

| | | |
|---|---------------------|-------------------------------------|
| LTI M. DELAFOSSE | CHAPITRE 2 : | Classe : Terminale |
| Année scolaire : 20.....-20..... | LE FRAISAGE | EFFECTIF : Elèves |

I. GENERALITES

Le fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière permettant d'obtenir généralement des surfaces planes ou prismatiques, mais aussi parfois des surfaces de révolutions intérieures et extérieures, de profils spéciaux (hélices, cônes, roues dentées).

L'usinage se fait à l'aide d'outils tranchants multiples appelés fraises et est obtenu par la combinaison de deux mouvements : Mc et Ma (Mf)

- ❖ Le mouvement de coupe Mc

Rotation continue à une vitesse donnée appliquée à l'outil.

- ❖ Le mouvement d'avance Ma ou Mf

Translation rectiligne appliquée à la pièce ou à l'outil.

- ❖ Le mouvement de pénétration Mp

Ce mouvement donne la profondeur de coupe par prise de passe donnant ainsi l'épaisseur de copeaux.

II. LES MACHINES DE FRAISAGE

Les fraiseuses sont caractérisées par :

- La direction de l'axe de rotation de l'outil à savoir parallèle ou verticale
- Les dimensions des pièces à usiner
- Le nombre d'outils qui peuvent entrer en action successivement ou simultanément
- Des performances et de l'adaptation du programme de fabrication

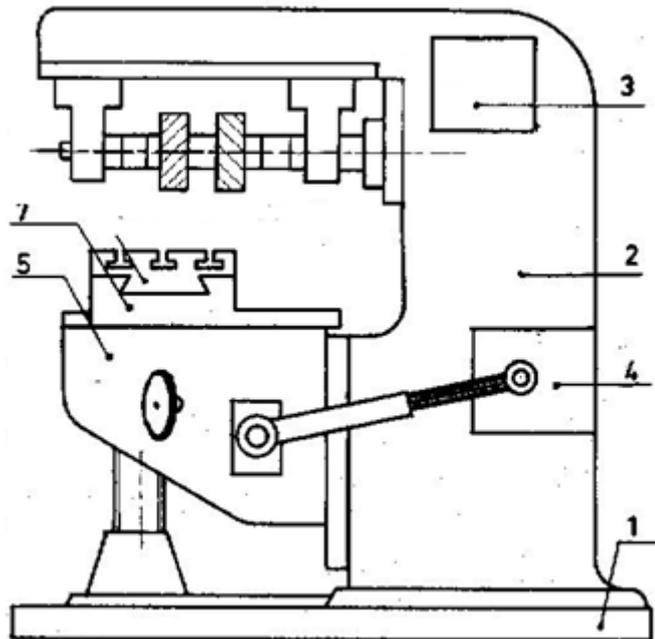
Les machines-outils les plus couramment utilisées pour le fraisage sont : les fraiseuses horizontales, les fraiseuses verticales, les fraiseuses universelles, les fraiseuses raboteuses, les fraiseuses à copier ou à reproduire, les fraiseuses à cycle automatique, les fraiseuses à commande numérique, les centres d'usinage.

1. La fraiseuse parallèle

L'axe de la broche est horizontal. Spécialement utilisée pour les travaux de fraisage nécessitant une position horizontale de l'axe de l'outil. Elle est employée en petite, moyenne et grande

série. La conception simple et robuste permet une bonne productivité et l'usinage de pièces d'encombrement réduit et moyen.

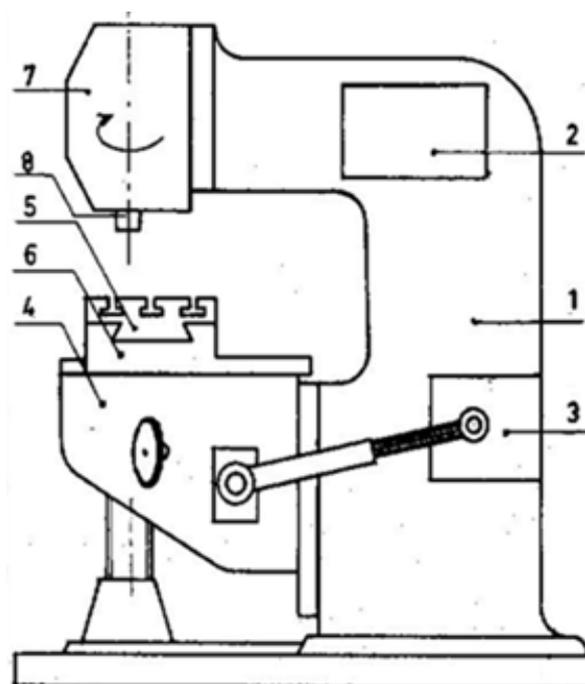
1. Socle
2. Bâti
3. Boîte de vitesse de coupe
4. Boîte de vitesses d'avances
5. Chariot vertical
6. Chariot longitudinal
7. Chariot transversal
8. Chariot supérieur



2. La fraiseuse verticale

L'axe de la broche est vertical. Utilisée pour les travaux de fraisage nécessitant une position verticale de l'axe de l'outil. Elle est utilisée en petite, moyenne et grande série. La grande surface et les courses importantes de la table permettent l'usinage de pièces encombrantes.

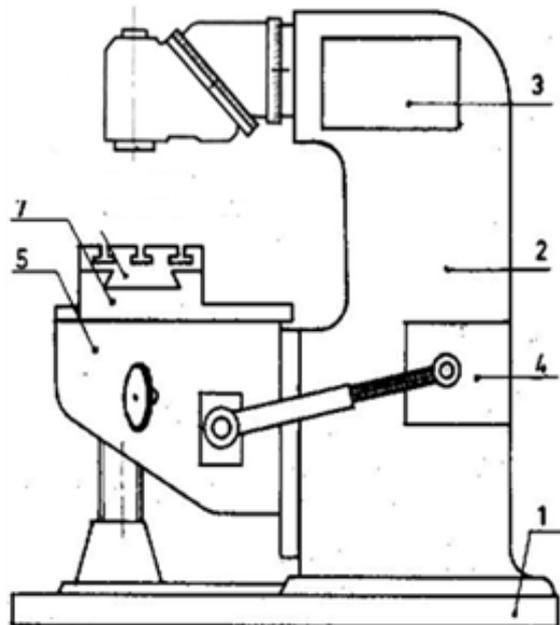
1. Bâti
2. Boîte de vitesse de coupe
3. Boîte de vitesses d'avances
4. Chariot vertical
5. Chariot longitudinal
6. Chariot transversal
7. Tête
8. Broche



