

# 8 PROCÉDÉS DE FORMAGE

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 1. Généralités .....                              | 227 |
| 1.1 Les différents procédés de formage .....      | 227 |
| 2. Formage par emboutissage .....                 | 227 |
| 2.1 Généralités .....                             | 227 |
| 2.2 Détermination des flans .....                 | 228 |
| 2.3 Emboutissage cylindrique .....                | 230 |
| 2.4 Emboutissage avec collerette .....            | 231 |
| 2.5 Emboutissage de contre-emboutis .....         | 232 |
| 2.6 Emboutissage des collets .....                | 233 |
| 2.7 Emboutissage tronconique .....                | 234 |
| 2.8 Emboutissage hémisphérique et similaire ..... | 235 |
| 2.9 Emboutissage prismatique .....                | 236 |
| 2.10 Calibrage d'emboutis .....                   | 237 |
| 2.11 Détourage d'emboutis .....                   | 237 |
| 2.12 Outillages sans serre-flan .....             | 238 |
| 2.13 Outillages avec serre-flan .....             | 238 |
| 2.14 Conception des outillages .....              | 239 |
| 2.15 Outillages combinés .....                    | 241 |
| 3. Formage par pliage .....                       | 243 |
| 3.1 Généralités .....                             | 243 |
| 3.2 Détermination du flan .....                   | 243 |
| 3.3 Effort de pliage .....                        | 244 |
| 3.4 Matériaux utilisés .....                      | 245 |
| 3.5 Pliage en l'air .....                         | 245 |
| 3.6 Pliage en matrice .....                       | 246 |
| 3.7 Outillages de pliage .....                    | 248 |
| 3.8 Presses-plieuses .....                        | 249 |



|      |                                                  |     |
|------|--------------------------------------------------|-----|
| 4.   | Formage par extrusion .....                      | 250 |
| 4.1  | Généralités .....                                | 250 |
| 4.2  | Filage direct ou avant .....                     | 250 |
| 4.3  | Filage inverse ou arrière .....                  | 250 |
| 4.4  | Filage latéral .....                             | 251 |
| 4.5  | Refoulage .....                                  | 251 |
| 4.6  | Écrasage .....                                   | 251 |
| 4.7  | Étirage .....                                    | 252 |
| 4.8  | Caractéristiques des pièces .....                | 252 |
| 4.9  | Réduction de diamètre des lopins au filage ..... | 253 |
| 4.10 | Longueur filée par opération .....               | 253 |
| 4.11 | Matériaux filés .....                            | 253 |
| 4.12 | Mise en œuvre .....                              | 253 |
| 4.13 | Outillage de filage direct .....                 | 254 |
| 4.14 | Outillage de filage inverse .....                | 254 |
| 4.15 | Effort d'extrusion .....                         | 255 |
| 4.16 | Outillage hydrostatique d'étirage .....          | 255 |
| 4.17 | Tréfilage .....                                  | 255 |
| 4.18 | Utilisation de l'extrusion .....                 | 255 |
| 5.   | Formage par fluotournage .....                   | 256 |
| 5.1  | Généralités .....                                | 256 |
| 5.2  | Formes cylindriques .....                        | 256 |
| 5.3  | Formes coniques et curvilignes .....             | 256 |
| 5.4  | Outils-molettes .....                            | 257 |
| 5.5  | Matériaux utilisés .....                         | 258 |
| 5.6  | Précisions obtenues .....                        | 258 |
| 5.7  | Utilisation .....                                | 258 |
| 6.   | Formage sous haute énergie .....                 | 258 |
| 6.1  | Généralités .....                                | 258 |
| 6.2  | Formage électro-hydraulique .....                | 259 |
| 6.3  | Formage par électromagnétisme .....              | 259 |
| 6.4  | Formage par explosion .....                      | 260 |
| 7.   | Cintrage .....                                   | 261 |
| 7.1  | Généralités .....                                | 261 |
| 7.2  | Cintrages des tôles .....                        | 261 |
| 7.3  | Cintrage des tubes et des profilés .....         | 263 |
| 7.4  | Pliages des profilés .....                       | 265 |
| 8.   | Profilage à froid .....                          | 266 |
| 8.1  | Généralités .....                                | 266 |
| 8.2  | Galets de profilage .....                        | 266 |
| 8.3  | Matériaux utilisés .....                         | 267 |
| 8.4  | Précisions obtenues .....                        | 267 |
| 8.5  | Machines .....                                   | 267 |
| 8.6  | Utilisation .....                                | 267 |

# 1. Généralités

Production de pièces métalliques relativement peu épaisses, en série, souvent très grandes, par déformation plastique du matériau, à partir de bruts, principalement en feuilles, en lopins, en bandes.

- Le choix d'un procédé de formage est fonction du type de pièces à produire, ce qui conditionne le brut nécessaire.
- La quantité à produire conditionne l'outillage plus ou moins optimisé, pour les pièces dont le brut est obtenu à partir de flans découpés dans la feuille de tôle métallique.
- Les dimensions et la forme du brut sont conditionnées, avec le procédé, par le type de pièces à obtenir.

## 1.1 Les différents procédés de formage

- Formage par emboutissage, à partir de flans métalliques.
- Formage par pliage, à partir de flans ou de bandes métalliques.
- Formage par extrusion, à partir de lopins métalliques.
- Formage par fluotournage, à partir de lopins métalliques.
- Formage sous haute énergie, à partir de flans épais et généralement de grandes dimensions.
- Formage par profilage à froid, à partir d'une bande métallique.
- Formage par cintrage, à partir de tubes, profilés et tôles.
- Formage par laminage, à partir de bruts en tôles épaisses et de lingots métalliques issus de fonderie.

8

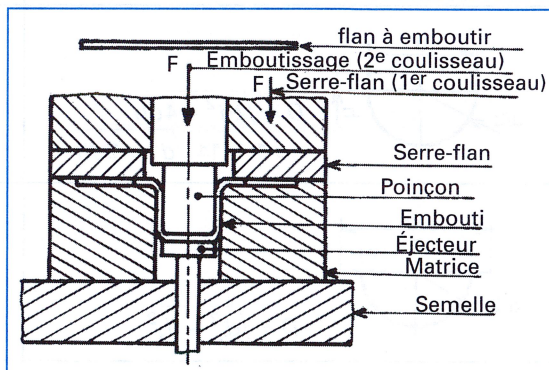
# 2. Formage par emboutissage

## 2.1 Généralités

Déformation plastique d'un flan dans une matrice de forme sous l'action d'un poinçon qui produit une forme creuse d'épaisseur théoriquement constante et égale à celle du flan (fig. 8.1).

FIGURE 8.1

Schéma d'emboutissage sur presse à double effet.





Opération effectuée à froid ou à chaud, suivant l'épaisseur du flan et la forme à obtenir.  
 Le flan est transformé par déplacement moléculaire du matériau, de façon irréversible (la pièce emboutie n'est pas développable).  
 Opposition à la formation de plis causée par le déplacement radial du matériau, à l'aide d'un serre-flan qui maintient le flan durant l'emboutissage d'embouts profonds (laminage du matériau entre poinçon et matrice).  
 La précision dimensionnelle des pièces obtenues est de qualité 10 à 8.  
 Les matériaux employés doivent avoir un grand allongement ( $A \% > 30$ ).  
 La déformation permanente du flan pouvant être très importante, le matériau est écroui (plus dur, plus fragile, % d'allongement diminué).

## 2.2 Détermination des flans

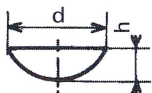
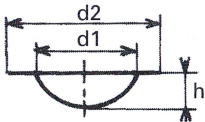
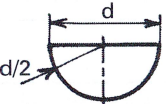
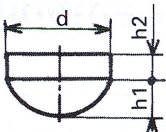
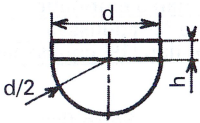
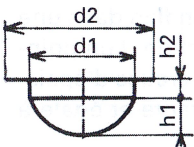
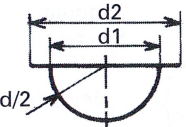
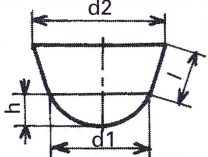
À partir de la fibre moyenne.

Considérer que l'embouti a la même surface que le flan, son épaisseur ayant théoriquement une épaisseur constante.

Augmenter de 2 à 4 mm le diamètre du flan pour effectuer un détournage du bord supérieur de la pièce.

Rayon  $r$  de raccordement paroi/fond. À négliger, inférieur au dixième du diamètre de la pièce à obtenir ( $r \leq d/10$ ).

Déterminer le flan théorique. Son diamètre  $D$  pour les pièces à emboutir (en majorité cylindriques) avec des formules établies analytiquement (fig. 8.2).

|                                                                                                                                                |                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  $D = \sqrt{d^2 + 4h^2}$                                    |  $D = \sqrt{d_2^2 + 4h^2}$                     |
|  $D = \sqrt{2d^2} \text{ ou } 1,414d$                       |  $D = \sqrt{d^2 + 4(h_1^2 + dh_2)}$            |
|  $D = \sqrt{2d^2 + 4dh} \text{ ou } 1,414 \sqrt{d^2 + 2dh}$ |  $D = \sqrt{d_2^2 + 4(h_1^2 + d_1 \cdot h_2)}$ |
|  $D = \sqrt{d_2^2 + d_1^2}$                                 |  $D = \sqrt{d_1^2 + 4h^2 + 2l(d_2 + d_1)}$     |

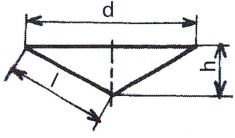
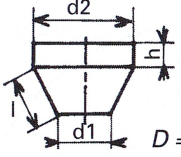
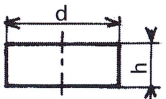
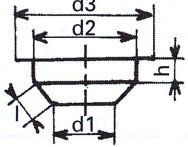
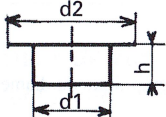
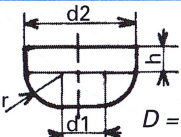
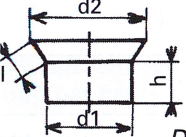
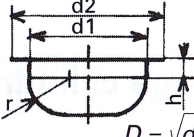
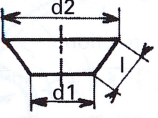
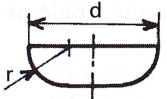
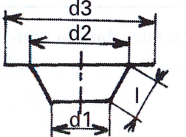
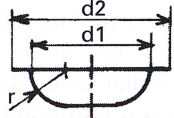
|                                                                                                                                        |                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  $D = \sqrt{2d \cdot l}$                              |  $D = \sqrt{d_1^2 + 2[l(d_1 + d_2) + 2d_2h]}$               |
|  $D = \sqrt{d^2 + 4dh}$                               |  $D = \sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2) + 4d_2h + d_3^2 - d_2^2}$ |
|  $D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1 \cdot h}$                    |  $D = \sqrt{d_1^2 + 2[l(d_1 + d_2) + 2d_2h]}$               |
|  $D = \sqrt{d_1^2 + 4d_1 \cdot h + 2l(d_1 + d_2)}$    |  $D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1(0,57r + h) - 0,39r^2}$             |
|  $D = \sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2)}$                  |  $D = \sqrt{(d - 2r)^2 + 2\pi r(d - 0,7r)}$                |
|  $D = \sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$ |  $D = \sqrt{d_2^2 + 2,28r d_1 - 0,39r^2}$                 |

FIGURE 8.2 Formules de calcul du diamètre de flan (formes simples).

Détermination diamètre  $D$  du flan. Pour une pièce de forme donnée, utiliser le théorème de Guldin, soit  $r^2 = 2R \cdot \sum l$ , (avec  $r$  = rayon du flan).

$r$  pourra être obtenu par la méthode de traçage du polygone funiculaire : résolution des différents cas possibles, tout en considérant, le cas échéant, les rayons de raccordement, soit :

- décomposer le demi-profil en éléments simples (droites, cercles) ;
  - construire graphiquement l'axe de ce profil passant par son CdG (dynamique et funiculaire) ;
- pour obtenir  $rm = \frac{\sum ri \cdot li}{\sum li}$  ; et dans le triangle rectangle inscrit dans un demi-cercle de diamètre :  $L = \sum li + 2rm$  ;

d'où  $\frac{2rm}{D/2} = \frac{D/2}{\sum L}$ , soit  $D = \sqrt{8 \cdot \sum (ri \cdot Li)}$  (fig. 8.3).



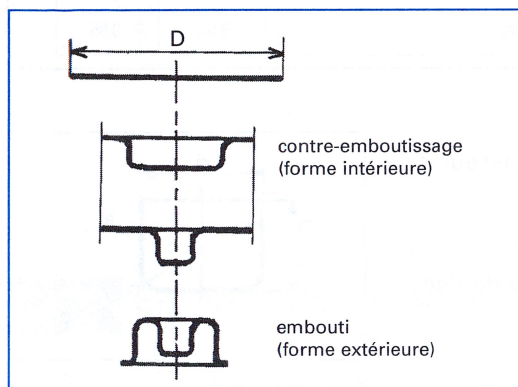
Forme située au centre d'une pièce emboutie, obtenue, en règle générale, avant l'embouti extérieur, suivant les mêmes conditions que l'emboutissage cylindrique.

Méthode nécessaire pour les contre-emboutis profonds (fig. 8.8).

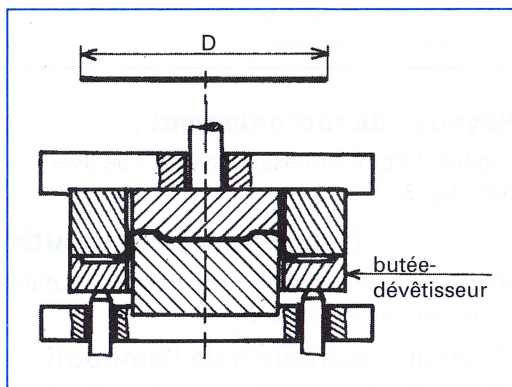
### Contre-embouti peu profond

Peut être formé avec le même outillage qui produit l'embouti-extérieur, par allongement du fond de pièce, en fin de course d'emboutissage (fig. 8.9).

Méthode limitée par l'allongement admissible du matériau et la possibilité de réduire l'épaisseur du fond de pièce.



**FIGURE 8.8** Emboutissage d'une pièce avec contre-embouti profond.



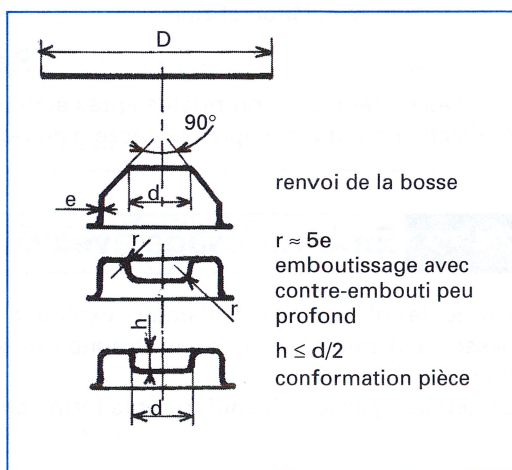
**FIGURE 8.9** Schéma d'outillage d'emboutissage avec contre-embouti peu profond.

### Contre-embouti sans réduction d'épaisseur

De profondeur  $h \leq d/2$ , avec  $d$  = diamètre du contre-embouti.

Effectuer une première passe de renvoi d'une bosse, d'un diamètre de fond égal à celui du contre-embouti (fig. 8.10).

La seconde passe, l'emboutissage des deux formes, nécessite de grands rayons d'outillage poinçon-matrice  $\approx 5$  épaisseurs du flan.



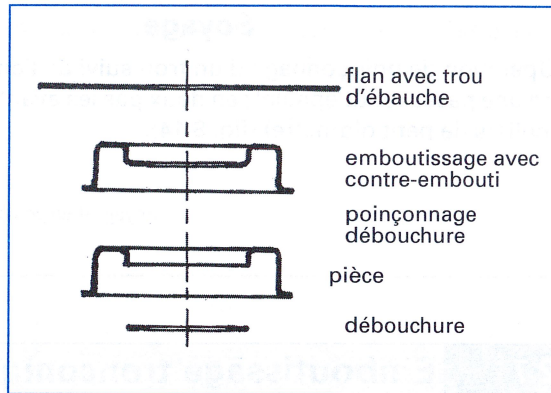
**FIGURE 8.10**  
Emboutissage d'une pièce avec contre-embouti d'épaisseur constante.

### Contre-embouti débouchant

Formé après poinçonnage préalable d'un trou central au diamètre inférieur à celui de la débouchure.

Les deux emboutis sont ensuite formés avec le même outillage, et la débouchure est ensuite poinçonnée à son diamètre (fig. 8.11).

**FIGURE 8.11**  
Emboutissage d'une pièce avec contre-embouti débouchant.



## 2.6 Emboutissage des collets

Ils sont formés par emboutissage d'un flan préalablement poinçonné en son centre à un diamètre déterminé (fig. 8.12).

Le diamètre de poinçonnage  $d_2$  est fonction du diamètre du collet  $d$  et de sa hauteur  $h$ , sous la condition :  $\sqrt{d^2 - 4d \cdot h} < d_2 < d - 2h$ , avec  $h \leq d/2$ . ( $A/A + 100$ ) mesuré à la fibre neutre et qui est fonction de la limite d'allongement  $A\%$  du matériau.

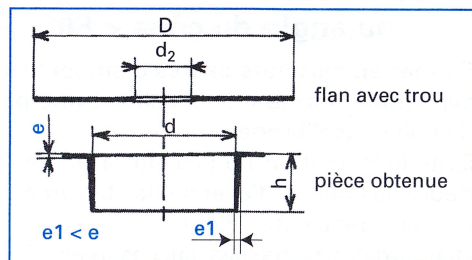
Opposition à la formation de criques : effectuer l'emboutissage en sens inverse du poinçonnage.

### Emboutissage d'un collet haut (supérieur à la hauteur maximale $h$ )

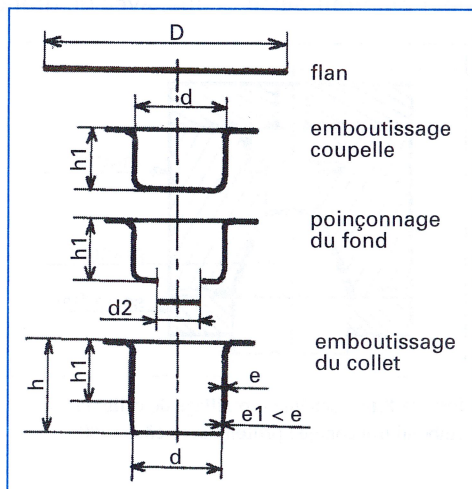
Il est formé en trois passes : emboutissage d'une coupelle au diamètre  $d$  du collet ; poinçonnage du fond au diamètre  $d_2 \approx 0,5 d$  ; emboutissage du fond à la hauteur finale  $h$  (fig. 8.13).

L'épaisseur du collet est réduite à  $\approx 3/4 e$  ( $e$  = épaisseur du flan).

*Nota* : Les pièces embouties avec collet permettent de remplacer, à condition mécanique égale, des pièces épaulées obtenues par tournage.



**FIGURE 8.12** Emboutissage d'une pièce avec collet.



**FIGURE 8.13** Emboutissage d'une pièce avec collet haut.

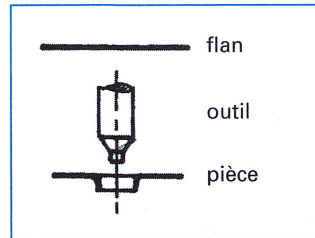


## Soyage

Opération de poinçonnage d'un trou suivi de l'emboutissage : en une passe (outil épaulé) ; en deux passes avant un taraudage (collets de petit diamètre) (fig. 8.14).

FIGURE 8.14

Soyage d'un collet de petit diamètre.



## 2.7 Emboutissage tronconique

Il est obtenu dans les mêmes conditions que les emboutis cylindriques, dans la limite expérimentale : différence des diamètres maxi  $d$  et mini  $d_1$  du tronc de cône,  $d - d_1 \leq 20e$  (avec  $e$  = épaisseur du flan) (fig. 8.15).

### Emboutis avec $d - d_1 > 20e$ ou angle du cône $< 80^\circ$

Formés en plusieurs passes d'emboutissage cylindrique formant l'ébauche et une passe de finition (calibrage).

Évite la formation de plis sur la partie inférieure du cône et d'éventuelles fissures dans la zone amincie (fig. 8.16).

Diamètres des passes successives. À déterminer selon le coefficient de réduction d'un embouti.

Les hauteurs relatives  $hn$  (intersection profils pièce/passe  $n$ ) à définir avec débordement extérieur du profil-pièce  $\approx 10e$ , avec de grands rayons de raccordement (8 à  $10e$ ) (fig. 8.17).

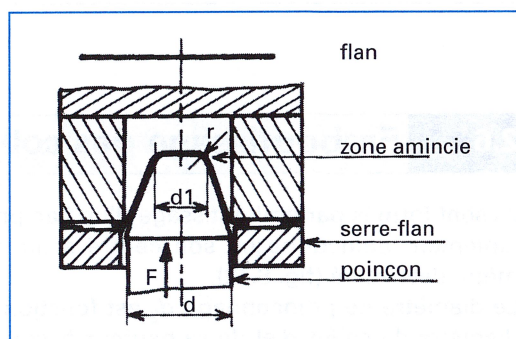


FIGURE 8.15 Schéma d'emboutissage tronconique.

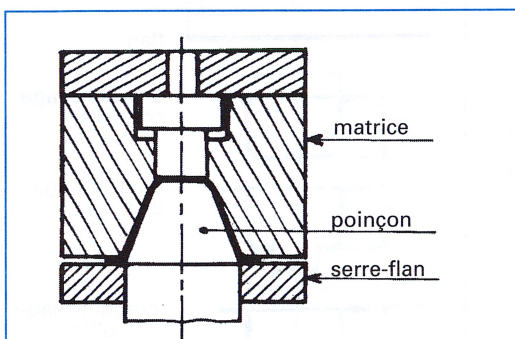
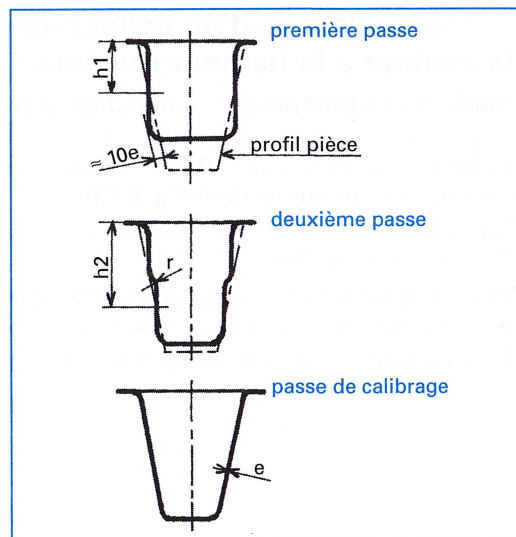


FIGURE 8.16 Schéma d'outillage de calibrage d'un embouti tronconique profond avec cône  $< 80^\circ$ .

FIGURE 8.17

Passes d'emboutissage d'une pièce tronconique avec cône  $< 80^\circ$ .



## Rayons de raccordement du poinçon et de la matrice

Valeur maximale ( $10e$ ), en particulier sur le poinçon (fissures à éviter sur l'embouti).

## 2.8 Emboutissage hémisphérique et similaire

Ils sont obtenus dans les mêmes conditions que les emboutis tronconiques.

La calotte sphérique, jusqu'à la demi-sphère, est réalisable en une passe à la condition  $d/e < 200$  (avec  $d$  = diamètre du poinçon ;  $e$  = épaisseur du flan) (fig. 8.18).

### Calotte sphérique avec $d/e > 200$ .

Plusieurs passes sont nécessaires.

Les poinçons successifs ont leur rayon de courbure  $R$  identique à celui de la pièce finie. Diamètres des poinçons successifs (fig. 8.19).

– première passe :  $d = 2(R \cdot \cos. 45^\circ + 10e)$

– passes suivantes :  $dn = d_{n-1} + 20e$ .

Le rayon  $rm$  de la matrice sera au moins égal à dix épaisseurs du flan : assurer le parfait emboutissage.

### Formes similaires (elliptique, parabolique)

Le diamètre du poinçon d'emboutissage est défini à partir de l'intersection de cercles de construction, point de départ de  $10e$ , à mesurer sur épure (fig. 8.20).

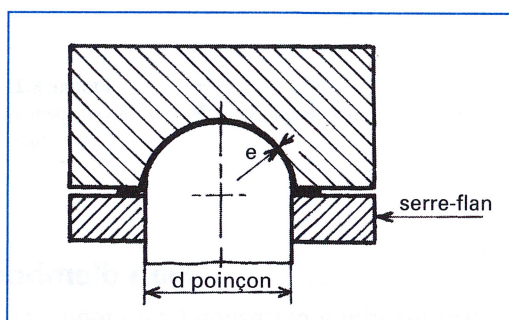


FIGURE 8.18 Schéma d'outillage d'emboutissage de pièces hémisphériques avec  $d/e < 200$ .

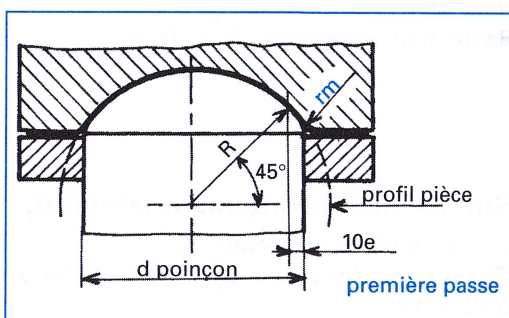


FIGURE 8.19 Emboutissage de pièces hémisphériques avec  $d/e > 200$ .

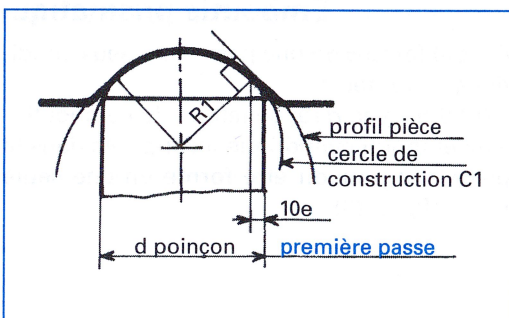


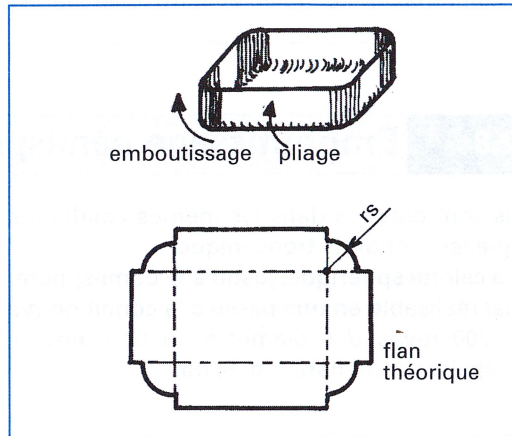
FIGURE 8.20 Emboutissage d'une forme elliptique (première passe).



Obtention simultanée des côtés par pliage et des raccords par emboutissage (fig. 8.21).

FIGURE 8.21

Embouti prismatique et son développement théorique.



### Flan d'embouti prismatique

Le flan théorique correspond : au fond ; au développement des côtés ; à quatre secteurs de  $90^\circ$  d'une hauteur inférieure à celle des côtés (à déterminer par égalité des surfaces) (fig. 8.22).

Rayon d'un secteur  $rs = \sqrt{S_1 \cdot (4/\pi)}$ .

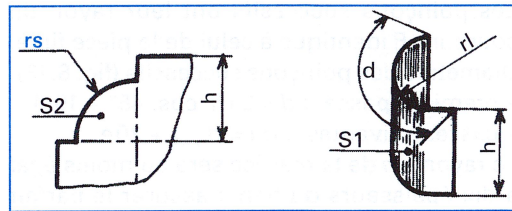


FIGURE 8.22 Éléments de calcul des secteurs de raccordement des côtés.

### Surface du raccordement latéral $S_1$

$S_1 = 1/4$  surface du secteur  $S_2$ .

$S_1 = d \cdot h = h (\pi \cdot r/2)$  et  $S_2 = \pi \cdot R^2/4$  d'où  $rs$  (fig. 8.22); avec  $h$ , hauteur de l'embouti =  $d = 2 \pi r/4$ .

Surface du flan théorique à modifier en un flan pratique : glissement latéral du matériau. Des essais préliminaires d'emboutissage permettent de définir ce flan pratique selon la hauteur des pièces.

### Emboutis prismatiques obtenus en une passe

Ils sont formés en une passe aux deux conditions suivantes :

- $h \leq 6 rl$ , avec  $rl$  rayon latéral de l'embouti
- un embouti cylindrique inscriptible dans la pièce doit pouvoir être formé en une seule passe (fig. 8.23).

