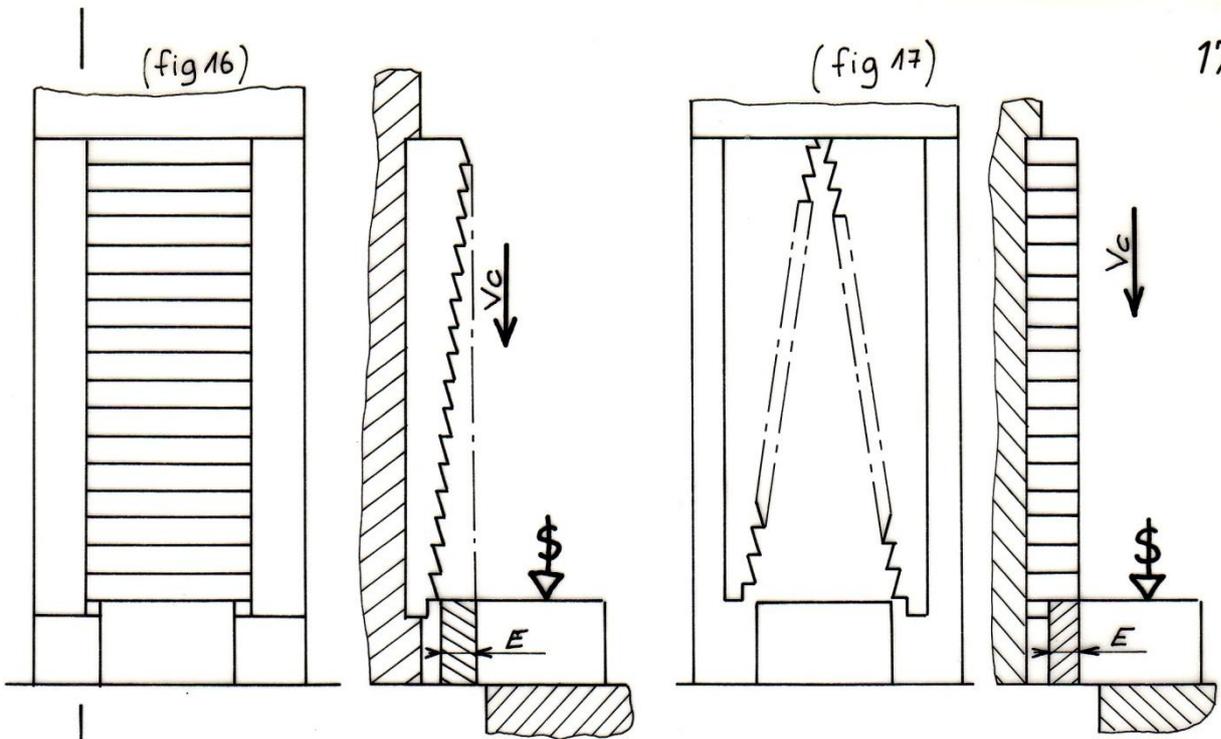
4.3 : Brochage d'une surface plane . Modes de travail .

4.3.1 : Brochage frontal

- La broche attaque la pièce de front ; la progression est normale à la surface usinée.
C'est un travail de forme (voir fig. 16).