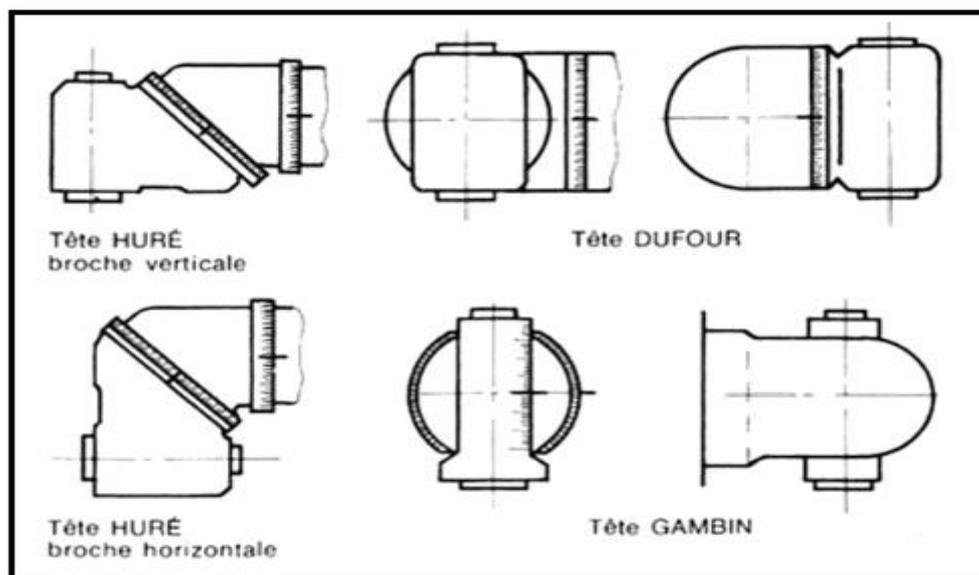
3. La fraiseuse universelle

L'axe de la broche peut être vertical, horizontale ou occuper un angle quelconque par rapport à la table. Elle est utilisée pour les travaux d'outillage. Elle est employée en travail unitaire et en petite série. Certaines de ces machines possèdent la table inclinable et orientable.

1. Socle
2. Bâti
3. Boîte de vitesse de coupe
4. Boîte de vitesses d'avances
5. Chariot vertical
6. Chariot longitudinal
7. Chariot transversal



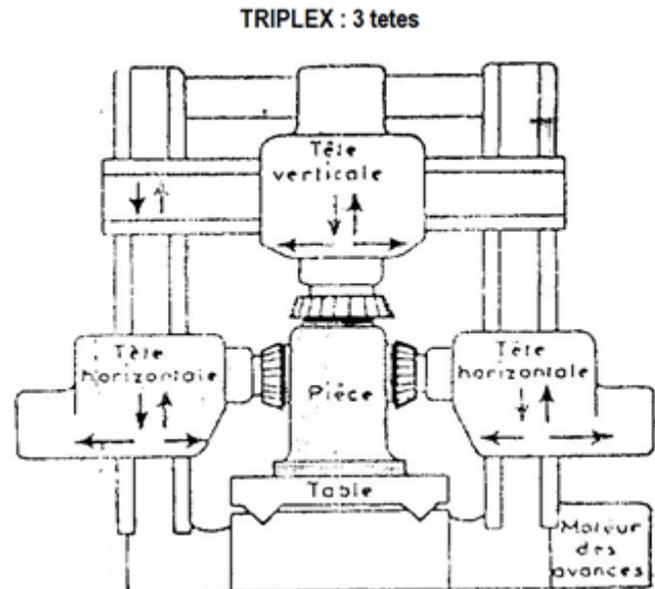
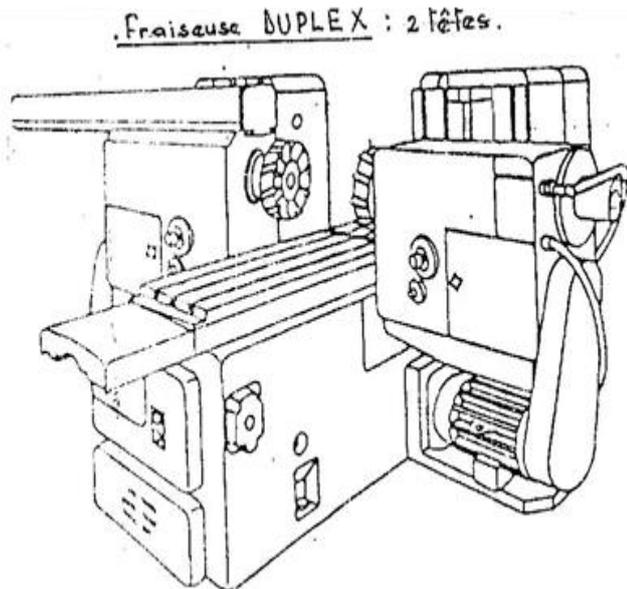
Exemples de têtes de fraiseuse



4. Les fraiseuses raboteuses

Un ou deux chariots de fraisage, généralement inclinables, sont mobiles sur une traverse ; celle-ci peut coulisser sur deux montants.

Certaines de ces machines possèdent également deux chariots latéraux. Il en existe en DUPLEX (2 têtes opposées) et TRIPLEX (3 têtes).

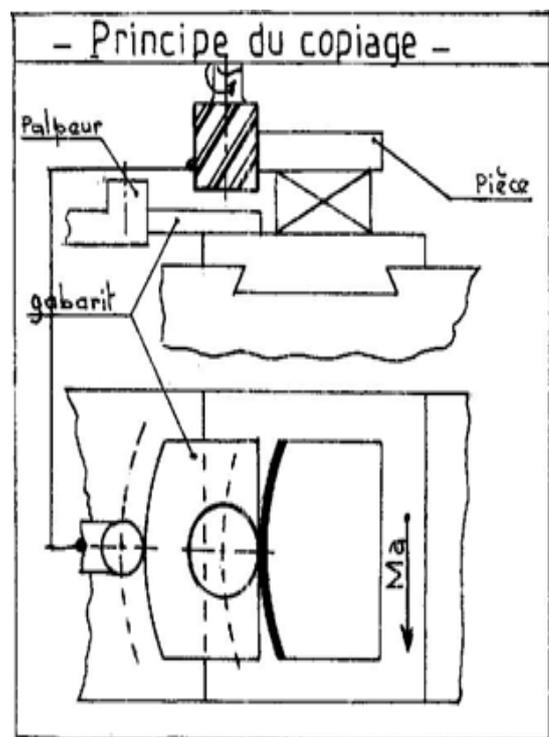


5. La fraiseuse à copier ou à reproduire

Equipées d'un appareil à copier, ces machines permettent de reproduire un gabarit sur une pièce. Le profil du gabarit est recopié sur la pièce grâce au palpeur qui décrit la trajectoire de l'outil. Les fraiseuses à copier reproduisent les dimensions du **gabarit** à l'échelle 1.

Les fraiseuses à reproduire permettent l'agrandissement ou la réduction de ces dimensions à des proportions données.

Ces deux types de machines sont utilisés pour l'usinage des pièces à profil complexe et sont très employées pour l'usinage de moule en fonderie et les matrices de forgeage. Utilisées pour le travail unitaire et de petite série.



6. Les fraiseuses à cycle

L'ordre chronologique des opérations à effectuer (cycles) est programmé, et est mémorisé par la machine.