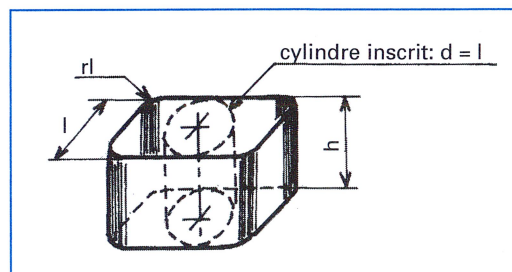


FIGURE 8.23 Éléments de limite d'emboutissage en une passe des emboutis prismatiques.

## Emboutis prismatiques obtenus en plusieurs passes

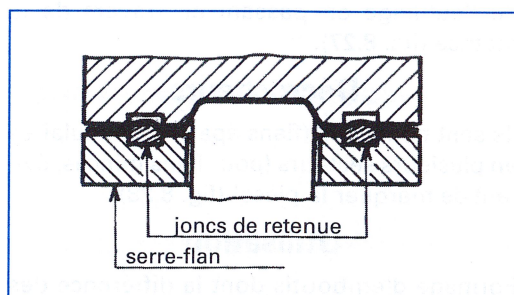
La section limite  $S_n$  des poinçons successifs se détermine à l'aide du coefficient de réduction  $k_2$  (on considère une surface), soit :  $S_1 = S_0 \cdot k_1^2$  ;  $S_n \geq S_{(n-1)} \cdot k_n$  (avec  $S_0$  = section du flan).

## Emboutis dissymétriques et de grandes dimensions

Pallier une éventuelle formation de plis, en plaçant un jonc – ou plusieurs éventuellement – de retour du flan, sur la matrice ou le serre-flan (fig. 8.24).

FIGURE 8.24

Joncs de retenue sur outillage d'emboutissage prismatique.

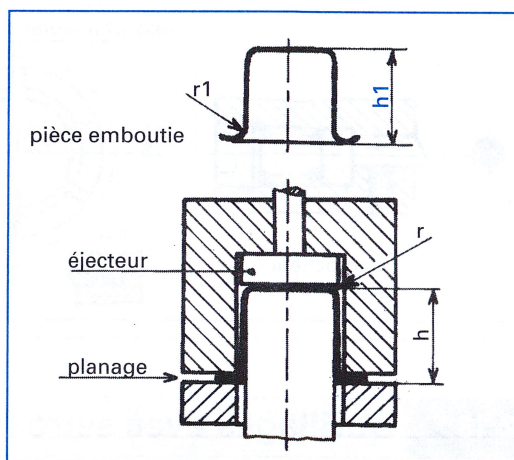


## 2.10 Calibrage d'emboutis

Appelé également conformation ou frappe, permet, si nécessaire, de former complètement la pièce : mise en hauteur exacte de la pièce ; réduction des rayons de raccordement ; planage de la collerette (fig. 8.25).

FIGURE 8.25

Schéma d'outillage de calibrage d'un embouti.

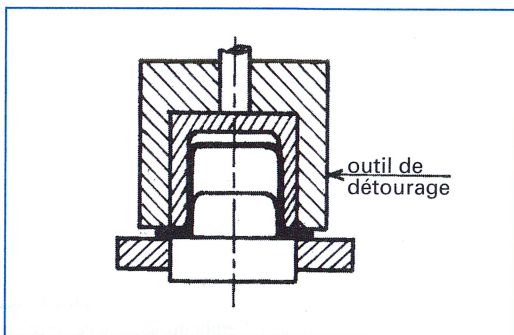


## 2.11 Détourage d'emboutis

Découpe du contour extérieur de la pièce emboutie, en une passe suivant un profil précis, avec un outillage spécifique (fig. 8.26).

FIGURE 8.26

Schéma d'outillage de détourage d'un embouti.





## 2.12 Outillages sans serre-flan

À la remontée du poinçon, un décrocheur retient la pièce qui s'évacue par le dessous de l'outillage en passant au travers de la matrice (fig. 8.27).

### Décrocheurs

Ils sont ponctuels (flans épais) ou annulaires (pour flans minces, évitant de marquer la pièce) (fig. 8.28).

### Utilisation

Formage d'emboutis dont la différence des diamètres flan  $D$  et emboutis  $d$  est  $D - d \leq 20e$  (avec  $e$  = épaisseur du flan) : résorption des plis d'emboutissage.

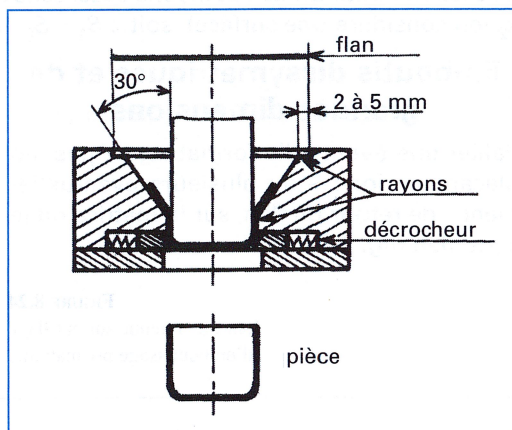


FIGURE 8.27 Schéma d'outillage d'emboutissage sans serre-flan.

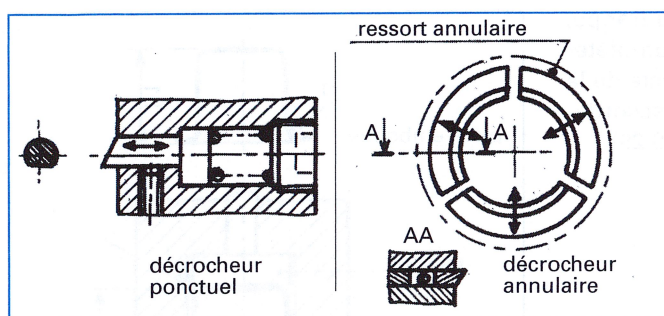


FIGURE 8.28 Décrocheurs d'emboutis.

## 2.13 Outillages avec serre-flan

Un éjecteur intégré à la matrice évacue la pièce par le haut (fig. 8.29).

Presse utilisée : pour l'emboutissage de petites pièces, elle peut être à simple effet.

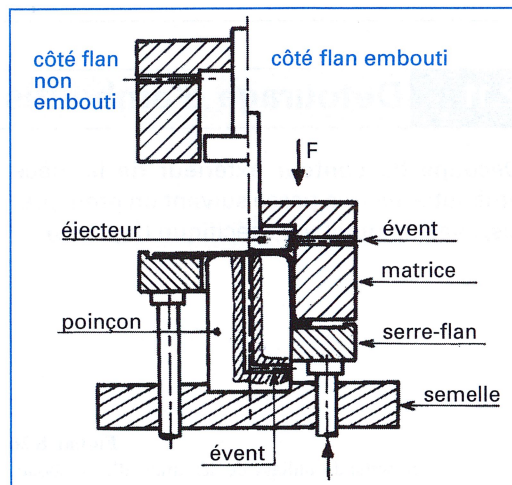


FIGURE 8.29 Outillage d'emboutissage avec serre-flan.



## Outils pour plusieurs passes

Serre-flan et matrice ont un rayon d'entrée  $r_{en} = (d_{n-1} - d_n)/2$ .

Passes relativement nombreuses. Celles intermédiaires à la première et à la dernière ont leur rayon d'entrée remplacé par un cône d'entrée (40 à 45°) sur serre-flan, matrice et poinçon : facilite la continuité d'épaisseur de l'embouti et augmente la surface d'appui du serre-flan (fig. 8.30).

## Presses utilisées

À simple effet.

Poinçon sur la table avec le serre-flan qui est actionné plus facilement (guidage assuré par chandelles) (fig. 8.29).

À double effet.

Matrice sur la table : le double effet, par le mouvement du premier coulisseau, actionne le serre-flan ; le deuxième coulisseau, à l'intérieur du premier, actionne le poinçon (fig. 8.1).

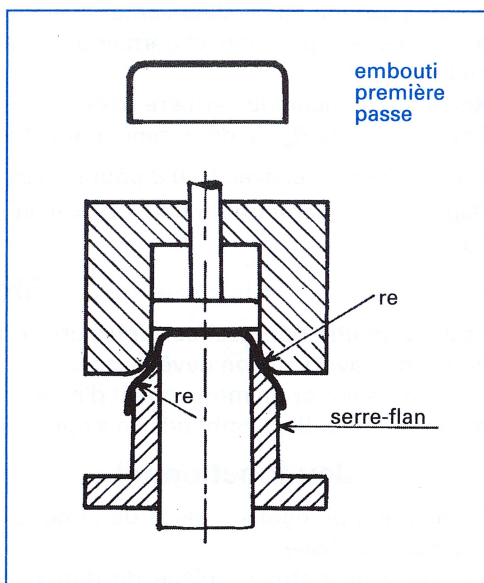


FIGURE 8.30 Schéma d'outillage d'emboutissage en plusieurs passes.

## 2.14 Conception des outillages

Semelle, matrice et serre-flan doivent être de forte épaisseur.

Déterminer les dimensions relatives des éléments (matrice, poinçon, serre-flan) en fonction de l'embouti à produire (fig. 8.31).

Distance de sécurité fin de course d'outil : 5 à 15 mm entre serre-flan et éjecteur.

Positionnement du flan ou de l'embouti (pièce obtenue en plusieurs passes) : petites pièces, par drageoirs ; grandes pièces par trous pilotes (sur zone ajourée en dernière passe).

## Surfaces fonctionnelles (poinçon, matrice, serre-flan)

Elles sont rectifiées et rodées, afin de favoriser le glissement du flan, et résistantes à l'usure (dureté HRc  $\approx$  60).

Hauteur calibrante de la matrice : d'une valeur moyenne de  $5e$ .

## Rayons de raccordement

Sur le poinçon et la matrice (d'entrée  $r_e$ , de calibrage  $r_c = 5e$  en moyenne).

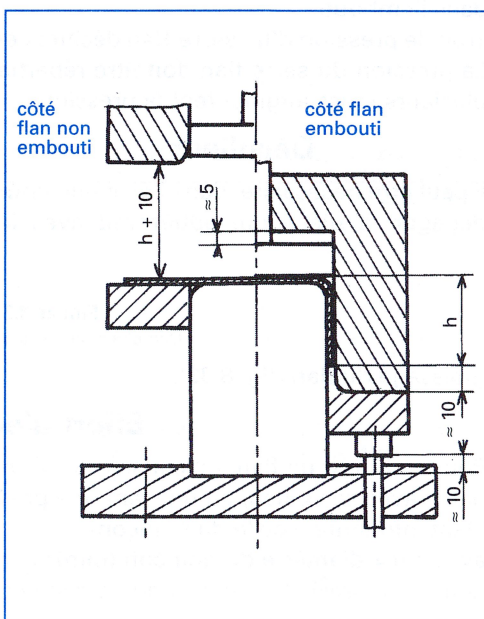


FIGURE 8.31 Jeux longitudinaux d'un outillage d'emboutissage.



**Pièces à obtenir en plusieurs emboutis.** Rayon de raccordement du poinçon pour passes intermédiaires (aux première et dernière)  $\approx 10e$  : éviter l'amincissement de métal à la jonction des emboutis.

Rayon du poinçon de dernière passe : correspond à celui de la pièce à obtenir.

Rayon d'entrée  $R_e$  : à déterminer par la formule de KACZEMAREK, soit :

$$r_e = i \cdot \sqrt{(D-d_1) \cdot e}, \text{ avec } i = 0,8 \text{ pour les aciers, } 0,9 \text{ pour les alliages d'aluminium et de cuivre.}$$

**Rappel :**  $D$  = diamètre du flan ;  $d_1$  = diamètre de l'embouti dans la passe ;  $e$  = épaisseur du flan.

## Trous d'air

Ils peuvent être nécessaires sur les gros outillages (fig. 8.29).

Poinçon : favoriser son dévêtissage.

Matrice : assurer un mouvement d'air entre matrice et serre-flan (fig. 8.29), évitant une déformation éventuelle d'emboutis en s'opposant à une compression-aspiration d'air dans le cycle.

## Jeu fonctionnel

Affecté aux poinçons : pièce de dimension extérieure précise.

Affecté à la matrice : pièce de dimension intérieure précise (fig. 8.32).

Jeu  $j$  admis entre poinçon et matrice : il se situe entre un minimum et un maximum, qui correspond à :  $1,2 e > j > e + IT$ , avec  $IT$  = intervalle de tolérance en fabrication.

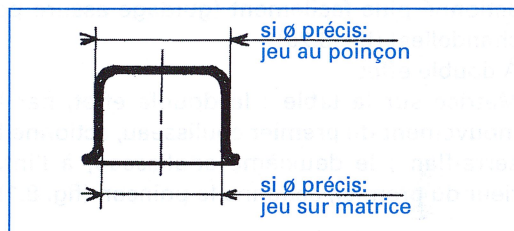


FIGURE 8.32 Jeux axiaux poinçon et matrice.

## Serre-flan

S'oppose au glissement du flan sous l'effet d'emboutissage pour éviter la formation de plis dans l'embouti.

Trop de pression d'un serre-flan déchire l'embouti ; une pression insuffisante génère des plis. La pression du serre-flan doit être répartie pour emboutir des pièces dissymétriques (un ou plusieurs joncs augmentent la pression).

## Décolleur

Il peut être nécessaire, dans l'éjecteur, pour dégager la pièce qui adhérerait avec le

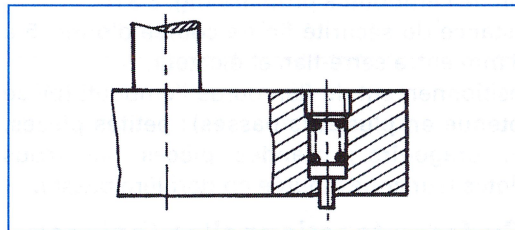


FIGURE 8.33  
Décolleur sur éjecteur.

graissage du flan (fig. 8.33).

## Effort d'emboutissage $F_e$

Pour emboutir un flan, on considère :  $F_e(\text{daN}) = \pi \cdot d \cdot e \cdot R_m \cdot k$ , pour outillages : sans serre-flan ; avec serre-flan, en utilisant une presse à double effet (la force nécessaire au serre-flan étant inférieure à celle du poinçon).

avec :  $d$  = diamètre du poinçon (mm) ;  $e$  = épaisseur du flan (mm) ;  $R_m$  = résistance à la traction ( $\text{daN/mm}^2$ ) ;  $k$  = rapport du poinçon / diamètre  $D$  du flan (mm).

## Outillage avec serre-flan utilisé sur presse à simple effet

L'effort à produire correspond à la somme des efforts d'emboutissage et du serre-flan  $F_s$ .



On considère  $F_s = \pi / 4 (D^2 - d^2) \cdot p$ ,  
avec  $p$  = pression spécifique du serre-flan  
(daN/cm<sup>2</sup>) (fig. 8.34).

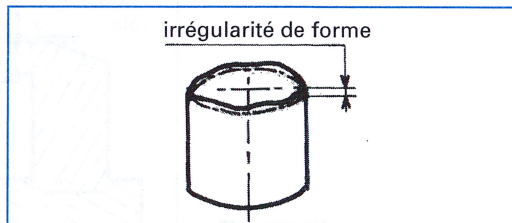
**FIGURE 8.34**  
Pressions spécifiques du serre-flan.

| Matériaux            | P (daN/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|--------------------------|
| Acier d'emboutissage | 24                       |
| Acier inoxydable     | 20                       |
| Aluminium (recuit)   | 12                       |
| Duralumin (recuit)   | 15                       |
| Laiton - Cuivre      | 20                       |

### Cornes d'emboutissage

Une variation de résistance du matériau due au sens de laminage de la tôle, en particulier, provoque une irrégularité de forme au sommet de l'embouti. Nécessite le détourage de la pièce (fig. 8.35).

*Nota* : L'augmentation du rayon de matrice diminue l'effort d'emboutissage.



**FIGURE 8.35** Profil du sommet d'embouti.

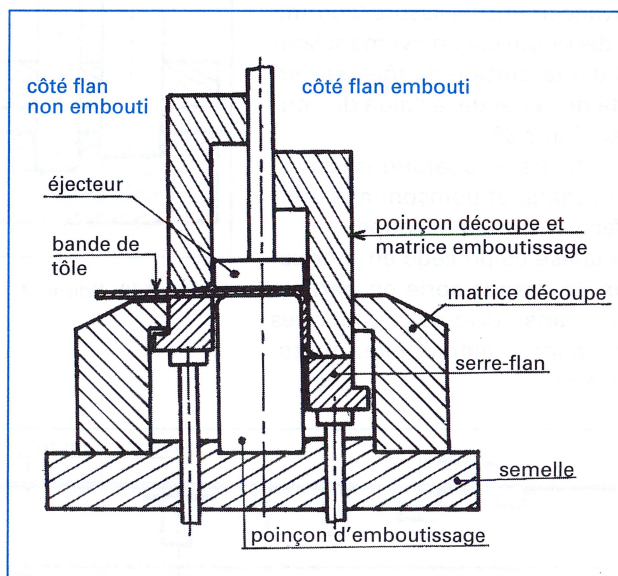
## 2.15 Outillages combinés

Ils permettent de réaliser plusieurs opérations différentes dans une seule passe (un aller-retour du coulisseau de presse).

Très utilisés pour la production en grande série de petites pièces embouties.

### Outillage combiné d'emboutissage-découpe

Effectue l'emboutissage dans la bande de tôle et la découpe de la pièce dans le même cycle (boîtes métalliques...) (fig. 8.36).

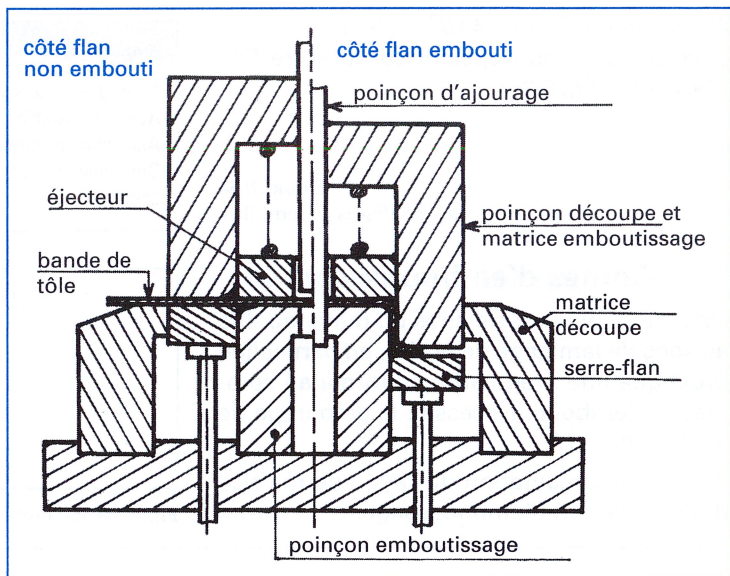


**FIGURE 8.36**  
Schéma d'outillage combiné emboutissage-découpe.

### Outillage combiné d'emboutissage - poinçonnage - découpe

Production d'une pièce avec contre-embouti ou ajourage dans la bande de tôle en une passe (fig. 8.37).





**FIGURE 8.37**

Schéma d'outillage combiné emboutissage-poinçonnage-découpe.

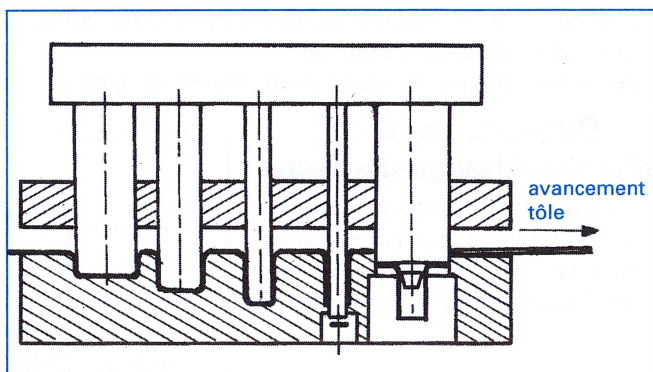
## Outillage combiné ou à suivre

Production, dans la bande de métal qui avance d'un pas après chaque passe, d'une pièce finie. (fig. 8.38).

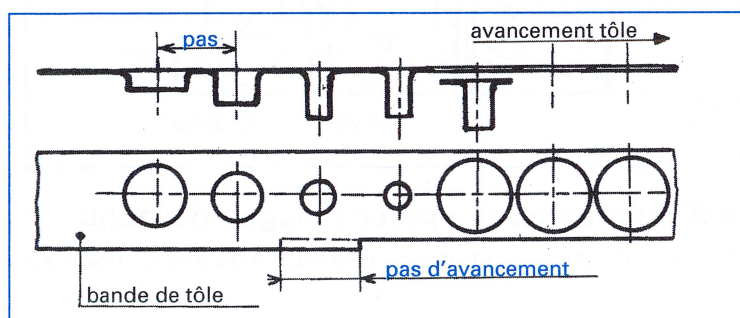
L'avancement est assuré (comme en découpe) par enlèvement latéral d'une portion de tôle, sur un côté de la bande, à l'aide du couteau (fig. 8.39).

Les diverses opérations d'emboutissage et poinçonnage sont effectuées avant découpe.

On utilise ce procédé en production de grande série en particulier, dans diverses industries (ménagère, automobile, moto-cycle, etc.).



**FIGURE 8.38** Schéma d'outillage à suivre.



**FIGURE 8.39**

Avancement de la bande de tôle de l'outillage à suivre (fig. 8.38).



### 3. Formage par pliage

#### 3.1 Généralités

Production, par déformation, de pièces de forme développable et à plis rectilignes, sous l'action d'une force – appliquée avec le poinçon – agissant suivant le pli à obtenir. Le flan (ou la pièce semi-finie) est maintenu d'un côté ou en appui sur deux côtés opposés, parallèlement au sens du pli, dans la matrice (fig. 8.40).

##### Angle de pliage

À la cessation de l'effort, l'angle de la forme pliée  $\alpha_1$  diffère légèrement de l'angle de pliage  $\alpha_0$  causé par l'élasticité du matériau. Ce retour élastique, le ressaut, varie en fonction : du matériau ; de la mise en œuvre du procédé (en l'air ou en fond de matrice) (fig. 8.40).

##### Zone pliée

L'épaisseur du flan est sensiblement réduite avec : un léger élargissement à l'intérieur du pli, le foisonnement  $f \approx 0,4 e/R$ , avec  $e$  épaisseur du flan,  $R$  rayon de pliage-intérieur ; un léger rétrécissement de l'extérieur du pli (fig. 8.41).

Le pliage s'effectue : avec un outillage poinçon-matrice (petites pièces en série) ; en l'air avec un outillage « flexible » (pièces de grandes à petites dimensions).

FIGURE 8.41

Déformations de la zone pliée.

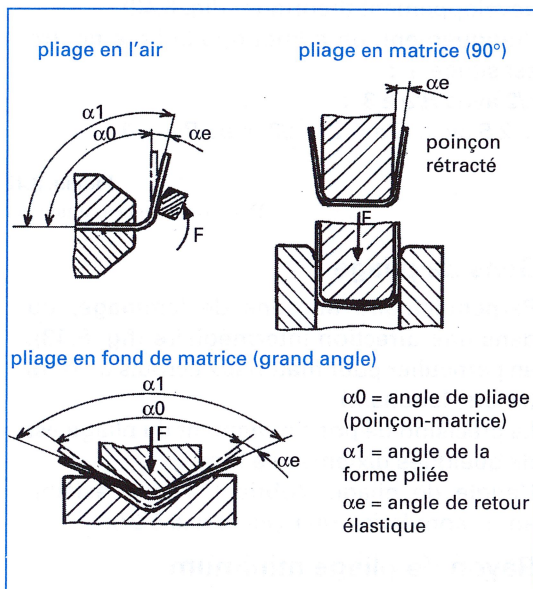
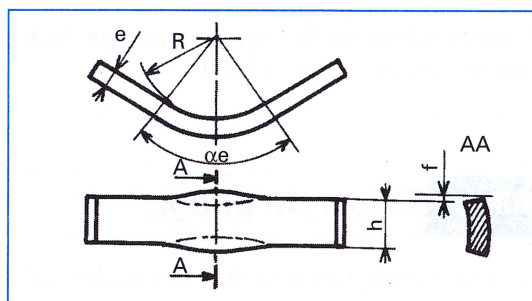


FIGURE 8.40 Schémas des pliages.



#### 3.2 Détermination du flan

Sous l'effet du poinçon, les fibres du matériau sont soumises :

- à la traction à l'extérieur du pli, provoquant un rétrécissement ;
- à la compression à l'intérieur du pli, provoquant un élargissement.

Il y a équilibre des déformations sur la fibre neutre.



## Longueur du flan fibre neutre

Selon l'angle et le rayon  $R$  de pliage, la fibre neutre se situe du milieu de l'épaisseur  $e$  du flan vers l'intérieur du pli.

Sa position définit la longueur du flan (son développement théorique) (fig. 8.42).

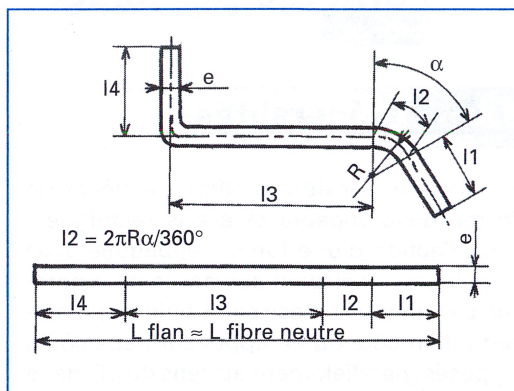
Pratiquement, on admet que la fibre neutre est située à :

$e/2$  avec  $R/e \geq 3$  ;

$e/2,5$  avec  $R/e \approx 2$  ;  $e/3$  avec  $R/e \approx 1$ .

FIGURE 8.42

Définition longueur d'un flan.



## Sens de pliage

Perpendiculaire au sens de laminage, ou dans une direction intermédiaire (fig. 8.43), en particulier pour matériaux écrouis ou durs (aciers, laiton...).

La précision de positionnement du pliage est de quelques dixièmes de mm.

L'angle de pliage s'obtient avec précision après annulation du ressaut (0,5 à 2°).

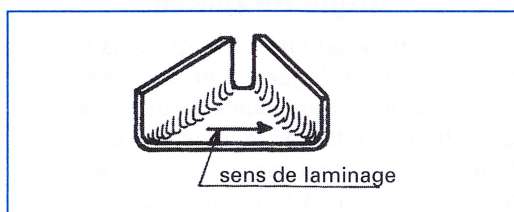


FIGURE 8.43 Sens du laminage pour pliages concourants.

## Rayon de pliage minimum

À considérer, pour éviter des criques, en fonction de l'épaisseur du flan et du matériau (limite élastique).

Plus le rayon de pliage est faible et plus la déformation est grande.

Rayon limite de pliage  $R \geq e$ , avec  $e \leq 4$  mm ;  $R \approx 2 e$ , avec  $e > 4$  mm.

Éviter la naissance de criques causée par le dépassement de la limite d'allongement des fibres extérieures (les plus tendues).

## 3.3 Effort de pliage

Il est plus important en pliage en matrice qu'en pliage en l'air (2 à 3 fois supérieur).

### Effort de pliage en l'air

Flan sur deux appuis (fig. 8.44), à déterminer approximativement par la formule :

$$F \approx \frac{1,3 \cdot l \cdot e^2 \cdot R_m}{d} \text{ avec}$$

$l$  = longueur du pli (à la fibre neutre) en mm,

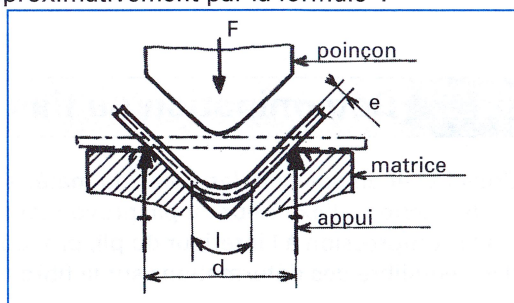
$e$  = épaisseur du flan en mm,

$d$  = distance des appuis du flan en mm,

$R_m$  = résistance à la rupture daN/mm<sup>2</sup>.

FIGURE 8.44

Pliage en l'air sur 2 appuis (à fond de forme en V).

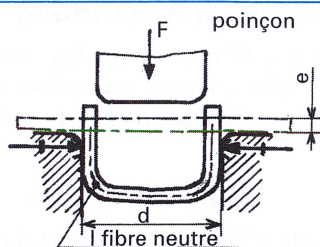




### Effort de pliage en matrice

À déterminer approximativement, par la forme :  $F \approx 0,7 \cdot l \cdot R_m \cdot e (1+e/d)$  (fig. 8.45).

FIGURE 8.45  
Pliage en matrice.



## 3.4 Matériaux utilisés

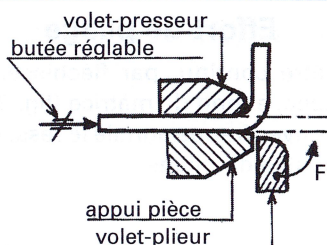
Tôles laminées à froid (pliables généralement avec  $R = e$ ) ; tôles laminées à chaud (qualités E).

