

# Tournage

par Alain PASSERON

Ancien élève de l'École nationale supérieure de Cachan  
Professeur agrégé de Génie mécanique

<b>1. Principe du tournage .....</b>	BM 7 086 - 3
1.1 Opérations de base .....	— 3
1.2 Paramètres de coupe en tournage.....	— 4
<b>2. Géométrie des outils de tournage .....</b>	— 7
2.1 Définitions des principaux plans et angles de l'outil (NF E 66-503) .....	— 7
2.2 Angle de coupe latéral $\gamma_f$ .....	— 9
2.3 Angle de dépouille latéral $\alpha_f$ .....	— 9
2.4 Évolution de ces angles en travail .....	— 9
2.5 Rayon de bec .....	— 10
2.6 Angle de pointe de l'outil.....	— 11
<b>3. Propriétés des matériaux usinés et usinabilité.....</b>	— 12
3.1 Importance du problème .....	— 12
<b>4. Choix d'un outil de coupe à plaque rapportée.....</b>	— 12
4.1 Systèmes de fixation de la plaquette.....	— 12
4.2 Dimension et type du porte-plaquette.....	— 13
4.3 Forme et dimension de la plaquette .....	— 14
4.4 Longueur effective de coupe $\ell_a$ .....	— 14
4.5 Rayon de bec .....	— 15
4.6 Choix du type de plaquette (désignation Sandvik-Coromant) .....	— 17
4.7 Matières de la plaquette .....	— 20
<b>Références bibliographiques .....</b>	— 22

**L**e tournage est un procédé de **fabrication mécanique par coupe** (*enlèvement de matière*) mettant en jeu des outils à arête unique.

La pièce est animée d'un mouvement de rotation (*mouvement de coupe*), qui est le mouvement principal du procédé (figure A).

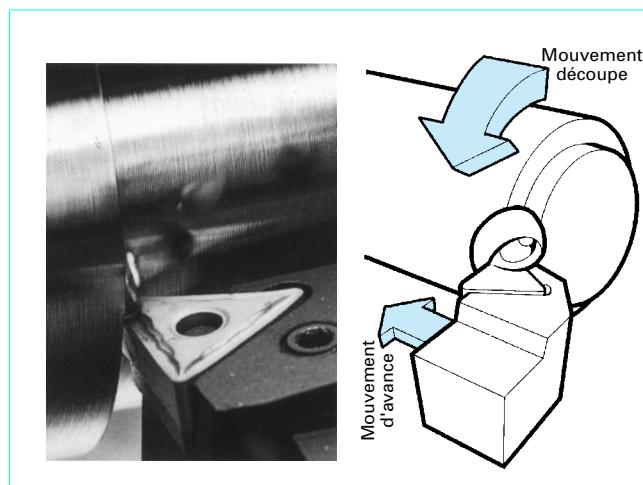


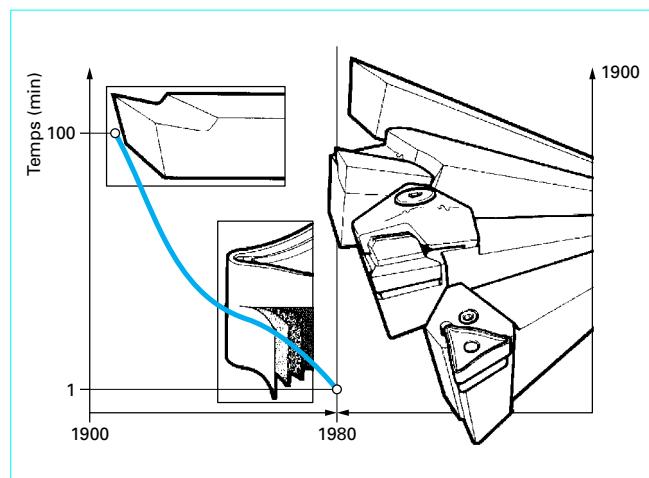
Figure A – Tournage avec outil à arête unique

*L'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce.*

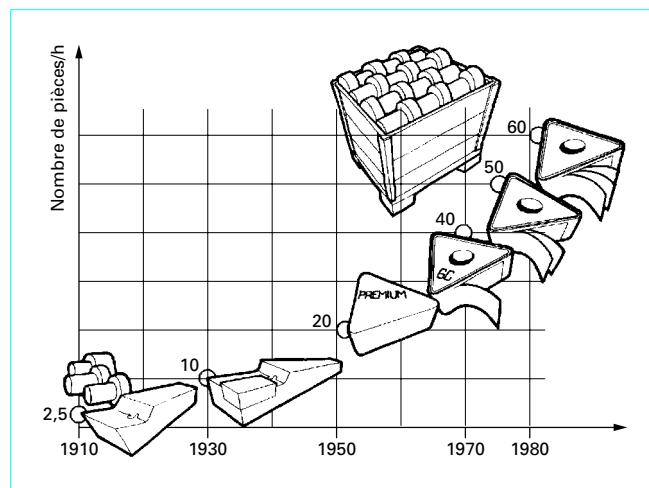
*La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes).*

*Bien que la cinématique du procédé et les outils soient assez simples, ce procédé a fait l'objet d'une grande optimisation à cause de l'importance de ses applications.*

Cette optimisation a porté sur les machines (tours CN), sur les outils (les vitesses de coupe industrielles ayant pratiquement été multipliées par 10 en 50 ans...), sur les porte-pièces, sur le chargement/déchargement qui s'est automatisé... et même sur les pièces dont les matériaux peuvent parfois être améliorés sur le plan de l'usinabilité (figures **B** et **C**).



**Figure B – Évolution des outils et des temps de coupe**



**Figure C – Envol de la productivité depuis le début du siècle**

*Une opération de tournage qui prenait 100 min en 1900 avec un outil en acier était réduite à 1 min en 1980, avec un outil en carbure revêtu.*

*Cet article a été élaboré d'après la documentation SANDVIK [1].*

# 1. Principe du tournage

## 1.1 Opérations de base

En tournage extérieur, on peut souvent dissocier les pièces complexes en profils de coupe élémentaires pour le choix des outils et des paramètres de coupe.

Pour faciliter le choix du type d'outil, on peut considérer qu'il existe, en tournage, quatre opérations de base (figure 1) :

- tournage longitudinal, ou chariotage (1) ;
- dressage (2) ;
- tournage de cônes (3) ;
- contournage (4).

■ **En chariotage**, le mouvement d'avance (mouvement de l'outil) est une translation rectiligne parallèle à l'axe de révolution de la pièce, et cet usinage aura pour effet de réduire le diamètre de la pièce.

■ **En dressage**, le mouvement d'avance est une translation rectiligne de l'outil perpendiculaire à l'axe, ce qui diminue la longueur de la pièce et génère un plan orthogonal à l'axe (figure 2).

■ **En combinant les deux types de déplacements** précédents (avance de l'outil en translation rectiligne oblique/axe), on génère des cônes de révolution.

■ Enfin, en donnant à l'outil une trajectoire plane quelconque (profil de **contournage**), on peut obtenir une forme de révolution quelconque. Les tours à commandes numériques de contournage permettent de suivre de tels profils, définis géométriquement par des combinaisons d'éléments simples (segments, cercles...) ou analytiquement par une fonction, ou encore point par point dans le cas de profils non définis mathématiquement.

Le profil ainsi défini numériquement remplace le concept de gabarit de copiage.

■ Sur un tour CNC, les cas précédents deviennent en fait des cas particuliers du contournage (figure 3).

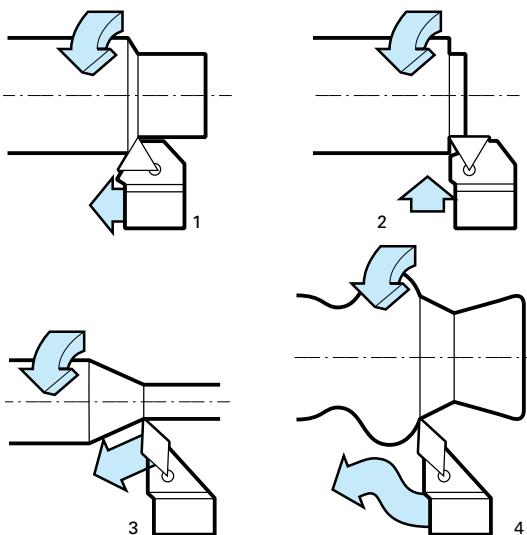


Figure 1 – Opérations de base en tournage

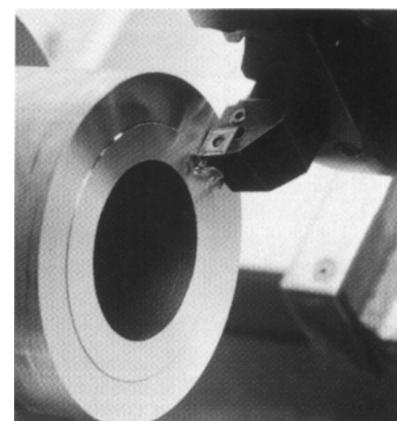


Figure 2 – Dressage d'un tube

Ces différentes opérations correspondent à un usinage dit « de génération » ou « d'enveloppe » : la forme obtenue, à l'échelle macrogéométrique, ne doit rien à la forme de l'outil qui l'a générée.

En d'autres termes, la forme obtenue dépend uniquement de la trajectoire de l'outil, à la rugosité près.

À l'opposé, les gorges, filetages, etc., sont obtenus par reproduction dans la pièce du profil de l'outil et sont qualifiés d'usinage « de forme » (figure 4) :

a) travail d'enveloppe, chariotage (figure 4a) ;

■ b) travail de forme typique : filetage (figure 4b), usinage d'une gorge (figure 4c).

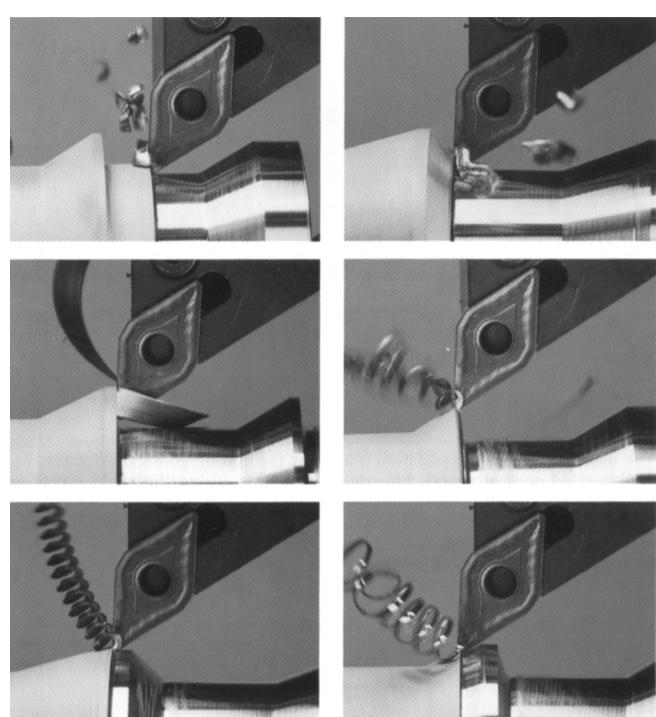
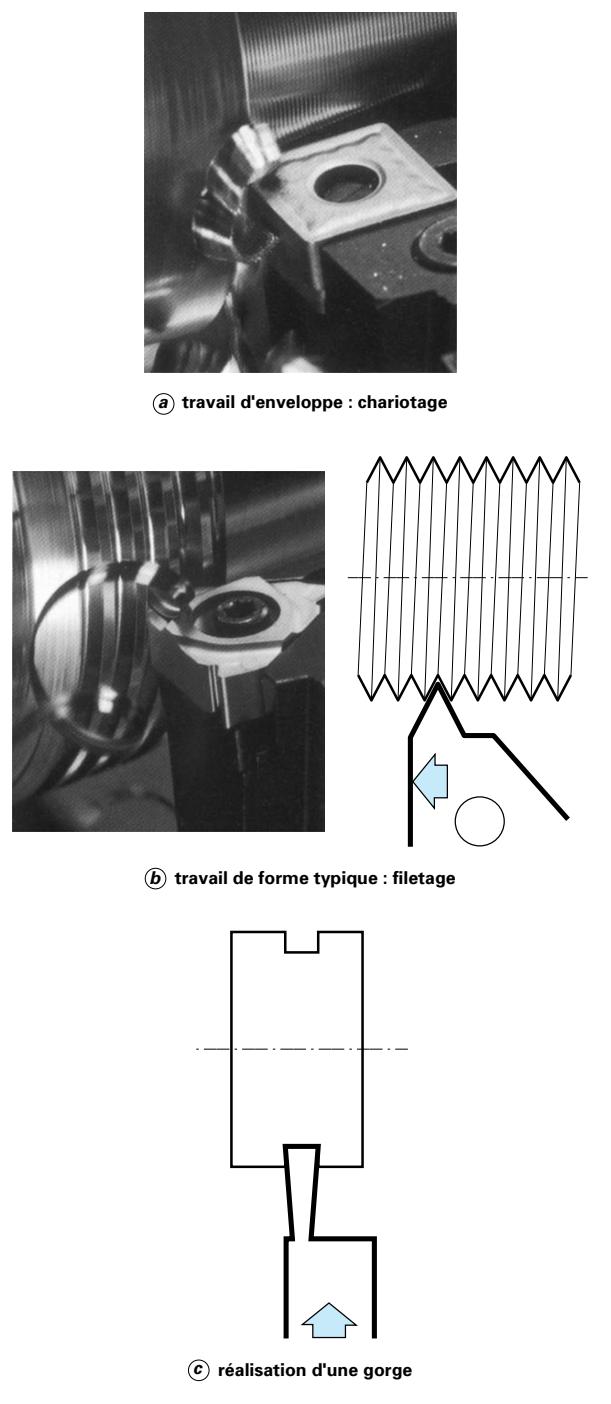


Figure 3 – Opération de contournage

**Figure 4 – Usinage de forme**

Enfin, il existe bien sûr l'homologue de toutes ces opérations en travail intérieur de la pièce, de manière à réaliser aussi des alésages, chambrages...