4.3.2 : Brochage latéral

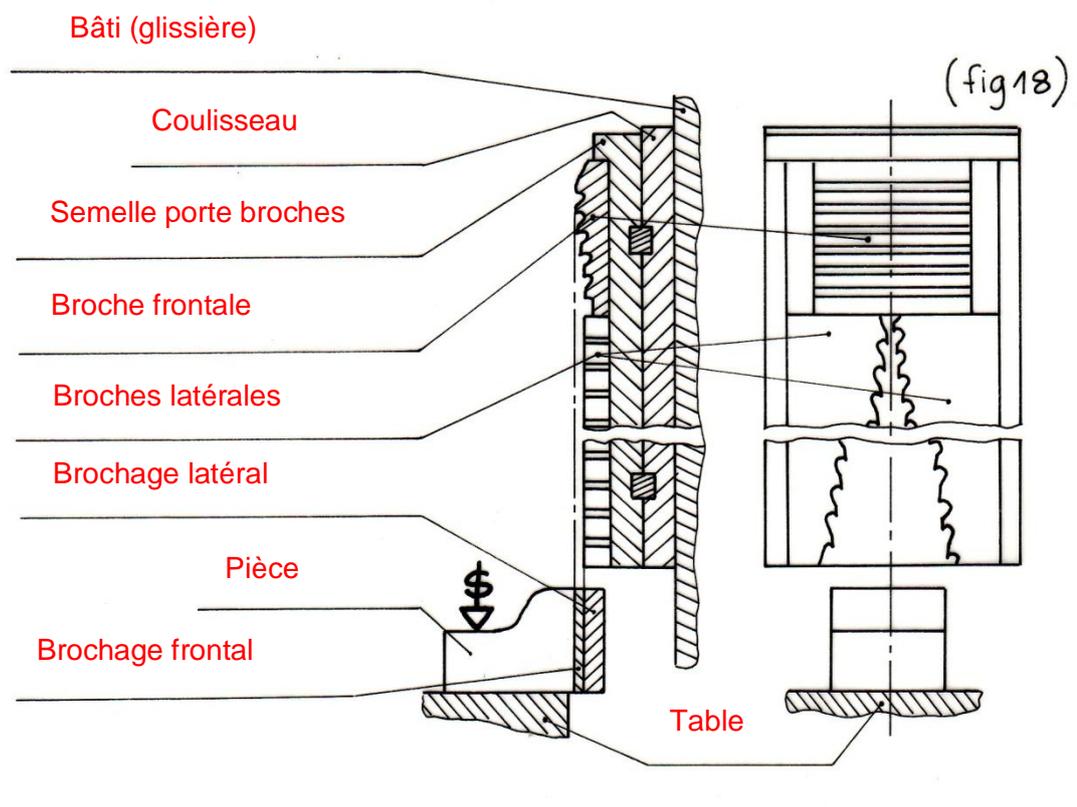
- La pièce est attaquée de flanc par une ou deux broches ; la progression est parallèle à la surface brochée.
C'est un travail d'enveloppe (voir fig. 17).



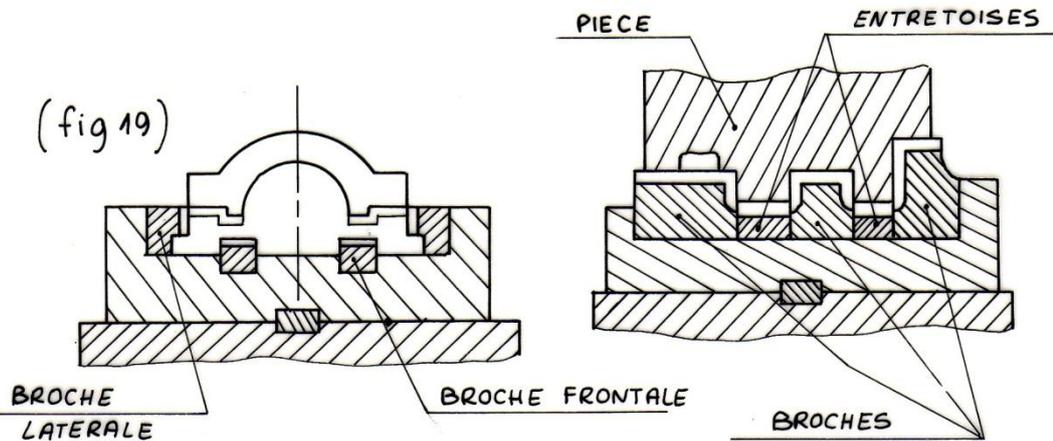
Remarque : le brochage latéral est assimilable au fraisage en bout .
 le brochage latéral est surtout employé aux faces brutes .