## 3.5 Pliage en l'air

À effectuer à la machine à plier ou à la presse-plier, en production unitaire ou de série, sur flans de toutes épaisseurs.

Un volet-presseur maintient le flan d'un côté, le pliage étant obtenu par basculement d'un volet-plieur, réglé au rayon de giration (fig. 8. 46).

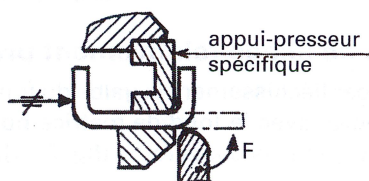
FIGURE 8.46  
Schéma du pliage en l'air.



### Pliages successifs sur un flan

À l'aide d'un appui spécifique adapté au volet-presseur (fig. 8.47).

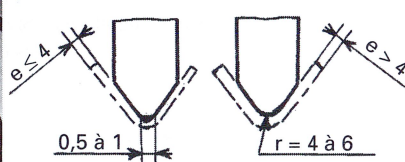
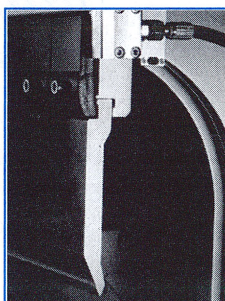
FIGURE 8.47  
Schéma de pliages successifs sur une pièce.



### Extrémités des poinçons

Pour ne pas marquer la pièce dans le pli intérieur, prévoir sur le poinçon : un méplat de 0,5 à 1 mm pour  $e \leq 4$  mm ; un rayon de 4 à 6 mm pour  $e > 4$  mm (fig. 8.48).

FIGURE 8.48  
Extrémités des poinçons en pliage à fond de forme en vé.



Doc. Colly



## Matrice en élastomère

Pour flans plastifiés, préoxydés, en acier inoxydable, cuivre, laiton, aluminium poli : évite de marquer la pièce dans le pli extérieur (fig. 8.49).

## Utilisation

Production de pièces de grande et de petite longueur, selon la capacité-machine avec un outillage standard, pour divers angles et plusieurs plis.

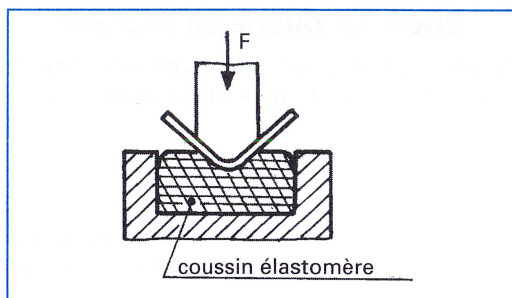


FIGURE 8.49 Pliage d'une pièce sans la marquer.

## 3.6 Pliage en matrice

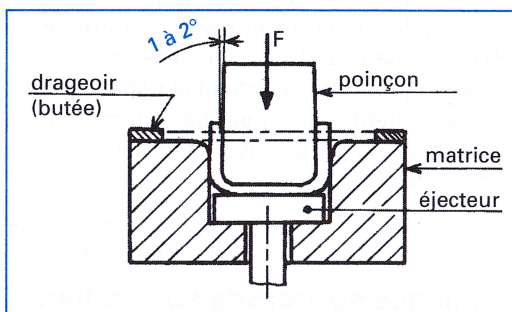
À effectuer avec un outillage poinçon-matrice spécifique au produit à obtenir, en production de série pour petites à moyennes pièces de faible épaisseur ( $e \leq 4$  mm). L'outillage est conçu pour effectuer différents pliages (en V, en équerre, en Z, en U, un bordage).

## Effort de pliage

Il peut être continu, par fléchissement ou avec frappe, à fond de matrice (fig. 8.50). Le pliage avec frappe annule le ressaut et l'effet est double du pliage.

FIGURE 8.50

Schéma d'outillage de pliage en matrice par frappe.

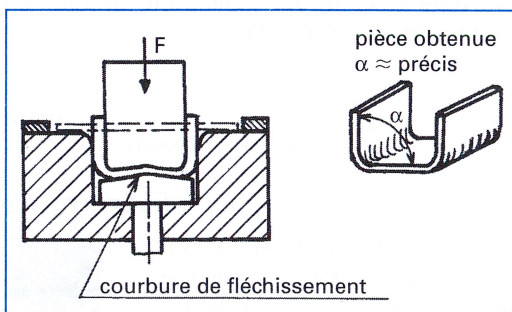


## Angles de pliage relativement précis

Écraser par fléchissement le galbe du fond de pièces en U, avec le fond de matrice bombé (et le poinçon ajusté en creux) (fig. 8.51).

FIGURE 8.51

Schéma d'outillage de pliage à angle précis en matrice.



## Éjecteur

Le fond de matrice, pour les différents types d'outillages, est conçu en éjecteur : assure le maintien du flan contre le poinçon, en début d'opération ; dégage la pièce formée en fin d'opération (fig. 8.50 à 8.57).



## Rayons sur arêtes du poinçon et de la matrice

Ils sont admis à deux épaisseurs du flan.

### Pliage en vé

Formage à un angle donné, d'un flan en position par les drageoirs (deux butées en opposition) (fig. 8.52).

La matrice doit être plus haute que le poinçon pour résister à l'effet de coin du poinçon. L'angle de pliage du vé doit être inférieur à celui de la pièce ( $2$  à  $3^\circ$ ) pour compenser le ressaut.

Les ailes du flan plié n'ont pas à être engagées totalement dans la matrice.

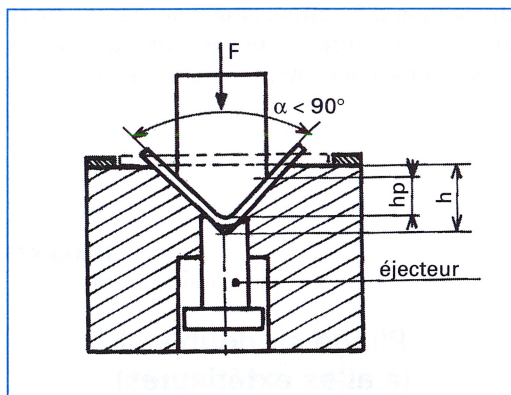


FIGURE 8.52 Schéma d'outillage de pliage en vé dans matrice.

### Pliage en équerre

Formage à un angle de  $90^\circ$ , avec de préférence un outillage où le flan est situé horizontalement sur la matrice (fig. 8.53).

L'aile la plus grande est située sur l'éjecteur. L'aile la plus courte pénétrera totalement dans la matrice, après son relevage.

L'effet de chasse du poinçon est compensé par l'éjecteur et le drageoir, ou par l'éjecteur avec des pilotes de centrage du flan.

L'éjecteur agit avec une forte pression pour s'opposer au glissement du flan, durant le pliage (frottement sur rayon de matrice).

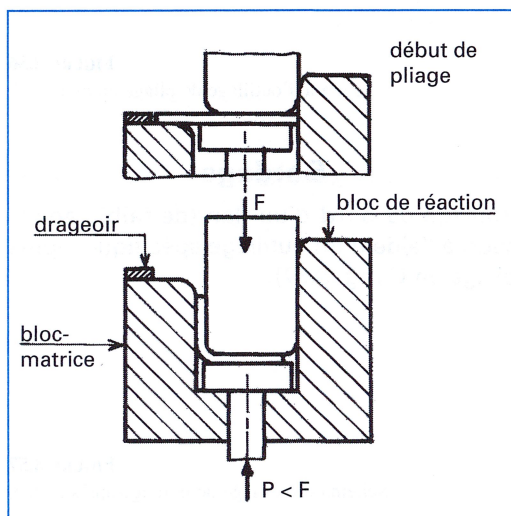


FIGURE 8.53

Schéma d'outillage de pliage en équerre.

### Pliage en Z

Formage, en une opération de deux plis en équerre, par un outillage avec serre-flan (fig. 8.54).

Le serre-flan doit agir avec une pression s'opposant au glissement latéral du flan.

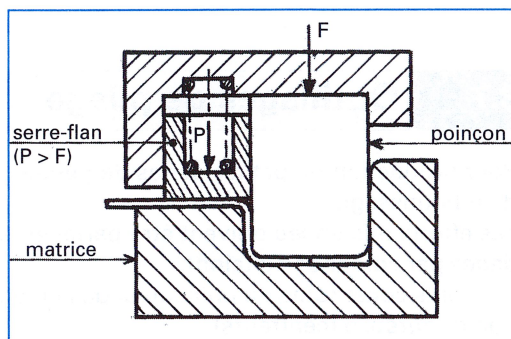


FIGURE 8.54

Schéma d'outillage de pliage en Z.

### Pliage en U

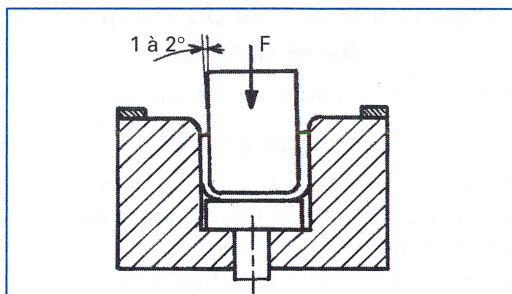
Formage simultanément de deux ailes opposées sur un flan, sans effet de chasse (fig. 8.55). Le poinçon dépinçé ( $1$  à  $2^\circ$ ) permet d'obtenir l'angle désiré, le ressaut assurant la non-adhérence pièce/poinçon.



Une bague d'éjection, située au-dessus de la matrice, éjectera si nécessaire les pièces adhérentes à la remontée du poinçon.

**FIGURE 8.55**

Schéma d'outillage de pliage en U.

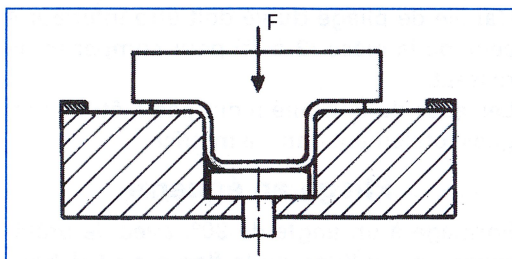


### Pliage en double U (à ailes extérieures)

Formage, en une opération, de pièces à bord court (double pli) (fig. 8.56).

**FIGURE 8.56**

Schéma d'outillage de pliage en double U.

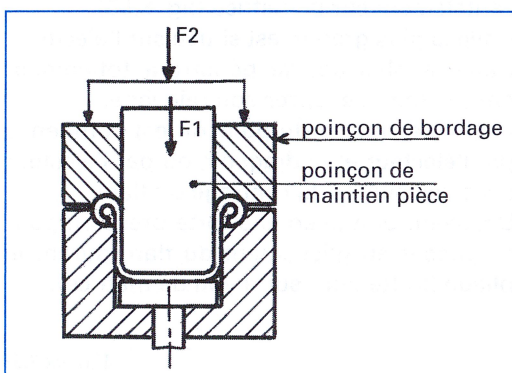


### Bordage

Roulage du bord d'un flan (de faible épaisseur) à l'aide d'un outillage spécifique, après pliage en U (fig. 8.57).

**FIGURE 8.57**

Schéma d'outillage de bordage après pliage.



## 3.7 Outillages de pliage

Pour production en petites séries de petites pièces, peu précises angulairement, sur presses d'emboutissage.

Les efforts mis en jeu doivent être parfaitement équilibrés entre le poinçon et la matrice (guidages par colonnes ou talon).

Éléments constitutifs du poinçon et de la matrice, de conception modulaire : à situer en position rigoureuse (centreurs).

### Raccordements

Le glissement de la tôle est favorisé par un rayon  $r \approx 2e$  sur poinçon et matrice (fig. 8.58).

Gros outillages. Chanfrein de 2 à 5 mm à 45°, raccordé par rayons.

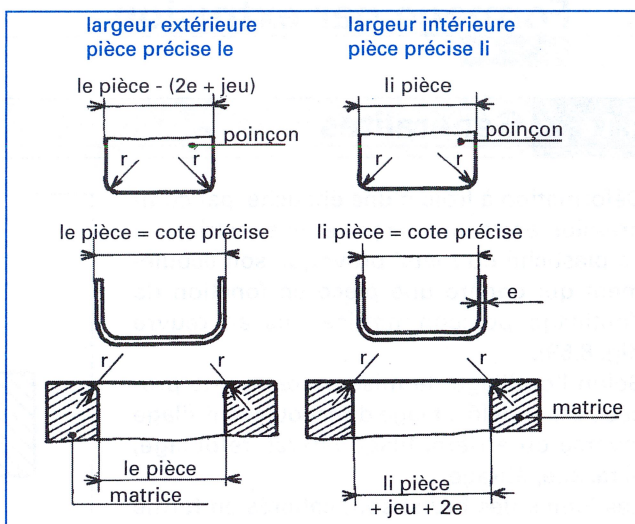
## Jeu fonctionnel poinçon/matrice

Jeu  $j = 1/10e$ , à affecter au poinçon ou à la matrice, selon la position de précision à obtenir (fig. 8.58).

Dimension extérieure précise : jeu au poinçon ; dimension intérieure précise : jeu à la matrice.

FIGURE 8.58

Jeu fonctionnel poinçon-matrice et rayons de raccordement.



## Course de l'éjecteur

À limiter éventuellement pour éviter son adhérence à la pièce (cas des petits outillages).

## Outillages de grande série ou de grandes dimensions

Les pièces d'usure seront interchangeables.

Ces outillages devraient réaliser la totalité des diverses opérations de pliage nécessaires à l'obtention du type de pièces à produire.

## Outillages combinés

Ils effectuent les diverses opérations de découpe, emboutissage, pliage (voir « Procédé d'emboutissage »).

Les matrices multiformes à positionnement rapide assurent la flexibilité de production.

8

## 3.8 Presses-plieres

Machines de type mécanique ou à programmation numérique avec mouvements hydrauliques : pour pliage longs (1 à 6 m selon capacité des machines, de puissance jusqu'à 5000 KN).



## 4. Formage par extrusion

### 4.1 Généralités

Déformation à froid d'une ébauche, par compression entre un poinçon et une matrice.

La plasticité du métal provoque son écoulement qui génère une pièce en fonction de l'outillage poinçon-matrice mis en œuvre (fig. 8.59).

Selon l'outillage de mise en œuvre, le procédé est appelé : filage direct ou avant-filage inverse ou arrière, filage latéral, refoulage, écrasage, étirage.

Les lopins (les bruts) sont calibrés en forme et en poids. En filage inverse, ils peuvent être calibrés par une opération d'écrasage en matrice.

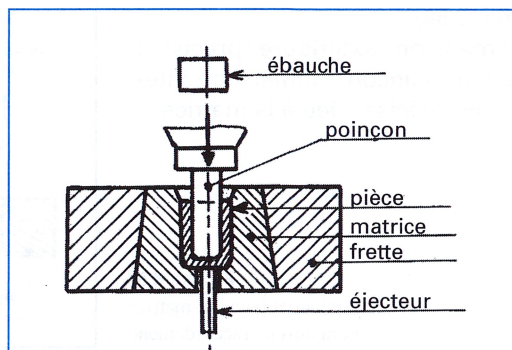


FIGURE 8.59 Schéma d'outillage de formage par extrusion (filage inverse).

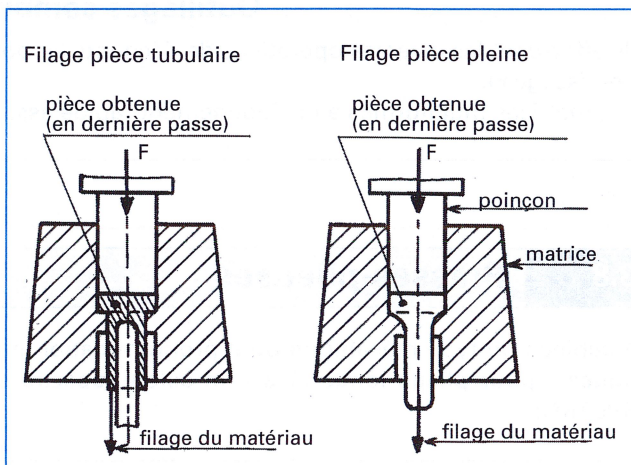
### 4.2 Filage direct ou avant

Le matériau s'écoule au travers de la filière – la matrice – suivant le sens du déplacement du poinçon (fig. 8.60).

Selon l'outillage, les pièces obtenues sont pleines, tubulaires, avec collerette, d'épaisseur décroissante...

FIGURE 8.60

Schémas du filage direct.



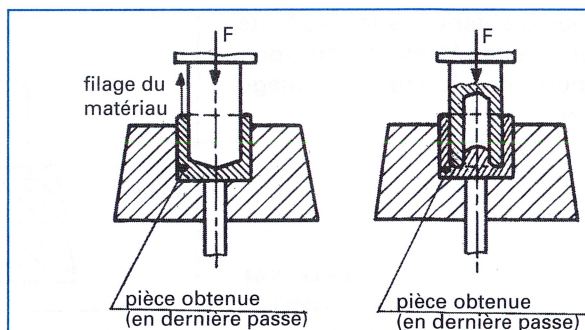
### 4.3 Filage inverse ou arrière

Le matériau s'écoule le long du poinçon (dans le sens inverse de son déplacement) (fig. 8.61).

Selon l'outillage, les pièces obtenues sont pleines ou tubulaires.



**FIGURE 8.61**  
Schémas du filage inverse  
(pièces tubulaires).

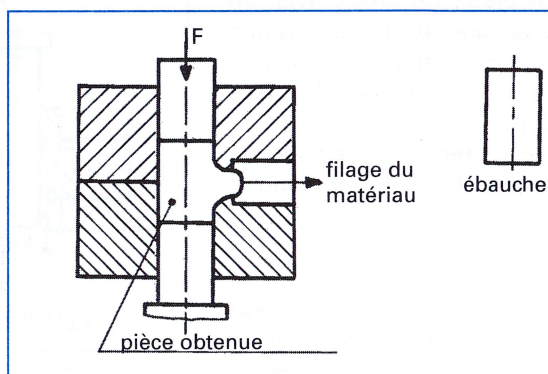


#### 4.4 Filage latéral

La matière s'écoule dans un orifice situé perpendiculairement au sens de déplacement du poinçon (fig. 8.62).

Les pièces obtenues comportent une saillie de forme.

**FIGURE 8.62**  
Schéma du filage latéral.



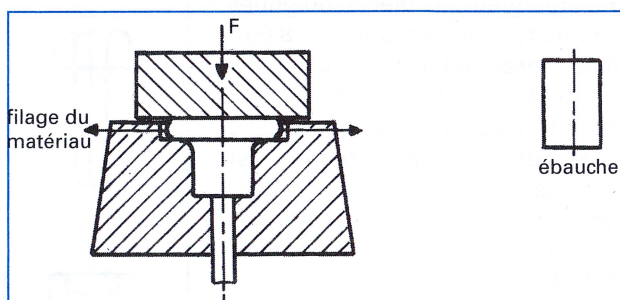
8

#### 4.5 Refoulement

Sur une extrémité du lopin, le matériau s'écoule dans un orifice de forme (fig. 8.63).

Les pièces obtenues comportent une tête ou une collerette.

**FIGURE 8.63**  
Schéma d'opération de refoulement

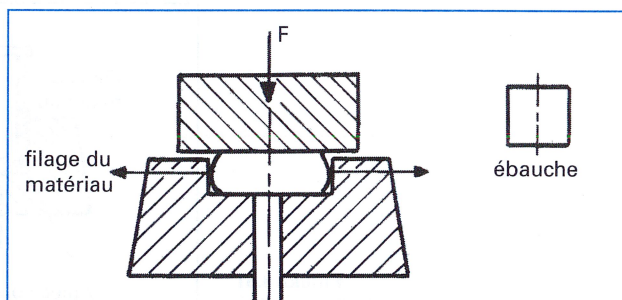


#### 4.6 Écrasage

Le lopin s'écoule librement sous le tas ou dans une matrice de forme, poinçon et matrice étant à fond plat (fig. 8.64).



Les pièces obtenues sont des bruts modifiés à une forme donnée (préparation de lopins de filage inverse).

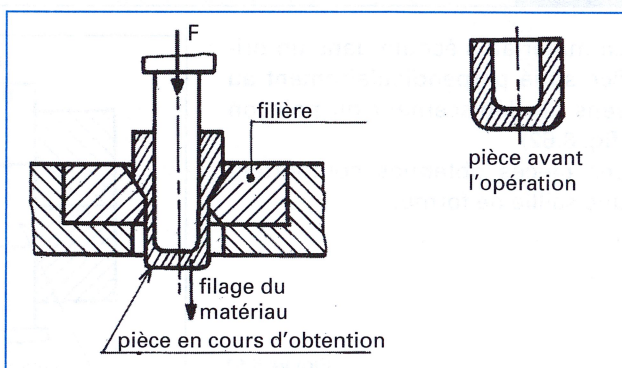


**FIGURE 8.64**  
Schéma d'opération de refoulage.

## 4.7 Étirage

Le lopin plein, ou creux avec un fond, s'écoule au travers d'une filière sous l'action du poinçon agissant sur le fond de la pièce (fig. 8.65).

Les pièces obtenues sont à section pleine ou tubulaire avec un fond.



**FIGURE 8.65**  
Schéma d'opération d'étirage.

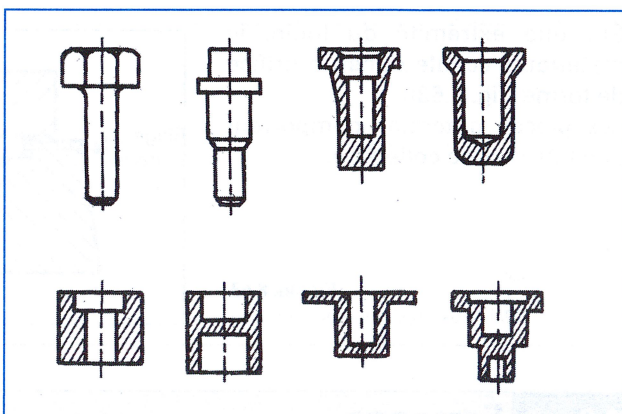
## 4.8 Caractéristiques des pièces

Généralement les pièces obtenues sont de type symétrique (fig. 8.66). Elles conservent le poids du lopin à 1 % près (économie de matière).

Leurs formes sont sans dépouille ; l'état de surface obtenu est  $\approx 1,6 \text{ Ra}$ .

Les caractéristiques mécaniques sont améliorées par le fibrage du matériau.

L'écrouissage de la pièce peut suppléer à un traitement thermique.



**FIGURE 8.66** Différentes pièces produites par extrusion (en filage).



## 4.9 Réduction de diamètre des lopins au filage

Pour une opération, elle est fonction de la structure du matériau.

Filages direct et inverse, réductions maximales : 60 % pour les aciers alliés ; 70 % pour les aciers doux ; 95 % pour les alliages d'aluminium et de cuivre.

### Taux de réduction R

Écrouissage maxi avant rupture en fonction des sections de la matrice  $S_m$  et de la forme filée  $S_f$ , soit  $R = (S_m - S_f/S_f) \cdot 100 \leq 70 \%$ .

### Opérations successives de filage

Leur nombre varie en fonction du taux de réduction (fig. 8.67 et fig. 8.68).

Un recuit de régénération peut être pratiqué entre deux opérations.

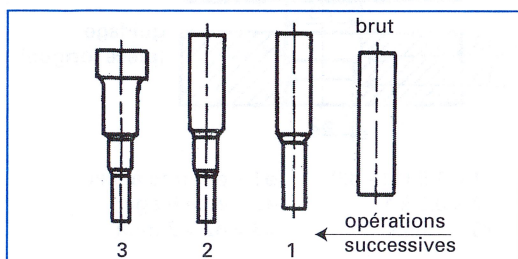


FIGURE 8.67 Cycle de production d'une pièce en filage direct.

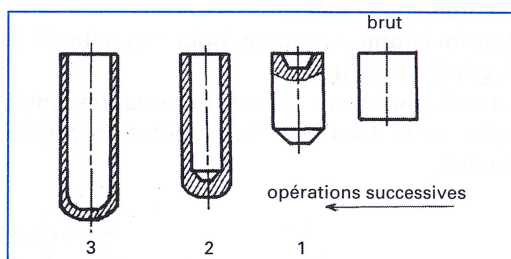


FIGURE 8.68 Cycle de production d'une pièce en filage inverse.

8

## 4.10 Longueur filée par opération

Selon les matériaux, longueur admise à : 4 diamètres en filage inverse et 6 diamètres en filage direct des aciers ; 6 diamètres en filage des alliages d'aluminium et de cuivre.

## 4.11 Matériaux filés

Aciers à structure globulaire (XC10 à XC45, 16 MC5, Z6C13...) ; aluminium et ses alliages (ASG, AU2G, AU4SG...) ; cuivre et ses alliages (UZ10 à UZ36), UE5 à UE9, UN10 à UN45, UZ28N9...).

## 4.12 Mise en œuvre

Une lubrification adhérente est indispensable : opposition au grippage matériau/filière ; accroissement possible du nombre d'opérations ; protection de l'outillage.

Un film gras adhérent s'obtient par immersions successives dans un bain de phosphatation et un bain de savon alcalin.

Les matériaux utilisés pour poinçons et matrices sont en acier rapide (avec traitement thermique) ou en carbures métalliques.



## 4.13 Outillage de filage direct

La matrice est frettée : résistance aux efforts de compression agissant latéralement (fig. 8.69).

Alésage de filage par opération. Son diamètre est : fonction du taux de réduction ; de longueur limitée ( $\approx 5$  mm) pour ne pas freiner l'écoulement ; raccordé par des rayons à l'alésage arrière et à l'angle de filage.

Pièces relativement longues : à maintenir à la sortie de filière par un guide : assure la rectitude de la pièce.

Jeu fonctionnel matrice-lopin : qualité H7 h 6, généralement.

Le poinçon est au diamètre correspondant à celui de la forme à filer (opération précédente).

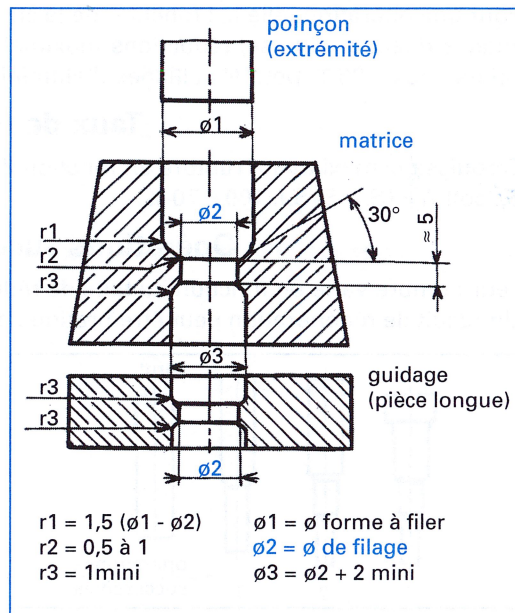


FIGURE 8.69

Poinçon et matrice pour filage direct.

## 4.14 Outillage de filage inverse

Schéma d'un outillage (fig. 8.70).

### Poinçon

Son extrémité est conique ( $\approx 170^\circ$ ) : permet l'écoulement du matériau.

Son diamètre effectif est à la cote nominale sur  $\approx 5$  mm, prolongé par un cône (détalonnage à 10 %) de  $\approx 10$  mm.

Sa longueur maxi  $\approx 4$  diamètres du poinçon, évite le flambage.

### Matrice

Sa longueur doit assurer le guidage de la pièce.

*Nota* : Épaisseur du fond de pièce : limiter à 0,7 épaisseur des côtés de la pièce.

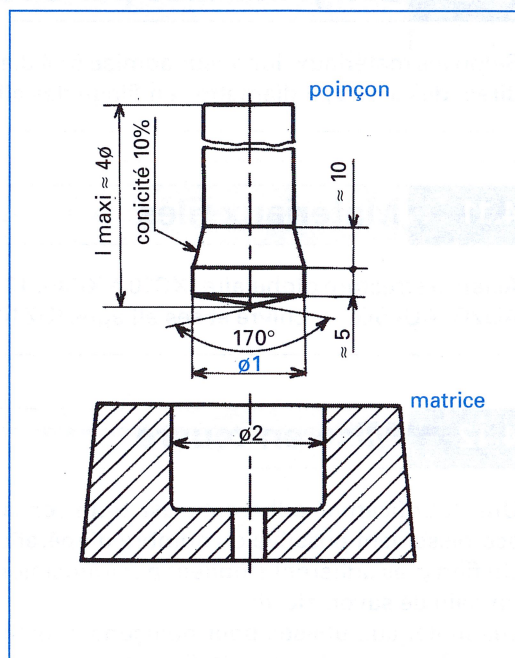


FIGURE 8.70

Poinçon et matrice pour filage inverse.



#### 4.15 Effort d'extrusion

Appliqué au poinçon,  $F(\text{daN}) = SI \cdot p$ , avec  $SI$  = Section du lopin ;  $p$ , effort spécifique  $> 0.054 \cdot R_m \cdot (r - 10)$ , d'après Pessl et Hauttmann.