Si la cinématique du procédé est semblable, les corps d'outils sont radicalement différents pour des problèmes d'accès et

d'encombrement. Les problèmes concrets relatifs aux usinages intérieurs (accès, encombrement, flexions d'outils, lubrification, évacuation de copeaux...) sont souvent beaucoup plus délicats que pour les usinages extérieurs.

## 1.2 Paramètres de coupe en tournage

### 1.2.1 Vitesse de coupe

La pièce est entraînée sur le tour à une certaine vitesse  $\omega$  rad/s (soit  $N$  tr/min), cette vitesse angulaire étant communiquée par la broche de la machine via le porte-pièce (figure 5).

Compte tenu du diamètre de la pièce au point d'usinage situé sur un diamètre  $D$ , la vitesse relative de la pièce en ce point par rapport à l'outil (supposé fixe par rapport à la machine) vaut :

$$v_c(\text{m/s}) = \frac{D}{2}(\text{m}) \times \omega(\text{rad/s})$$

Cette vitesse est appelée vitesse de coupe ; soit, avec les unités traditionnelles de la fabrication mécanique :

$$N(\text{tr/min}) = \frac{1\,000 \times v_c(\text{m/min})}{\pi D(\text{mm})}$$

Il convient d'observer que la vitesse de coupe n'est constante que si la vitesse de broche et le diamètre de la pièce demeurent inchangés. En dressage, par exemple où l'outil se déplace en direction du centre, la vitesse de coupe varie continuellement si la rotation de la pièce s'effectue à une vitesse de broche constante.

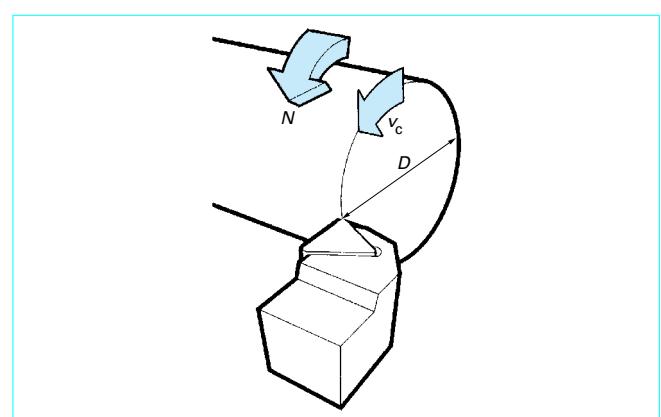
Or, pour une productivité maximale et une meilleure qualité des surfaces obtenues, il est souhaitable de maintenir la vitesse de coupe constante.

Sur un grand nombre de tours modernes, la vitesse de broche augmente au fur et à mesure que l'outil approche de l'axe, afin de compenser ainsi la diminution de diamètre. Mais dans le cas de très petits diamètres, cette compensation se révèle impossible du fait de la plage de vitesse limitée qu'autorisent les machines. De même, lorsqu'une pièce, comme cela est souvent le cas, présente des diamètres différents ou est de forme conique ou courbe, la fréquence de rotation doit être corrigée en fonction du diamètre, pour maintenir la vitesse de coupe constante (figure 6).

Le préparateur choisit cette vitesse de coupe en fonction, notamment :

- des matériaux de la pièce et de l'outil ;
- de la lubrification ;
- de la durée de vie souhaitée pour l'outil ;

des valeurs des autres paramètres de coupe (avance, profondeur de passe...).

**Figure 5 – Vitesse de coupe**

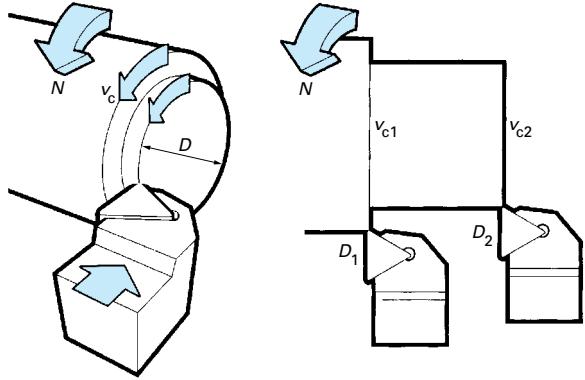


Figure 6 – Définition des trois variables : vitesse de coupe  $v_c$ , diamètre  $D$ , vitesse de rotation  $N$

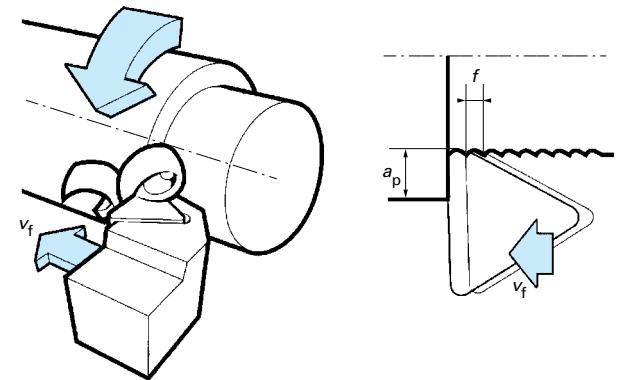


Figure 8 – Vitesse d'avance  $v_f$ . Avance par tour  $f$

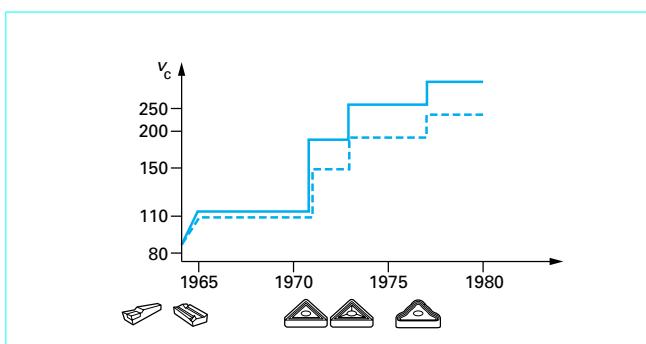


Figure 7 – Amélioration des vitesses de coupe industrielles

Pour de plus amples informations, cf. [3], [4], [5].

Les fabricants de matériaux à outils fournissent des valeurs de vitesse de coupe pour chaque type de plaque en fonction du matériau de pièce, et ce pour une durée de vie standard de la partie active de l'outil (45 min par exemple).

La valeur numérique de  $v_c$  peut aller, à titre indicatif, de 40 m/min avec un outil en acier rapide coupant une pièce en acier à 0,3 % de carbone, à plus de 600 m/min pour la même pièce, avec un outil céramique, en passant par des valeurs courantes autour de 200 m/min pour des outils à pastille en carbure métallique (figure 7).

L'évolution de ces valeurs de vitesses de coupe en une trentaine d'années a imposé une évolution parallèle des puissances à la broche des tours, afin de pouvoir utiliser au mieux les propriétés des outils.

## 1.2.2 Vitesse d'avance $v_f$ . Avance par tour $f$

La vitesse d'avance  $v_f$ (mm/min) (figure 8) est la vitesse à laquelle la machine déplace l'outil par rapport au bâti.

L'avance par tour  $f$ (mm/tr) est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée.

L'avance influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. La vitesse d'avance  $v_f$ (mm/min) est égale à  $f$ (mm)  $\times$   $N$ (tr/min).

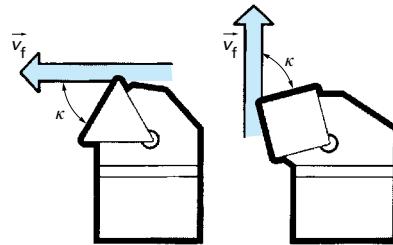


Figure 9 – L'angle de direction d'arête en travail dépend de la direction d'avance

### 1.2.3 Profondeur de coupe $a_p$

En charriote, la profondeur de coupe  $a_p$ (mm) (figure 8) est la différence de rayon entre la surface non usinée et la surface usinée (c'est-à-dire la moitié de la différence entre le diamètre non usiné et le diamètre usiné). La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil.

### 1.2.4 Angle de direction d'arête ( $\kappa$ ), ou angle d'attaque (NF E 66-502)

L'angle de direction d'arête ( $\kappa$ ) est l'angle entre l'arête de coupe et la direction de l'avance (figure 9).

Le premier critère permettant le choix de cet angle est géométrique. Par exemple, si le même outil doit réaliser un charriote puis un épaulement,  $\kappa_r$  doit être égal ou supérieur à 90°.

Il faut donc s'assurer de la compatibilité de cet angle avec la géométrie du profil à usiner (figure 10).

$\kappa_r$  affecte également la direction des forces de coupe que l'outil exerce sur la pièce dans le plan horizontal.

On peut considérer en première approximation que l'action de l'outil sur la pièce, dans le plan horizontal (défini par l'axe de broche et la vitesse d'avance) est normale à l'arête de coupe (figure 11).

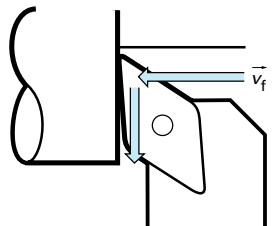


Figure 10 – Compatibilité de l'angle avec la géométrie du profil

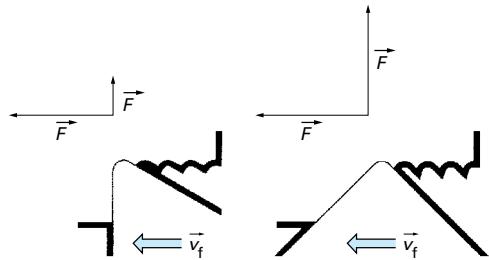


Figure 11 – L'angle κ oriente l'effort de coupe

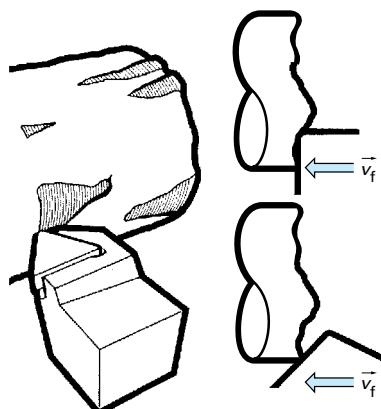


Figure 12 – Protection de la pointe

Ainsi, en chariotage, un angle de  $90^\circ$  chargerà la pièce axialement (en considérant les forces exercées dans le plan de déplacement de l'outil), alors qu'un angle de  $45^\circ$  la chargerà aussi radialement : la flexion augmentera, mais la stabilité peut s'en trouver améliorée.

**Protection de la pointe :** l'angle  $\kappa$  peut permettre à l'arête de coupe de pénétrer dans la pièce à une certaine distance de la pointe, c'est-à-dire dans une zone plus résistante, pouvant plus facilement absorber l'effort résultant du contact initial (figure 12).