4.3.3 : Brochage combiné .

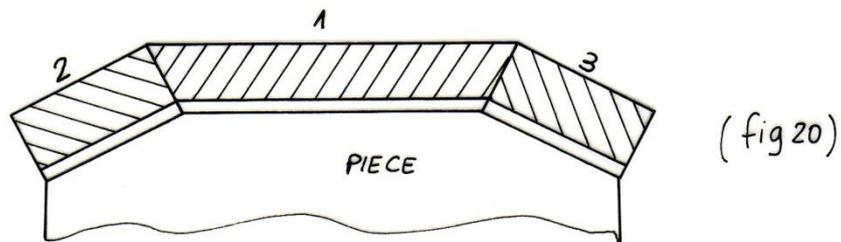
➔ L'usinage est réalisé par la combinaison de 2 broches latérales qui ébauchent la surface et 1 broche latérale qui assure la finition (voir fig. 18).



- Les broches nécessaires à l'usinage sont groupées sur une semelle rendue solidaire du coulisseau porte broches (voir fig. 19).

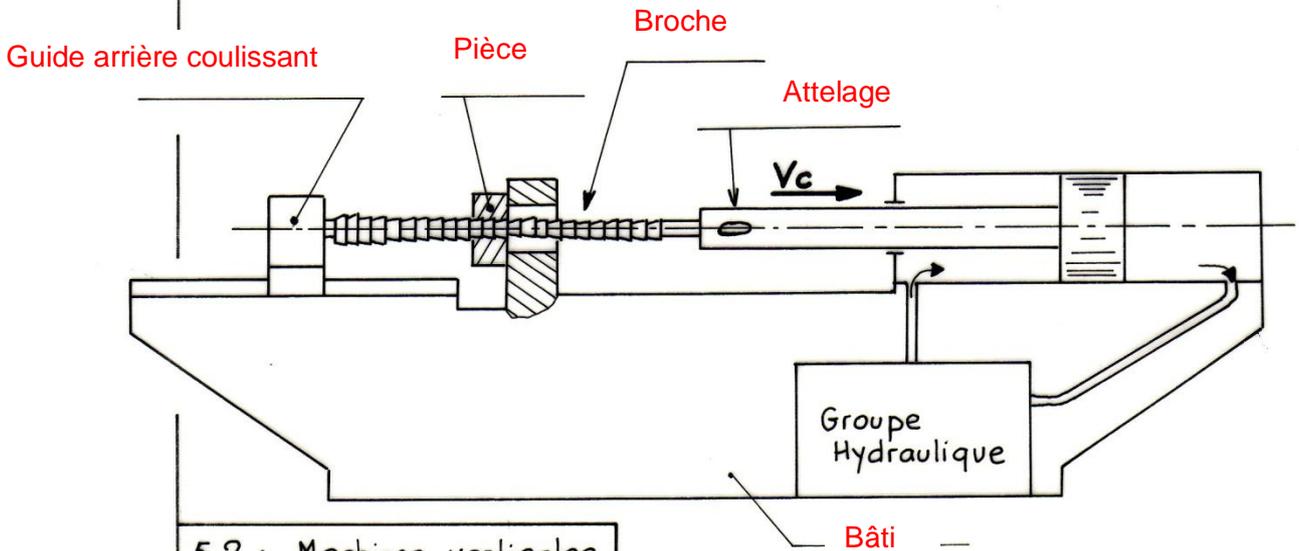


- Quand l'effort de traction nécessaire pour tirer ces différentes broches est supérieur à celui que peut fournir la machine, on exécute le travail en plusieurs opérations.
- On procède de même lorsque l'assemblage des différentes broches sur la semelle est trop compliqué. (fig 20)