#### 4.16 Outillage hydrostatique d'étirage

Le poinçon est remplacé par un piston, le fouloir, avec joint d'étanchéité qui comprime un fluide (huile) dans un conteneur (fig. 8.71). Le fluide agit de toute part sur le lopin : le lopin ou billette, ne flambant pas, peut être long.

La pression nécessairement élevée ( $3 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ ) nécessite une excellente étanchéité fouloir/conteneur.

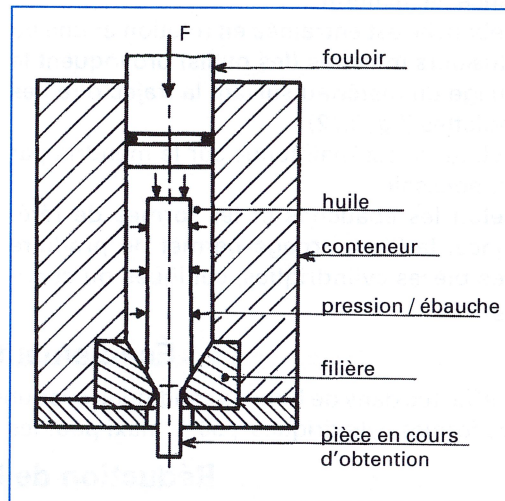


FIGURE 8.71

Schéma d'étirage hydrostatique.

8

#### 4.17 Tréfilage

Procédé dérivé de l'étirage, à la différence que la pièce est filée (au travers d'une filière) par traction et non compression.

Les pièces produites sont calibrées en section.

#### 4.18 Utilisation de l'extrusion

Généralement pour la grande série (petites pièces de type cylindrique).

L'étirage hydrostatique et le tréfilage sont utilisés en production de pièces longues.



## 5. Formage par fluotournage

### 5.1 Généralités

Déformation, à froid ou à chaud, d'une ébauche (flan de tôle, embouti...) par compression du métal sur une forme de référence, le mandrin.

L'ébauche est entraînée en rotation et une ou plusieurs molettes (les outils) provoquent le fluage du matériau suivant la trajectoire des molettes (fig. 8.72).

L'ébauche est maintenue sur le mandrin par un poussoir.

Selon les ébauches et les formes de référence, le fluotournage permet de produire des pièces cylindriques, coniques ou curvilignes.

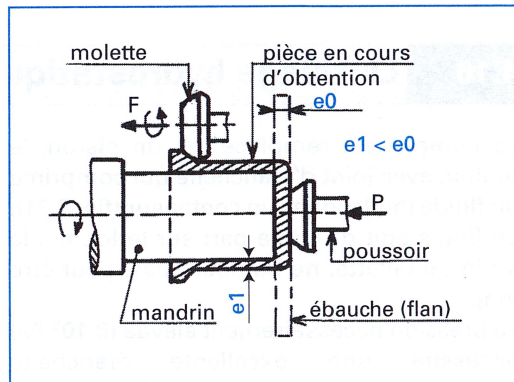


FIGURE 8.72 Schéma de fluotournage (cylindrique).

#### Écoulement du matériau

S'effectue dans de bonnes conditions avec une réduction d'épaisseur du flan : 30 % maxi pour les formes cylindriques ; 50 % maxi pour les formes coniques et curvilignes.

#### Réduction de l'épaisseur fluée

Plusieurs passes peuvent être effectuées pour réduire l'épaisseur fluée, si le taux d'écrouissage du matériau le permet, en fonction de la striction  $\Sigma$  %, avec une réduction maximale égale à  $\Sigma \cdot 1 / 0,17 + 0,01 \Sigma$ .

**Taux d'écrouissage.** Donné par la relation de réduction d'épaisseur des parois :

$$R \% = \frac{e_0 - e_1}{e_0} \cdot 100.$$

### 5.2 Formes cylindriques

Elles sont obtenues à une épaisseur donnée sur un mandrin cylindrique, à partir d'un flan et d'un embouti (fig. 8.73).

Un calibrage est nécessaire pour obtenir un diamètre précis.

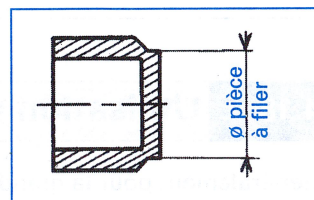


FIGURE 8.73

Ébauche préformée de pièce à filer cylindrique.

### 5.3 Formes coniques et curvilignes

Elles sont obtenues sur mandrins de la forme intérieure désirée (fig. 8.74 et fig. 8.75).

L'épaisseur des formes obtenues est réduite en fonction de la pente à obtenir, soit épaisseur fluée  $e_1 = e_0 \cdot \sin \alpha$ , avec  $e_0$  = épaisseur du flan ;  $\alpha$  = pente du mandrin.



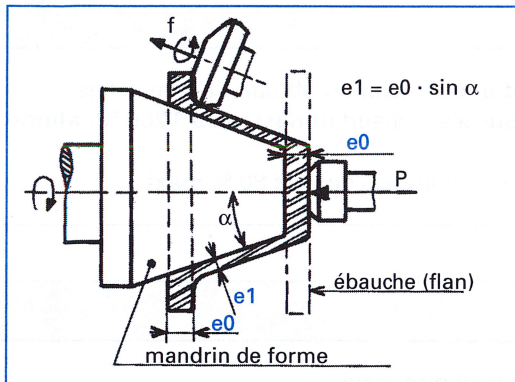


FIGURE 8.74 Schéma de fluotournage conique.

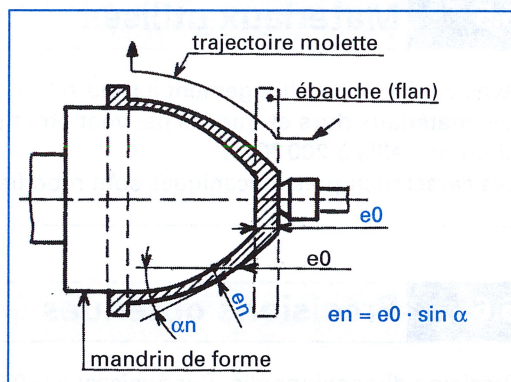


FIGURE 8.75 Schéma de fluotournage curviligne.

### Formes curvilignes

L'angle de pente  $\alpha$  variant, l'épaisseur de paroi n'est pas constante.

Les flans peuvent être préparés pour produire une paroi à épaisseur constante (ébauche obtenue par un autre procédé de fabrication) (fig. 8.76).

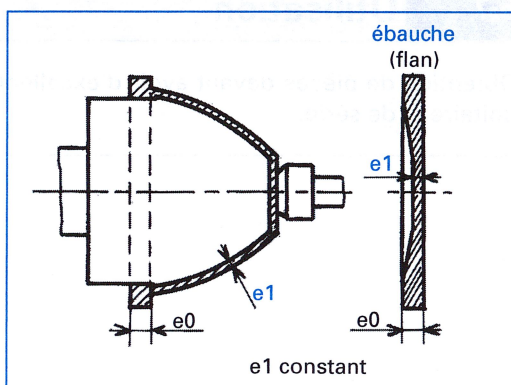


FIGURE 8.76

Forme d'ébauche pour pièce curviligne à épaisseur de paroi constante.

## 5.4

## Outils-molettes

Le rayon des outils-molettes  $r_m$  correspond à :

Fluotournage cylindrique,  $r_m = 2$  épaisseurs du flan  $e_0$  ; fluo-

tournage conique et curviligne,  $r_m = e_0$ .

Profil des molettes : angle d'attaque  $k$  (kappa) 50 à 70° ; angle de dégagement  $\Psi$  (psi) 20° ;

Diamètre généralement petit ; état de surface excellent (qualité poli) (fig. 8.77).

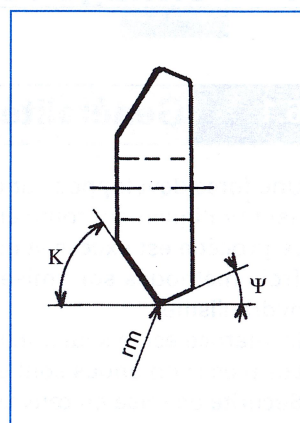


FIGURE 8.77

Profil des outils-molettes.



**5.5****Matériaux utilisés**

Avec coefficient d'allongement à froid  $A \% \geq 10$  et une structure globulaire à grains fins.  
Les matériaux durs et fragiles peuvent être fluotournés à chaud (tungstène à 1200 °C, aluminium non allié à 200 °C...)  
Les caractéristiques mécaniques sont modifiées et améliorées de 20 à 80 % maxi.

**5.6****Précisions obtenues**

Précision dimensionnelle. Sur épaisseur  $\approx 0,04$  à 0,10 mm maxi.  
État de surface. Intérieur de la pièce,  $Ra \geq 0,3 \mu\text{m}$  ; extérieur de la pièce  $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ .

**5.7****Utilisation**

Obtention de pièces devant avoir d'excellentes caractéristiques mécaniques, en production unitaire et de série.

## 6. Formage sous haute énergie

**6.1****Généralités**

Une force développée sur un flan ou une préforme produit le plaquage dans la matrice, éliminant pratiquement toute élasticité résiduelle du matériau.  
Le procédé est excessivement rapide dans sa réalisation (quelques micro-secondes).  
Trois méthodes sont mises en œuvre : par explosion, par électromagnétisme, par électrohydraulisme.  
La matrice est le seul outillage à concevoir (coût réduit).  
Les pièces obtenues sont d'excellente qualité (dimensionnelle et géométrique).  
Sécurité de mise en œuvre impérative (grandes précautions d'utilisation).



## 6.2 Formage électro-hydraulique

La décharge en quelques micro-secondes de l'énergie électrique d'une batterie de condensateurs, entre deux électrodes, génère un plasma dans l'eau qui provoque une onde de chocs provoquant le plaquage du flan dans la matrice (fig. 8.78).

Le flan, ou la pièce tubulaire, est maintenu dans un conteneur métallique (rigide) associé à la matrice.

Les électrodes sont situées au voisinage de la forme à obtenir, dans la matrice, favorisant le formage.

### Utilisation. Très peu employé (sécurité)

Le cas échéant, production de pièces de moyennes dimensions et relativement épaisses (quelques mm).

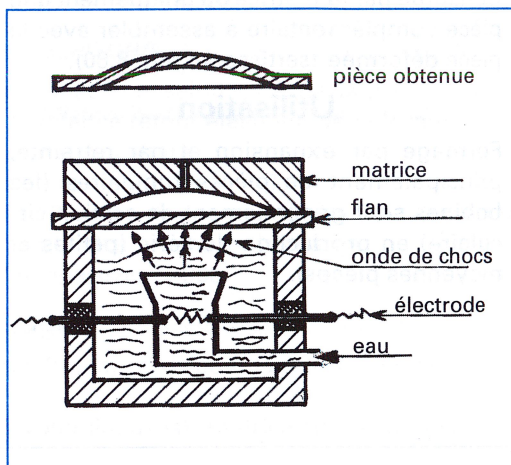


FIGURE 8.78 Schéma de formage électro-hydraulique.

## 6.3 Formage par électromagnétisme

Une batterie de condensateurs est déchargée de son énergie électrique dans une bobine en quelques micro-secondes, créant un intense flux magnétique dans l'enroulement de la bobine.

Le flan métallique étant situé dans le champ électromagnétique, les courants (de Foucault) induits créent un effet de répulsion, (forces de Laplace), issu de la bobine, qui plaque le flan dans la matrice (fig. 8.79).

### Matériaux utilisés

**Métalliques, bon conducteur électrique.**

Un matériau à forte résistivité (inoxydable) est formable avec interposition d'une feuille de cuivre ou d'aluminium entre pièce et bobine.

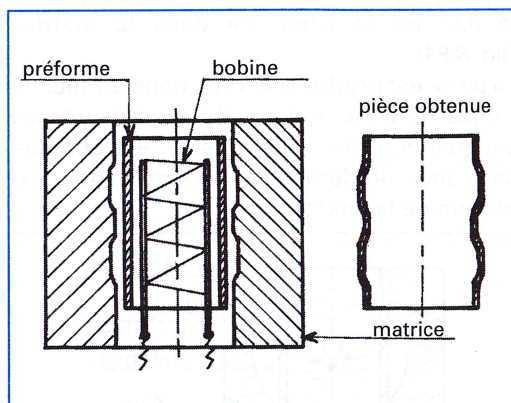


FIGURE 8.79 Schéma de formage électromagnétique (forme expansée).

### Dimensions des pièces

**Épaisseur maximale déformable.** Aciers et laiton,  $\approx 3$  mm ; cuivre, alliages d'aluminium  $\approx 6$  mm.

**Diamètre minimum des pièces tubulaires (préformes).** Il est fonction de la section de la bobine par rapport à l'épaisseur de la pièce.

On considère : aciers,  $\varnothing$  mini  $\approx 30$  épaisseurs pièce ; cuivre et alliages d'aluminium  $\approx 10$  épaisseurs pièce.



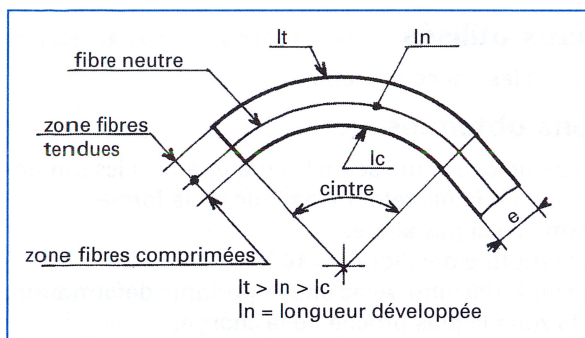


FIGURE 8.83 Schéma de déformation des fibres d'une tôle cintrée.

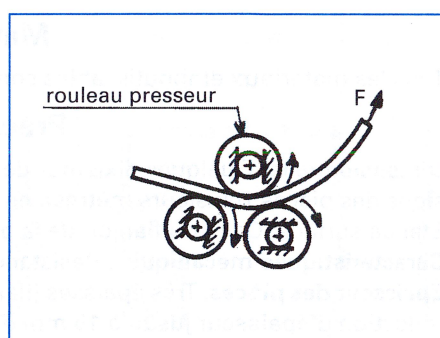


FIGURE 8.84 Schéma de cintrage à trois rouleaux.

## Extrémités de la forme cintrée

Si le cintrage est effectué sur la totalité de la tôle, les extrémités de la forme cintrée sont obliques et déformées sous les sollicitations (tension et compression) (fig. 8.85).

Ces déformations aux extrémités sont négligeables pour les tôles minces.

## Longueur développée

C'est la longueur de la fibre neutre, considérée à la fibre centrale.

## Mise en œuvre

### Viroles

Après roulage au cintre désiré d'une forme cylindrique, la virole, les extrémités peuvent subir un « croquage » : cintrage de ces extrémités libres, par actions opposées de deux des trois rouleaux (fig. 8.86).

Viroles de petit diamètre. Formage avec un mandrin, quatrième rouleau central au diamètre de la pièce tubulaire à obtenir (fig. 8.87).

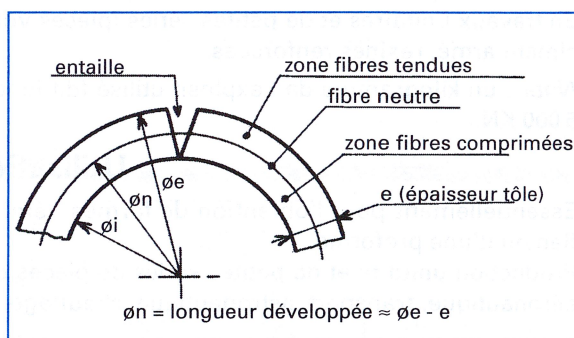


FIGURE 8.85 Déformation des extrémités de tôle épaisse cintrée en forme circulaire.

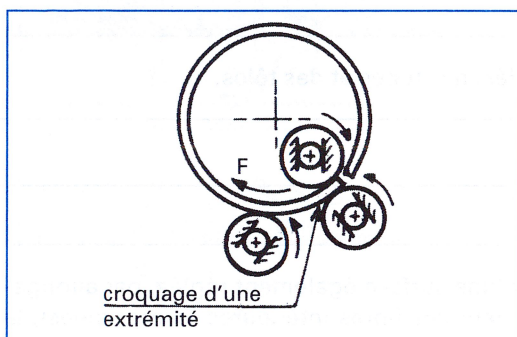


FIGURE 8.86 Schéma de croquage (d'une extrémité de virole).

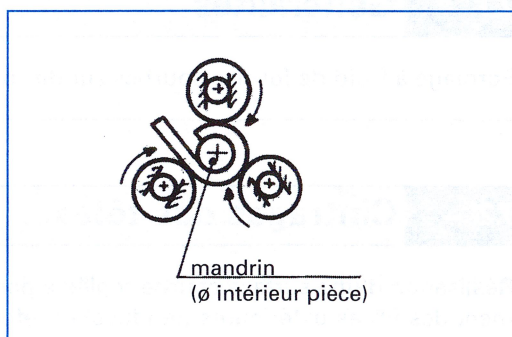


FIGURE 8.87 Schéma de cintrage d'une virole de petit diamètre.



## Tôles minces

Leur cintrage peut nécessiter au préalable un écrouissage superficiel brisant les fibres de la tôle (cas où les génératrices de la forme cintrée sont parallèles au sens du laminage).

## Tôles épaisses

Chanfreiner les bords, pour éviter la naissance de criques au cintrage.

## Machines

Elles sont du type à trois rouleaux réglables (en programmation numérique).

Elles peuvent être à quatre rouleaux, le quatrième, étant situé en opposition au rouleau supérieur, permet le croquage des extrémités de la pièce (début et fin d'opération) (fig. 8.88).

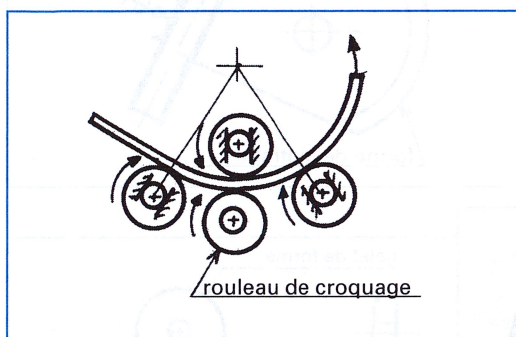


FIGURE 8.88 Schéma de cintrage à quatre rouleaux.

## Cintrage de tôles longues (à grand rayon de courbure)

Utiliser des rouleuses verticales, pour éviter la déformation des tôles sous leur poids.

## Cintrage de tôles épaisses (jusqu'à $\approx 250$ mm)

Formage à froid ou à chaud avec des presses à cintrer (fig. 8.89).

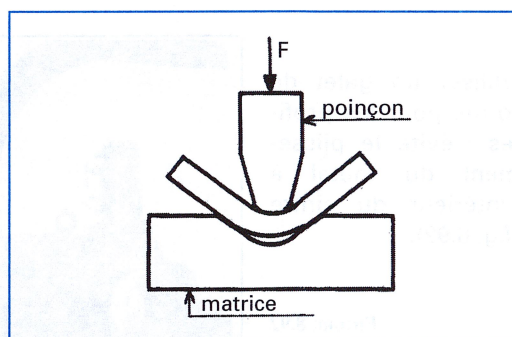


FIGURE 8.89 Schéma de cintrage des tôles très épaisses.

## 7.3

## Cintrage des tubes et des profilés

Cintrage par flexion de la pièce. Les fibres de la forme cintrée subissent les mêmes contraintes qu'en cintrage des tôles.

La pièce est cintrée sur une forme, une extrémité étant fixe et l'autre étant tirée sur la forme (fig. 8.90).

Les fibres de la pièce tendent à se rapprocher du cylindre moyen, provoquant une modification de l'épaisseur et de la section de la pièce (tube ou profilé).

La compression des fibres intérieures au cylindre moyen fait plisser le métal.

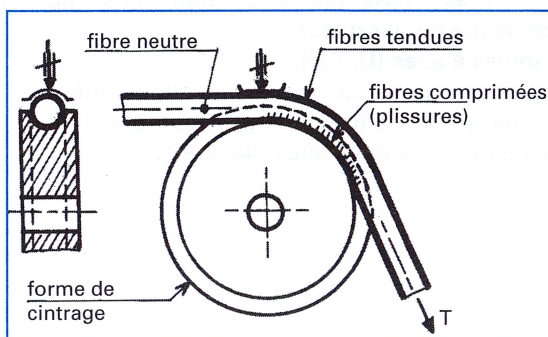


FIGURE 8.90 Schéma de cintrage d'un tube (cintreuse à CN).



## Effort de traction

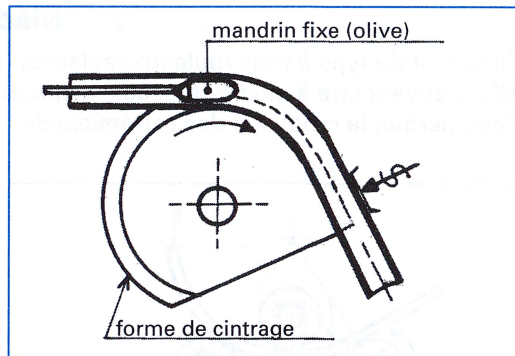
Inférieur à la limite élastique du matériau pour s'opposer : aux déformations de section de la pièce (tube en particulier) ; à la modification de son épaisseur (diminution à l'extérieur et augmentation à l'intérieur du cylindre moyen).

## Mise en œuvre

Cintrage de tubes et de profilés de faible épaisseur : pour éviter une déformation de section, on applique un effort de traction. Utiliser un mandrin, l'olive, dans les tubes : évite une déformation de section (fig. 8.91).

**FIGURE 8.91**

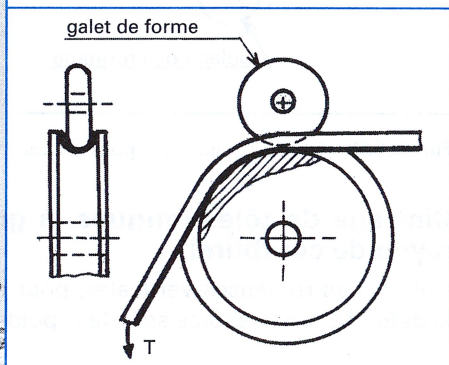
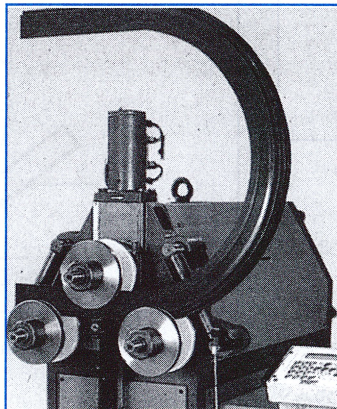
Schéma de cintrage avec guide intérieur (olive).



Utiliser un galet de forme pour les profilés : évite le plissement du métal à l'intérieur du cintre (fig. 8.92).

**FIGURE 8.92**

Schéma de cintrage d'un profilé.  
Doc. SDP



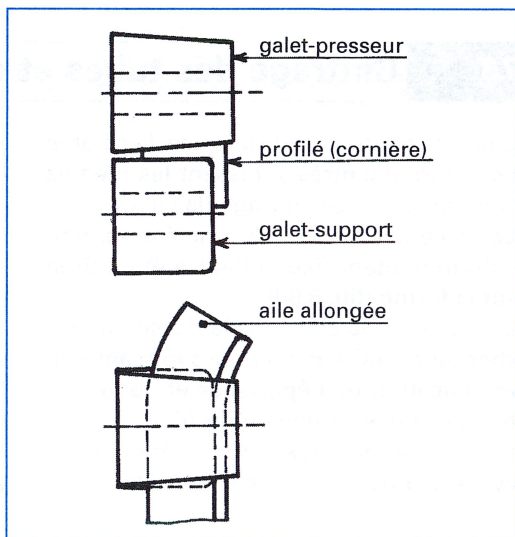
**Pièces de forte section.** Ne se déforment pas, les fibres réagissent comme dans les tôles (les fibres intérieures se refoulent sans trop de risque de plissures).

**Profilés à ailes (U, T, N).**

Cintrage de grand rayon, par allongement d'une aile ou allongement et compression simultanés de deux ailes (fig. 8.93).

**FIGURE 8.93**

Schéma de cintrage d'un profilé à ailes.





## Machines

Formage de pièces comportant plusieurs cintres, de rayons et de positions angulaires et dimensionnelles différentes ou non : avec cintreuse à CN qui réalise toutes les opérations successives programmées, en travail par traction.

**Travaux non sériels.** Utilisation de cintreuses travaillant par flexion sous la pression d'un galet-cintreur; provoque un équilibre des contraintes; annule les plissures internes (fig. 8.94).

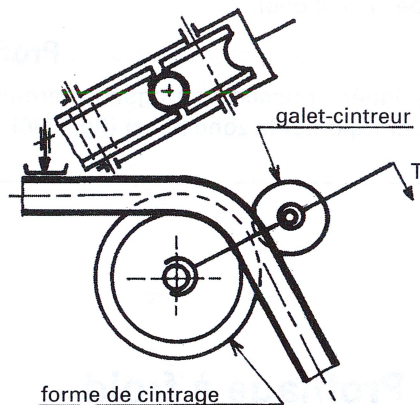
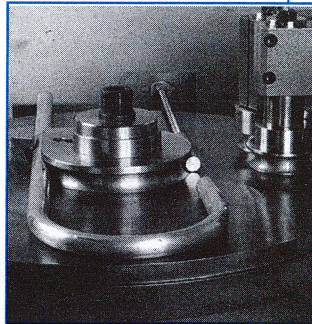


FIGURE 8.94

Schéma de cintrage d'un tube avec galet-cintreur.  
Doc. IRLE

## 7.4 Pliages des profilés

Il peut être considéré comme un cintrage de petit rayon ( $\approx 1,5$  maximum de l'épaisseur de l'aile pliée).

Une préparation préalable est nécessaire, le grugeage pour les profilés à deux ailes (cornières, tés).

### Grugeage

Découpe d'un évidement sur l'aile intérieure au pli à obtenir de valeur  $\alpha = 180^\circ - \text{angle à former}$  (fig. 8.95).

### Profilés cornières

Pliage de l'aile extérieure (fig. 8.95).

Rayon de cintrage  $\geq 1,5$  épaisseur de l'aile. Le sommet de l'angle grugé sera formé d'un plat égal à l'épaisseur de l'aile à plier.

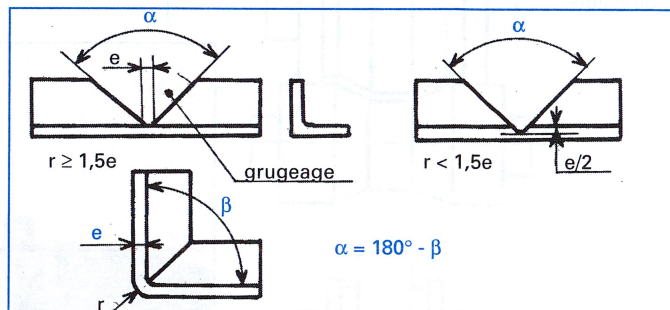


FIGURE 8.95 Pliage de profilé à ailes.

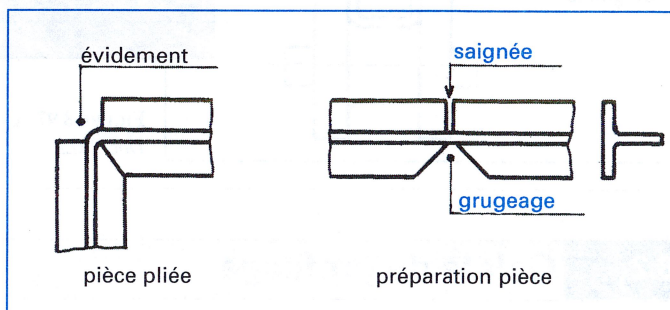


FIGURE 8.96 Préparation des profilés en T et I avant pliage.



Rayon de cintrage  $< 1,5$  épaisseur de l'aile. Le sommet de l'angle grugé sera situé à mi-épaisseur de l'aile à plier.

### Profilé en T et I

Une saignée opposée au grugeage permettra le pliage avec l'obtention d'une entaille (à obtenir pour rigidifier la zone pliée) (fig. 8.96).

## 8. Profilage à froid

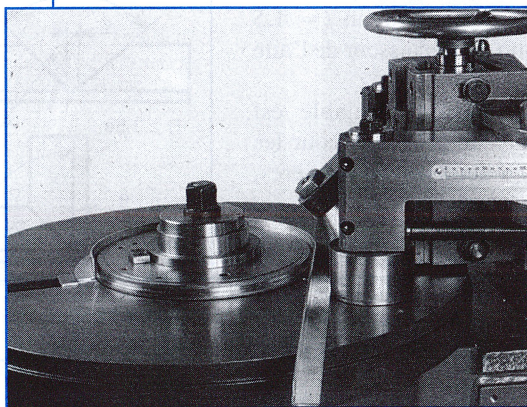
### 8.1 Généralités

feuillard  
(longueur  $l$ )

1<sup>er</sup> couple  
de galets

dernier couple  
de galets

Déformation progressive, à froid, d'une bande métallique plane, sans réduction de son épaisseur, par son avancement entre une série de couples de galets aux formes complémentaires (fig. 8.97).