La coupe démarre graduellement, sans impact excessif, ce qui améliore nettement le processus d'amorce de la coupe. En raison de

la nature abrasive de la calamine et autres dépôts superficiels, le choix de l'angle  $\kappa$  correct est essentiel pour la durée de vie des outils. En fin de coupe également, lorsqu'une arête ayant un grand angle  $\kappa$  termine une coupe, la chute brutale de l'effort d'avance peut causer une augmentation momentanée de l'avance et de l'épaisseur de copeau. Ce surcroît de charge verticale sur l'outil peut aussi provoquer la rupture de l'arête (figure 13).

Une ébauche lourde nécessite généralement un angle d'orientation d'arête plus faible qu'une finition (figure 14).

**Direction d'évacuation des copeaux :** l'angle d'attaque, en combinaison avec les autres éléments de la géométrie d'arête et la matière usinée, affecte la direction d'évacuation des copeaux au niveau de l'arête de coupe.

En règle générale, il convient de choisir un angle d'attaque de  $60$  à  $80^\circ$  pour le tournage général chaque fois que la nature de la pièce ou de l'opération l'autorise.

### 1.2.5 Largeur et épaisseur du copeau

L'épaisseur du copeau  $h$  est mesurée perpendiculairement à l'arête de coupe.

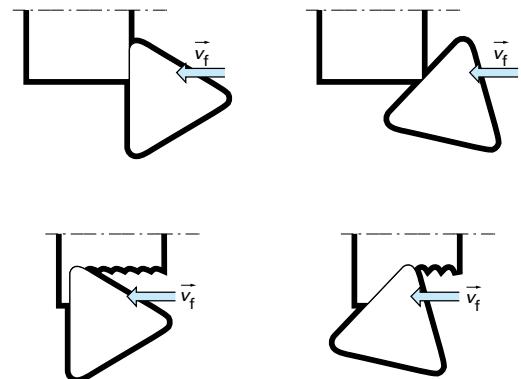


Figure 13 – Modification de la pénétration dans la pièce par l'angle d'orientation d'arête

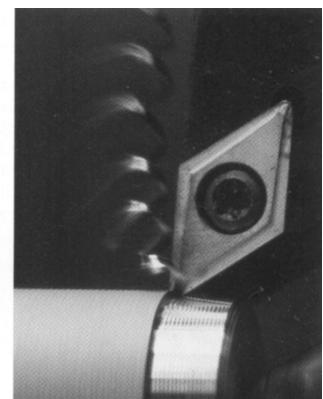
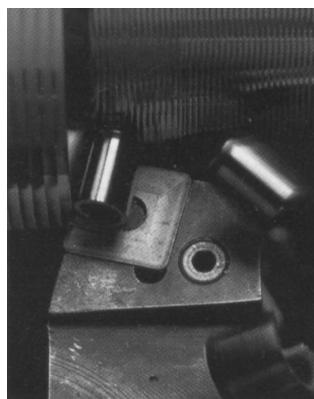


Figure 14 – Ébauche lourde et finitions

La largeur  $b_D$  de ce copeau est mesurée parallèlement à cette arête.

Pour une avance par tour  $f$  et une profondeur de passe  $a_p$  données, l'épaisseur et la largeur du copeau varient avec l'angle d'orientation d'arête  $\kappa$ . (figure 15).

Par ailleurs, pour de fortes passes (rayon de bec d'outil négligeable devant les autres paramètres), la section de copeau vaut approximativement :

$$A_D = f \times a_p = h \times b_D$$

Pour une section de copeau enlevé, on a donc le choix, en jouant sur  $\kappa$ , entre obtenir un copeau long et mince ou plus court et épais (figure 16).

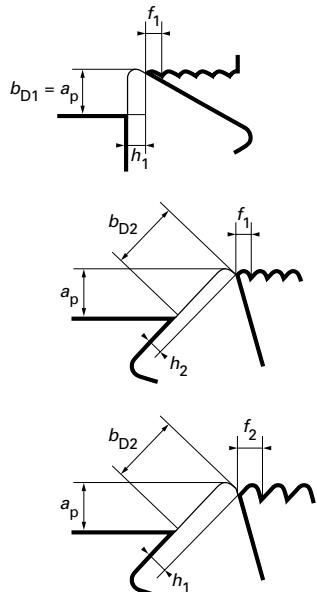


Figure 15 – Influence de  $\kappa$  et de l'avance  $f$

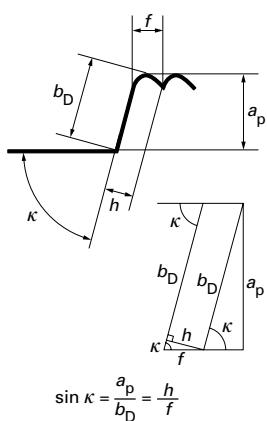


Figure 16 – Variation de l'épaisseur et de la largeur du copeau avec l'angle d'orientation d'arête  $\kappa$

Un copeau mince répartit la force de coupe sur une plus grande partie de l'arête et diminue donc les contraintes (mécaniques et thermiques) imposées.

Par contre, un copeau trop mince (inférieur au « copeau minimal ») s'oppose à une véritable coupe du matériau, génère des contraintes élevées et use prématûrement l'outil : on doit alors compenser en augmentant l'avance.

Le tableau 1 montre comment différents angles d'attaque affectent :

- l'avance compte tenu d'une même épaisseur de copeau ;
- l'épaisseur de copeau compte tenu d'une même avance ;
- la longueur effective d'arête compte tenu d'une même profondeur de coupe.

Tableau 1 – Influence de l'angle d'attaque sur l'avance, la longueur d'arête et l'épaisseur du copeau

%	1	2	3
$\kappa(^{\circ})$	$f/h$	$h/f$	$b_D/a_p$
90	100	100	100
80	102	99	102
75	103	97	103
60	110	87	110
45	141	71	141

Pour une avance par tour et une profondeur de coupe constantes, un petit angle d'attaque produit des copeaux plus minces.

En général, dans le cas d'un outil de tour, la profondeur de coupe doit être choisie à sa valeur maximale. On détermine ensuite une avance permettant un bon rendement et enfin la vitesse de coupe est utilisée pour optimiser l'opération d'usinage.

## 2. Géométrie des outils de tournage

### 2.1 Définitions des principaux plans et angles de l'outil (NF E 66-503)

#### ■ Plans de l'outil (figure 17)

##### ● Plans de l'outil en main :

— plan de référence de l'outil,  $P_r$  : plan passant par le point considéré de l'arête et contenant l'axe de l'outil (pour un outil tournant) ou parallèle au plan de base servant de face d'appui au corps de l'outil (pour un outil classique) ;

— plan d'arête de l'outil,  $P_s$  : plan tangent à l'arête, au point considéré, et perpendiculaire au plan de référence de l'outil  $P_r$  ;

— plan de travail conventionnel,  $P_f$  : plan perpendiculaire au plan de référence de l'outil  $P_r$ , au point considéré de l'arête, et parallèle à la « direction supposée d'avance » de l'outil ;

— plan vers l'arrière de l'outil,  $P_p$  : plan perpendiculaire au plan de référence de l'outil  $P_r$  et au plan de travail conventionnel  $P_f$ , au point considéré de l'arête.

##### ● Plans de l'outil en travail :

— plan de référence en travail,  $P_{rg}$  : plan perpendiculaire au point considéré de l'arête, à la direction de la vitesse résultante de coupe,

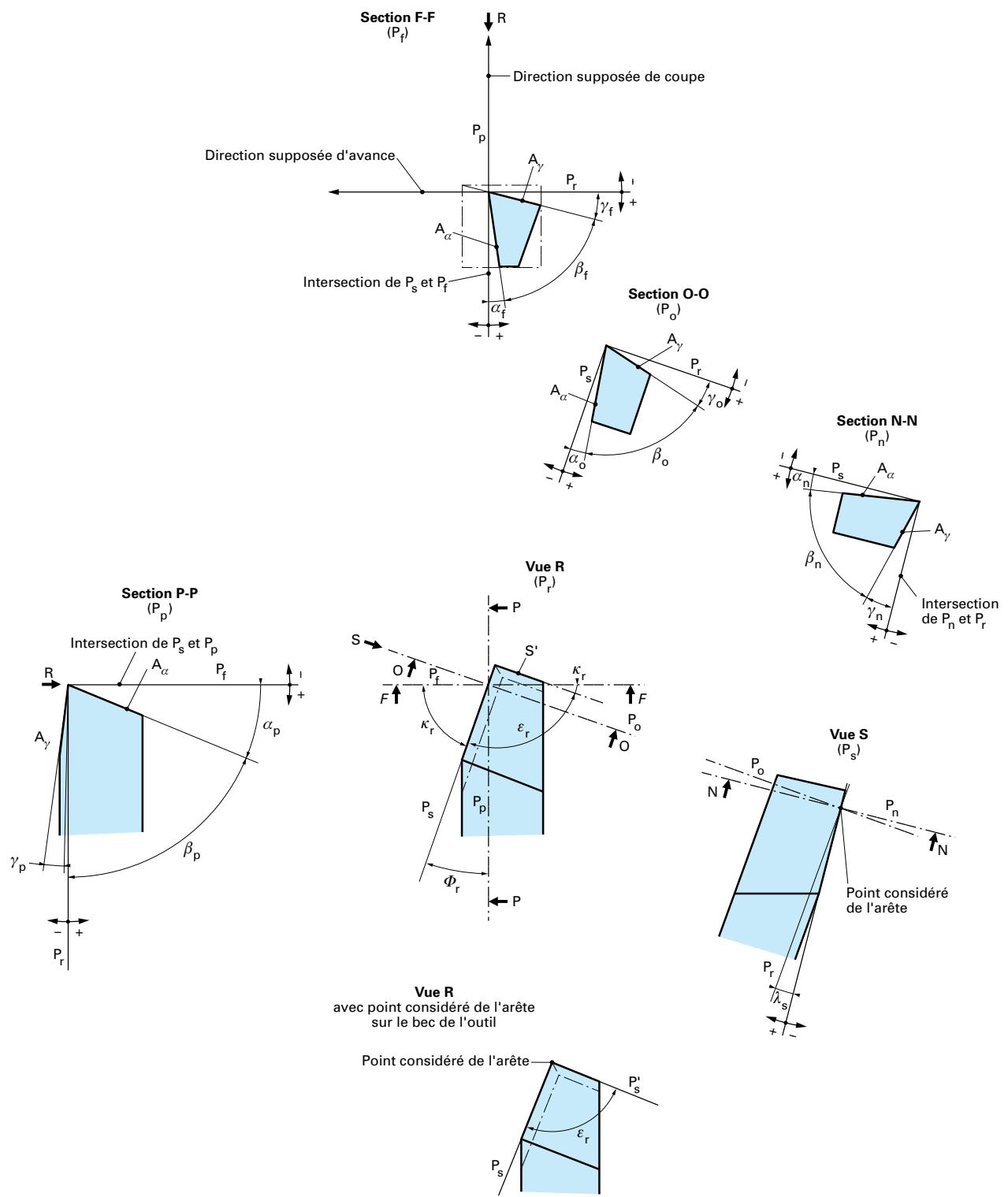


Figure 17 – Plans et angles en main sur les outils courants : outil à charioter droit (d'après NF E 66-502)

c'est-à-dire à la direction instantanée du mouvement résultant du mouvement de coupe et du mouvement d'avance simultanés en ce point ;

- plan d'arête en travail,  $P_{se}$  : plan tangent à l'arête, au point considéré, et perpendiculaire au plan de référence en travail  $P_{re}$ . Ce plan contient la direction de la vitesse résultante de coupe ;

- plan de travail,  $P_{fe}$  : plan contenant la direction de la vitesse de coupe et la direction de la vitesse d'avance au point considéré de l'arête. Ce plan est perpendiculaire au plan de référence en travail  $P_{re}$  ;

- plan vers l'arrière en travail,  $P_{pe}$  : plan perpendiculaire au plan de référence en travail  $P_{re}$  et au plan de travail  $P_{fe}$ , au point considéré de l'arête.

Les plans de l'outil sont définis par rapport aux plans de référence. Pour l'outil en main, le plan de référence est défini à partir du corps de l'outil. Pour l'outil en travail, le plan de référence est défini par rapport à la cinématique de la coupe.