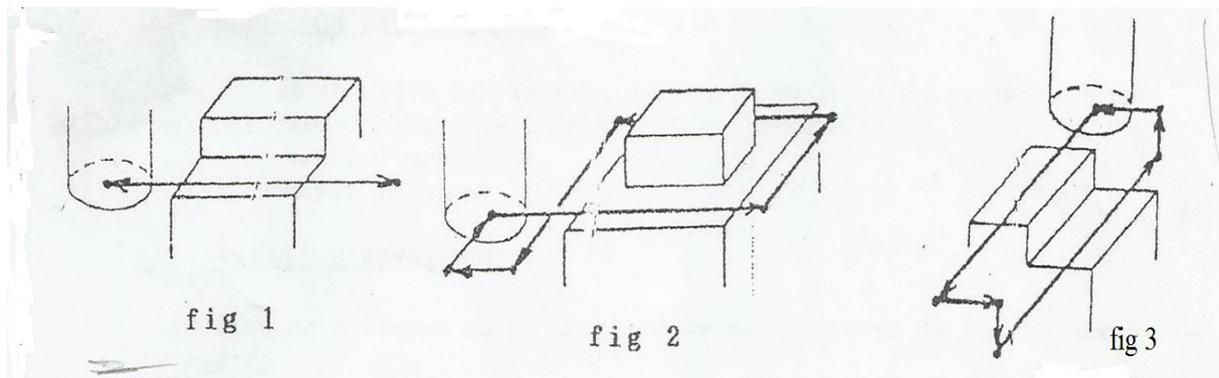
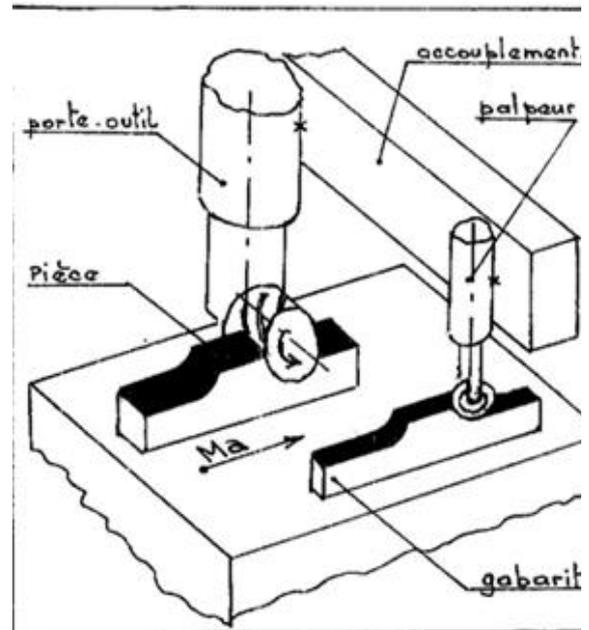
Ainsi la suite des opérations est obtenue

automatiquement :

- ✓ une avance rapide : pour l'approche ou le recul de l'outil.
- ✓ une avance lente : avance de travail pour la coupe du métal.

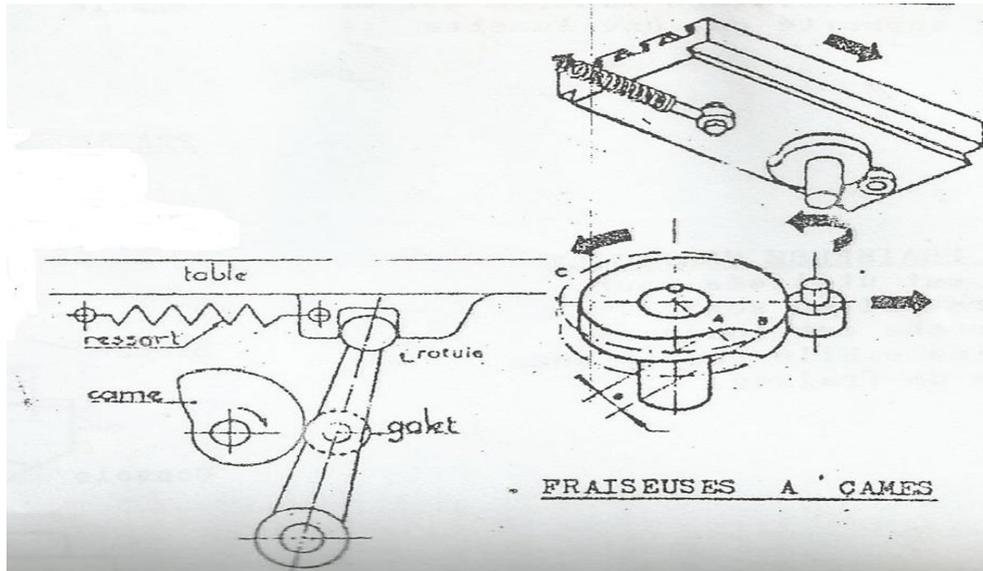
On peut avoir différents cycles : pendulaire, carré, cubique.

Ces machines sont utilisées en moyenne et grandes série, elles permettent l'obtention des pièces petites et moyen encombrantes.



7. Les fraiseuses à came

Sur ces machines, la came remplace le système vis écrou de la table. La came transforme son mouvement de rotation en mouvement rectiligne communiqué à la table. Un tour complet de la came représente en aller-retour de la table.



8. La fraiseuse à commande numérique

Sa structure est celle d'une fraiseuse verticale ou horizontale complétée d'une automatisation numérique de tous les mouvements.

- Les opérations sont programmées.
- La machine travaille suivant 3 axes.
- Elle permet l'usinage de pièces complexes avec opérations sans démontage de la pièce, grâce au plateau tournant et au magasin d'outils incorporé dans la machine.
- Machine employée pour la petite et la moyenne série répétitive.

NB: actuellement, la conception moderne relie ces machines à des ordinateurs qui permettent de faire la programmation et le pilotage. On parle alors de fabrication assistée par ordinateur :

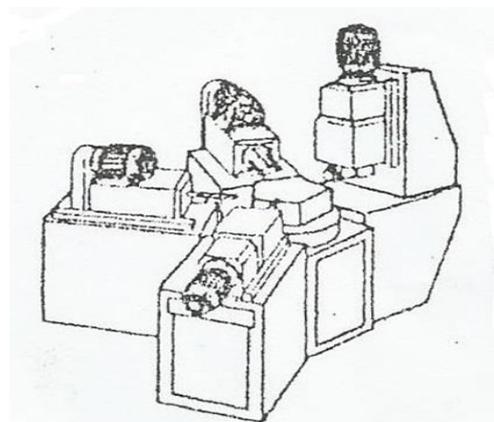
« FAO »

9. Les unités d'usinage

Plusieurs unités d'usinage sont montées sur un même bâti afin de former une machine spéciale dite transfert.

La machine transfert est destinée pour l'usinage des pièces en très grande série. Cette machine peut comporter des unités de :

- ❖ Fraisage
- ❖ Perçage
- ❖ Taraudage
- ❖ Alésage



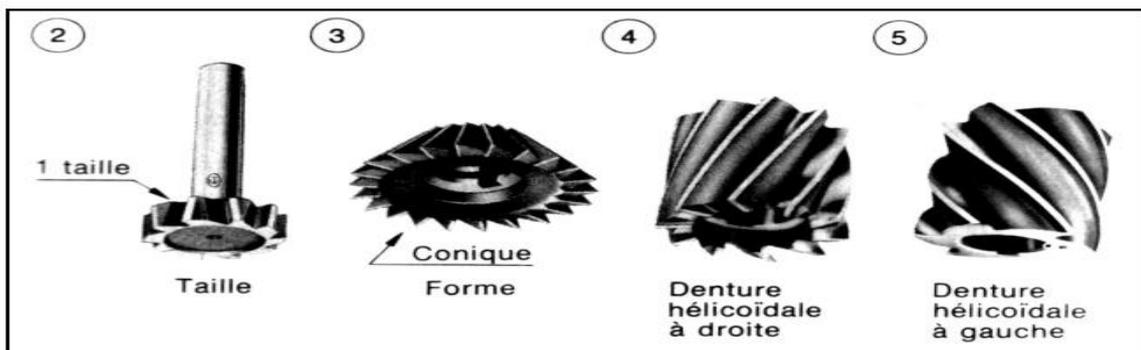
III. LES OUTILS DE FRAISAGE

Une fraise a la forme d'un solide de révolution portant plusieurs outils (dents) réparties sur la périphérie. Elles sont fabriquées monobloc en ARS, à dents ou à lames amovibles en ARS ou carbure.