**FIGURE 8.97** Couples de galets de profilage (profil ouvert).  
*Doc. IRLE*

### 8.2 Galets de profilage

Chaque couple de galets, monté dans une cage (réglage autonome) a un profil défini par sa position dans la série des couples nécessaires à l'obtention du profilé.



La simulation des profils successifs constitue une figure en étoile (fig. 8.98).

### Vitesses de défilement

Le profilé défile dans les galets entre 40 à 150 m/min (forte productivité).

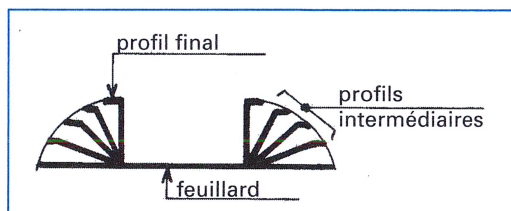


FIGURE 8.98 Étoile des profils de galet pour obtenir une forme.

## 8.3 Matériaux utilisés

Aciers laminés (à chaud et à froid) galvanisés, prélaqués, inoxydables ; aluminium et ses alliages ; cuivre et ses alliages.

### Largeur du feuillard

C'est le développé de la fibre neutre du profil à obtenir.  
Elle est de 10 à 600 mm, avec des épaisseurs de 0,5 à 8 mm.

## 8.4 Précisions obtenues

Rectitude et vrillage sont de bonne qualité pour ces produits semi-ouvrés.  
La limite d'élasticité du matériau est modifiée aux pliures.

## 8.5 Machines

Elles comportent de 5 à 30 cages porte-galets, selon les profils à obtenir.  
La production est continue : alimentation avec une bobine de la bande métallique, le feuillard.  
Les profilés obtenus sont découpés en longueur commerciale de 6 mètres, automatiquement sur la machine de profilage.

## 8.6 Utilisation

Production en grande série de profilés très divers (métallerie, bâtiment, transport : bardages, armatures, huisseries, planches, profilés de structure légère...).







# 9 PROCÉDÉS DE FRAISAGE

|     |                                                                                               |     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.  | Généralités .....                                                                             | 271 |
| 1.1 | Outils - fraises .....                                                                        | 274 |
| 1.2 | Vitesses d'avance .....                                                                       | 279 |
| 1.3 | Vitesses de coupe .....                                                                       | 281 |
| 1.4 | Choix des vitesses de coupe et d'avance .....                                                 | 281 |
| 1.5 | État de surface .....                                                                         | 281 |
| 1.6 | Puissance nécessaire à la coupe $P_w$ .....                                                   | 282 |
| 2.  | Surfaçage - dressage .....                                                                    | 284 |
| 2.1 | Généralités .....                                                                             | 284 |
| 2.2 | Fraises à surfacer .....                                                                      | 284 |
| 2.3 | Fraise à surfacer-dresser .....                                                               | 285 |
| 2.4 | Mise en œuvre du surfaçage-dressage .....                                                     | 286 |
| 3.  | Rainurage .....                                                                               | 288 |
| 3.1 | Généralités .....                                                                             | 288 |
| 3.2 | Fraises à rainurer à queue .....                                                              | 289 |
| 3.3 | Fraises à rainurer coupe centrale, à queue,<br>ou à rainurer-plonger ou à dent perçante ..... | 289 |
| 3.4 | Fraises à rainurer en T .....                                                                 | 290 |
| 3.5 | Fraises à rainurer trois tailles, ou fraises-disques .....                                    | 290 |
| 3.6 | Fraises à rainurer pour clavettes disques (woodruff) .....                                    | 291 |
| 3.7 | Fraises-scies .....                                                                           | 291 |
| 3.8 | Mise en œuvre du rainurage .....                                                              | 292 |
| 4   | Fraisage de profils .....                                                                     | 293 |
| 4.1 | Généralités .....                                                                             | 293 |
| 4.2 | Fraises à copier ou hémisphériques .....                                                      | 293 |
| 4.3 | Fraises à détourer, ou en bout à plaquettes rondes .....                                      | 294 |



|     |                                                                           |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5   | Fraisage de forme .....                                                   | 295 |
| 5.1 | Généralités .....                                                         | 295 |
| 5.2 | Fraises concaves .....                                                    | 295 |
| 5.3 | Fraises convexes .....                                                    | 296 |
| 5.4 | Fraises coniques .....                                                    | 296 |
| 5.5 | Fraises à fileter .....                                                   | 297 |
| 5.6 | Fraises à chanfreiner .....                                               | 297 |
| 5.7 | Fraises à gorge (de circlips...) .....                                    | 297 |
| 6.  | Mise en œuvre du fraisage .....                                           | 298 |
| 6.1 | Trajectoires des fraises (mouvements d'avance) .....                      | 298 |
| 6.2 | Mise en position des pièces .....                                         | 298 |
| 6.3 | Conception des outillages porte-pièces .....                              | 301 |
| 6.4 | Opérations d'usinage autres que fraisage (alésage, perçage, filetage) ... | 302 |
| 6.5 | Menus d'usinage .....                                                     | 302 |
| 6.6 | Machines .....                                                            | 302 |
| 6.7 | Fraiseuses à portique .....                                               | 304 |
| 6.8 | Fraiseuses universelles avec règles de mesure des déplacements .....      | 304 |



# 1. Généralités

Production par outils de coupe de formes précises à directrices rectilignes, circulaires ou quelconques, sur des pièces de type généralement prismatique (plate ou cubique) à partir de bruts coulés, forgés, débités dans la masse.

## Pièces produites

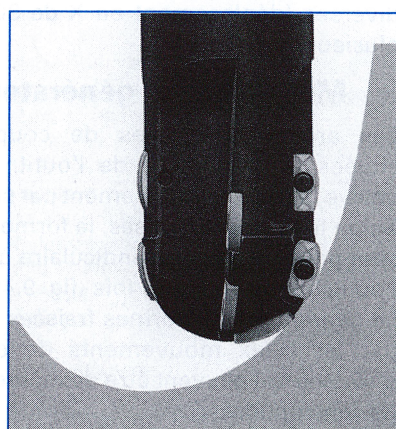
Elles peuvent être très petites (quelques mm<sup>2</sup>) ou très volumineuses (plusieurs mètres de longueur et plusieurs tonnes) en fonction de la capacité des machines.

Elles sont fraisées dans l'ensemble des matériaux métalliques et non métalliques, avec des fraises (outils à arêtes de coupe généralement multiples) de formes adaptées aux profils à générer (fig. 9.1, 9.2, 9.3).



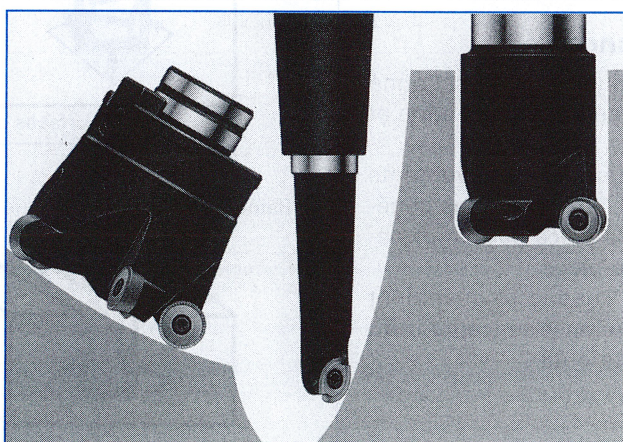
**FIGURE 9.1** Fraises à surfacer-dresser.

*Doc Sandvik-Coromant*



**FIGURE 9.2** Opération de fraisage hémisphérique.

*Doc Sandvik-Coromant*



**FIGURE 9.3** Opération de fraisage-détourage.

*Doc Sandvik-Coromant*



## Précisions obtenues

**Dimensionnelle.** Qualité 7 ; 6 avec machines très précises (de petites dimensions).

**État de surface.** 1,6 à 0,8 Ra en surfacage, rainurage, fraisage de profil et de forme ; 0,8 à 0,4 Ra en dressage.

## Machines utilisées

En fonction des dimensions et des types de pièces (plates, cubiques...) de la productivité, on utilise : des fraiseuses, des centres d'usinage à broche verticale, horizontale ou orientable (dites universelle), des fraiseuses spécifiques (à portique...), aux capacités diverses (déplacement en X de 300 mm à plusieurs mètres).

## Mouvements générateurs

Les arêtes principales de coupe étant situées en périphérie de l'outil, la fraise enlève la matière uniquement par son profil. Selon les types de fraises, la forme obtenue sera parallèle ou perpendiculaire à l'axe de l'outil, ou les deux à la fois (fig. 9.4)

La génération des formes fraisées s'obtient par les deux mouvements de coupe et d'avance qui peuvent être de même sens ou de sens opposés.

### Mouvement de coupe

Mouvement circulaire donné aux fraises, outils rotatifs (généralement multi-arêtes) qui travaillent par enveloppe du profil à réaliser.

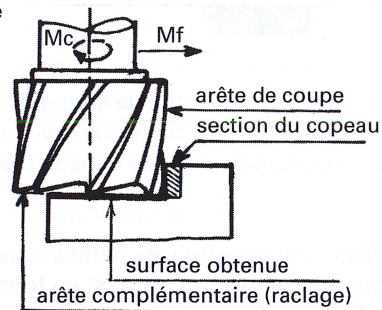
### Mouvement d'avance

Rectiligne, circulaire, quelconque, est donné à la pièce ou à l'outil, selon la conception et le type des machines.

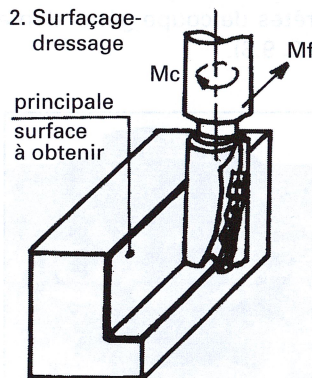
**Fraiseuses.** Les différents mouvements d'avance possibles (X, Y, Z) sont plus généralement attribués à la pièce par l'intermédiaire de la table porte-pièce.

**Centres d'usinage.** Chaque mouvement d'avance est attribué selon le concepteur, au porte-pièce ou au porte-outil.

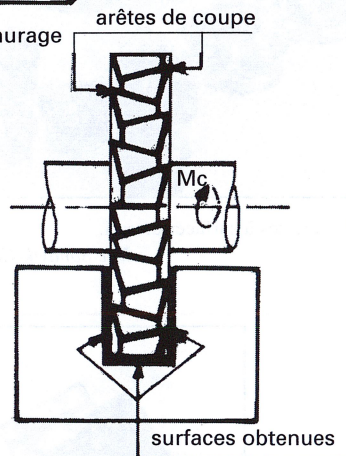
#### 1. Surfaçage



#### 2. Surfaçage-dressage



#### 3. Rainurage



#### 4. Rainurage

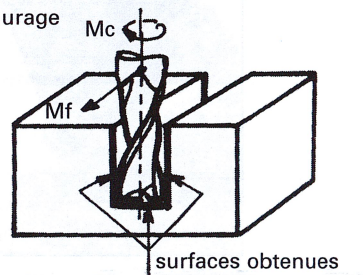


FIGURE 9.4

Schémas d'opérations de fraisage.



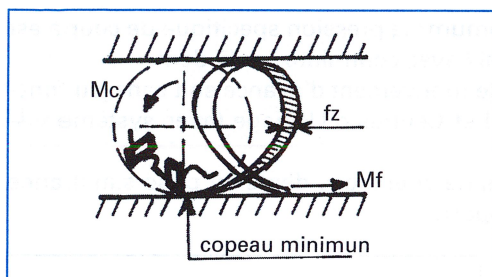


FIGURE 9.5 Mouvement cycloïdal des dents de fraise au travail.

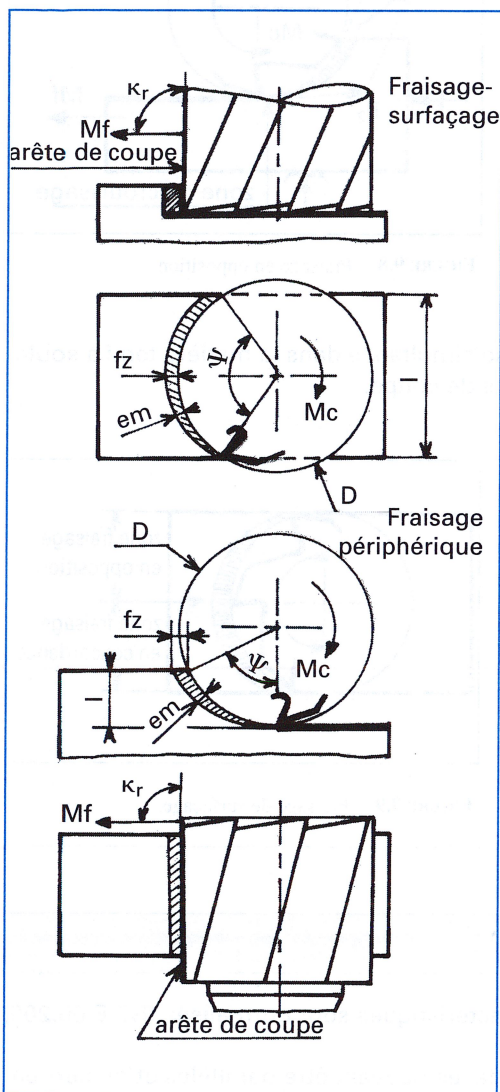


FIGURE 9.6 Épaisseur moyenne des copeaux de fraisage.

## Copeau produit

La combinaison des deux mouvements (coupe et avance) provoque un mouvement cycloïdal à chaque arête de coupe.

Le copeau produit par chaque dent, entre deux courbes cycloïdales successives, varie d'un maximum à un minimum allant jusqu'au copeau minimum (fig. 9.5).

## Épaisseur du copeau

Non uniforme, il est fonction du diamètre de la fraise  $D$ , de l'avance par dent  $f_z$  et de la profondeur radiale  $l_r$  (fig. 9.6).

Pour les calculs de puissance nécessaire à la coupe, on détermine l'épaisseur moyenne du copeau  $e_m$ , soit :

$$e_m = \sin \chi_r \cdot 360^\circ / \pi \cdot (f_z \cdot l_r / \Psi \cdot D),$$

avec  $\chi_r$  = angle de direction d'arête

$f_z$  = avance par dent ;

$l_r$  = profondeur de passe radiale ;

$\Psi$  = angle de l'arc du copeau ;

$D$  = diamètre de la fraise.

En pratique, on admet la formule approchée donnant une approximation très suffisante, soit :  $e_m = f_z \sqrt{l_r / D}$ .

L'épaisseur moyenne du copeau fournit une mesure univoque de la force moyenne de coupe, une relation existant entre la pression spécifique de coupe  $K_a$  et l'épaisseur moyenne du copeau  $e_m$ .

## Fraisage en concordance ou en avalant

Les deux mouvements (coupe et avance) convergent dans la même direction (fig. 9.7)

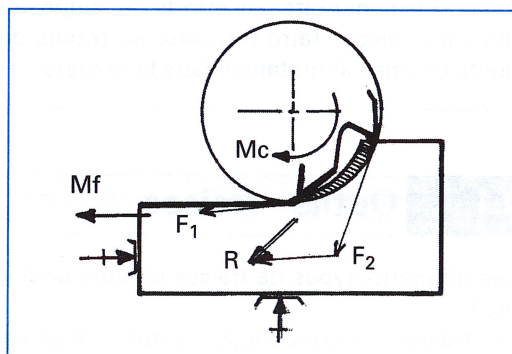


FIGURE 9.7 Fraisage en concordance ou en avalant.



Chaque dent attaque la matière par le copeau maximum : la pression spécifique de coupe est minimale, réduisant l'usure de l'arête de coupe, mais avec contrainte sur la dent.

Mode de fraisage nécessitant impérativement que le mouvement d'avance soit sans jeu fonctionnel : utilisation systématique sur fraiseuses CN et Centres d'Usinage (avec système vis-écrou à billes, sans jeu).

La composante principale de la résultante d'efforts de coupe des dents en prise simultanée dans la matière tend à plaquer la pièce sur son support.

### Fraisage en opposition

Les deux mouvements, coupe et avance, s'opposent au point d'attaque de chaque dent dans la matière (fig.9.8).

Utilisation impérative sur fraiseuses ayant éventuellement le système d'avance vis-écrou sans rattrapage de jeu.

Mode de fraisage évitant la rupture des dents, causée par le jeu vis-écrou du mouvement d'avance.

Chaque dent attaque la matière par le copeau minimum. La pression spécifique de coupe est élevée, accentuant l'usure de l'arête et provoquant un état de surface macrogéométrique inférieur à l'autre mode (ondulations).

La direction des efforts de coupe des dents en prise simultanée dans la matière tend à soulever la pièce : fixation judicieuse sous de gros efforts de coupe.

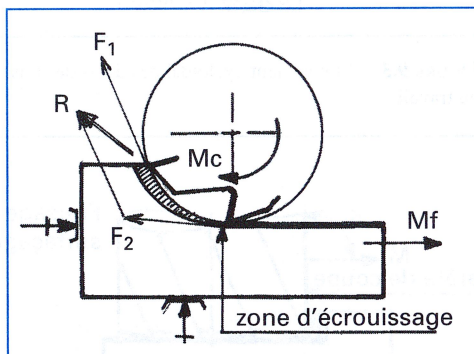


FIGURE 9.8 Fraisage en opposition.

### Fraisage de surfacage

(Surface obtenue perpendiculairement à l'axe de la fraise.) Chaque dent travaille alternativement en avalant et en opposition (fig. 9.9).

Afin de faire travailler l'outil selon le mode désiré – en avalant ou en opposition – une fraise de diamètre supérieur à la largeur fraisée sera décalée dans le sens désiré, en assurant la condition de deux dents en prise simultanée dans la matière, au minimum.

Assurer la continuité des efforts de coupe appliqués à la pièce : faire travailler au moins deux dents en prise simultanée dans la matière.

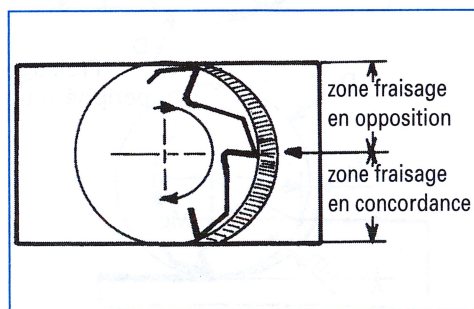


FIGURE 9.9 Fraisage de surfacage.

## 1.1 Outils - fraises

Les différents types de fraises et leurs angles caractéristiques sont normalisés (NF E 66.200, etc.)

Les fraises, qui sont conçues pour réaliser des surfaces pouvant être parallèles et/ou perpendiculaires à l'axe de la fraise, correspondent à des familles d'outils (fig. 9.10), soit :

**Fraises cylindriques** : à surfacer, à surfacer-dresser, à rainurer.

**Fraises de forme** : à copier, à détourer, à profiler, à chanfreiner, à fileter...



| FRAISES À QUEUE          |                          |                 | Fraises à fileter         | Fraises à chanfreiner           | Fraises à plaquettes rondes | Fraises hémisphériques | Fraises à rainurer et à plonger |
|--------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------------|
|                          |                          |                 | SG                        | C FF                            | C RF                        | C KF                   | E 10                            |
|                          |                          |                 |                           |                                 |                             |                        |                                 |
| Fraises hérisson à queue | Fraises hérisson à queue | Fraises à gorge | Fraises pour rainures à T | Fraises à rainurer et à plonger | Fraises à lamer             | Fraises à rainurer     | Fraises hérisson à queue        |
| C 145                    | C 144                    | C ZF            | C NF                      | C BF                            | C SF                        | C 140                  | C 146                           |
|                          |                          |                 |                           |                                 |                             |                        |                                 |

| TÊTES DE FRAISAGE |  |  |  | Fraises à surfacer dresser | Fraises à surfacer à angle d'attaque 45° | Fraises à plaquettes rondes | Fraises modulaires |
|-------------------|--|--|--|----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
|                   |  |  |  | A 240                      | A 270                                    | A 250                       | A 260              |
|                   |  |  |  |                            |                                          |                             |                    |

FIGURE 9.10 Différentes familles de fraises.

Doc. Plansee TIZIT

Elles travaillent essentiellement de profil (et non en bout) sauf : les fraises à coupe centrale travaillant en plongée et en translation (de profil) ; les fraises à copier et à détourner qui peuvent plonger dans la matière (en prise de passe généralement).

Le diamètre nominal de chaque fraise est celui de travail (diamètre maximum de coupe) et sa valeur est prise dans la série des nombres Renard.

### Définition géométrique

Les angles caractéristiques de la partie active de l'outil sont contenus dans des plans de référence.



## Angles de l'utilisateur

Outil en main, avec les directions de coupe et d'avance supposées orthogonales (fig. 9.11). On considère, pour chaque partie active de l'outil, qui comprend une arête de coupe principale :

- la face de coupe sur laquelle se déroule le copeau ;
- la face dépouille, au regard de la surface travaillée ;
- l'arête de coupe principale, intersection des faces de coupe et de dépouille ;
- l'arête de coupe secondaire, dont l'intersection avec l'arête de coupe principale forme le bec ou pointe d'outil ;
- le plan de référence  $P_r$  qui passe par l'axe du corps d'outil ;
- l'angle de direction d'arête  $\kappa_r$  (kappa r) formé par le plan d'arête  $P_s$  et le plan de travail  $P_f$  dans le plan de référence  $P_r$  ;
- l'angle de coupe orthogonal  $\gamma_o$  (gamma o) formé par la face de coupe et le plan de référence  $P_r$  dans le plan orthogonal  $P_o$  ;
- l'angle de dépouille orthogonal  $\alpha_o$  (alpha o) formé par la face de dépouille et le plan d'arête  $P_s$ , dans le Plan orthogonal  $P_o$  ;

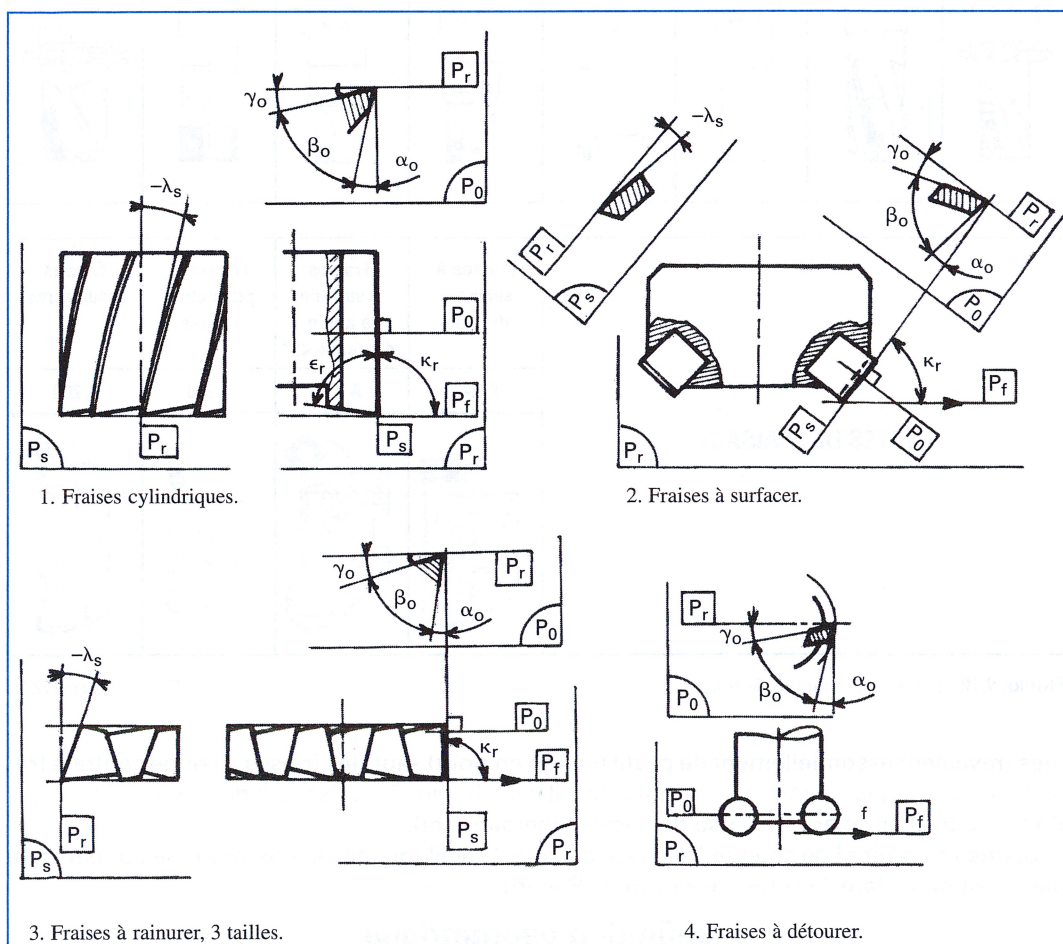


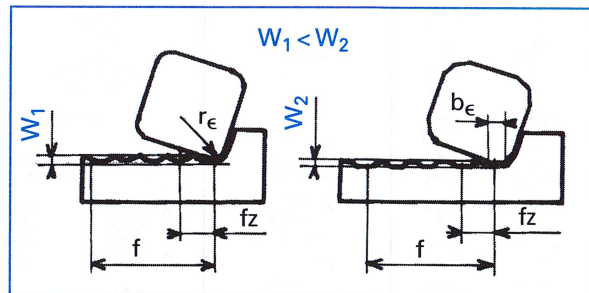
FIGURE 9.11 Plans de référence et angles caractéristiques des fraises.



- l'angle de taillant  $\beta_0$  (bêta  $_0$ ) dont la valeur est  $90^\circ - (\gamma_0 + \alpha_0)$  ;
- l'angle d'inclinaison d'arête  $\lambda_s$  (lambda  $_s$ ) formé par l'arête de coupe principale et le plan de référence  $P_r$ , dans le plan d'arête  $P_s$  ;
- le bec, intersection des arêtes de coupe principale et secondaire, dans le plan de référence  $P_r$ , à angle vif ou biseau plan  $b_\epsilon$ , ou rayon de bec  $r_\epsilon$  (fig. 9.12).

La partie active des outils de fraisage est en carbures métalliques, en acier rapide généralement revêtu TIN, en coronite.

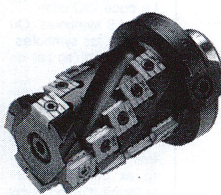
**FIGURE 9.12**  
Becs d'outils fraise.



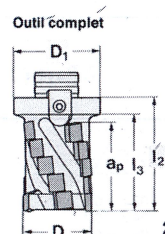
## Plaquettes en carbure métallique

Elles sont généralement fixées mécaniquement sur le corps d'outil porte-plaquettes. Pour obtenir une arête de coupe suffisamment longue, les plaquettes sont fixées en chapelet sur une directrice du corps d'outil (fig. 9.13).