#### ■ Angles de l'outil (figure 17)

- Angles de l'arête (deux angles sont nécessaires) :

- angle de direction d'arête de l'outil  $\kappa_f$  ou angle de direction d'arête en travail  $\kappa_{re}$  : angle aigu mesuré dans le plan de référence  $P_r(P_{re})$  entre le plan d'arête  $P_s(P_{se})$  et le plan de travail  $P_f(P_{fe})$  ;

- angle d'inclinaison d'arête de l'outil  $\lambda_s$  ou angle d'inclinaison d'arête en travail  $\lambda_{se}$  : angle aigu mesuré dans le plan d'arête  $P_s(P_{se})$  entre l'arête et le plan de référence  $P_r(P_{re})$ .

- Angles des faces :

- angle de dépouille  $\alpha$  : angle aigu entre la face de dépouille  $A_\alpha$  et le plan d'arête  $P_s(P_{se})$  ;

- angle de taillant  $\beta$  : angle aigu entre la face de coupe  $A_\gamma$  et la face de dépouille  $A_\alpha$  ;

- angle de coupe  $\gamma$  : angle aigu entre la face de coupe  $A_\gamma$  et le plan de référence  $P_r(P_{re})$  ( $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ ).

Ces angles sont définis selon le besoin dans un des plans de section suivants :

- $P_o(P_{oe})$  : plan orthogonal de l'outil (orthogonal en travail), plan perpendiculaire au plan de référence  $P_r(P_{re})$  et au plan d'arête  $P_s(P_{se})$ , au point considéré de l'arête ;

- $P_n(P_{ne})$  : plan normal à l'arête, plan perpendiculaire à l'arête au point considéré ( $P_n = P_{ne}$ ) ;

- $P_f$  : plan de travail conventionnel (plan de travail  $P_{fe}$ ) ;

- $P_p$  : plan vers l'arrière de l'outil (plan vers l'arrière en travail  $P_{pe}$ ).

## 2.2 Angle de coupe latéral $\gamma_f$

Cet angle est vu dans le plan latéral ( $P_f$ ) défini par la vitesse d'avance  $v_f$  et la vitesse de coupe  $v_c$  (figure 18).

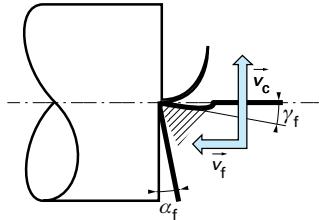


Figure 18 – Angle de coupe latéral  $\gamma_f$

Cet angle (entre le plan de référence  $P_f$  et la face de coupe de l'outil) résulte, dans le cas des outils à plaquettes rapportées, de la géométrie de la plaquette (angle de coupe intrinsèque à la plaquette) et de l'inclinaison que lui impose le porte-plaquette.

Dans le cas des outils monoblocs (en acier rapide par exemple), la géométrie est fixée à l'affûtage.

La valeur de  $\gamma_f$  est déterminante dans le processus de formation du copeau.

Les matériaux tendres (bois, aluminium, aciers à faible résistance) se tournent avec des angles de coupe élevés (20 à 25° pour les alliages légers avec des outils en acier rapide), ce qui donne un tranchant marqué.

À l'inverse, les matériaux durs sont usinés avec des angles de coupe faibles, voire négatifs, ce qui permet de renforcer le taillant de l'outil, donc de le rendre plus résistant mécaniquement et thermiquement (figure 19).

## 2.3 Angle de dépouille latéral $\alpha_f$

Toujours dans le plan latéral ( $\vec{v}_f, \vec{v}_c$ ), on constate qu'un angle « de dépouille »  $\alpha_f$  est nécessaire pour éviter le frottement de la face en dépouille de l'outil sur la pièce (figure 18).

Comme pour l'angle de coupe, sur les outils à pastille rapportée, l'angle de dépouille résulte de la géométrie de plaquette et de l'inclinaison conférée par le porte-plaquette. La valeur numérique de cet angle de dépouille est de l'ordre de 4°.

## 2.4 Évolution de ces angles en travail

Lorsqu'on prend en compte l'outil en travail, la vitesse effective de coupe  $\vec{v}_e = \vec{v}_f + \vec{v}_c$  s'incline d'un angle  $\delta$ , et  $\delta$  augmente avec  $\vec{v}_f$  (figure 20).

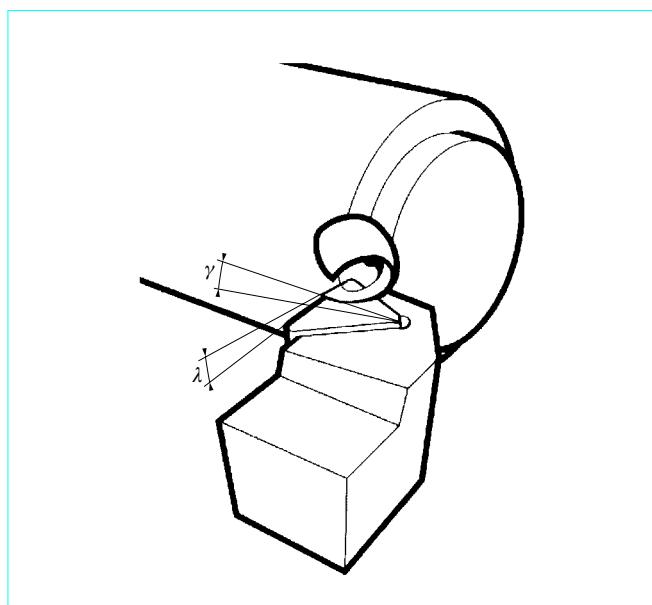


Figure 19 – Angles d'inclinaison

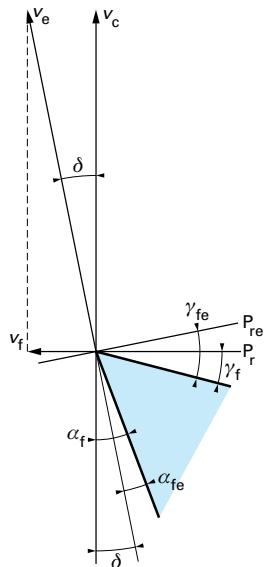


Figure 20 – Évolution des angles en travail

Les angles latéraux de coupe en travail  $\gamma_{fe}$  et de dépouille en travail  $\alpha_{fe}$  se substituent à leurs homologues  $\gamma_f$  et  $\alpha_f$ .

Pour  $v_c$  fixé,  $\gamma_{fe}$  croît avec  $v_f$ ,  $\alpha_{fe}$  diminue avec  $v_f$ , l'angle  $\delta$  représentant la différence a pour tangente :

$$\tan \delta = v_f / v_c$$

$$\gamma_{fe} = \gamma_f + \delta$$

$$\alpha_{fe} = \alpha_f - \delta$$

Dans les opérations courantes de chariotage ou contournage, avec les valeurs usuelles de  $v_c$  et  $f$ , cet angle  $\delta$  est négligeable (moins de 0,5°).

Cependant, en filetage avec un pas très important, ou bien en dressage ou tronçonnage près du centre, son influence peut provoquer une diminution sensible de l'angle de dépouille, voire un talonnement de l'outil (c'est-à-dire au contact de la matière sur la face en dépouille de l'outil).

## 2.5 Rayon de bec

Le rayon de bec  $r_\epsilon$  est tangent aux deux arêtes de coupe se rencontrant en un point théorique  $P$ . Il élimine un angle aigu, qui constitue un point faible et ne présente aucun intérêt sur le plan fonctionnel (figure 21).

### Le rayon de bec détermine la résistance du bec d'outil

L'une des conditions à remplir par le rayon de bec est la tenue : une plus grande section est mieux à même de résister à l'effort de coupe. Un grand rayon répartit aussi l'effort de coupe sur une plus grande longueur, ce qui améliore généralement la durée de vie de l'outil. La dissipation de la chaleur se fait également mieux lorsque le rayon est plus grand, réduisant ainsi les risques de variations thermiques dommageables.

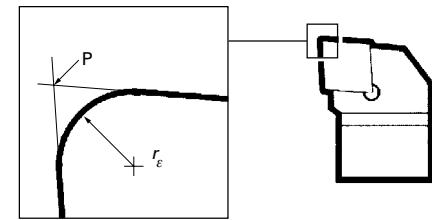


Figure 21 – Rayon de bec

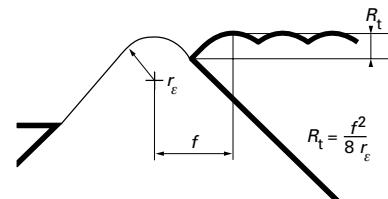


Figure 22 – Influence du rayon de bec sur la rugosité de la surface

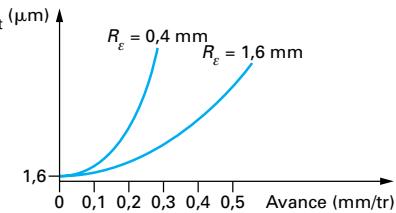


Figure 23 – Évolution de la rugosité en fonction de l'avance pour deux rayons de bec d'outil

### Le rayon de bec $r_\epsilon$ conditionne la rugosité de la surface (figure 22)

Si l'on suppose que le profil de la pièce est la reproduction fidèle d'une partie du profil de l'outil à l'échelle microgéométrique, la profondeur totale de rugosité vaut :

$$R_t = f^2 / 8r_\epsilon$$

et l'on voit l'intérêt d'un rayon de bec d'outil important.

Cependant, des défauts d'arrachement de matière (défauts du 4<sup>e</sup> ordre) viennent se superposer à cette allure théorique, et d'autres facteurs entrent en compte, comme la vitesse de coupe ou l'acuité de l'arête de coupe.

Par exemple, on note expérimentalement l'évolution suivante de la rugosité en fonction de l'avance, pour deux rayons de bec d'outil (figure 23).

Le rayon de bec d'outil est un paramètre important (figure 24).

Il influence la rugosité (figure 25).

### Limitation de $r_\epsilon$

Un grand rayon de bec augmente la composante radiale de l'effort de coupe.

■ Par ailleurs, un trop grand rayon de bec détermine sur une partie de l'arête de coupe des copeaux très minces, dont l'épaisseur ne permet plus la coupe réelle. Il y aura alors formation d'un copeau gratté (figure 26), avec usure prématuée de l'outil, vibrations, perte de précision et dégradation de l'état de surface.

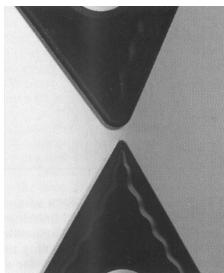


Figure 24 – Rayons de bec d'outil

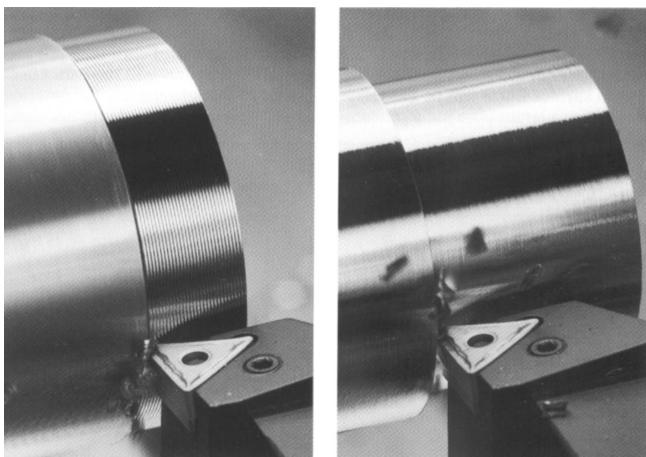


Figure 25 – Influence du rayon de bec d'outil sur la rugosité

Ce phénomène limite donc l'extrapolation de l'influence positive des grands rayons de bec vue au paragraphe précédent.

#### ■ Conclusion sur les rayons de bec

En ébauche, choisir le plus grand rayon de bec possible pour obtenir une arête résistante.

En finition, l'état de surface est amélioré en augmentant le rayon  $r_e$  (ou en diminuant l'avance).

L'apparition de vibrations limite l'augmentation du rayon  $r_e$ .

Le rayon de bec doit être compatible avec les rayons du profil de pièce à usiner.

## 2.6 Angle de pointe de l'outil

La pointe de l'outil, déterminée par les faces de coupe principale et secondaires, peut présenter un angle très variable ( $35^\circ$  à  $90^\circ$ ) suivant les outils (figure 27).

La pointe de l'outil est la zone la plus sollicitée, mécaniquement et thermiquement.