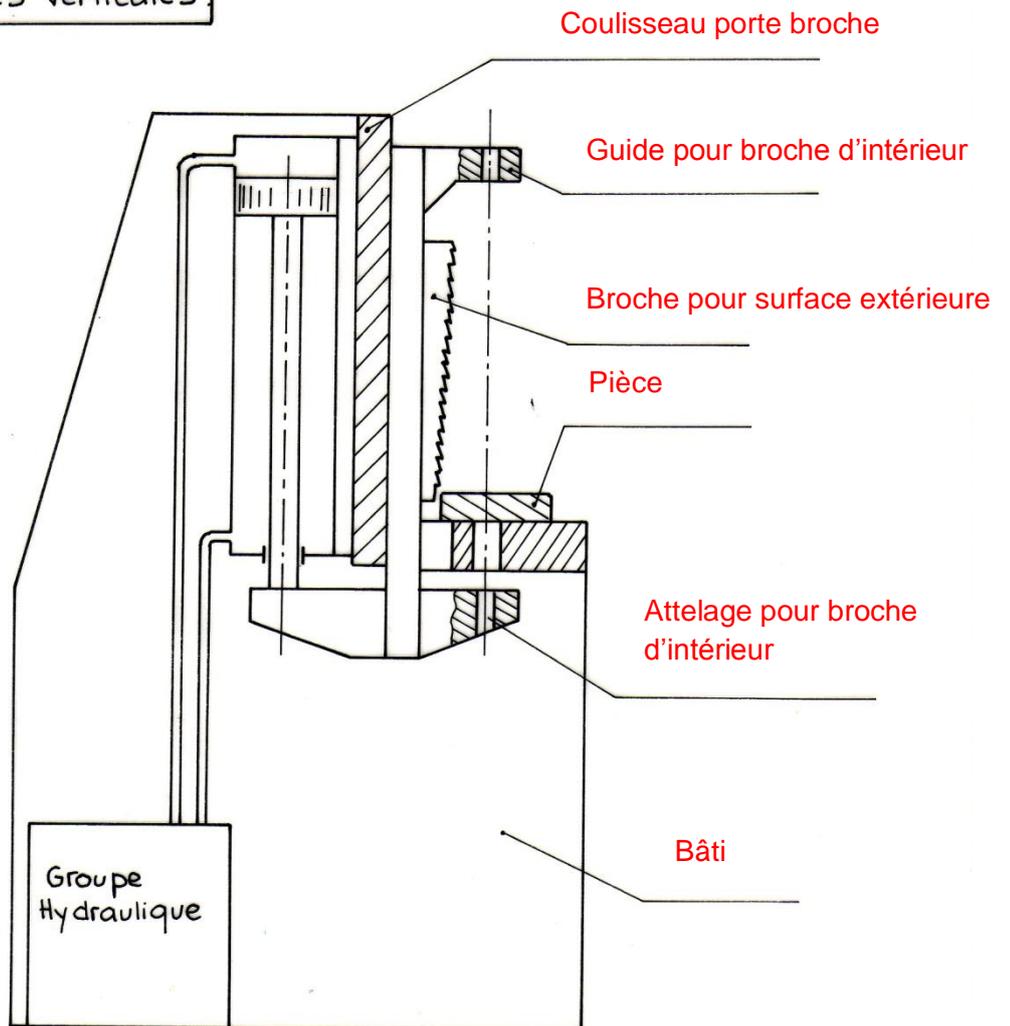


5.1 : Machines horizontales.

→ Ce type de machines est généralement réservé au brochage intérieur.



5.2 : Machines verticales.



- C'est la deuxième génération des machines à brocher qui peuvent être utilisées aussi bien pour le brochage intérieur que le brochage extérieur.

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

5.3: Caractéristiques générales.

- 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.
- Force maximale : 50 kN.
- Course maximale : horizontales → 2000 mm
verticales → 2200 mm
- Vitesse de coupe maxi : 24 m/mn.

5.4: Machines de production

- Applicables aux très grandes séries