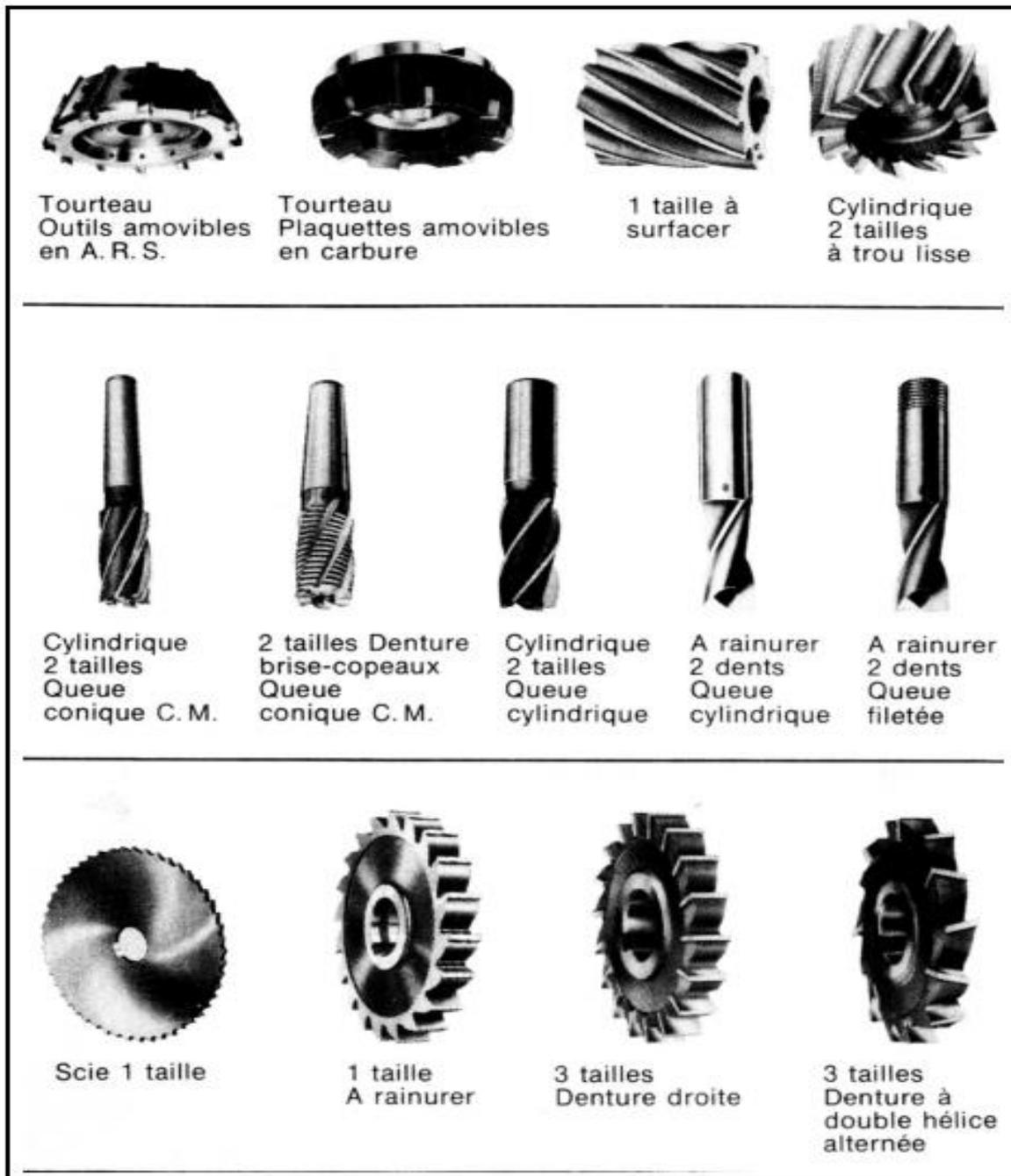
1. Caractéristiques des fraises

Les outils de fraisage sont caractérisés par :

- La taille : elle est fonction du nombre d'arêtes tranchantes par dent. On distingue :
 - Les fraises 1 taille : L'unique arête est parallèle ou oblique par rapport à l'axe de l'outil.
 - Les fraises 2 tailles : La fraise est taillée sur la génératrice et sur un bout. Elle a alors deux arêtes tranchantes par dent.
 - Les fraises 3 tailles : La fraise est taillée sur la génératrice et sur les deux flancs (trois arêtes tranchantes)
- La forme : elle est fonction du profil des génératrices par rapport à l'axe de l'outil. On distingue :
 - Les fraises cylindriques
 - Les fraises coniques
 - Les fraises de forme
- La denture : Nombre de dents et sens d'inclinaison de l'hélice.
On distingue les dentures hélicoïdales à droite ou à gauche et les dentures à double hélice alternées. Si l'arête tranchante est parallèle à l'axe de la fraise la denture est droite.
- Les dimensions
 - Pour les fraises 2 tailles : Diamètre et hauteur
 - Pour les fraises 3 tailles : Diamètre, épaisseur et diamètre de l'alésage.
 - Pour les fraises coniques : Diamètre, épaisseur et angle.
- Le mode de fixation : à queue cylindrique, conique, à bout fileté, à trou lisse.
- Construction : Les fraises peuvent être à denture fraisée (fraise conique deux tailles, 60°) ou à dentures détalonnée et fraisée (fraise disque pour crémaillère)



2. Les différents types de fraises





Pour rainure de clavette disque
Queue filetée



Pour rainure à T
Denture brise-copeaux
Queue filetée



Pour rainure à T
Denture alternée
Queue conique C. M.



Conique 2 tailles,
Cône inversé type A
Queue cylindrique



Conique 2 tailles
Cône direct type B
Queue cylindrique



Conique 2 tailles
Alésage lisse
rainuré



Isocèle
2 tailles

Fraises à profil constant



Convexe
pour
demi-cercle



Concave
pour
demi-cercle



Concave
pour quarto
de cercle



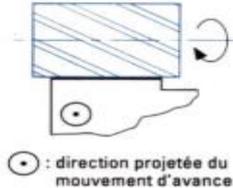
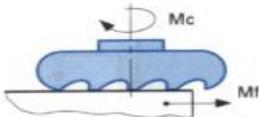
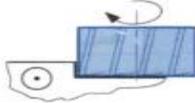
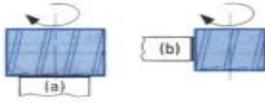
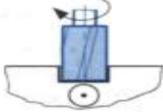
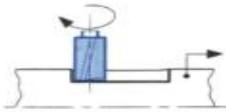
Disque
pour tailler
les engrenages
(fraise « module »)



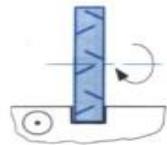
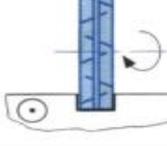
Disque à
flancs droits
pour tailler
les crémaillères

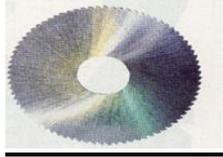
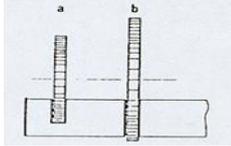
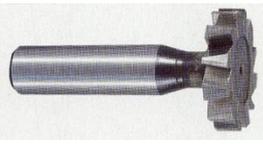
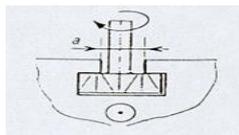
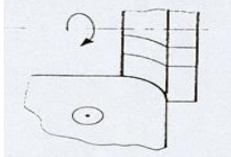
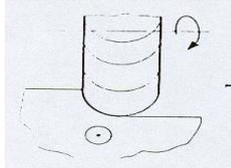
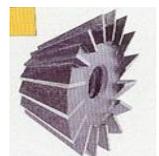
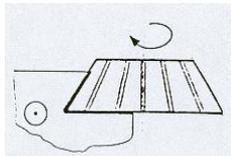
TECHNOLOGIE GENERALE