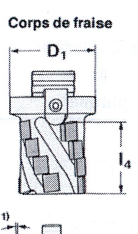
**T-MAX R215.3**  
Fraise cylindrique deux tailles  
avec embout interchangeable -21  
Embout 88°  
D 50 à 80 mm

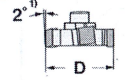


Outil complet



Corps de fraise





Embout -21

$l_2$  = longueur à programmer

**Machine-outil:** De tous types, sauf cône 40

**Matériaux:** De tous types

**Angle d'inclinaison:** - 5°

**Angle de coupe:**  $\gamma_p^\circ$

**FIGURE 9.13** Fraises cylindriques deux tailles à plaquettes fixées en hélice.

Doc Sandvik-Coromant

Elles sont normalisées (NF E 66-310) et définies par 7 symboles plus 2 optionnels et 1 complémentaire pour le fabricant : les quatre premières lettres pour le type, les trois chiffres suivants pour les dimensions ; les deux chiffres optionnels pour l'arête de coupe (fig. 9.14). Formes, dimensions et nuances de carbure des plaquettes pour équiper chaque fraise sont définies par les fabricants, en fonction du type d'usinage (surfaçage, dressage, rainurage).



| 1. Forme de plaquettes                                | 2. Angle de dépouille                                                                                                 | 3. Tolérance                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4. Caractéristiques des faces et de la fixation |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---|---|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|---------------------------|------------------------|------------|---------------------------|------------------------|-------------|---------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>A, B, C, D, E, H, K, L, M, O, P, R, S, T, V, W</p> | <p>A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P</p> <p>O = autres angles de dépouille requérant des indications</p> | <p>Ecart admis en mm pour</p> <table><thead><tr><th>d</th><th>m</th><th>s</th></tr></thead><tbody><tr><td>A <math>\pm 0,025</math></td><td><math>\pm 0,005</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td></tr><tr><td>C <math>\pm 0,025</math></td><td><math>\pm 0,013</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td></tr><tr><td>E <math>\pm 0,025</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td></tr><tr><td>G <math>\pm 0,025</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td><td><math>\pm 0,05 - 0,13</math></td></tr><tr><td>H <math>\pm 0,013</math></td><td><math>\pm 0,013</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td></tr><tr><td>J<sup>1)</sup> <math>\pm 0,05 - 0,015^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,005</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td></tr><tr><td>K<sup>1)</sup> <math>\pm 0,05 - 0,015^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,013</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td></tr><tr><td>L<sup>1)</sup> <math>\pm 0,05 - 0,015^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,013</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td></tr><tr><td>M <math>\pm 0,05 - 0,015^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,08 - 0,20^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,13</math></td></tr><tr><td>N <math>\pm 0,05 - 0,015^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,08 - 0,20^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,025</math></td></tr><tr><td>U <math>\pm 0,05 - 0,025^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,13 - 0,38^{2)}</math></td><td><math>\pm 0,05 - 0,13</math></td></tr></tbody></table> <p>1) Plaquettes avec tranchants rectifiés<br/>2) Selon gabarit de plaquette (se référer à la norme ISO 1832)</p> | d                                               | m | s | A $\pm 0,025$ | $\pm 0,005$ | $\pm 0,025$ | C $\pm 0,025$ | $\pm 0,013$ | $\pm 0,025$ | E $\pm 0,025$ | $\pm 0,025$ | $\pm 0,025$ | G $\pm 0,025$ | $\pm 0,025$ | $\pm 0,05 - 0,13$ | H $\pm 0,013$ | $\pm 0,013$ | $\pm 0,025$ | J <sup>1)</sup> $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$ | $\pm 0,005$ | $\pm 0,025$ | K <sup>1)</sup> $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$ | $\pm 0,013$ | $\pm 0,025$ | L <sup>1)</sup> $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$ | $\pm 0,013$ | $\pm 0,025$ | M $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$ | $\pm 0,08 - 0,20^{2)}$ | $\pm 0,13$ | N $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$ | $\pm 0,08 - 0,20^{2)}$ | $\pm 0,025$ | U $\pm 0,05 - 0,025^{2)}$ | $\pm 0,13 - 0,38^{2)}$ | $\pm 0,05 - 0,13$ | <p>A, B, C, F, G, H, J, X, M, N, Q, R, T, U, V, W</p> <p>X Avec particularité demandant un dessin ou une description exacte</p> |
| d                                                     | m                                                                                                                     | s                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| A $\pm 0,025$                                         | $\pm 0,005$                                                                                                           | $\pm 0,025$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| C $\pm 0,025$                                         | $\pm 0,013$                                                                                                           | $\pm 0,025$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| E $\pm 0,025$                                         | $\pm 0,025$                                                                                                           | $\pm 0,025$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| G $\pm 0,025$                                         | $\pm 0,025$                                                                                                           | $\pm 0,05 - 0,13$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| H $\pm 0,013$                                         | $\pm 0,013$                                                                                                           | $\pm 0,025$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| J <sup>1)</sup> $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$               | $\pm 0,005$                                                                                                           | $\pm 0,025$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| K <sup>1)</sup> $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$               | $\pm 0,013$                                                                                                           | $\pm 0,025$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| L <sup>1)</sup> $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$               | $\pm 0,013$                                                                                                           | $\pm 0,025$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| M $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$                             | $\pm 0,08 - 0,20^{2)}$                                                                                                | $\pm 0,13$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| N $\pm 0,05 - 0,015^{2)}$                             | $\pm 0,08 - 0,20^{2)}$                                                                                                | $\pm 0,025$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |
| U $\pm 0,05 - 0,025^{2)}$                             | $\pm 0,13 - 0,38^{2)}$                                                                                                | $\pm 0,05 - 0,13$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                 |   |   |               |             |             |               |             |             |               |             |             |               |             |                   |               |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                                         |             |             |                           |                        |            |                           |                        |             |                           |                        |                   |                                                                                                                                 |

| 5. Longueur de l'arête de coupe | 6. Épaisseur de la plaquette                                                                                                       | 7. Rayon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 8. Forme des arêtes de coupe | 9. Sens de coupe | 10. Spécification du fabricant                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <p>02 s = 2,38<br/>03 s = 3,18<br/>T3 s = 3,97<br/>04 s = 4,76<br/>05 s = 5,56<br/>06 s = 6,35<br/>07 s = 7,94<br/>09 s = 9,52</p> | <p>02 r = 0,2<br/>04 r = 0,4<br/>08 r = 0,8<br/>12 r = 1,2<br/>16 r = 1,6<br/>24 r = 2,4</p> <p>00 pour diamètre(s) avec cotes en pouces convertis en mm.<br/>M 0 pour diamètre(s) en cotes métriques.</p> <p>① Angle de dir du tranchant X,<br/>A = 45°<br/>D = 60°<br/>E = 75°<br/>F = 85°<br/>P = 90°<br/>Z = autres angles de direction</p> <p>② Angle de dépouille sur le tranchant<br/>A = 3°<br/>B = 5°<br/>C = 7°<br/>D = 15°<br/>E = 20°<br/>F = 25°<br/>G = 30°<br/>N = 0°<br/>P = 11°<br/>Z = autres angles de direction</p> |                              |                  | <p>Le code ISO comprend 9 symboles. On n'utilise les symboles 8 et/ou 9 qu'en cas de besoin. Le fabricant peut ajouter d'autres symboles. Ces derniers sont combinés avec un trait d'union. (p. ex. pour spécifier la forme d'un brise-copeaux).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- G 1</li> <li>- G 2</li> <li>- G 3</li> <li>- M 1</li> <li>- M 2</li> <li>- M 3</li> <li>- M 11</li> <li>- M 20</li> <li>- X 2</li> </ul> |

FIGURE 9.14 Définition normalisée des plaquettes en carbure.

Doc. Walter



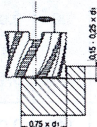
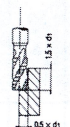
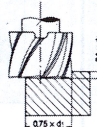
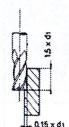
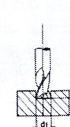
Elles sont indiquées en mm/dent et par tour ( $f_z$ ).

La valeur des avances varie de quelques centièmes de mm à quelques dixièmes de mm (de 0,05 à 0,6 généralement) en fonction des conditions d'utilisation des fraises, de la vitesse de coupe et de la rigidité des outils (fig. 9.15 et 9.16).

### Section du copeau

Avec la profondeur de passe  $s$ , on a :  $f_z \cdot s$ .

La section maximale du copeau est conditionnée par : la puissance de la machine, la rigidité et le maintien de l'outil, l'angle d'engagement de la fraise (conditionnant le nombre de dents en prise dans la matière).

| ELCO + TIN                                |                           | Avance par dent en mm                                                                               |                                                                                                   |                                                                                                     |                                                                                                   |                                                                                                     |
|-------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           |                           | Fraises d'ébauche                                                                                   |                                                                                                   | Fraises de finition                                                                                 |                                                                                                   |                                                                                                     |
| Matière à usiner                          | Vitesse de coupe en m/min | <br>Ø 40 au Ø 100 | <br>Ø 8 au Ø 50 | <br>Ø 40 au Ø 100 | <br>Ø 2 au Ø 50 | <br>Ø 2 au Ø 20 |
| Aciers jusqu'à 50 daN/mm <sup>2</sup>     | 40 à 60                   | 0,06 à 0,12                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,08 à 0,13                                                                                         | 0,002 à 0,18                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Aciers de 50 à 70 daN/mm <sup>2</sup>     | 35 à 40                   | 0,06 à 0,12                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,08 à 0,13                                                                                         | 0,002 à 0,20                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Aciers de 70 à 90 daN/mm <sup>2</sup>     | 25 à 35                   | 0,07 à 0,11                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,10 à 0,13                                                                                         | 0,002 à 0,20                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Aciers de 90 à 120 daN/mm <sup>2</sup>    | 22 à 25                   | 0,07 à 0,11                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,08 à 0,13                                                                                         | 0,002 à 0,20                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Aciers de plus de 120 daN/mm <sup>2</sup> | 20 à 22                   | 0,06 à 0,10                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,08 à 0,12                                                                                         | 0,002 à 0,18                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Fonte malléable < 160 HB                  | 35 à 40                   | 0,07 à 0,11                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,09 à 0,12                                                                                         | 0,002 à 0,20                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Fonte grise < 200 HB                      | 25 à 35                   | 0,07 à 0,11                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,10 à 0,13                                                                                         | 0,002 à 0,20                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Fonte grise > 200 HB                      | 22 à 25                   | 0,07 à 0,11                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,08 à 0,13                                                                                         | 0,002 à 0,19                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Aciers inoxydables                        | 12 à 16                   | 0,07 à 0,11                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,09 à 0,12                                                                                         | 0,002 à 0,18                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Aciers fortement alliés                   | 7 à 11                    | 0,06 à 0,11                                                                                         | 0,02 à 0,13                                                                                       | 0,09 à 0,10                                                                                         | 0,002 à 0,21                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |
| Alliages base nickel (Inconel)            |                           |                                                                                                     |                                                                                                   |                                                                                                     |                                                                                                   |                                                                                                     |
| Laitons et bronzes tendres                | 50 à 70                   | 0,10 à 0,20                                                                                         | 0,03 à 0,20                                                                                       | 0,08 à 0,14                                                                                         | 0,002 à 0,25                                                                                      | 0,003 à 0,08                                                                                        |

Les vitesses de coupe et avances par dent sont des valeurs indicatives.  
L'avance par dent augmente de façon régulière suivant le diamètre de la fraise. La plus petite correspond à la fraise du plus petit diamètre et la plus grande correspond à la plus grosse fraise de notre gamme.  
Pour les fraises à queue série longue l'avance doit être réduite d'environ 50 %.

FIGURE 9.15 Conditions de coupe indicatives de fraises en acier rapide recouvert de TIN.

Doc. Leclerc



## Données de coupe avec AP.T 0903.. pour F 3038

| Correspondance ISO → |                                                                  |                         | K10 à K25<br>M10 à M25  |                      | P25 à P45<br>M25 à M40  |                      | P20 à P40               |                      | P30 à P50               |                      | K5 à K15                |                      | K15 à K25               |                      | P35 à P40               |                      |
|----------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Matière à usiner     |                                                                  |                         | Nuances revêtues        |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      | Nuances non revêtues    |                      |                         |                      |                         |                      |
| Groupe princip.      | Description                                                      | Rm<br>N/mm <sup>2</sup> | WTA 21                  |                      | WTA 51                  |                      | WTA 61                  |                      | WTL 71                  |                      | WK 10                   |                      | WKM                     |                      | WP 40                   |                      |
|                      |                                                                  |                         | v <sub>c</sub><br>m/min | f <sub>z</sub><br>mm | v <sub>c</sub><br>m/min | f <sub>z</sub><br>mm | v <sub>c</sub><br>m/min | f <sub>z</sub><br>mm | v <sub>c</sub><br>m/min | f <sub>z</sub><br>mm | v <sub>c</sub><br>m/min | f <sub>z</sub><br>mm | v <sub>c</sub><br>m/min | f <sub>z</sub><br>mm | v <sub>c</sub><br>m/min | f <sub>z</sub><br>mm |
| A                    | Acier non ou faiblement allié<br>Rm < 450 N/mm <sup>2</sup>      | à 450                   |                         |                      | 100                     | 0,08                 | 120                     | 0,08                 | 100                     | 0,08                 |                         |                      |                         |                      | 50                      | 0,08                 |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    |                         |                      |                         |                      | à                       | à                    |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | 150                     | 0,20                 | 160                     | 0,20                 | 150                     | 0,20                 |                         |                      |                         |                      | 80                      | 0,20                 |
|                      | Acier allié et acier au carbure<br>Rm 450–800 N/mm <sup>2</sup>  | 450 à 800               |                         |                      | 80                      | 0,06                 | 90                      | 0,06                 | 80                      | 0,06                 |                         |                      |                         |                      | 50                      | 0,08                 |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    |                         |                      |                         |                      | à                       | à                    |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | 140                     | 0,15                 | 140                     | 0,15                 | 120                     | 0,20                 |                         |                      |                         |                      | 70                      | 0,20                 |
| A                    | Acier trempé<br>Rm 750–1100 N/mm <sup>2</sup>                    | 750 à 1100              |                         |                      | 70                      | 0,06                 | 80                      | 0,06                 | 70                      | 0,06                 |                         |                      |                         |                      | 50                      | 0,06                 |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    |                         |                      |                         |                      | à                       | à                    |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | 120                     | 0,12                 | 140                     | 0,12                 | 120                     | 0,15                 |                         |                      |                         |                      | 70                      | 0,15                 |
|                      | Acier à outils et à matrice<br>Rm 1000–1500 N/mm <sup>2</sup>    | 1000 à 1500             |                         |                      | 70                      | 0,04                 | 70                      | 0,04                 |                         |                      |                         |                      |                         |                      | 50                      | 0,06                 |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | à                       | à                    | à                       | à                    |                         |                      |                         |                      |                         |                      | à                       | à                    |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | 90                      | 0,08                 | 100                     | 0,08                 |                         |                      |                         |                      |                         |                      | 60                      | 0,10                 |
| R                    | Fonte aciérée non allié et allié<br>Rm 500–850 N/mm <sup>2</sup> | 550 à 850               |                         |                      | 80                      | 0,08                 | 90                      | 0,08                 | 80                      | 0,08                 |                         |                      |                         |                      | 60                      | 0,10                 |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    |                         |                      |                         |                      | à                       | à                    |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | 140                     | 0,15                 | 150                     | 0,15                 | 120                     | 0,12                 |                         |                      |                         |                      | 80                      | 0,15                 |
|                      | Matière austénitique<br>150–275 HB                               | 600 à 750               |                         |                      | 120                     | 0,08                 | 140                     | 0,08                 | 120                     | 0,08                 |                         |                      |                         |                      | 60                      | 0,08                 |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    |                         |                      |                         |                      | à                       | à                    |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | 250                     | 0,15                 | 280                     | 0,12                 | 200                     | 0,15                 |                         |                      |                         |                      | 90                      | 0,12                 |
| F                    | Fonte grise<br>180–250 HB                                        |                         | 180                     | 0,10                 | 150                     | 0,10                 | 150                     | 0,10                 | 120                     | 0,10                 | 100                     | 0,10                 | 100                     | 0,10                 |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       |                      |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         | 250                     | 0,15                 | 180                     | 0,20                 | 200                     | 0,20                 | 160                     | 0,20                 | 140                     | 0,15                 | 140                     | 0,15                 |                         |                      |
|                      | Fonte grise nodulaire/<br>Fonte malléable<br>180–330 HB          |                         | 130                     | 0,10                 | 100                     | 0,10                 | 120                     | 0,10                 | 100                     | 0,10                 | 60                      | 0,10                 | 60                      | 0,10                 |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       |                      |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         | 160                     | 0,15                 | 150                     | 0,20                 | 160                     | 0,15                 | 140                     | 0,15                 | 100                     | 0,15                 | 100                     | 0,15                 |                         |                      |
| N                    | Matériaux non ferreux<br>Al, Cu, etc.                            | 350 à 450               | 160                     | 0,08                 | 150                     | 0,08                 | 150                     | 0,08                 | 140                     | 0,08                 | 160                     | 0,08                 | 160                     | 0,08                 |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       |                      |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         | 400                     | 0,12                 | 300                     | 0,12                 | 300                     | 0,12                 | 350                     | 0,12                 | 350                     | 0,12                 | 350                     | 0,12                 |                         |                      |
|                      | Alliages réfractaires<br>base Ti-Ni-Co<br>130–280 HB             | 700 à 1200              |                         |                      | 40                      | 0,04                 | 50                      | 0,04                 | 40                      | 0,04                 | 30                      | 0,04                 | 30                      | 0,04                 |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       |                      |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | 70                      | 0,08                 | 80                      | 0,10                 | 70                      | 0,10                 | 50                      | 0,06                 | 50                      | 0,06                 |                         |                      |
| S                    | Alliages réfractaires<br>base Ti<br>280–400 HB                   | 700 à 1200              |                         |                      | 40                      | 0,04                 | 50                      | 0,04                 | 40                      | 0,04                 | 30                      | 0,04                 | 30                      | 0,04                 |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       | à                    | à                       |                      |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      | 70                      | 0,08                 | 80                      | 0,10                 | 70                      | 0,10                 | 40                      | 0,06                 | 40                      | 0,06                 |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |
|                      |                                                                  |                         |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |                         |                      |

Pour le fraisage en roulant, choisissez les valeurs f<sub>z</sub> maxi, et pour le rainurage les mini.

Pour le fraisage en roulant, choisissez les valeurs f<sub>z</sub> maxi, et pour le rainurage les mini.

FIGURE 9.16 Données de coupe de fraises à plaquettes carbure.

Doc Walter



### 1.3 Vitesses de coupe

Elles sont fonction, en particulier, de la nature des matériaux outil et pièce. Ces vitesses correspondent à l'utilisation des fraises pour une durée de vie d'outil économique, les arêtes étant soumises à des contraintes dues à la coupe intermittente et à la variation d'épaisseur du copeau en particulier. Prépondérantes dans la durée de vie d'outil, elles varient de quelques m/min à plusieurs centaines de m/min (fig. 9.15 à 9.16).

### 1.4 Choix des vitesses de coupe et d'avance

Des tableaux de fabricants de fraises indiquent des vitesses de coupe et d'avance en fonction des matériaux à usiner, pour une utilisation stable (absence de vibrations...) (fig. 9.15 et 9.16). Utilisation éventuelle instable de la fraise (pièce déformable sous les efforts...) et fraises à plaquettes carbure brasées ou monoblocs carbure : réduire les vitesses (coupe et avance) indiquées de 10 à 30 % si nécessaire, pour ne pas détériorer l'outil.

**Travaux d'ébauche**, avec des fraises de grandes dimensions et dans des conditions stables d'utilisation : choisir la plus grande avance indiquée.

**Travaux de surfacage-dressage**. Choisir de grandes avances.

**Travaux de rainurage**. La fraise travaille en pleine matière : choisir la plus faible avance proposée et particulièrement si le diamètre de fraise est faible.

**Plages d'avances indiquées**. L'avance sera choisie minimale en utilisation avec la vitesse de coupe maximale proposée, et inversement.

**Fraises à plaquettes carbure**. L'avance sera choisie en principe, la plus grande indiquée, la coupe intermittente des arêtes provoquant, en particulier, l'écaillage et l'effondrement d'arête (fig. 9.17).

**Fraises affutables**. À plaquettes carbure brasées ou monoblocs, en acier rapide : l'avance sera choisie relativement faible.

**Production de grande série**. On pourra définir une durée de vie d'outil à production maximale.

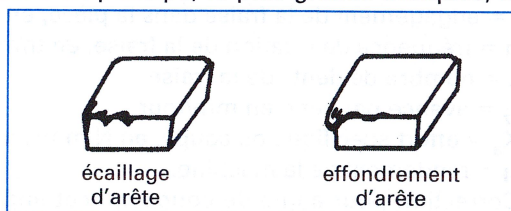


FIGURE 9.17 Formes d'usure des plaquettes carbure en fraisage.

### 1.5 État de surface

Il dépend, et particulièrement en surfacage : de la rigidité du couple machine et outil/pièce et porte-pièce ; de la géométrie de la fraise (avec plat ou rayon de bec ; d'un saut axial des plaquettes dû à la fixation ou/et une usure localisée) ; d'un écoulement insuffisant des copeaux occasionnant des défauts de rugosité ( $R$ ,  $R_a$ ) et en particulier d'ondulation ( $W$ ).

Il importe de mesurer un état de surface fraisé, sur une longueur supérieure à l'avance par tour  $f_z \cdot n$  de la fraise.

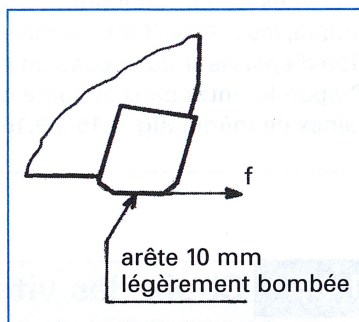


**Biseau plan ou plat de bec.** Sur toutes les plaquettes, de valeur au moins égale à l'avance par tour de fraise ( $b\epsilon \geq f_z$ ): obtention d'un meilleur état de surface en surfacage (si cela n'occasionne pas de vibrations).

**Surfaçage de matériaux à copeaux courts (fontes...)**

Possibilité d'équiper les fraises à surfacer d'une plaquette à biseau plat (plaquette de planage) de longueur supérieure à l'avance par tour, dépassant sensiblement en hauteur les autres plaquettes (0,02 à 0,1 mm): réduction des défauts d'ondulation.

Le plat légèrement bombé évite de produire des « dents de scie » sur la surface fraisée (fig. 9.18).



**FIGURE 9.18**

Schéma de plaquette carbure de planage.

## 1.6

## Puissance nécessaire à la coupe $P_w$

Elle est déterminée, avec une approximation suffisante, en considérant essentiellement l'effort de coupe tangentiel  $F_t$ .

La puissance absorbée par la machine  $P_u$  est généralement la contrainte limitant la section des copeaux (fig. 9.19), d'où la formule (d'après Sandvick Coramant):

$P_u = s \cdot l \cdot n \cdot z \cdot f_z \cdot K_a / 6120 \cdot \eta$ , avec:

$P_u$  = Puissance utile, en watts

$s$  = profondeur de passe, en mm

$l$  = engagement de la fraise dans la pièce, en mm

$n$  = fréquence de rotation de la fraise, en tr/min

$z$  = nombre de dents de la fraise

$f_z$  = avance par dent, en mm/tour

$K_a$  = effort spécifique de coupe, en  $N/mm^2$ , à corriger éventuellement pour  $\gamma_0$

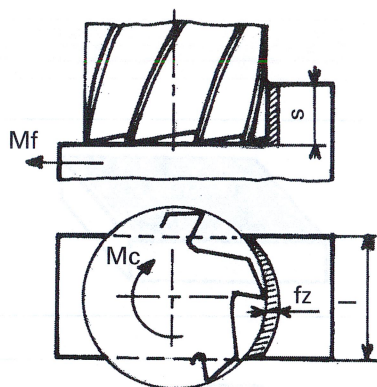
$\eta$  = rendement de la machine.

Correction pour angle de coupe  $\gamma_0$ : cet angle agissant sur l'effort spécifique de coupe  $K_a$ , apporter une correction de 1,5 % par degré à  $K_a$ , en moins pour  $\gamma_0$  positif et en plus pour  $\gamma_0$  négatif, par rapport à  $\gamma_0 \cong 7^\circ$ , avec  $e_m = 0,2$  mm (tableau fig. 9.19).

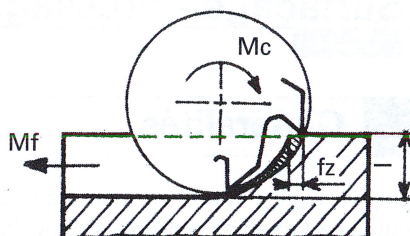
Correction par épaisseur moyenne du copeau  $e_m$ : appliquer le facteur de correction  $C_e$  (tableau fig. 1.19).

**Nota:** la puissance nécessaire à la coupe dépend en particulier de: matériau pièce, épaisseur du copeau, angle de coupe. La vitesse de coupe est secondaire, sauf à faible vitesse.





Surfaçage-dressage



Rainurage

| Type de matière           |                                     | Dureté HB | Ka moyen |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------|----------|
| Acier au carbone          | C 0,15 %                            | 125       | 275      |
|                           | C 0,35 %                            | 150       | 300      |
|                           | C 0,70 %                            | 250       | 330      |
| Acier faiblement allié    | recuit                              | 125–200   | 320      |
|                           | trempe                              | 200–450   | 390      |
| Acier fortement allié     | recuit                              | 150–250   | 350      |
|                           | trempe                              | 250–500   | 410      |
| Acier inoxydable          | ferritique                          | 175–225   | 360      |
|                           | austénitique                        | 150–200   | 390      |
| Acier coulé               | non allié                           | 225       | 260      |
|                           | faiblement allié                    | 150–250   | 280      |
|                           | fortement allié (P. ex. inoxydable) | 150–300   | 320      |
| Acier extra-dur           |                                     | >50 HRC   | 675      |
| Fonte malléable           | à copeaux courts                    | 110–145   | 220      |
|                           | à copeaux longs                     | 200–250   | 200      |
| Fonte grise               | faible résistance                   | 150–225   | 140      |
|                           | haute résistance et allié           | 200–300   | 180      |
| Fonte nodulaire           | ferritique                          | 125–200   | 150      |
|                           | perlitique                          | 200–300   | 225      |
| Fonte trempée en coquille |                                     | 40–60     |          |
|                           |                                     | HRC       | 475      |

Efforts spécifiques de coupe (pour copeau de  $1 \text{ cm}^2$ ) avec  $e_m = 0,2 \text{ mm}$  et  $\gamma_0 = 7^\circ$ .

Doc. Sandvik-Coromant

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| em | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| ce | 1,50 | 1,23 | 1,10 | 1,00 | 0,94 | 0,89 | 0,85 | 0,81 | 0,79 | 0,76 | 0,72 | 0,69 | 0,66 | 0,64 | 0,62 |

Facteurs de correction  $C_e$  pour épaisseurs moyennes de copeaux.

Doc. Sandvik-Coromant

FIGURE 9.19 Forme des copeaux produits en fraisage.

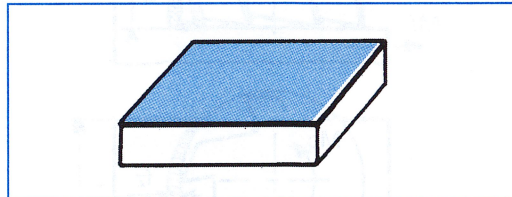


## 2. Surfaçage - dressage

### 2.1 Généralités

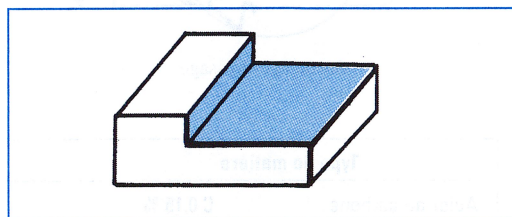
**Surfaçage.** Fraisage d'une surface plane perpendiculaire à l'axe de l'outil-fraise à surfaçer (fig. 9.20).

**FIGURE 9.20**  
Plan fraisé en surfaçage.



**Surfaçage-dressage.** Fraisage simultané de deux surfaces, perpendiculaire et parallèle à l'axe de l'outil-fraise à surfaçer-dresser (fig. 9.21).

**FIGURE 9.21**  
Plans perpendiculaires fraisés en surfaçage-dressage.



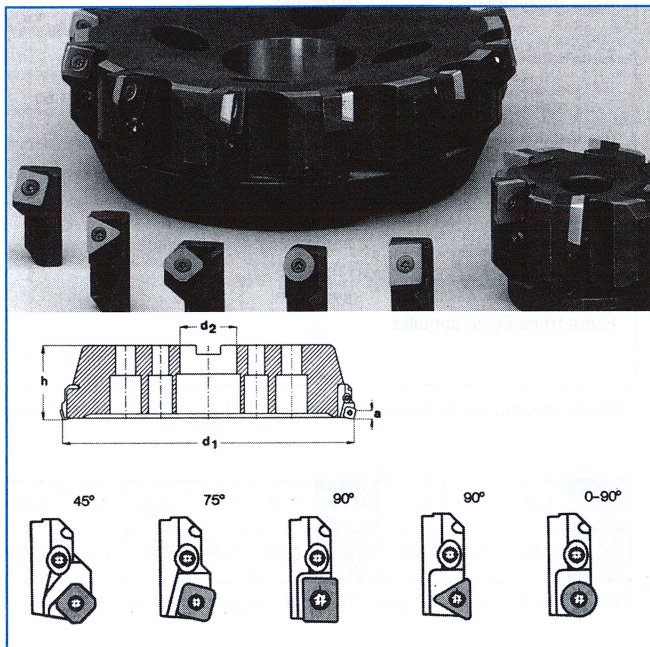
### 2.2 Fraises à surfaçer

Fraises une taille dont la profondeur de passe est limitée par la longueur d'arête des plaquettes. Leurs diamètres nominaux varient de 32 à 630 mm, et généralement entre 50 et 500 mm. Le corps d'outil supporte des plaquettes indexées, et également pour les grands diamètres, des cartouches interchangeables (fig. 9.22).

Sa mise en position et fixation s'effectue à l'aide d'un mandrin porte-fraise; à partir du diamètre 160 mm, avec centreur et fixation au nez de broche de la fraiseuse (fig. 9.22).

L'angle de direction d'arête  $K_r$  de ces fraises varie de 45°; 60°; 75°; 90°; 0 à 90° pour les plaquettes rondes.

L'angle de coupe  $\gamma_0$  est généralement positif.



**FIGURE 9.22** Fraise à surfaçer à cartouches interchangeables.

Doc. Kenamétal



## 2.3

## Fraises à surfacer-dresser

Fraises avec arêtes de coupe parallèles à l'axe du corps d'outil pour dressage d'une face perpendiculaire au surfacage (fig. 9.23).