Les outils à la pointe la plus élancée sont évidemment les plus fragiles, alors que les plaquettes rondes offrent une résistance très supérieure pour les usinages difficiles (figure 28).

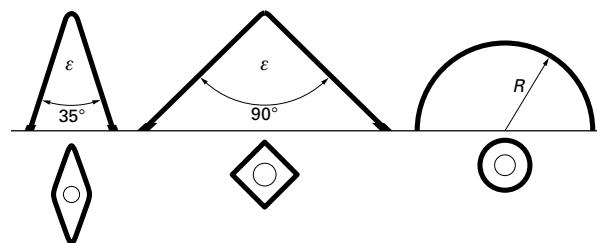


Figure 27 – Angle de pointe de l'outil

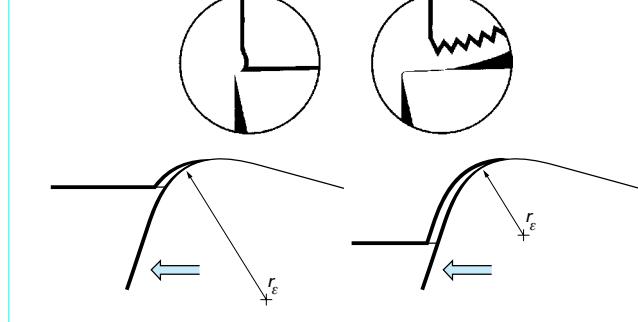
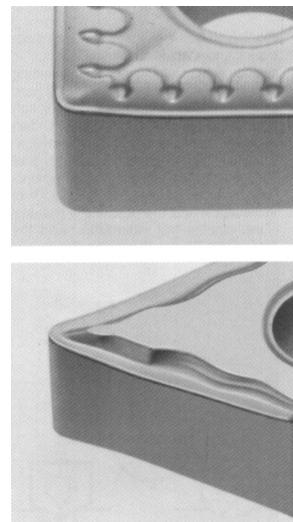
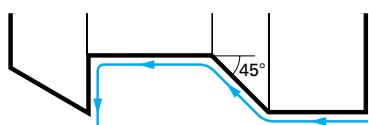
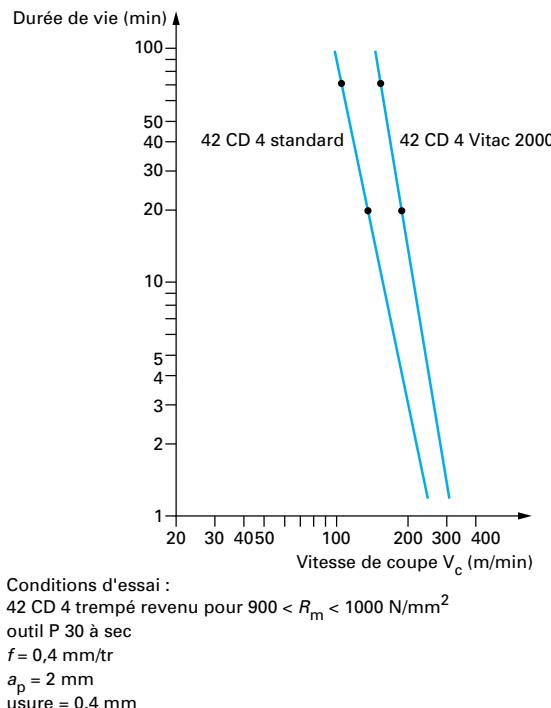


Figure 26 – Choix du rayon de bec d'outil en fonction de la profondeur de passe

Figure 28 – La forme de la partie active détermine la résistance de l'outil et l'étendue de ses applications



**Figure 29 – Choix de l'angle de pointe en fonction de la géométrie de la surface à usiner**



**Figure 30 – Exemple d'usinabilité sur un acier 42 CD 4 [Compagnie française des aciers spéciaux (ASFOR)]**  
(Memotech productique)

Le choix de l'angle de pointe est conditionné par la géométrie de la surface à usiner.

Pour ce profil, par exemple, seul un angle de pointe inférieur à 45° (35° par exemple) convient (figure 29).

Dans les limites admises par la géométrie, on choisira l'angle de pointe le plus élevé possible.

### 3. Propriétés des matériaux usinés et usinabilité

#### 3.1 Importance du problème

Les matières constituant les pièces usinées par enlèvement de copeaux ont été choisies en fonction de la destination finale de ces pièces.

Mais la constitution d'un acier, par exemple (structure, éléments d'addition) affecte son usinabilité.

De nombreux métaux dits « à usinabilité améliorée » ont été développés pour arriver à la fois à diminuer le temps de coupe (augmentation de  $v_c$  et de  $f$ ), réduire les temps morts (changements d'outils moins fréquents) et améliorer la qualité d'usinage (rugosité plus faible, notamment), tout en conservant les caractéristiques fonctionnelles de la pièce fabriquée.

Ceci est important dans le domaine très concurrentiel de l'usinage, où l'usineur doit optimiser sa production.

Afin d'illustrer l'incidence du matériau usiné sur la vitesse de coupe, voici un essai de coupe mené sur un 42 CD 4 standard et à usinabilité améliorée (Vitac 2000) (figure 30).

Nous pouvons observer un gain d'environ 40 % sur la vitesse de coupe pour un surcoût de 8 % seulement pour le Supervitac.

## 4. Choix d'un outil de coupe à plaque rapportée

Les outils de tournage actuels sont constitués la plupart du temps d'un porte-plaque rapportée muni d'un dispositif de fixation de la plaque et d'une plaque interchangeable constituée d'une matière plus dure et comportant plusieurs arêtes de coupe (figure 31).

Le changement d'arête de coupe intervient lorsque l'arête en service a atteint un degré d'usure qui l'empêche de respecter les tolérances des cotes à réaliser, ou la rugosité spécifiée, ou encore qui risque d'entraîner la rupture à plus ou moins brève échéance.

Pour effectuer le choix d'un outil de tournage, les paramètres à prendre en compte sont les suivants :

- matière de la pièce, usinabilité ;
- configuration de la pièce : forme, dimension, surépaisseurs d'usinage ;
- limitations : tolérances, état de surface ;
- machine : type, puissance, conditions d'utilisation et caractéristiques ;
- stabilité, rigidité de la prise de pièce et de la pièce.

#### ■ Processus de sélection

L'approche suivante permet de choisir « pas à pas » les caractéristiques de l'outil de tournage convenant pour une application déterminée.

- système de fixation de la plaque ;
- dimension et type de porte-plaque ;
- forme de plaque ;
- taille de plaque ;
- rayon de bec ;
- type de plaque ;
- matière de l'outil.

### 4.1 Systèmes de fixation de la plaque

Il existe, dans la gamme Sandvik-Coromant, deux types principaux de systèmes de fixation de plaquettes.

■ **T<sub>max</sub> U** (figure 32a) : fixation par vis centrale, plus particulièrement destinée à la finition, avec des plaquettes à géométrie positive.

■ **T<sub>max</sub> P** (figure 32b) : robuste fixation par levier ou bride-coin adaptée à l'ébauche pour utilisation de plaquettes à géométrie négative.



Figure 31 – Formes variées de plaquettes

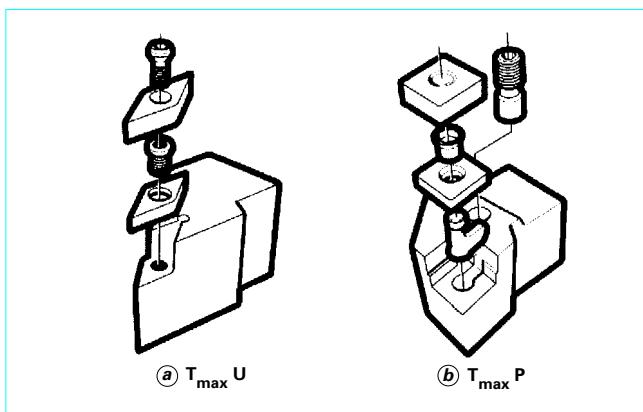


Figure 32 – Systèmes de fixation de la plaque

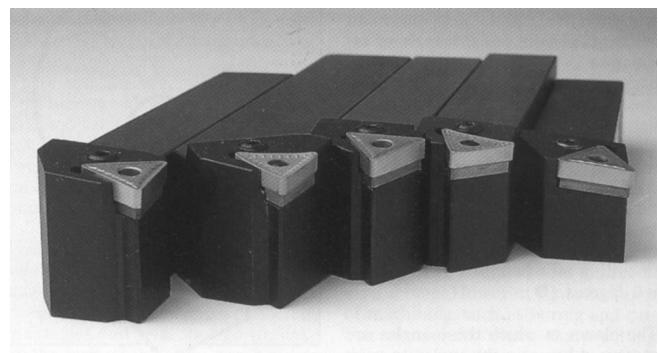


Figure 33 – Différents porte-plaquettes pour une même plaque

## 4.2 Dimension et type du porte-plaque

Ce choix se fait en fonction de la direction de l'avance, la profondeur de passe, la nature de la pièce, la fixation de l'outil sur la machine et l'espace disponible. La forme de la pièce est un facteur décisif en contournage (figure 33).

Les opérations complexes peuvent être décomposées en différentes phases (figure 34) :

- 1) un chariotage ;
- 2) un dressage ;
- 3) un tournage conique en plongée ;
- 4) une remontée de cône ;
- 5) une remontée d'épaulement.

Les formes rondes peuvent être assimilées à des combinaisons de 3 et 4.

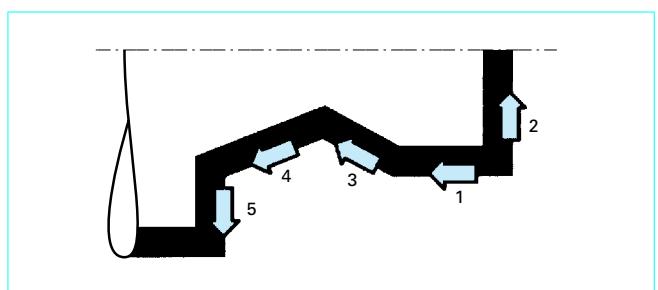


Figure 34 – Décomposition d'un usinage complexe

On cherche ensuite à trouver des combinaisons permettant de limiter le nombre d'outils tout en conservant un maximum de performances (rigidité d'outil, résistance d'arête...).

Les différents types de porte-plaque sont définis par l'angle d'orientation d'arête et l'angle de pointe de la plaquette utilisée.

Un angle de pointe aigu donne une plus grande variété de profils utilisable au détriment de la résistance du bec de l'outil (figure 35) : en **a**, un outil robuste, avec un grand angle de pointe, mais des possibilités limitées en contournage ; en **b**, un outil élancé, capable de générer des profils très variés, des formes délicates, mais avec un bec beaucoup plus fragile.

On retiendra :

— pour la section du corps d'outil, la règle générale est de choisir la plus grande dimension  $h$  compatible avec la fixation sur la machine, afin de fournir le support le plus rigide possible à l'arête de coupe (figure 36) ;

— pour l'angle d'orientation d'arête, on choisit en général le plus petit  $\kappa$  permettant les opérations envisagées (figures 37 et 38).

### 4.3 Forme et dimension de la plaquette

Il s'agit de déterminer un compromis entre résistance (grand angle de pointe) et polyvalence (petit angle de pointe).