3. Les outils de fraisage à mise en acier rapide

| Visualisation | Identification de l'outil | Type d'opérations réalisées | Schéma d'usinage |
|---|--|--|---|
|  | Fraise 1 taille à surfer | Surfaçage en roulant ou de profil |  ⊙ : direction projetée du mouvement d'avance |
|  | Fraise cloche à surfer | Surfaçage en bout ou de face |  Mc : rotation, Mf : avance |
|  | Fraise 2 tailles à queue conique | Surfaçages combinés à prédominance en roulant Surfaçage en roulant |  ⊙ Direction projetée du mouvement d'avance |
|  | Fraise 2 tailles à alésages et à entraînement par tenon | Surfaçages combinés à prédominance en bout |  |
| | | Restrictivement : - surfaçage en bout (a) - surfaçage en roulant (b) |  |
|  | Fraise 2 tailles à queue cylindrique | Rainurage de profil peu précis |  |
|  | Fraise à rainurer deux lèvres à coupe centrale | Rainurage de profil en pleine matière Exemple : rainure de clavetage |  |

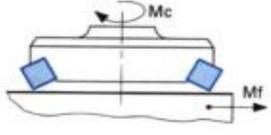
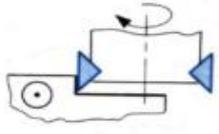
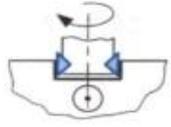
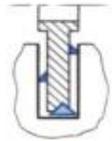
TECHNOLOGIE GENERALE

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | Fraise 3 tailles à dentures alternées | Rainurage en bout Qualité usuelle obtenue ≥ 9 |  |
|  | Fraise 3 tailles extensible à denture alternées | Rainurage en bout qualité usuelle obtenue : 7-8 |  |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | Fraise scie | Sciage et rainurage |  |
|  | Fraise pour rainures à T | Rainures de clavette ou en T |  |
|  | Fraises coniques Type A : cône renversé Type B : cône direct | Rainures de surface oblique | |
|  | Fraise à tailler les engrenages ou les crémaillères | Réalisation d'engrenages et de crémaillères. |  |
|  | Fraise convexe | Réalisation de congés. |  |
|  | Fraise conique | Réalisation de queue d'aronde. |  |

TECHNOLOGIE GENERALE

3. Les outils de fraisage en carbure à plaquette amovible

| Visualisation | Identification de l'outil | Types d'opérations réalisées | Schéma d'usinage |
|---|--|--|---|
|  | Fraise à surfacer | Surfaçage en bout |  |
|  | Fraise à surfacer et à dresser | Surfaçages combinés à prédominance en bout |  |
|  | Fraise à rainurer | Rainurage de profil |  |
|  | Fraise 3 tailles à dentures alternées | Rainurage en bout |  |

IV. GENERATION DES SURFACES

L'aspect et le degré de finition des surfaces obtenues varient, entre autres facteurs, selon le mode de génération utilisé.

- ✓ Travail d'enveloppe
- ✓ Travail de forme

1. Travail d'enveloppe

Exécution de surfaces où l'on ne retrouve pas la forme de la génératrice de la fraise.

2. Travail de forme

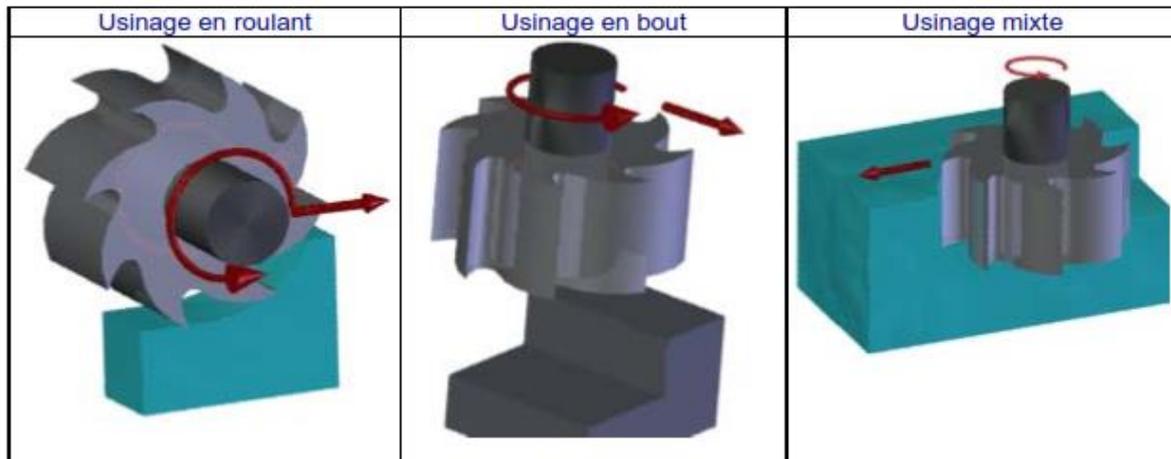
Exécution de surface où l'on retrouve la forme de la génératrice de la fraise. Le profil de la surface usinée est identique à celui de la génératrice de la fraise en cours d'usinage.

3. Mode de fraisage

On distingue deux modes de fraisage :

- ✓ Le fraisage de face
- ✓ Le fraisage de profil

Le fraisage mixte est la combinaison des deux types de fraisage.



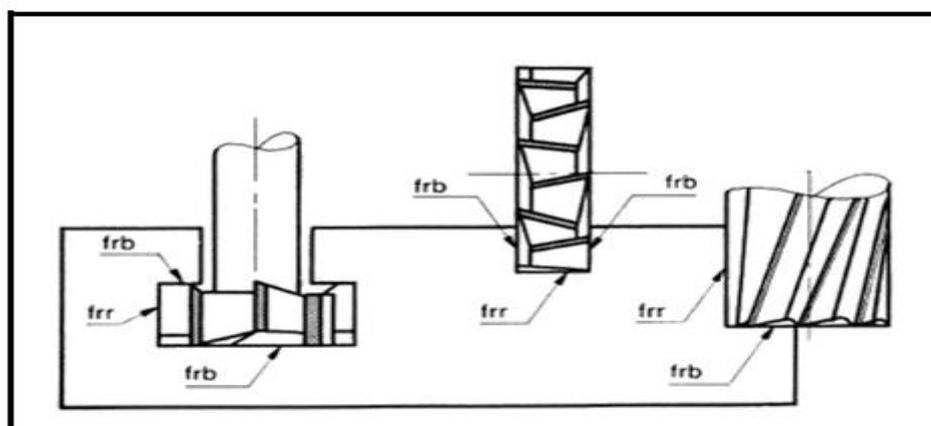
a. Fraisage de face

Appelé aussi fraisage en bout (frb), l'axe de la fraise est perpendiculaire au plan fraisé. C'est un procédé d'obtention où l'on ne retrouve pas aucune trace de la forme de la génératrice de la fraise.

b. Fraisage de profil

Appelé aussi fraisage en roulant (frr), la génératrice de la fraise est parallèle à la surface usinée. C'est un procédé d'obtention de surface planes ou quelconque dans des positions diverses.