Les fraises longues sont couramment appelées fraises deux tailles (bien qu'elles coupent essentiellement en périphérie).

Leurs diamètres nominaux varient de 20 à 160 mm, et généralement de 20 à 80 mm.

Leur mise en position et fixation est assurée dans la broche de la fraiseuse, à l'aide d'un mandrin porte-fraise.

**Angle de direction d'arête  $K_r$ .** Il est de  $90^\circ$ , les arêtes de coupe étant situées sur un corps cylindrique pour produire deux surfaces perpendiculaires.

**Arêtes de coupe et goujures de dégagement des copeaux.** Généralement hélicoïdales (angle d'inclinaison d'arête  $\lambda_s$ ) pour attaque progressive des arêtes de coupe : fraises en acier rapide monobloc et lames de carbure brasées ; plaquettes en carbure fixées sur les hélices (fig. 9.23).

**Brise-copeaux.** Fraises hérissons ou monobloc. Sur la denture hélicoïdale, pour fragmenter les copeaux et favoriser leur évacuation en fraisage à gros débit (fig. 9.24 et 9.25).

**Fraise hérisson.** Fraise à plaquettes caractérisée par une denture hélicoïdale discontinue (deux arêtes de coupe assurent une coupe complète avec état de surface de finition) : permet un gros débit de copeaux même pour machine peu puissante.

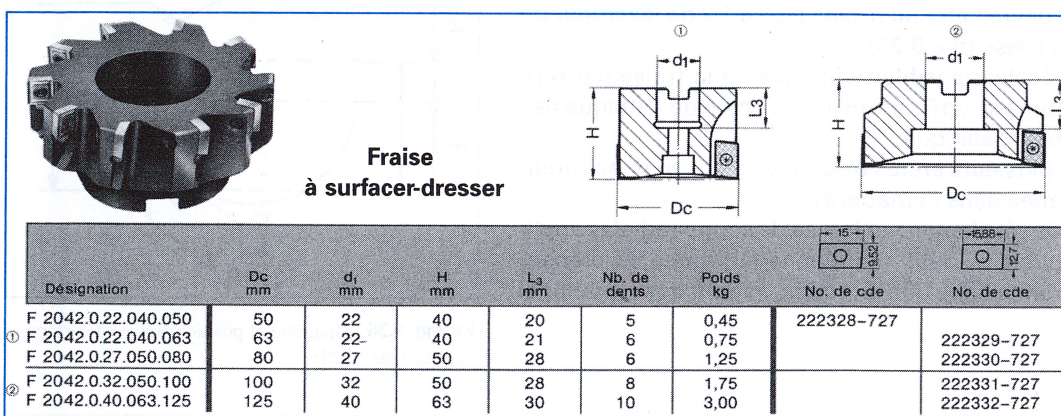


FIGURE 9.23 Fraises à surfacer-dresser.

Doc. Walter

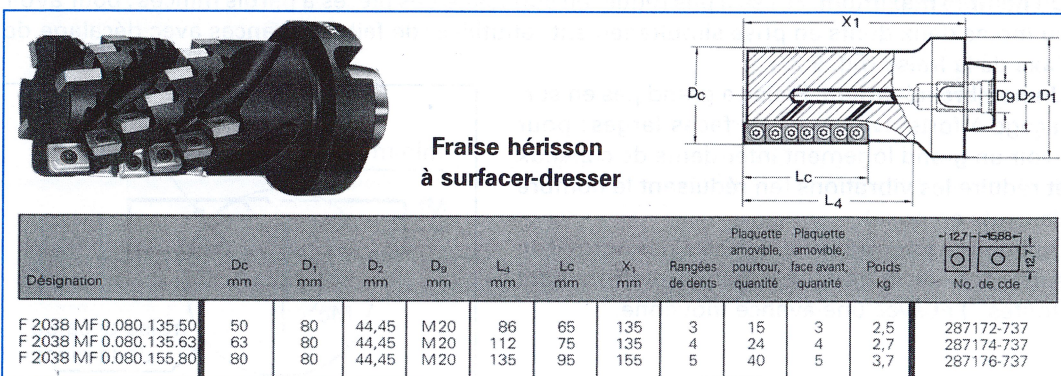
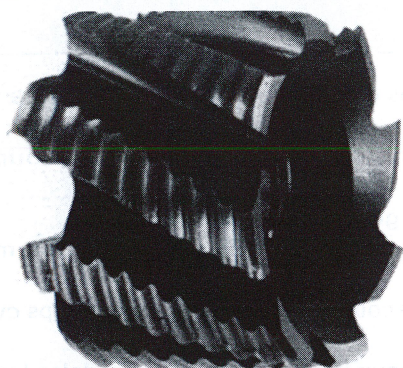


FIGURE 9.24 Fraises hérissons à surfacer-dresser deux tailles.

Doc. Walter





| Diamètre<br>D - js 16 | Hauteur<br>H | Diamètre<br>alésage<br>d - H7 | Nombre<br>de dents<br>Z |
|-----------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------|
| 40                    | 32           | 16                            | 6                       |
| 50                    | 36           | 22                            | 6                       |
| 63                    | 40           | 27                            | 8                       |
| 80                    | 45           | 27                            | 8                       |
| 100                   | 50           | 32                            | 10                      |

**Fraise 2 tailles  
à défoncer**

**FIGURE 9.25** Fraise d'ébauche monobloc.

Doc. Leclerc

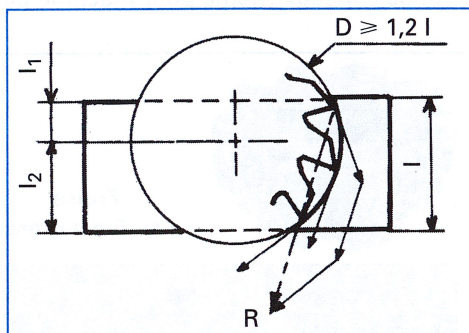
## 2.4 Mise en œuvre du surfacage-dressage

### Diamètre de la fraise

Il devrait être au moins égal à 1,2 de la largeur de la fraise (fig. 9.26).

Décaler sensiblement l'axe de la fraise par rapport à la surface à usiner, du côté de l'attaque des dents, afin que :

- plusieurs arêtes de coupe soient en prise simultanée dans la matière ;
- la résultante des forces de coupe radiales appliquées à l'outil maintienne la broche en précontrainte dans une direction, évitant des vibrations.



**FIGURE 9.26** Diamètre et position fraise en surfacage sur machine à CN.

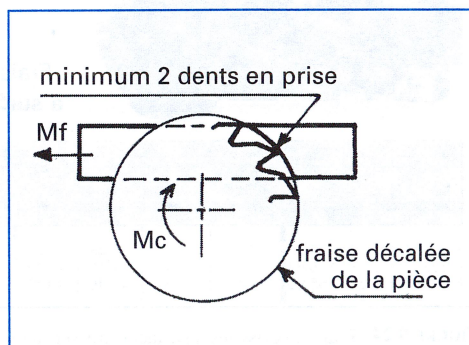
### Nombre de plaquettes de coupe

Pour un diamètre de fraise donné, choisir :

**Un nombre maximum.** Fraise à pas réduit, en surfacage des pièces à parois minces : pour avoir au moins deux dents en prise simultanément ; et utiliser de faibles avances avec décalage de l'axe de la fraise (fig. 9.27).

**Un nombre minimum.** Fraise à grand pas en surfacage à forte avance de surfaces larges : pour avoir un grand logement inter-dents de copeaux et réduire les vibrations (en réduisant le nombre de dents en prise).

**Un nombre intermédiaire.** Fraise à pas normal en surfacage de matériaux à risque d'effritement (fontes...) et avec une avance moyenne.



**FIGURE 9.27**  
Surfacage d'une surface étroite.



**Production optimisée.** Éventuellement, utiliser des fraises à pas différentiel (inter-dents périodiquement différents) permettant de réduire les vibrations par l'irrégularité de fréquence des résonances du couple machine et outil/pièce et porte-pièce (fig. 9.28).

**Plaquettes rondes.** Obtention, en surfacage, d'un bon état de surface, et avec des avances élevées (plaquettes robustes et résistantes avec vibrations) (fig. 9.29).

**Utilisation :** en ébauche avec un taux d'enlèvement de matière élevé ; fraisage de matériaux très durs.

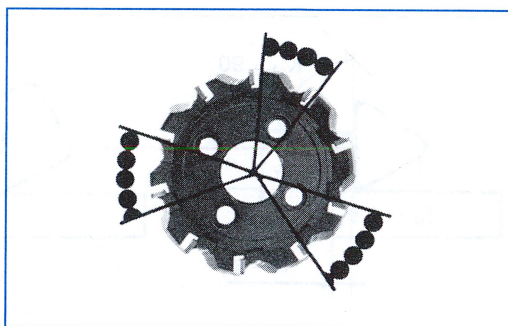


FIGURE 9.28 Fraise trois tailles à pas différentiel.

Doc. Sandvik Coromant

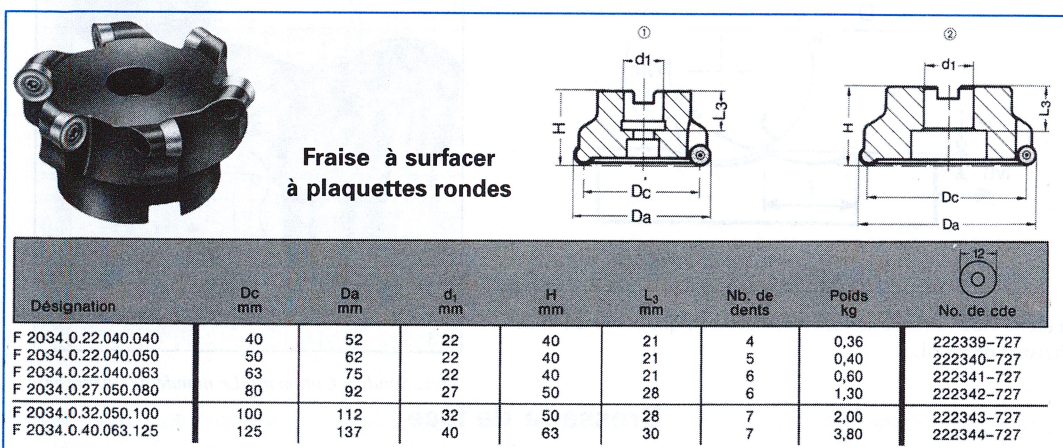


FIGURE 9.29 Fraise à surfacer à plaquettes rondes.

Doc. Walter

## Angle de coupe $\gamma_0$

Choisir  $\gamma_0$  positif pour limiter la puissance nécessaire à la coupe, la stabilité du couple outil/pièce porte-pièce.

Fraisage des matériaux pouvant provoquer l'usure des arêtes de coupe par arête rapportée (aciers inoxydables, à faible teneur en carbone).

Choisir  $\gamma_0$  négatif pour : usinage de la fonte, évitant l'effritement à l'attaque des arêtes de coupe ; des matériaux difficilement usinables par leur dureté ; le fraisage très discontinu provoquant des chocs fréquents sur les becs d'outil.

## Angle de direction d'arête $\kappa_r$

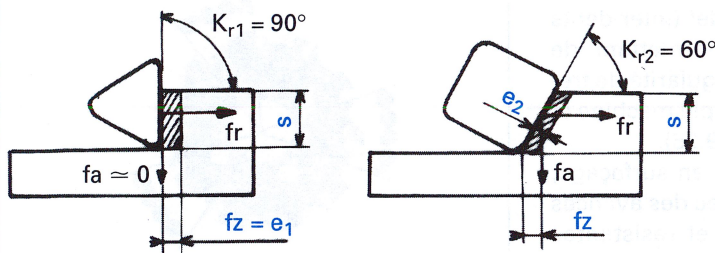
Pour une avance  $f_z$ , l'épaisseur du copeau diminue si  $\kappa_r$  diminue, réduisant la pression de coupe sur les plaquettes (fig. 9.30) : choisir  $\kappa_r = 45^\circ$  à  $75^\circ$  en surfacage de pièces rigides.

Pour  $\kappa_r = 90^\circ$ , la force axiale est réduite au minimum : à choisir en surfacage de pièces minces pour éviter un fléchissement (fig. 9.30).

Matériaux à risque d'effritement à l'attaque (fontes...) : choisir  $\kappa_r = 45^\circ$

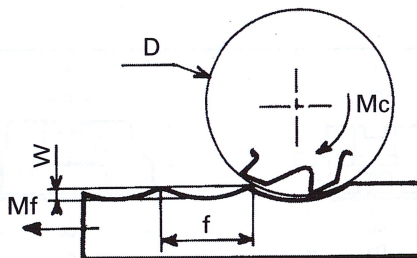
Matériaux ayant tendance au collage sur la face de coupe (aciers inoxydables, titane, aciers extra-doux) : choisir  $\kappa_r = 90^\circ$  (et  $\gamma_0$  positif).



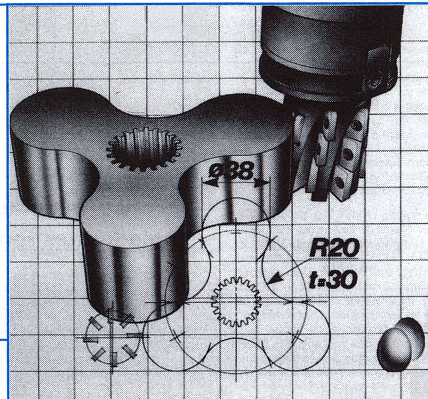


**FIGURE 9.30**

Épaisseurs des copeaux en fonction de  $K_r$ .



**FIGURE 9.31** État de surface macrogéométrique et opération de fraisage de profil.



Doc. Sandvik Coromant «Le monde de l'usinage».

### Dressage de face

La fraise travaille « en roulant » sur la surface à obtenir : l'ondulation de surface dépendra du « saut » éventuel de dents.

Éviter tout saut de dents, par la rigidité outil-porte outil.

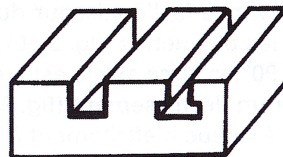
Théoriquement, l'ondulation obtenue par le saut d'outil dépend du diamètre de fraise et de l'avance par tour, ce qui donnerait  $W = f^2/4D$  (fig. 9.31).

## 3. Rainurage

### 3.1 Généralités

Fraisage simultané de trois surfaces (deux surfaces parallèles et une qui leur est perpendiculaire) éventuellement quatre surfaces, avec les outils-fraises à rainurer (fig. 9.32).

On utilise les fraises à rainurer à queue, en T, trois tailles, scie.



**FIGURE 9.32** Surfaces associées obtenues en rainurage.



### 3.2 Fraises à rainurer à queue

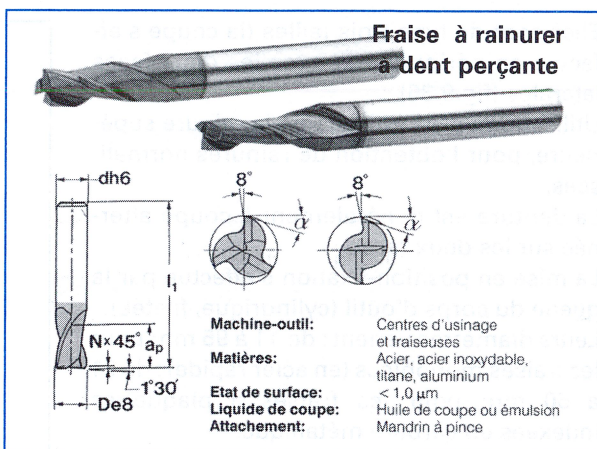
La coupe peut s'effectuer également en bout, sur une faible profondeur (maximum 0,5 du diamètre): prise de passe en pleine matière, en plongée ou en oblique (fig. 9.33).

Fraises monoblocs (acier rapide, carbure, coronite) à queue cylindrique de petits diamètres (maxi = 12 mm) avec 2 à 4 dents.

**FIGURE 9.33**

Fraises à rainurer monoblocs à dent perçante en coronite.

*Doc. Sandvik Coromant*



### 3.3

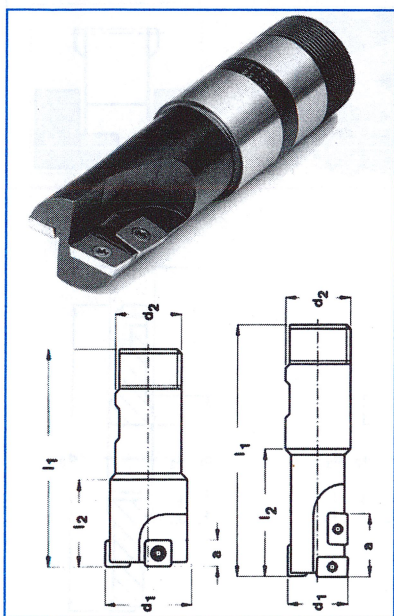
### Fraises à rainurer coupe centrale, à queue, ou à rainurer-plonger ou à dent perçante

Utiliser pour fraisage de rainures avec prise de passe en plongée, perçage-lamage à fond plat (fig. 9.34 et 9.35).

Leurs diamètres nominaux varient de: 2 à 63 mm pour les fraises monoblocs (en acier rapide, avec deux dents et en coronite de Sandvik avec quatre dents); de 12 à 40 mm pour les fraises à plaquettes indexées (en carbure métallique avec ou sans rayon de bec, (ou rondes) de une à trois dents selon les diamètres.

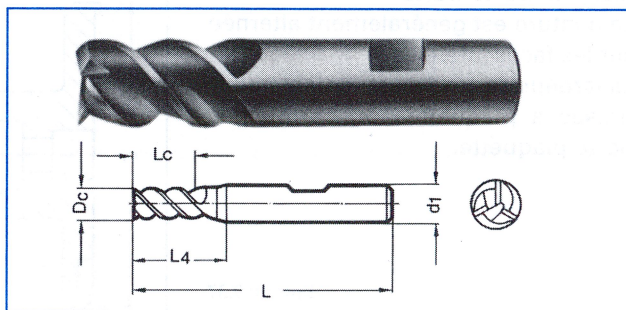
**Goujures de dégagement de copeaux.** Droites pour les fraises en carbure; hélicoïdales pour les fraises monoblocs.

**Mise en position fixation.** Elle s'effectue par la queue du corps d'outil (cylindrique, fileté, conique, selon les diamètres).



**FIGURE 9.34** Fraise à rainurer à plaquettes et dent perçante.

*Doc. Kennamétal*



**FIGURE 9.35** Fraise à rainurer à dent perçante, en carbure monobloc.

*Doc. Walter*



### 3.4 Fraises à rainurer en T

Elles sont de type trois tailles (la coupe s'effectue en périphérie et avec les deux faces latérales (fig.9.36).

Utilisation après fraisage de la rainure supérieure, pour l'obtention de rainures normalisées.

La denture est généralement à coupe alternée sur les deux faces.

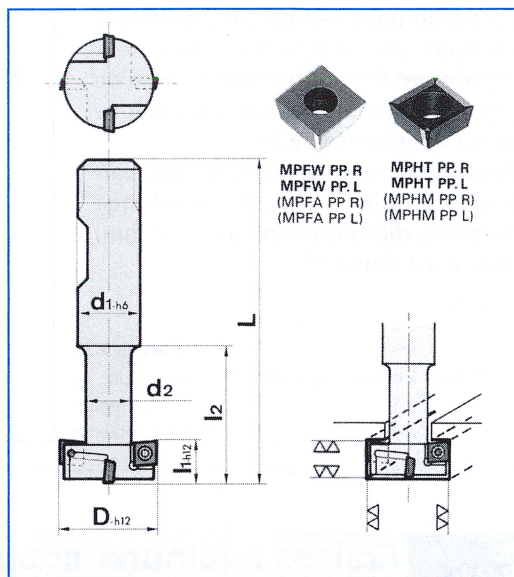
La mise en position-fixation s'effectue par la queue du corps d'outil (cylindrique, filetée).

Leurs diamètres varient: de 11 à 95 mm pour les fraises monoblocs (en acier rapide); de 21 à 50 mm pour les fraises à plaquettes indexées en carbure métallique.

FIGURE 9.36

Fraise à rainurer en T à plaquettes carbure.

Doc. Stellram



### 3.5 Fraises à rainurer trois tailles, ou fraises-disques

La coupe s'effectue en périphérie et avec les arêtes de coupe situées sur les faces latérales (fig.9.37), en fraisage pleine matière sous forte avance.

Leurs diamètres nominaux varient généralement de 125 à 250 mm.

La mise en position-fixation s'effectue par un alésage et clavetage ou moyeu et tenon à monter sur arbre ou mandrin porte-fraise.

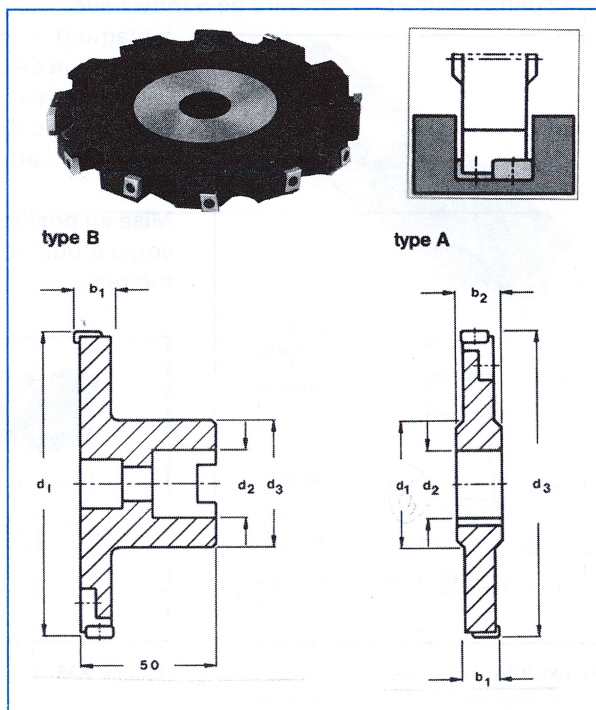
La denture est généralement alternée sur les faces latérales.

La largeur de coupe est réglable pour fraises à plaquettes ou cartouches porte-plaquette.

FIGURE 9.37

Fraise à rainurer trois tailles à plaquettes carbure et largeur de coupe réglable.

Doc. Kénamétal





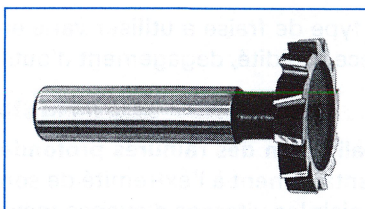
### 3.6 Fraises à rainurer pour clavettes disques (woodruff)

Fraises à queue une taille à denture alternée, largeur calibrée e8 de 2,5 à 10 mm (outils Leclerc) (fig. 9.38).

FIGURE 9.38

Fraise à rainurer pour clavette disque monobloc.

Doc. Leclerc



### 3.7 Fraises-scies

De type à rainurer trois tailles utilisées pour : tronçonnage, fraisage de rainures étroites, ébauche de dentures.

Fraisage de l'ensemble des matériaux usinés, sous fortes avances avec une précision de 0,2 mm. Leurs diamètres varient de 80 à 315 mm et les épaisseurs de 6 à 13 mm pour les fraises-scies à plaquettes indexées en carbure métallique ; pour les fraises-scies monoblocs (acier rapide), leurs diamètres varient de 80 à 250 mm et les épaisseurs de 1 à 6 mm.

Leur faible épaisseur les rend sensibles aux efforts axiaux.

La mise en position est assurée par alésage et clavetage ou moyeu et tenon, sur arbre ou mandrin.

#### Fraises-scies en acier rapide

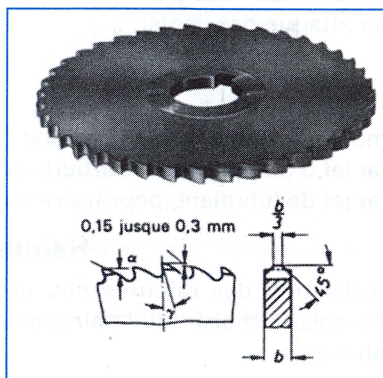
Elles ont différentes dentures (droite, Acmée, Heller...) (voir chapitre « Procédés de découpe »).

La denture Heller est productive avec les dents alternées (droites hautes chanfreinées et basses de quelques dixièmes de mm) : évite les risques de bourrage et diminue l'effort de coupe (fig. 9.39).

FIGURE 9.39

Fraise-scie monobloc

Doc. Leclerc



#### Fraises-scies en carbure métallique

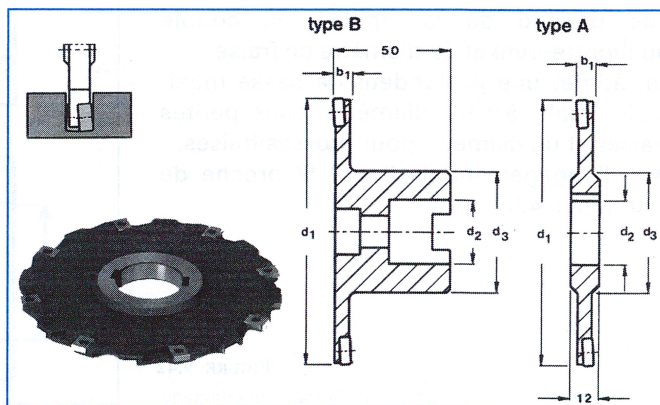
La coupe est alternée, chaque plaquette coupant en périphérie d'un seul côté.

La largeur de coupe est réglable (fig. 9.40).

FIGURE 9.40

Fraise-scie à plaquettes carbure et largeur de coupe réglable.

Doc. Kénamétal





### 3.8 Mise en œuvre du rainurage

Le type de fraise à utiliser varie en fonction de : la quantité de matière à enlever, la forme de pièce (rigidité, dégagement d'outil, fixation).

#### Rainurage avec fraise-disque

**Réalisation des rainures profondes en une seule passe.** L'outil peut être maintenu, complètement à l'extrémité de son arbre porte-fraise (gros débit).

Choisir les vitesses d'avance maximales indiquées dans les tableaux des fabricants.

Utiliser une fraise-disque d'un diamètre assurant au moins deux dents en prise simultanée, (cas du rainurage de faible profondeur), l'engagement de fraise étant réduit.

Choisir la denture alternée avec dents à inclinaison d'arête : réduction des contraintes à l'attaque des dents.

#### Rainures en train de fraises

Un volant d'inertie de grand diamètre atténue les vibrations causées par l'intermittence des attaques de dents (fraises en carbure à grand pas de dentures) (fig. 9.41).

Un palier supplémentaire, éventuellement, assure la stabilité du couple outil/portepièce.

Décaler angulairement, si possible, les fraises entre elles pour limiter les vibrations par attaque des dents.

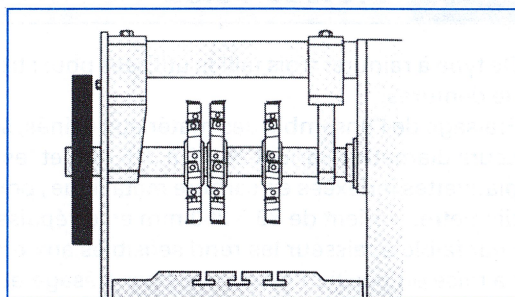


FIGURE 9.41 Train de fraises-disques montées avec volant d'inertie et palier support.

Doc. Sandvik Coromant

#### Lubrification

Impérative en rainurage profond pour éviter le bourrage des copeaux dans les inter-dents.

Par jet d'air pour fraise carbure, évacuation des copeaux.

Par jet de lubrifiant, pour fraise en acier rapide, évacuation des copeaux et réfrigération.

#### Rainurage avec fraise à queue

Réalisation des rainures peu profondes en une ou plusieurs passes, avec des vitesses d'avance à choisir minimales, en particulier pour les petits diamètres, dans les tableaux des fabricants.

#### Profondeur de passe

Elle dépend de la rigidité du couple outil/porte-outil et du diamètre de fraise.

On admet une profondeur de passe maximale égale à :  $1/2$  diamètre pour petites fraises et un diamètre pour grosses fraises.

Arc d'engagement de l'outil  $\Psi$  proche de  $180^\circ$  (fig. 9.42).

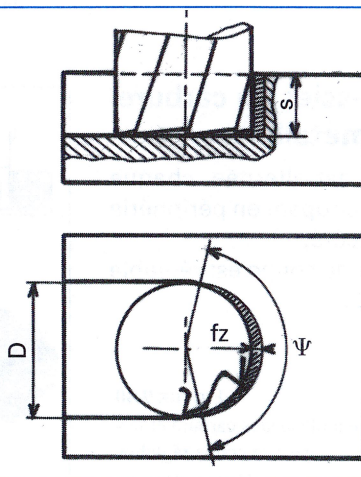


FIGURE 9.42

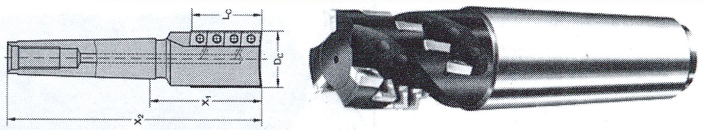
Engagement de la fraise en rainurage.