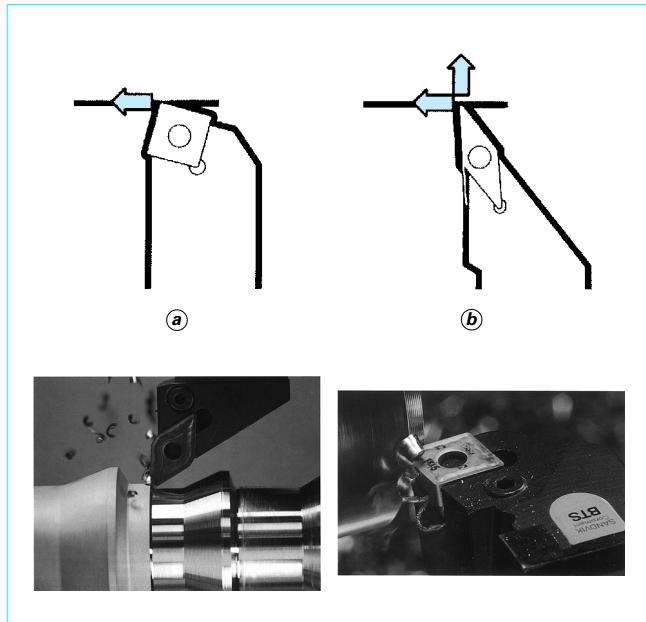


Figure 35 – Angles de pointe

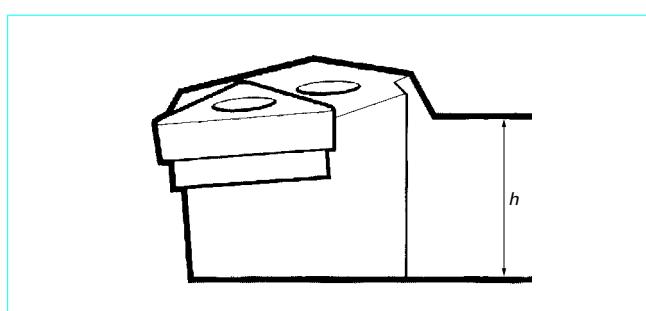


Figure 36 – Section du corps de l'outil : facteur décisif pour la rugosité

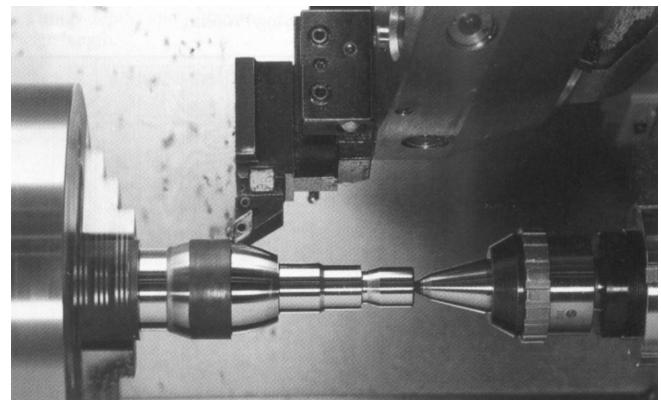


Figure 37 – Outil à faible angle de pointe en action

La figure 39 montre les angles de pointe les plus courants sur les plaquettes, de la plaquette ronde à la plaquette à angle de pointe de 35 degrés et oriente le choix en fonction des paramètres prépondérants.

(En contournage, un angle de dégagement de 2° minimum doit exister entre le côté de la plaquette et la surface de la pièce).

Pour la dimension de la plaquette, il faut là aussi trouver un compromis coût-fiabilité (tableau 2).

Une plaquette plus grande et plus épaisse coûte plus cher, mais offre en contrepartie une meilleure sécurité d'arête, ce qui est particulièrement important en ébauche lourde ou usinage intermittent.

Tableau 2 – Critères de choix pour la forme de la plaquette

Facteurs affectant le choix	R	90	80	80	60	55	35	
Ébauche lourde .....	●	●	●	○	○			
Ébauche légère ; semi-finition .....		○	●	●	●	●	●	
Finition (complexité de forme) .....			○	○	●	●	●	●
Contournage (accessibilité) .....	○		○	○	○	●	●	●
Diversité d'opérations .....			●	○	○	●	●	○
Puissance machine limitée .....			○	○	●	●	●	●
Limitation de la tendance aux vibrations .....				○	●	●	●	●
Matériau usiné dur .....	●	●						
Coupe intermittente .....	●	●	○	○	○			
Grand angle d'arête .....			●	●	●	●	●	●
Petit angle d'arête .....	●		●	●	●			

● le mieux adapté ; ○ adapté.

### 4.4 Longueur effective de coupe $\ell_a$

Pour un angle d'orientation d'arête de 90°, la longueur effective de coupe  $\ell_a$  est égale à la profondeur de coupe ;  $\ell_a$  varie en fonction de l'angle d'orientation de coupe (figure 40) :

$$\ell_a = \frac{a_p}{\cos \kappa}$$

Les valeurs courantes sont récapitulées dans le tableau 3.

À chaque forme de plaquette correspond une longueur de coupe maximale.

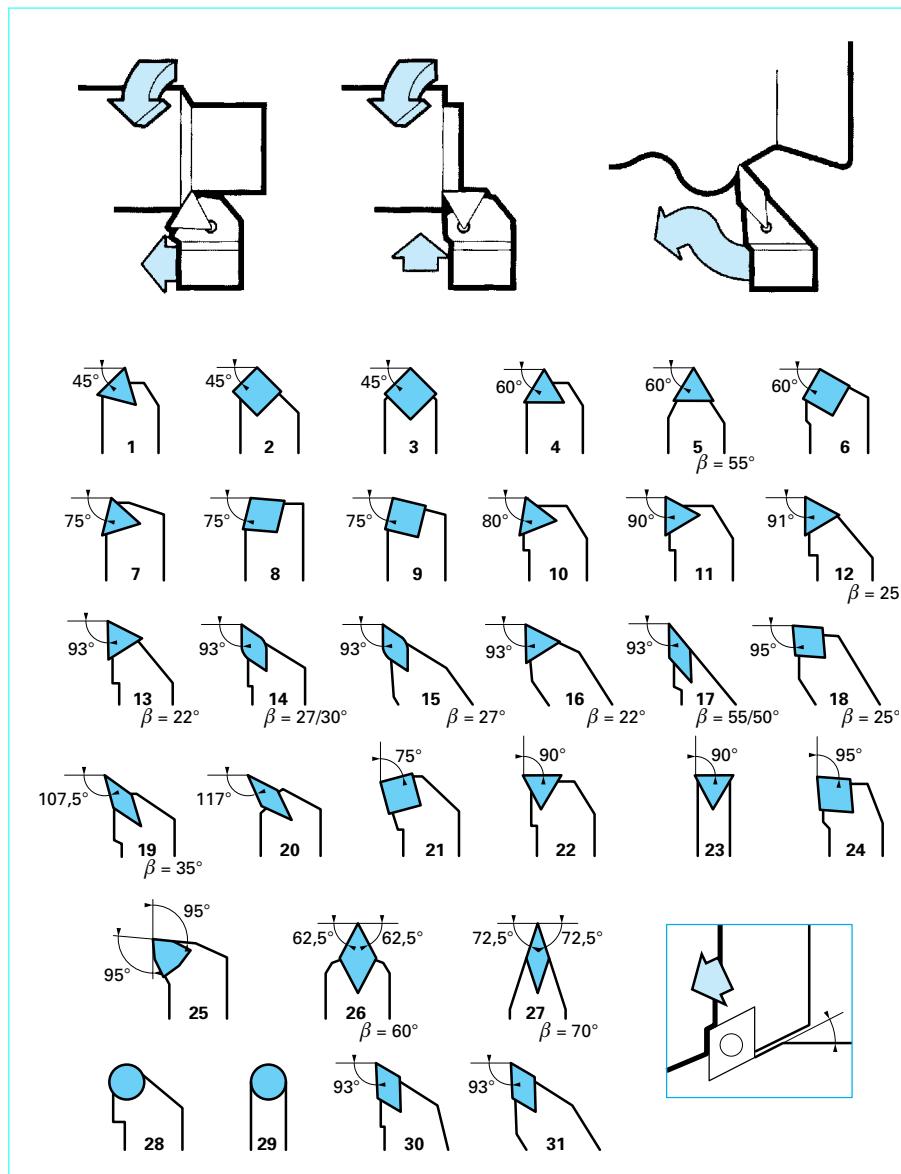


Figure 38 – Gamme des angles d'orientation d'arête

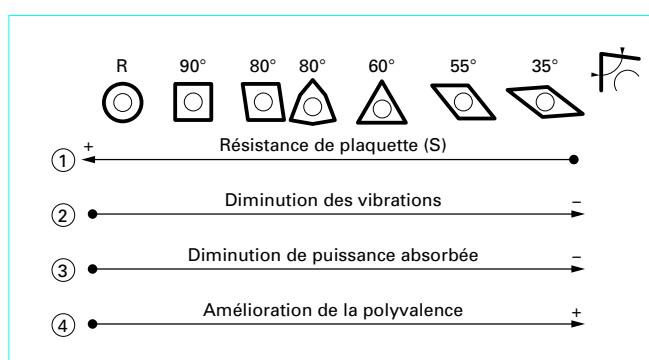


Figure 39 – Choix d'un angle de pointe en fonction de l'usinage

Ces valeurs maximales sont celles recommandées pour garantir une bonne fiabilité en ébauche continue, mais des passes plus profondes peuvent être effectuées durant de courtes périodes.

Si la longueur effective de coupe de l'arête est insuffisante, il y a deux solutions : choisir une plaquette plus grande (ce qui remet en cause le porte-plaquette) ou effectuer plusieurs passes (figure 41).

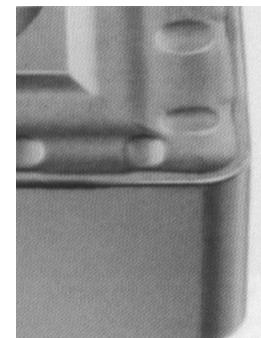
#### 4.5 Rayon de bec

Les plaquettes sont proposées avec différents rayons de bec  $r_e$ . Le rayon de bec est un facteur déterminant pour :

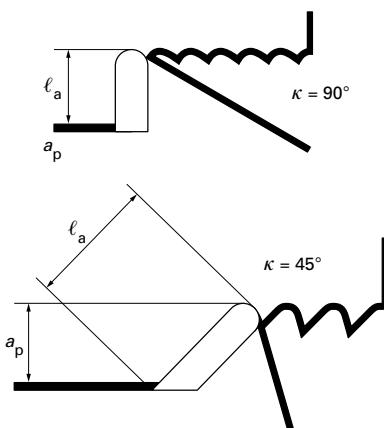
- la résistance du bec en ébauche ;
- la rugosité obtenue sur la pièce, en finition (figure 42).

**Tableau 3 – Longueur effective de coupe en fonction de l'angle d'orientation et de la profondeur de coupe**

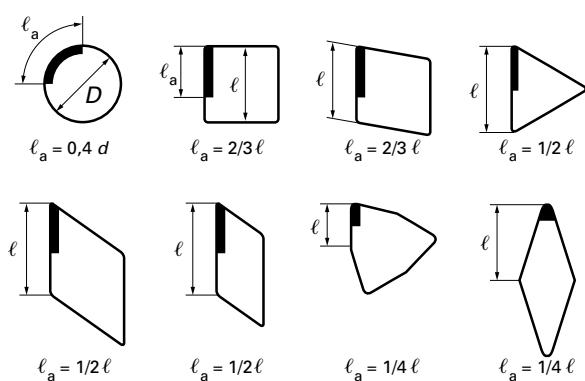
$\kappa$ (°)	$a_p$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	
$\ell_a$												
90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	
75	1,5	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	11	16	
60	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7	8,2	9,3	11	12	18	
45	1,4	2,9	4,3	5,7	7,1	8,5	10	12	13	15	22	
30	2	4	6	8	10	12	14	18	18	20	30	
15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58	



**Figure 42 – Rayon de bec sur une plaquette**



**Figure 40 – Longueur effective de l'arête coupe  $\ell_a$  en fonction de la profondeur de passe  $a_p$  et de l'angle d'orientation d'arête  $\kappa$**



**Figure 41 – Longueur effective de coupe maximale pour les profils usuels de plaquette**

Il affecte aussi la tendance aux vibrations et les vitesses d'avances qu'il est possible d'adopter.

En ébauche, on choisit généralement le plus grand rayon de bec pour obtenir une résistance maximum de la pointe, en veillant à la tendance éventuelle aux vibrations, c'est-à-dire jusqu'à 1,2 à 1,6 mm.

L'avance maximale en ébauche est de l'ordre de la moitié du rayon de bec, ou conformément aux données ci-après :

$r_e$	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
$f$	0,12 à 0,25	0,25 à 0,5	0,36 à 0,7	0,5 à 1	0,7 à 1,6

Les avances les plus élevées dans chaque plage correspondent aux plaquettes à l'arête de coupe la plus résistante, c'est-à-dire avec un angle de pointe d'au moins  $60^\circ$ , non réversibles, ayant un angle d'orientation d'arête de moins de  $0^\circ$ , usinant des matières ayant de bonnes caractéristiques d'usinabilité.

Le taux maximal d'enlèvement de matière s'obtient avec une avance élevée et une vitesse de coupe modérée.