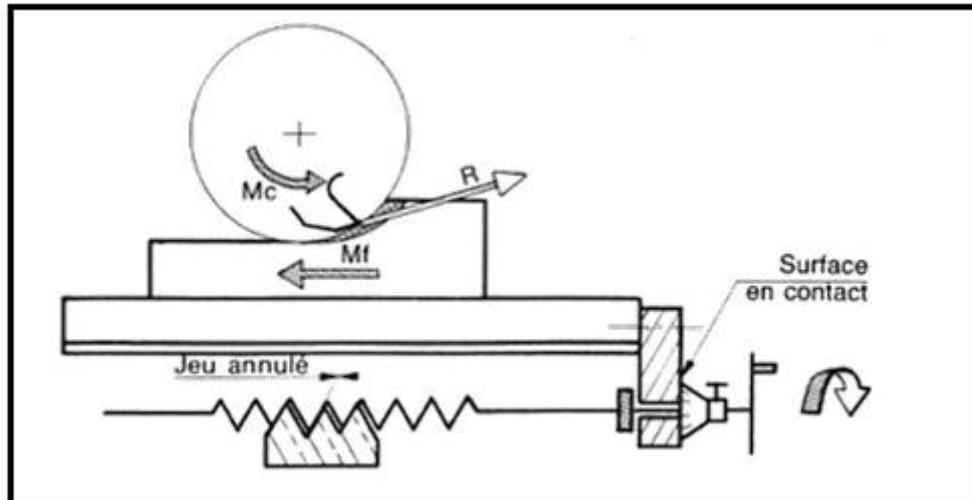
NB : Les deux modes de fraisage peuvent se trouver en application au cours d'une même opération. C'est le cas des fraises 2 tailles, 3 tailles, travaillant simultanément de face et de profil.



4. Mode de travail

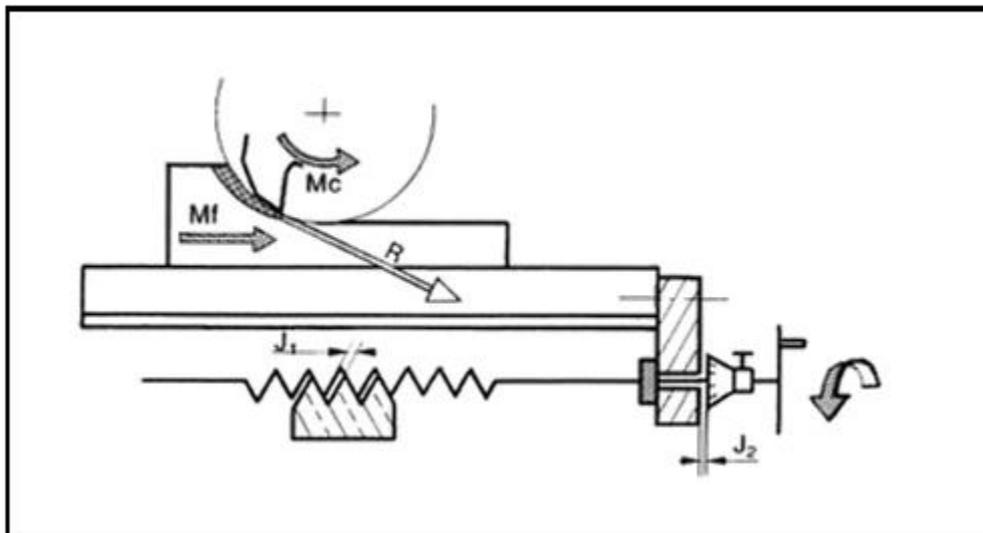
a. Fraisage en opposition

Le mouvement d'avance de la pièce et le mouvement de coupe sont de sens contraire.



b. Fraisage en concordance ou en avalent

Le mouvement d'avance de la pièce et le mouvement de coupe dans la zone fraisée sont de même sens. Le fraisage en concordance ne peut être effectué que sur des machines-outils dont les déplacements sont commandés sans jeu, à l'aide des systèmes de vis à billes (dites intégrales) ou par des vis à rattrapage de jeu mécanique ou hydraulique.



Dans le fraisage en concordance la résultante **R** des efforts de coupe est dirigée dans le même sens que le **Mf**. Elle tend à faire plaquer la pièce sur la table, mais également à entraîner celle-ci en raison des jeux fonctionnels du système vis-écrou.

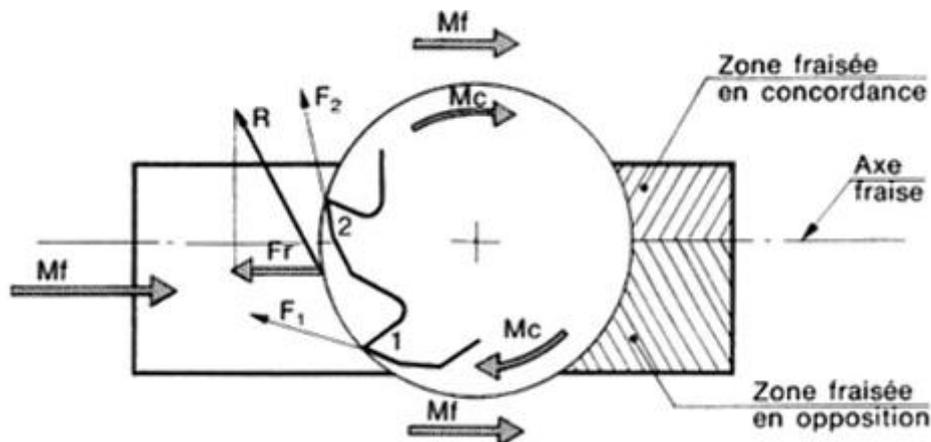
Ce procédé ne peut être utilisé que sur des fraiseuses spéciales, munies d'un dispositif de compensation des jeux du système vis - écrou, afin d'éviter que la table ne se déplace par à-coups.

Dans le fraisage en bout

La zone fraisée est simultanément en opposition et en concordance; il convient cependant de désaxer légèrement la pièce, par rapport à l'axe la fraise, dans le but d'obtenir :

- Une zone fraisée en opposition plus large que la zone fraisée en concordance.
- Une composante axiale F_r de la résultante des efforts de coupe de sens opposé au déplacement de la pièce.

Terminer le réglage de façon à ce que les flancs des filets de la vis et de l'écrou soient en contact, afin qu'ils s'opposent au déplacement du chariot.



V. MONTAGE DES FRAISES

1. Condition à satisfaire

- Situer la fraise sur le porte outil dans une position géométrique correcte.
- Assurer l'entraînement de l'outil.
- Permettre un montage et un démontage rapide.

2. Montage

Suivant le type de fraise, on utilise divers porte outils.