Denture hélicoïdale.  
Évite le travail au choc,  
par l'attaque progres-  
sive des dents dans la  
matière (fig. 9.43).

**FIGURE 9.43**

Fraise à rainurer à plaquettes  
sur hélice (hérisson)  
Doc. Walter



| Désignation         | D <sub>c</sub><br>mm | Queue | X <sub>1</sub><br>mm | X <sub>2</sub><br>mm | L <sub>c</sub><br>mm | Z | $\frac{Z}{mm}$ | Nb. de<br>plaq. | Type            |
|---------------------|----------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|---|----------------|-----------------|-----------------|
| F 3038.M.020.Z01.24 | 20                   | CM 2  | 50                   | 114                  | 24                   | 1 | 0,2            | 4               | AP . T 0903 . . |
| F 3038.M.025.Z02.32 | 25                   | CM 2  | 55                   | 119                  | 32                   | 2 | 0,3            | 8               | AP . T 0903 . . |
| F 3038.M.032.Z03.40 | 32                   | CM 3  | 70                   | 151                  | 40                   | 3 | 0,7            | 15              | AP . T 0903 . . |
| F 3038.M.040.Z03.56 | 40                   | CM 4  | 90                   | 192,5                | 56                   | 3 | 1,4            | 21              | AP . T 0903 . . |

## Rainurage en pleine matière

Utiliser des fraises à coupe centrale (une dent en bout, allant jusqu'à l'axe de l'outil, est per-  
çante : prise de passe en plongée).

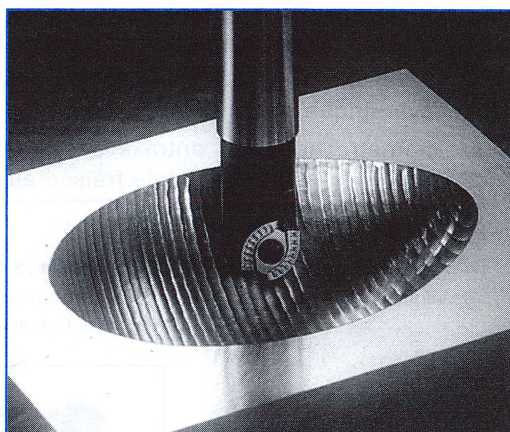
## 4. Fraisage de profils

### 4.1 Généralités

Fraisage de profils courbes, avec des trajec-  
toires multidirectionnelles de formes d'inté-  
rieur et d'extérieur, débouchantes ou non,  
avec des fraises à bout sphérique (à copier)  
ou rayonné (à détourer) (fig. 9.44).

**FIGURE 9.44**

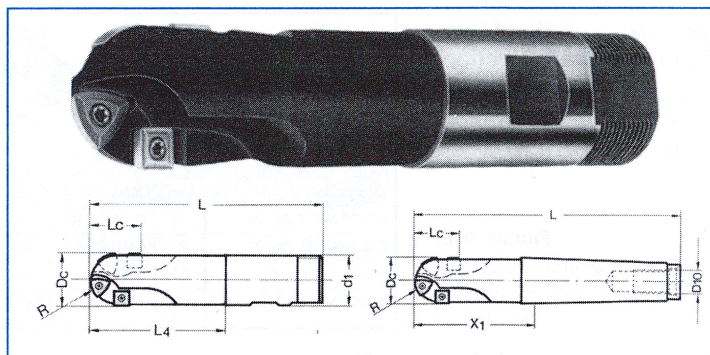
Opération de fraisage de profil (surface  
concave) avec fraise à bout sphérique.  
Doc. Sandvik Coromant



### 4.2 Fraises à copier ou hémisphériques

À denture hélicoïdale droite ou inclinée (plaquettes rapportées) avec une arête de coupe allant  
jusqu'au centre, pour la prise de passe en plongée dans la matière et le suivi de profils courbes  
(fig. 9.44 et 9.45).





**FIGURE 9.45**

Fraise à copier à plaquettes carbure.

*Doc. Walter*

Leurs diamètres varient de : 10 à 50 mm pour les fraises à plaquette(s) indexée(s) en carbure métallique ; de 5 à 25 mm, en général, pour les fraises monoblocs en acier rapide. La mise en position-fixation est assurée par queue (cylindrique, Morse, Varilock...).

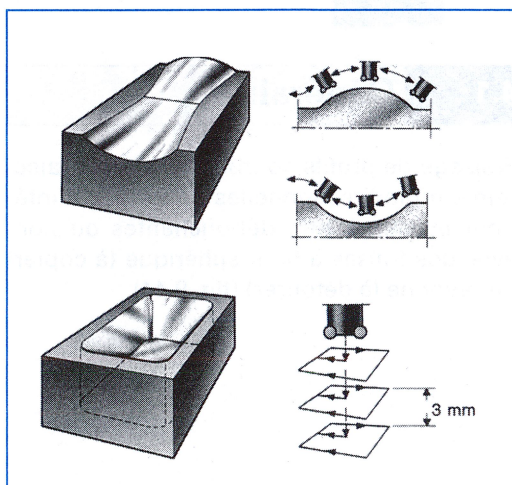
### 4.3

## Fraises à détourer, ou en bout à plaquettes rondes

Fraisage de formes réglées, débouchantes ou non, en usinage d'extérieur et d'intérieur (en particulier) avec prise de passe en plongée dans la matière (quelques mm au maximum) (fig. 9.46 et 9.47).

Elles sont à plaquettes rondes indexées, avec des diamètres extérieurs variant de 12 à 40 mm généralement, en position-fixation par queue (cylindrique ou conique).

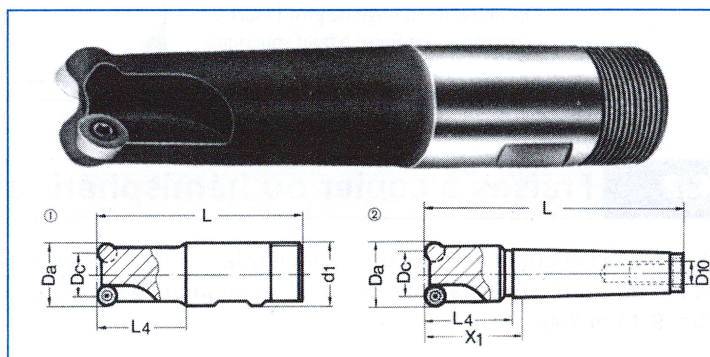
*Nota :* diamètre nominal: entraxe des plaquettes (surface plane maximale fraisée en bout).



**FIGURE 9.46**

Opérations de détourage avec fraises à plaquettes rondes.

*Doc. Sandvik Coromant*



**FIGURE 9.47**

Fraises à détourer à plaquettes rondes.

*Doc. Walter*



## Utilisation

En ébauche dans des matériaux difficiles à usiner (matrices, moules...) avec important enlèvement de matière (mise en position-fixation par alésage pour fraises  $\varnothing 35$  à  $90$  mm). Leurs diamètres nominaux varient de  $25$  à  $50$  mm avec une ou deux plaquettes indexées en carbure métallique.

La mise en position-fixation est assurée par attachement à queue conique (Varilock et Weldon/Whistle Notch permettant le réglage axial).

**Matériaux tendres.** Ébauche avec fraises à détourer spécifique (de conception Sandvik) : important enlèvement de matière à grande vitesse de coupe et prise de passe combinée avec l'avance (pente de  $15^\circ$ ) (fig. 9.48).

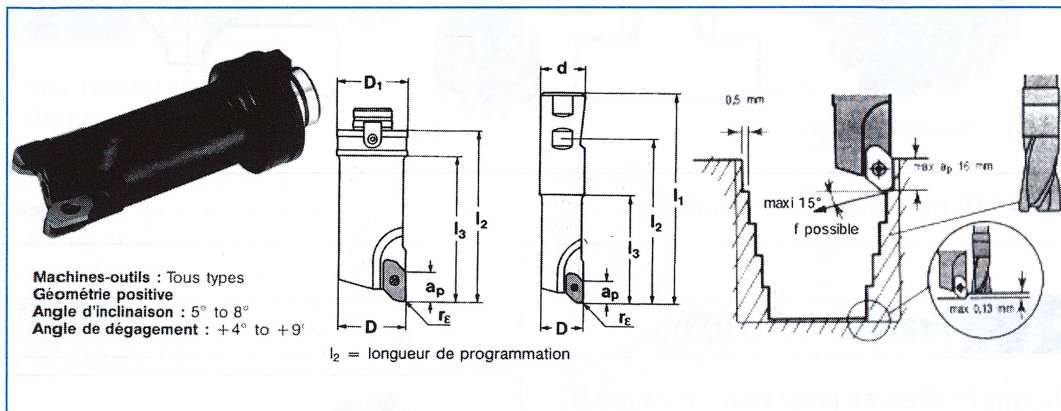


FIGURE 9.48 Fraises à détourer pour matériaux tendres et phase d'usinage.

Doc. Sandvik Coromant

9

## 5. Fraisage de forme

### 5.1

### Généralités

Fraisage de formes données avec des fraises conçues au profil à obtenir.

Les fraises utilisées, monoblocs (acier rapide) ou à plaquettes carbure, sont des types 2 tailles, 3 tailles, à queue.

La mise en position-fixation s'effectue par alésage ou à queue (cylindrique, conique).

### 5.2

### Fraises concaves

De types 3 tailles et à queue (fig. 9.49).

Les fraises concaves type 3 tailles ont un profil en demi-cercle ou quart de cercle (à gauche ou à droite).



## 6. Mise en œuvre du fraisage

### 6.1 Trajectoires des fraises (mouvements d'avance)

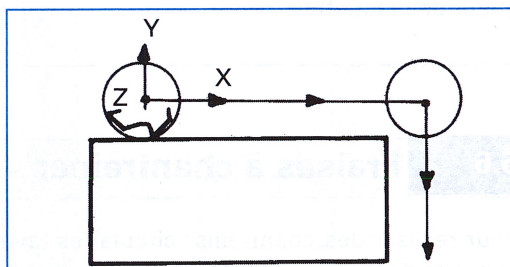
#### Paraxial

Trajectoires suivant un axe (X ou Y) (fig. 9.54).

C'est la seule possibilité avec fraiseuses à commande mécanique.

FIGURE 9.54

Fraisage paraxial.



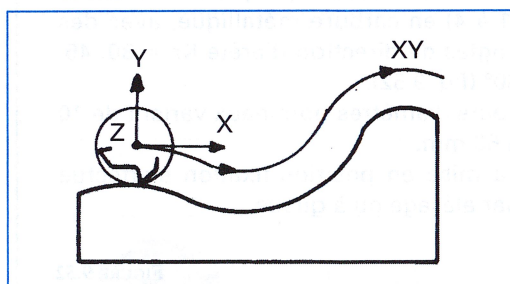
#### Contournage plan

Trajectoires pouvant être quelconques dans le plan : mouvements simultanés sur les 2 axes X-Y.

Rayon de courbure intérieur minimum d'un profil fraisé en contournage : rayon de la fraise utilisée (fig. 9.55).

FIGURE 9.55

Fraisage contournage.



#### Contournage dans l'espace

Trajectoires quelconques dans l'espace dans les limites de l'outil : mouvements simultanés sur les 3 axes X-Y-Z, avec un logiciel de fraisage des surfaces gauches (exemple Numaform de NUM SA) et fraise à bout sphérique.

Rayon de courbure intérieur minimum d'un profil fraisé : rayon d'extrémité de la fraise.

#### Surfaces gauches

Usinage sur centre d'usinage avec un logiciel de programmation spécifique à ce type de forme

### 6.2 Mise en position des pièces

À effectuer sans déformer la pièce sous les fixations et en s'opposant aux importants efforts de coupe.

**Porte-pièces spécifiques.** Nécessaire pour un grand nombre de pièces, avec leur maintien efficace, assurant : les précisions dimensionnelle et géométrique, la répétabilité de production, l'utilisation rationnelle des outils (non-rupture).

**Appuis des pièces.** Opposés aux efforts de coupe (sens d'avance et position relative de la fraise durant son cycle d'usinage).

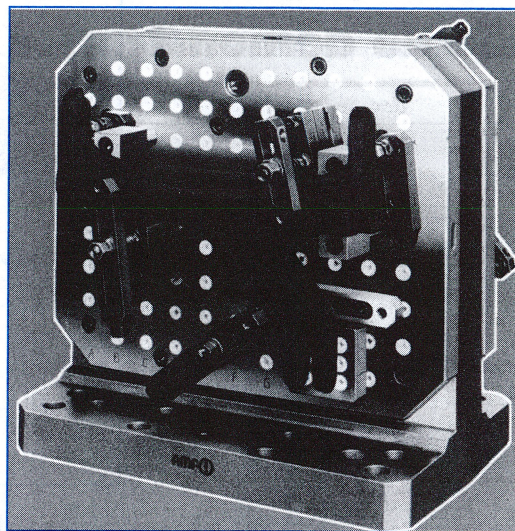
**Appuis complémentaires** allant à la pièce pour assurer, le cas échéant, son maintien efficace (flexion, vibrations...).



Éléments de mise en position et fixation : doivent permettre l'accès des outils d'un maximum de surfaces à usiner (sur plusieurs faces).

### **Pièces « plates » pouvant se déformer sous les efforts de coupe**

À soutenir localement pour s'opposer au fléchissement durant la coupe (fig. 9.56), par : appuis ponctuels sous surfaces brutes ; appuis-plans (règle, grande surface plane) sous surfaces usinées ; appuis complémentaires venant à la pièce.



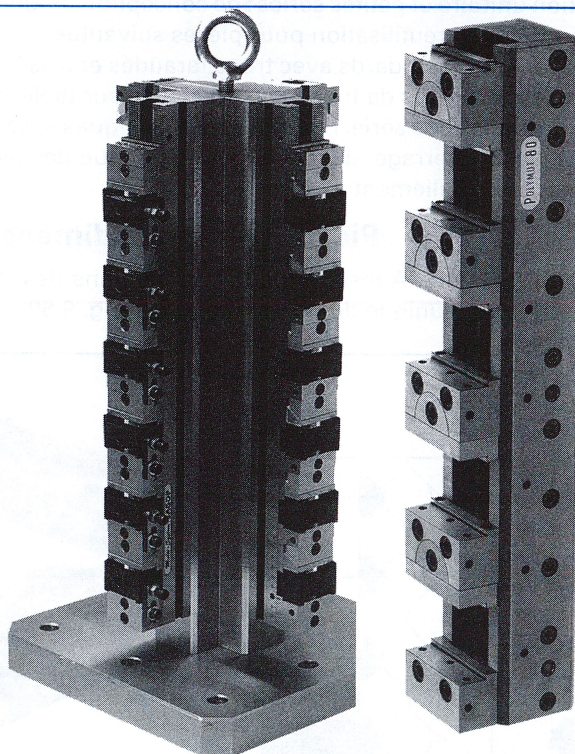
**FIGURE 9.56**

Pièce déformable installée sur porte-pièce.

*Doc. Amf*

### **Pièces plates usinées dans du brut débité de profilé**

À maintenir en étau à mors parallèles de précision : outillage flexible élémentaire (fig. 9.57) ; sur porte-pièces spécifiques (série).



**FIGURE 9.57**

Étaux multiples pour série.

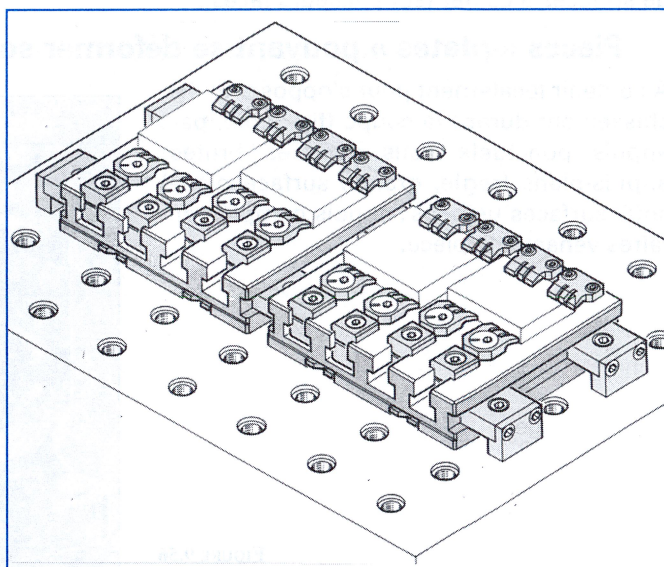
Multisystem (*Doc. Sagop*)

Polymut (*Doc. Évard précision S.A.*)



## Pièces plates longues

À fixer directement sur la table-machine, par : clames, brides, attraction magnétique, aspiration (grandes pièces non magnétiques) (fig. 9.58).



**FIGURE 9.58**

Schéma de fixation de pièces plates par clames.  
*Doc. d'Andréa*

## Pièces plates brutes de forgeage ou moulage

À maintenir dans des portes-pièces spécifiques.

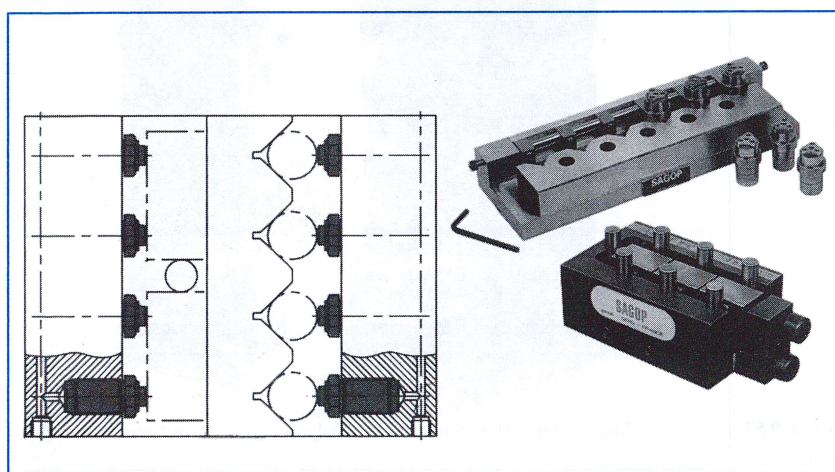
En production unitaire et petites séries : de conception modulaire avec des éléments standards (construction rapide, réutilisation pour pièces suivantes).

Platines ou semelles standards avec trous taraudés et alésés et/ou rainures en T, adaptables à l'ensemble des machines de fraisage d'un atelier, sur table, dé ou équerre, palette.

En production de grande série. Porte-pièces spécifiques avec : un maximum d'éléments modulaires et standards ; serrage, desserrage automatique des pièces ; alimentation et évacuation automatique, éventuellement.

## Pièces de petites dimensions

En production de série. À installer en panoplie, dans des chargeurs à fixer sur la machine ; porte-pièces à action unique du bridage multiple (fig. 9.59).



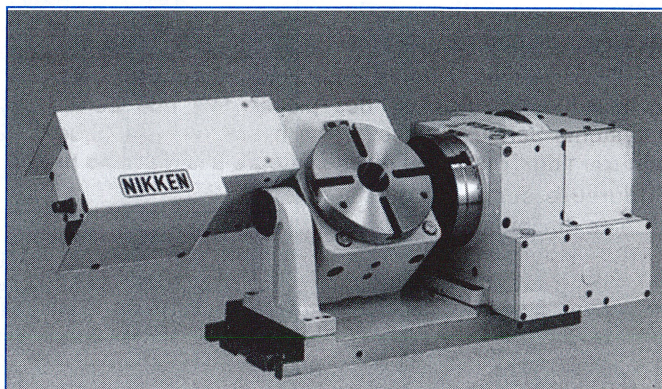
**FIGURE 9.59**

Fixation de petites pièces par action unique.  
*Doc. AmF et Sagop*



De formes diverses et comportant des usinages suivant plusieurs sens. À maintenir sur plateau-diviseur automatique (piloté par CN) sur fraiseuse ou centre d'usinage à broche verticale de préférence (facilité d'installation des pièces) (fig. 9. 60).

Avec mandrin à serrage concentrique de 2, 3 ou 4 mors. Avec étau de précision, à mors de forme interchangeable.



**FIGURE 9.60** Plateau circulaire inclinable à CN.

*Doc. Nikken*

### Pièces « cubiques »

En production unitaire et petites séries. Porte-pièces de conception modulaire standard.

En production de grande série. Porte-pièces spécifiques, avec éléments standards ou non, automatisation du serrage-desserrage des pièces.

### Pièces volumineuses

À usiner sur fraiseuse à portique, avec accès des outils à l'ensemble des formes à usiner sur la pièce en appui sur table.

## 6.3 Conception des outillages porte-pièces

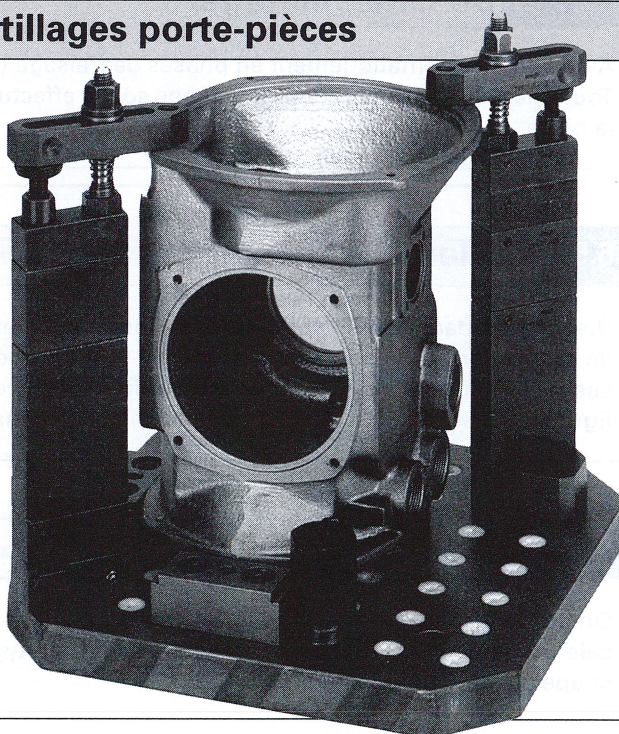
9

Conçus généralement pour les diverses pièces plates et cubiques, ils devront :

- être rigides (efforts de coupe importants, travail aux chocs).

Laisser l'accès à tous les outils à mettre en œuvre pour un maximum de côtés de la pièce, dans une phase (fig. 9.61).

Limiter à 2 phases (en général) l'usinage des pièces, sauf contraintes technologiques.



**FIGURE 9.61**

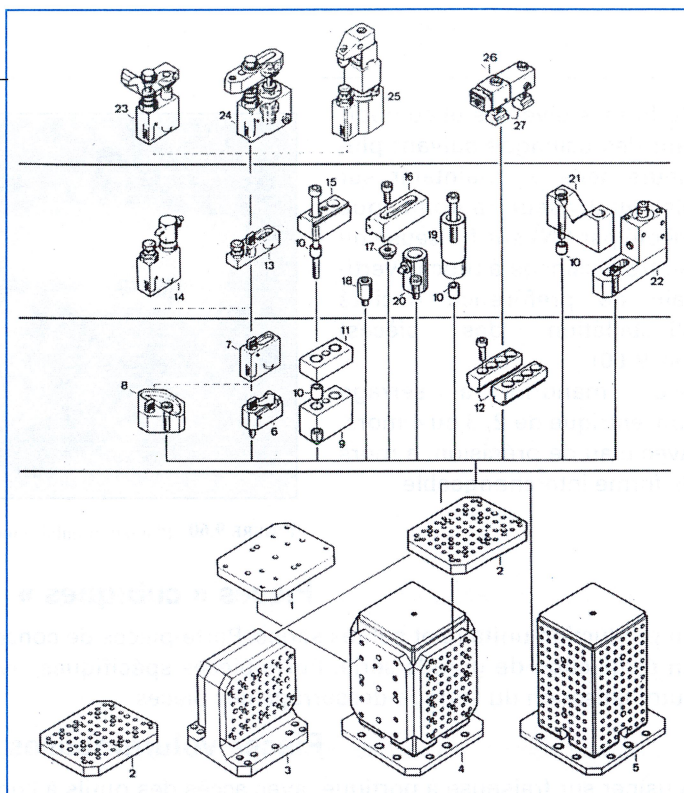
Porte-pièce de conception modulaire

*Doc. Amf*



– être de conception modulaire avec éléments standards et semelle maillée de trous et/ou de rainures (fig. 9.62).

Assurer leur mise en place rigoureuse sur table ou palette de machine.



**FIGURE 9.62**

Éléments modulaires pour conception de porte-pièces.

*Doc. Amf*

## 6.4

### Opérations d'usinage autres que fraisage (alésage, perçage, filetage)

À effectuer systématiquement en phases de fraisage (sur machines à CN).

Toutes les diverses opérations d'usinage sont à effectuer successivement pour chaque côté de la pièce.

## 6.5

### Menus d'usinage

Disponibles dans les CN pour optimiser production et qualité, et simplifier la mise en œuvre de production (simulation de cycles, sous-programmes).

Les cycles d'usinage génèrent les trajectoires à décrire par l'outil utilisé, avec simulation de la figure (poches de matière avec ou sans îlot, contournage d'un alésage).

## 6.6

### Machines

On utilise les fraiseuses à broche verticale et à portique, les centres d'usinage à broche verticale ou horizontale. Toutes ces machines sont de type universel: opérations d'usinage par coupe autres que fraisage.



## Fraiseuses à CN

Généralement à broche verticale. Avec les 3 axes (X-Y-Z) automatisés : production flexible, de la pièce unitaire à la série, en fraisage paraxial (X ou Y) et en contournage plan (X-Y).

Capacité des machines : volume capable sur la surface de table.

Tête porte-broche indexable en diverses positions, sur certaines machines. Usinage possible d'un maximum de faces dans une phase.

## Centres d'usinage à broche horizontale

Avec 4 axes automatisés (X-Y-Z et C, axe circulaire).

Usinage sur toutes les surfaces d'une pièce accessibles dans la phase (pièces cubiques) par indexage de la palette porte-pièce(s).

Capacité des machines - 200 à 800 mm au cube.

### Utilisation en production flexible et continue, par l'automatisation :

- Du changement d'outils, avec magasin intégré à la machine : (12 à 100 outils) pour réaliser l'ensemble des diverses opérations sur les pièces dédiées à une machine.
- De l'indexage de palette situant chaque face de pièce(s) à usiner dans la phase : pièce cubique, à l'unité, au milieu de la palette ; pièces plates, identiques ou non, fixées en nombre sur un appui vertical (cube, équerre).
- Du changement automatique des palettes (station travail avec station attente).
- De la multiprogrammation pour appel des différents programmes correspondant aux diverses pièces se succédant (production juste à temps).
- De gestion des outils par remplacement automatique d'un outil usagé par l'outil-frère. (Contrôle par mesure du couple à la broche, calcul durée de vie d'arête).

### Palettisation

Les palettes, généralement carrées, sont de dimensions standards, déterminant la capacité-machine : cube capable donné par les côtés de la palette (ou le diamètre pour palette cylindrique).

Deux palettes équipent la plupart des centres d'usinage.

Un carrousel de palettes relié au centre d'usinage lui confère une grande autonomie de fonctionnement (cellules flexibles d'usinage).

## Centres d'usinage à broche verticale

Avec 4 axes automatisés (X-Y-Z et A ou B, axes circulaires).

Usinage de pièces, petites généralement, successivement sur plusieurs faces sans démontage.

Maintien en l'air ou en mixte (mandrins à mors, plateau circulaire, contre-pointe...).

### Cinquième axe

(X-Y-Z, BC ou AC) pour : accéder à des faces de positions diverses ; réaliser des surfaces gauches, sans démontage de la pièce (fig. 9.63).

Usinage de pièces d'outillage (moules).

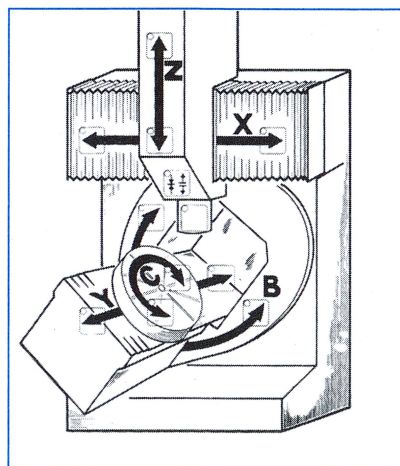


FIGURE 9.63

Schéma de centre d'usinage à broche verticale, 5 axes.

Doc. CMS



## 6.7 Fraiseuses à portique

De grande capacité, avec table porte-pièce horizontale.

Usinage des pièces volumineuses. Avec plusieurs broches situées verticalement et horizontalement, accès à toutes les faces de la pièce pour son usinage total dans une position.

## 6.8 Fraiseuses universelles avec règles de mesure des déplacements

À broche verticale pour travaux unitaires en paraxial, avec tête porte-broche orientable.