La puissance disponible  $P$ , la stabilité de la machine et l'aptitude à la formation des copeaux peuvent être des facteurs limitants :

$$P(\text{kW}) = k_c \times f \times a_p \times v_c$$

avec  $k_c$  pression spécifique de coupe

En définition, le rayon de bec, en combinaison avec l'avance par tour, affecte l'état de surface et la précision de l'usinage.

Le profil de la pièce est en fait généré par la pointe de la plaquette uniquement, et la hauteur de profil théorique  $R_t$  de la surface usinée peut être calculée :

$$R_t(\mu\text{m}) = \frac{f^2}{8r_e} \times 1\,000$$

ou déterminée par l'abaque donné sur la figure 43.

Quelques exemples de combinaisons de paramètres et la rugosité  $R_t$  théorique obtenue sont donnés (figure 43).

En réalité, ces défauts de surfaces du 3<sup>e</sup> ordre sont « brouillés » par des arrachements de matière (4<sup>e</sup> ordre) et d'autres paramètres interviennent dans l'état de surface obtenu. C'est ainsi que l'on peut améliorer  $R_t$  en élevant la vitesse de coupe, ou en augmentant l'angle de coupe, ou encore en utilisant des plaquettes non revêtues.

Les meilleures rugosités théoriques s'obtiennent avec les plus faibles avances ; cependant, on la limite au 1/3 du rayon de bec environ pour que le copeau puisse effectivement être taillé (figure 44).

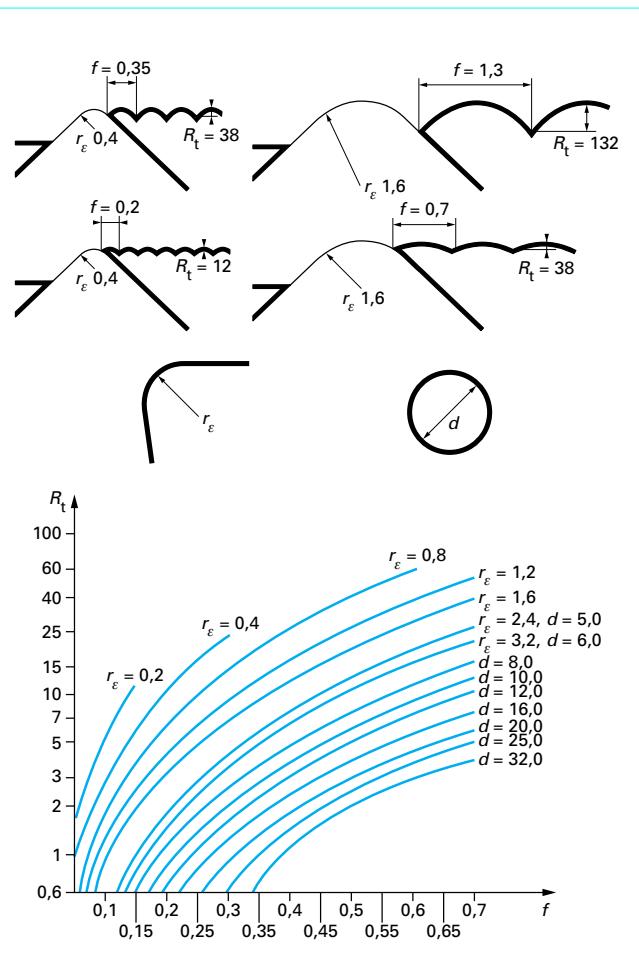
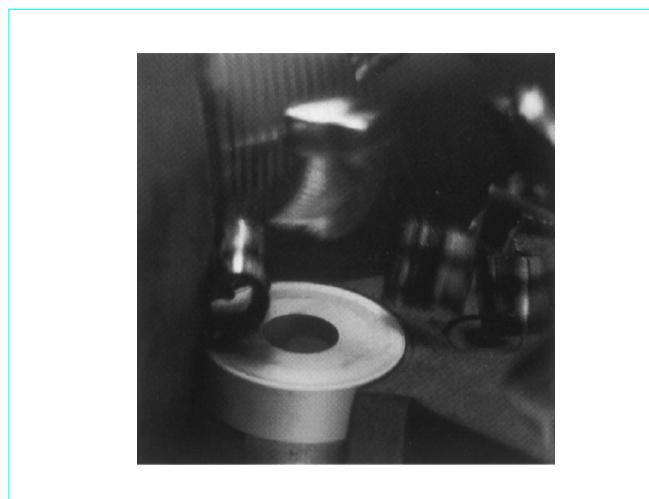
Figure 43 – Rugosité  $R_t$  théorique en fonction de l'avance et de  $r_e$ 

Figure 44 – Grand rayon de bec des plaquettes circulaires

## 4.6 Choix du type de plaquette (désignation Sandvik-Coromant)

En partant :

- du type précis d'usinage (ébauche lourde, finition...) ;
- du type de matériau usiné ;
- du système de fixation de plaquette (déjà déterminé) ;

Sandvik-Coromant recommande un type précis de plaquette.

La désignation de plaquette (QF, 15, HR...) étant déterminé par le tableau de choix, on trouvera ensuite des commentaires sur la micro-géométrie et les qualités particulières de cette plaquette.

### 4.6.1 Codification du type précis d'usinage

Les lettres A à F, définies sur le diagramme de la figure 45, désignent des classes de conditions d'avance/profil de passe.

### 4.6.2 Codification du type de matière ou de condition particulière

Le système de classification Coromant CMC utilise un code numérique pour identifier chaque groupe ou famille de matières. Les géométries de plalettes ont donc été développées pour permettre un usinage optimal de ces différentes classes de matières.

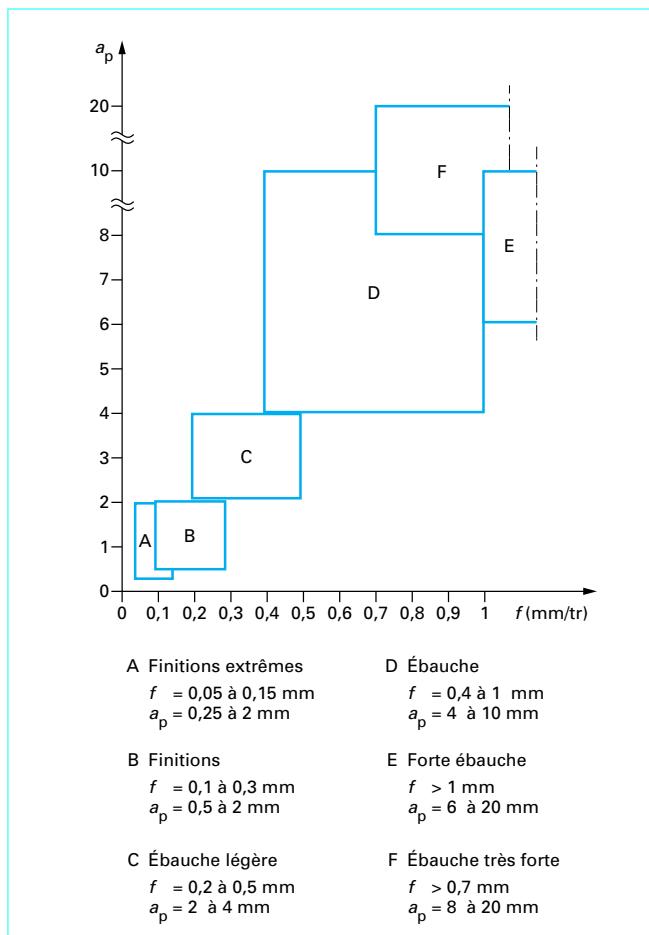


Figure 45 – Classes de conditions de coupe

Les matières à usiner peuvent être classées en 6 grandes catégories en fonction de leur usinabilité (tableau 4) :

Tableau 4 – Classification des matières à usiner			
Pièce à usiner	CMC	ISO	Catégorie
1	01 02 03 06	P	Métaux à copeaux longs, ce qui est le cas de la plupart des aciers
2	05	M	Acières inoxydables
3	07 08 09	K	Métaux à copeaux courts, comme la fonte
4	20	M	Matières réfractaires, tels que les alliages à base de nickel
5	30 33	K	Métaux doux, alliages d'aluminium par exemple
6	04 10	K	Métaux durs, au-dessus de 400 HB, comme la fonte en coquille
Autres facteurs susceptibles d'affecter le choix de la plaquette			
7			Coupe continue ou intermittente
8			Tendance aux vibrations
9			Puissance machine limitée

On en déduit alors le type de plaquette le mieux approprié.

Une plaquette ayant été sélectionnée dans le tableau précédent, on pourra trouver le détail de la géométrie et ses spécificités (tableau 5).

Tableau 5 – Géométrie et spécificités d'une plaquette sélectionnée

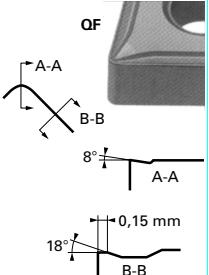
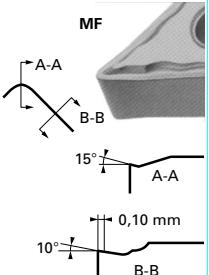
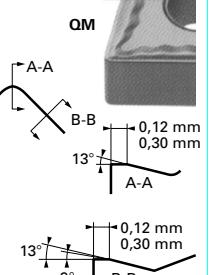
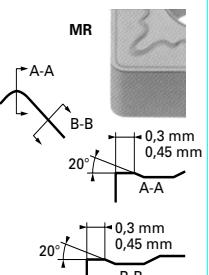
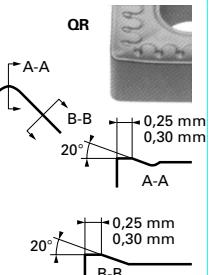
Fixation $T_{max}$	
 <p><b>QF</b> : géométrie pour la finition sous très faible avance et avec profondeur de coupe également faible. La plaquette, réversible, donne un excellent fini de surface, respectant des tolérances étroites. Sa plage d'application pour l'acier et la fonte est de 0,1 à 0,25 mm/tr pour l'avance <math>f</math> et 0,2 à 1,5 mm pour la profondeur de coupe <math>a_p</math>.</p>	
 <p><b>MF</b> : géométrie pour de plus fortes avances, avec faible profondeur de coupe. Plaquette réversible pour la finition et la semi-finition à haut rendement sur la plupart des matières, y compris ductiles ou écrouissables. Faibles forces de coupe et tolérances étroites. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,15 à 0,4 mm/tr, <math>a_p</math> : 0,5 à 2,5 mm.</p>	
 <p><b>QM</b> : géométrie pour la semi-finition et l'ébauche légère. Plaquette réversible pour la plage moyenne d'applications, ce qui en fait une plaquette universelle pour le tournage général. Convient également pour une grande diversité de matières. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,2 à 0,5 mm/tr, <math>a_p</math> : 1 à 6 mm.</p>	
 <p><b>MR</b> : plaquette réversible pour l'ébauche. Convient pour les opérations exigeant une arête de coupe longue, ainsi qu'en présence de coupes intermittentes, de peau de lamination ou d'inclusions. Adaptée à l'acier, mais surtout à la fonte. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,1 à 0,7 mm/tr, <math>a_p</math> : 2 à 9 mm.</p>	
 <p><b>QR</b> : plaquette non réversible, conçue pour une haute productivité en ébauche. Avances élevées et fortes profondeurs de coupe. Simultanément, la consommation de puissance absorbée demeure relativement faible malgré la robustesse de l'arête de coupe. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,3 à 1,2 mm/tr, <math>a_p</math> : 3 à 12 mm.</p>	