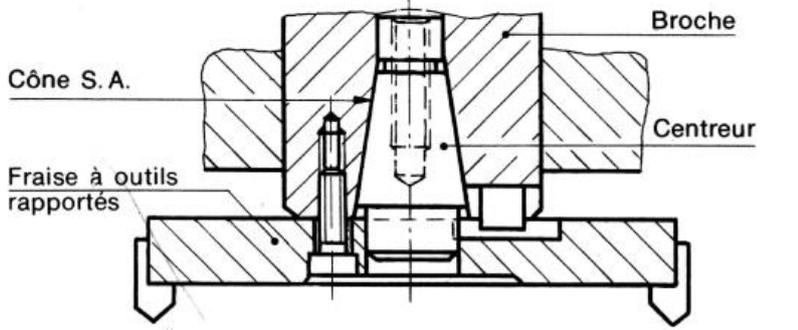
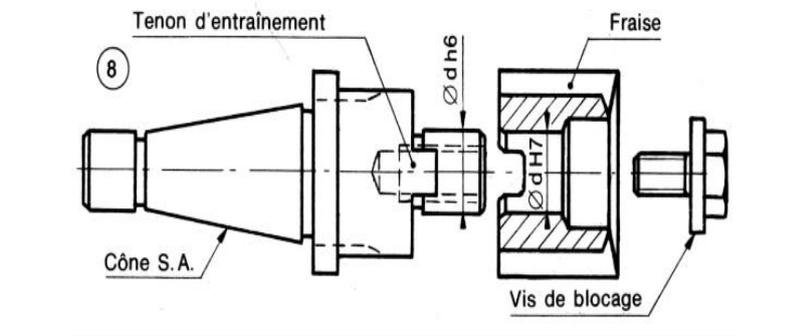
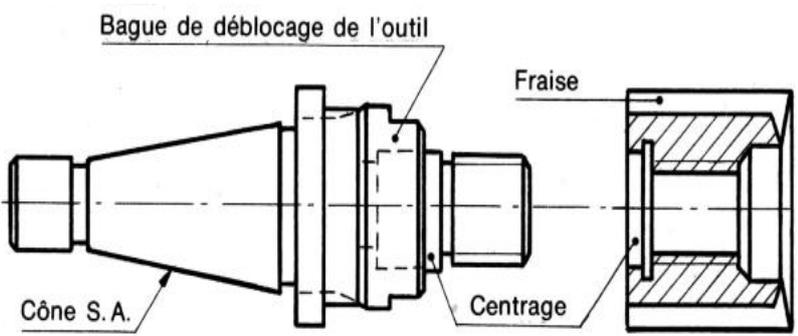
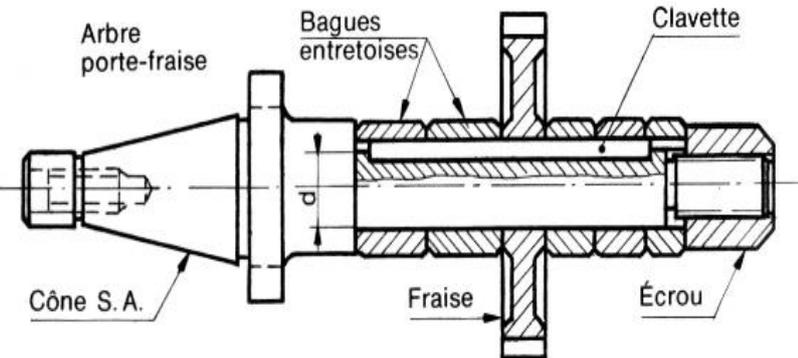
- Essuyer les surfaces coniques de la broche, du porte-fraise ou de la fraise.
- Placer les entailles du porte-fraise dans les tenons d'entraînement de la broche.
- Visser au maximum la tige de rappel, puis bloquer l'écrou.

3. Démontage

- Débloquer l'écrou (un tour).
- Donner un léger coup de marteau sur la tête de la tige de rappel, dévisser la tige en soutenant la fraise.
- Pour effectuer le démontage d'une fraise à queue C.M. de sa douille de réduction.

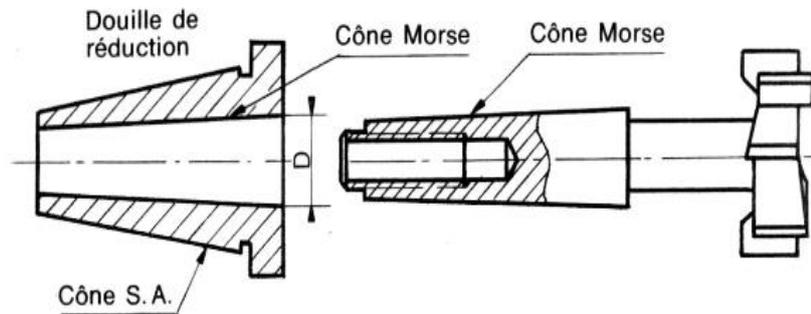
TECHNOLOGIE GENERALE

Il convient de ne pas se servir de la tige de rappel. (Risque de détérioration des filets.)
 Il faut utiliser un appareil pour désolidariser l'outil de la douille.

| Type de fraise | Porte outil |
|--|--|
| <p style="text-align: center;"><u>FRAISE A SURFACER</u></p> <p>Les fraises à surfacer de grandes pièces sont montées directement sur le nez de la broche par 4 vis CHC.</p> |  |
| <p style="text-align: center;"><u>FRAISE 2 TAILLES TROU LISSE</u></p> <p>Les fraises 2 tailles trou lisse sont montées sur des mandrins porte-fraise. La fixation se fait par une vis à tête H à embase. L'entraînement se fait par deux tenons.</p> |  |
| <p style="text-align: center;"><u>FRAISE 2 TAILLES TROU FILETE</u></p> <p>Les fraises 2 tailles trou fileté sont montées sur des mandrins porte-fraise filetés.</p> |  |
| <p style="text-align: center;"><u>FRAISE 3 TAILLES</u></p> <p>Les fraises 3 tailles se montent sur des arbres porte-fraise courts ou longs.</p> |  |

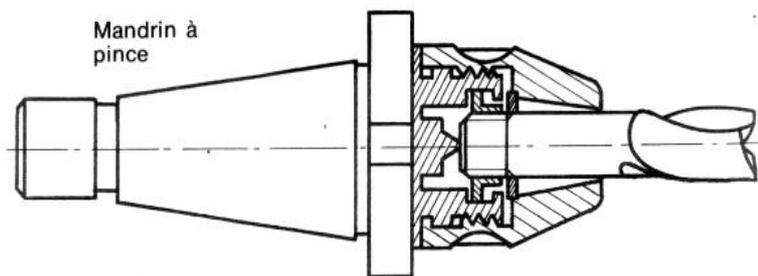
FRAISE A QUEUE CONIQUE

Les fraises à queue conique se montent dans une douille de réduction de fraisage qui elle-même se monte dans la broche. Le tirant ou tige de rappel se visse dans la fraise.



FRAISE A QUEUE CYLINDRIQUE

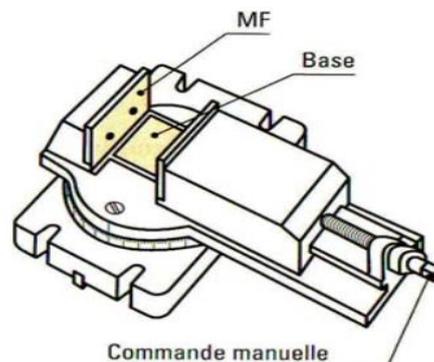
Les fraises à queue cylindrique se montent dans un mandrin à pince.



4. Quelques accessoires

a. L'étai

Cette porte pièce est très utilisée pour l'ablocage en fraisage. Le serrage peut être assuré de façon mécanique (vis-écrou, came), pour action hydraulique ou pneumatique.



b. Plateau circulaire

Cette porte pièce a une table circulaire dont les rainures en T permettent le bridage des pièces de la même façon que sur la table de la fraiseuse.

Le plateau circulaire permet d'obtenir :

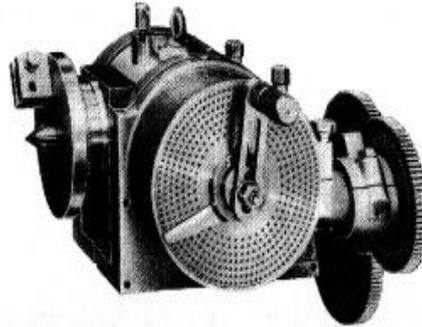


TECHNOLOGIE GENERALE

- ✓ Des surfaces de révolution cylindriques et coniques en fraisage de profil généralement inférieur à 360°.
- ✓ Des positions angulaires pour les opérations de perçage et d'alésage.
- ✓ Des polygones réguliers ou irréguliers.

c. Diviseur

Le diviseur est un appareil composé de la poupée diviseur et d'une contre pointe. Il permet l'ablocage dans une position déterminée avec possibilité d'évolution angulaire.



VI. PUISSANCE ABSORBÉE

La puissance nécessaire à la coupe est sensiblement proportionnelle au débit de la matière enlevée.

$$P \cong K \cdot Q$$

P= puissance nécessaire à la coupe en watts (W)

Q= débit en cm³/mn

K= Coefficient déterminé expérimentalement

Suivant les données pour le calcul du débit on donne

les expressions suivantes :

$$P \cong K \cdot l \cdot p \cdot a \cdot z \cdot N$$

$$P \cong \frac{K \cdot l \cdot p \cdot a \cdot z \cdot v \cdot 10^3}{\pi d \cdot 60}$$

$$P \cong K \cdot l \cdot p \cdot A$$

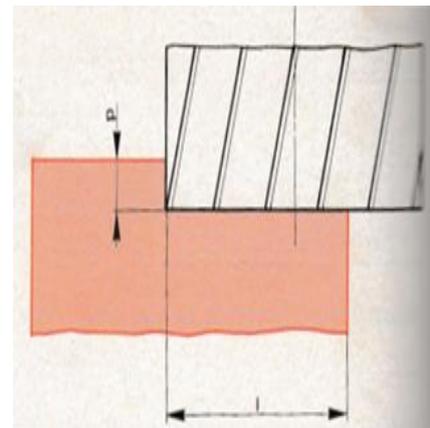
P : puissance nécessaire à la coupe en watt (W)

K : Coefficient voir tableau

l : largeur de coupe en mm

p : profondeur de passe

a : avance en millimètre par dent



z : nombre de dents

N : fréquence de rotation en tr/mn

V : vitesse de coupe en m/mn

d : diamètre de la fraise

A : avance en mm/mn

La puissance absorbée par la machine est donnée par :
$$Pa = \frac{P}{\eta}$$

η : rendement de la machine

NB :

Lorsque la puissance calculée est supérieure à la puissance disponible, on peut réduire la vitesse de coupe et l'avance préconisées dans les tableaux précédents.

Toutefois afin de conserver une bonne formation de copeau, il vaut mieux abaisser la vitesse de coupe ainsi que l'avance.

Pour les fraises à plaquettes amovibles, il peut être intéressant d'enlever une plaquette sur deux.

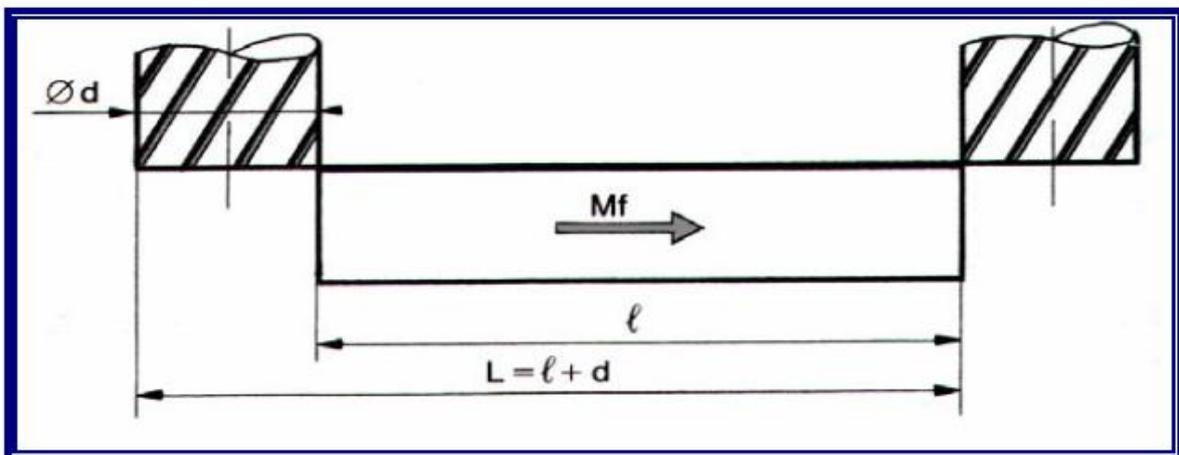
Un outil utilisé consomme environ 25% de puissance en plus qu'un outil neuf.

TECHNOLOGIE GENERALE

TABLEAU DU COEFFICIENT K

| Matière | K* | |
|---|------------------|-----------------------|
| | Fraisage en bout | Fraisage en roulement |
| Aciers $R \leq 60 \text{ daN/mm}^2$ | 0,050 | 0,055 |
| Aciers $60 < R \leq 110 \text{ daN/mm}^2$ | 0,060 | 0,070 |
| Aciers $R > 110 \text{ daN/mm}^2$ | 0,080 | 0,110 |
| Aciers inoxydables | 0,060 | 0,070 |
| Fonte Ft 20 | 0,035 | 0,040 |
| Fonte Ft 35 | 0,055 | 0,065 |
| Laitons et alliages d'aluminium | 0,017 | 0,020 |
| Bronzes | 0,035 | 0,040 |

TEMPS TECHNOLOGIQUE DE COUPE



Si L représente le longueur de la passe en millimètres, le temps de coupe t_c correspondant pour l'effectuer est déterminé par la relation :

$$t_c = \frac{L}{V_f}$$

t_c : temps de coupe en minutes ;

V_f : avance en mm/min de la pièce.

TECHNOLOGIE GENERALE

TABLEAU COMPARATIF DES PRINCIPAUX FRAISEUSES :

| Type de fraiseuse | Caractéristiques | Possibilités | Programme de fabrication | | | | |
|---------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|----|----|----|-----|
| | | | TU | PS | MS | GS | TGS |
| Fraiseuse verticale (FV) | Axe vertical | Petites, moyennes et grandes pièces | | | x | | |
| Fraiseuse horizontale (FH) | Axe horizontal fraise 3 tailles | Petites, moyennes et grandes pièces | | | x | | |
| Fraiseuse universelle (FU) | Axe de la broche peut être vertical ou horizontal et oblique | Petites et moyennes pièces | x | x | | | |
| Fraiseuse à copier | Avec gabarit, dimensions de la pièce à l'échelle 1 | Pièces à profil complexe | x | x | | | |
| Fraiseuse à reproduire | Gabarit de copiage, dimensions de la pièce Peut-être variable | Pièces complexes | x | x | | | |
| Fraiseuse à cycle | cycle automatique | Petites et moyennes pièces | | | x | x | |
| Fraiseuse DUPLEX | Fraiseuse à deux tête, usinage de faces // | moyennes et grandes pièces | | | x | | |
| Fraiseuse TRIPLEX | Fraiseuse à trois tête, usinage de 2 face // et 1 \perp | moyennes et grandes pièces | | | x | | |
| Fraiseuse à commande numérique | Programme de fabrication assisté par ordinateur | Petites et moyennes pièces | | | x | x | |