Tableau 5 – Géométrie et spécificités d'une plaquette sélectionnée (suite)	
Fixation $T_{max}$ P	
<p><b>HR</b></p> <p><b>HR</b>: plaquette non réversible pour l'ébauche lourde, munie d'une arête de coupe particulièrement robuste, « spécialiste » des très fortes avances et profondeurs de coupe, contexte d'utilisation peu courant, mais imposant à l'outil de fortes sollicitations. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,6 à 1,7 mm/tr, <math>a_p</math> : 4 à 17 mm.</p>	<p><b>UF</b></p> <p><b>UF</b>: plaquette pour la finition extrême. Non réversible et avec arête de coupe positive affilée, permettant une coupe franche sous avance et passe faibles. Arête précise pour l'obtention de tolérances étroites et d'un bon fini de surface. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,08 à 0,25 mm/tr, <math>a_p</math> : 0,2 à 2,0 mm.</p>
<p><b>61</b></p> <p><b>61</b>: plaquette de finition, essentiellement pour l'acier et l'acier inoxydable. Cette plaquette réversible, à coupe positive et avec évacuation contrôlée des copeaux, permet d'obtenir un bon fini de surface. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,1 à 0,4 mm/tr, <math>a_p</math> : 1 à 3,5 mm.</p>	<p><b>UM</b></p> <p><b>UM</b>: plaquette de finition de type moyen pour faibles profondeurs de coupe et avances relativement élevées. Géométrie de coupe très positive réduit fortement les forces de coupe et rend la plaquette idéale pour l'alésage et le tournage d'arbres de faible diamètre. Évacuation contrôlée des copeaux dans la direction opposée à la pièce. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,2 à 0,4 mm/tr, <math>a_p</math> : 0,5 à 2,5 mm.</p>
<p><b>SM</b></p> <p><b>SM</b>: plaquette réversible avec arête de coupe robuste. Idéale pour le copiage en présence de surfaces difficiles et de coupes intermittentes dans la plage d'usinage moyenne. Avec évacuation contrôlée des copeaux pour de bons résultats en usinage d'acières au carbone et alliés, surtout aux faibles profondeurs de coupe. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,3 à 0,5 mm/tr, <math>a_p</math> : 0,75 à 3 mm.</p>	<p><b>UR</b></p> <p><b>UR</b>: géométrie pour la semi-finition et la finition. Cette plaquette comporte une arête plus robuste, renforcée, adaptée aux coupes intermittentes et aux opérations où l'on se trouve confronté à des peaux de laminage ou des écailles de forgeage. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,2 à 0,5 mm/tr, <math>a_p</math> : 1,0 à 4,0 mm.</p>
<p><b>23</b></p> <p><b>23</b>: géométrie spécifique pour les alliages réfractaires. Cette plaquette réversible, à coupe positive, possède une arête vive pour réduire les forces de coupe et la tendance à l'écrouissage. Elle est conçue pour la plage d'usinage moyenne. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,12 à 0,35 mm/tr, <math>a_p</math> : 0,7 à 3,5 mm.</p>	<p><b>AL</b></p> <p><b>AL</b> et <b>RCGL-AL</b>: il existe des plaquettes dont les géométries sont spécialement adaptées au tournage d'alliages d'aluminium et autres métaux doux non ferreux similaires. Ces plaquettes ont des arêtes de coupe aiguës très positives et configurées pour fournir une évacuation contrôlée des copeaux et un bon fini de surface. Les plaquettes AL et RGCX-AL en sont deux exemples. Plage d'application de la géométrie AL : <math>f</math>: 0,15 à 0,4 mm/tr, <math>a_p</math> : 1,0 à 4,0 mm.</p>
<p><b>RCMT</b></p> <p><b>RCMT</b>: plaquette ronde convenant pour une grande diversité d'opérations de profilage, de la finition à l'ébauche. Non réversible et avec arête de coupe robuste. Excellent contrôle des copeaux et utilisation universelle, permettant d'obtenir un bon fini de surface même sous forte avance. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,3 à 4,0 mm/tr, <math>a_p</math> : 0,5 à 12 mm.</p>	<p><b>RCGX-AL</b></p>

Tableau 5 – Géométrie et spécificités d'une plaquette sélectionnée (suite)	
Géométrie $T_{max}$ U	
<p><b>UF</b></p>	<p><b>UF</b>: plaquette pour la finition extrême. Non réversible et avec arête de coupe positive affilée, permettant une coupe franche sous avance et passe faibles. Arête précise pour l'obtention de tolérances étroites et d'un bon fini de surface. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,08 à 0,25 mm/tr, <math>a_p</math> : 0,2 à 2,0 mm.</p>
<p><b>UM</b></p>	<p><b>UM</b>: plaquette de finition de type moyen pour faibles profondeurs de coupe et avances relativement élevées. Géométrie de coupe très positive réduit fortement les forces de coupe et rend la plaquette idéale pour l'alésage et le tournage d'arbres de faible diamètre. Évacuation contrôlée des copeaux dans la direction opposée à la pièce. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,2 à 0,4 mm/tr, <math>a_p</math> : 0,5 à 2,5 mm.</p>
<p><b>UR</b></p>	<p><b>UR</b>: géométrie pour la semi-finition et la finition. Cette plaquette comporte une arête plus robuste, renforcée, adaptée aux coupes intermittentes et aux opérations où l'on se trouve confronté à des peaux de laminage ou des écailles de forgeage. Plage d'application principale : <math>f</math>: 0,2 à 0,5 mm/tr, <math>a_p</math> : 1,0 à 4,0 mm.</p>
<p><b>AL</b></p>	<p><b>AL</b> et <b>RCGL-AL</b>: il existe des plaquettes dont les géométries sont spécialement adaptées au tournage d'alliages d'aluminium et autres métaux doux non ferreux similaires. Ces plaquettes ont des arêtes de coupe aiguës très positives et configurées pour fournir une évacuation contrôlée des copeaux et un bon fini de surface. Les plaquettes AL et RGCX-AL en sont deux exemples. Plage d'application de la géométrie AL : <math>f</math>: 0,15 à 0,4 mm/tr, <math>a_p</math> : 1,0 à 4,0 mm.</p>
<p><b>RCGX-AL</b></p>	

**Tableau 5 – Géométrie et spécificités d'une plaquette sélectionnée (suite)**

<b>Géométrie <math>T_{max}</math> U</b>	
 NMA	<b>NMA :</b> pour les applications faisant intervenir des plaquettes en carbure avec pointes en nitride de bore ou des plaquettes céramiques, où l'on a une géométrie neutre et plane comme la forme même de la plaquette, on utilise des plaquettes NMA/NGA de base. Ces plaquettes ont des arêtes de coupe extrêmement robustes, convenant principalement pour les matières dures à copeaux courts. Plage d'application principale : $f : 0,05 \text{ à } 0,25 \text{ mm/tr}$ , $a_p : 0,1 \text{ à } 0,5 \text{ mm}$ .

## 4.7 Matières de la plaquette

Les principales matières utilisées pour les outils de tournage modernes sont les suivantes (figure 46) :

- carbures revêtus (GC) ;
- carbures non revêtus (C) ;
- cermets (CT) ;
- céramiques (CC) ;
- nitrures de bore cubiques (CB) ;
- diamants polycristallins (CD).

■ Les **carbures non revêtus** (C) sont obtenus par frittage (métallurgie des poudres) de substance dure (carbures de tungstène, de titane...) et de substance liante (cobalt...) qui confère sa ténacité à la plaquette.

Ces carbures non revêtus sont aujourd'hui utilisés dans des opérations spéciales, hors du domaine standard (figure 47).

■ Les **carbures revêtus** sont recouverts d'une couche de quelques micromètres de nitride ou de carbure de titane, ou encore d'oxyde d'aluminium (figure 48).

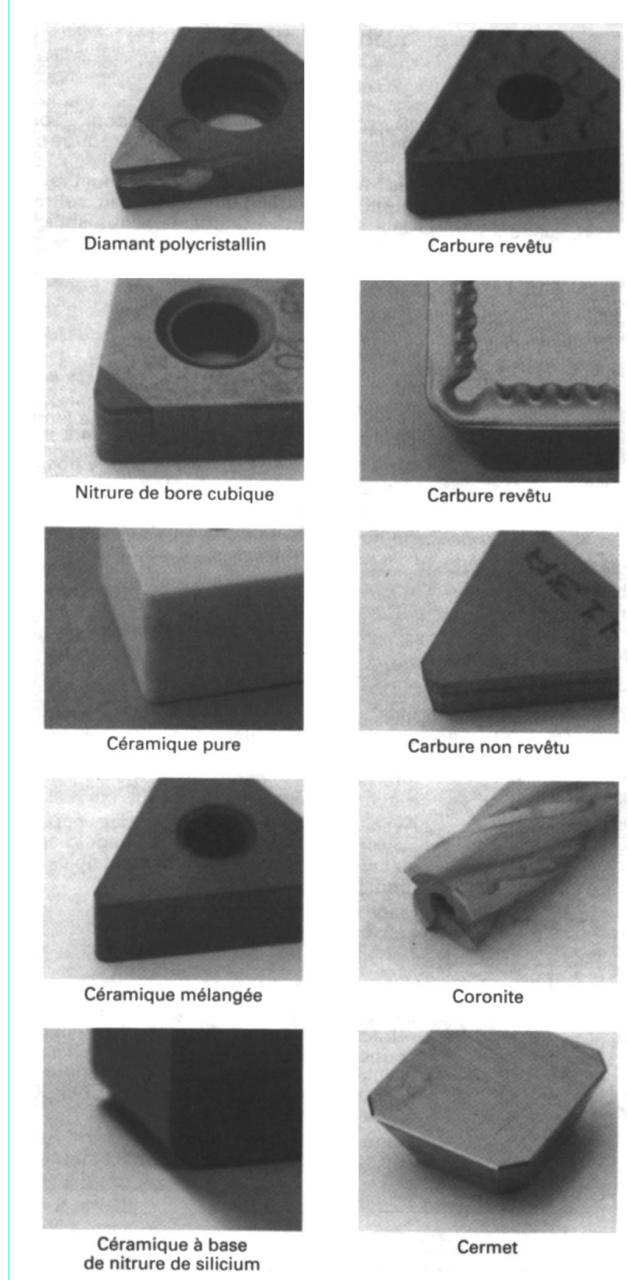
Ces revêtements, en réduisant les frottements copeau/outil et pièce/outil, améliorent très nettement les possibilités des outils.

Ils sont les plus utilisés dans un très grand nombre d'opérations de tournage, pour tous types d'usinage et pour une grande diversité de matières de pièces.

C'est donc le choix à envisager en priorité pour la plupart des opérations d'usinage.

■ Les **cermets** sont des carbures à base de titane, liés au nickel et/ou au cobalt. Ils conviennent pour l'ébauche légère et la finition dans des conditions favorables, en ce qui concerne la pièce et la machine-outil. La finition est leur spécialité, avec pour caractéristique un état de surface de haute qualité (figure 49).

■ Les **céramiques** (CC) (figure 50) constituent un éventail de nuances adaptées à une gamme étendue d'opérations. Cela va de la fonte et de l'acier à l'usinage hautement spécialisé de matières réfractaires et d'acier trempé. Le besoin de rectification, par exemple, peut être éliminé lorsqu'on recourt aux plaquettes céramiques pour le tournage. Extrêmement productives quand elles sont utilisées à bon escient, elles exigent toutefois un contexte d'usinage précis en matière de stabilité, de conditions de coupe, d'arête de coupe et de type de coupe. Les plaquettes céramiques sont conçues pour un taux élevé d'enlèvement de matière dans les situations où la précision de cotés et la qualité du fini de surface doivent demeurer inchangées tout au long de la durée de vie de l'outil. Cependant, elles ne conviennent pas pour certaines matières.



**Figure 46 – Différentes matières pour outils**

■ Le **nitrite de bore cubique** (CB) (figure 51) est une matière très dure, adaptée au tournage d'acier trempé, de fonte en coquille et d'alliages à base de nickel ou de cobalt. Les impératifs sont ici très rigoureux au niveau des conditions de coupe et de l'arête de coupe. La productivité et la longévité sont nettement supérieures à celles des plaquettes céramiques ou en carbure, lorsqu'elles sont utilisées correctement. Les plaquettes en nitrite de bore cubique sont destinées en premier lieu à la finition.

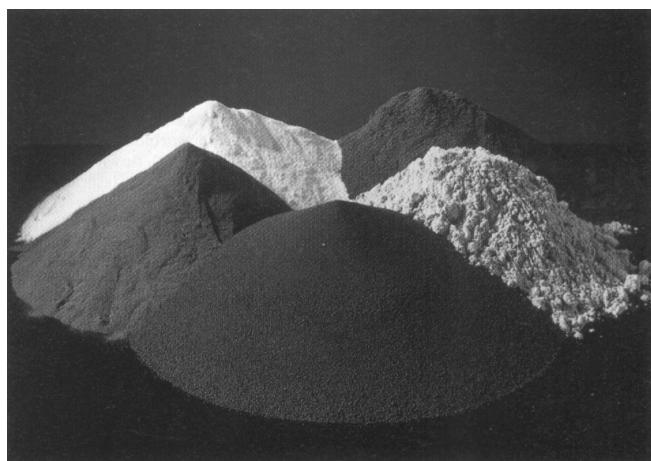


Figure 47 – Carbures non revêtus

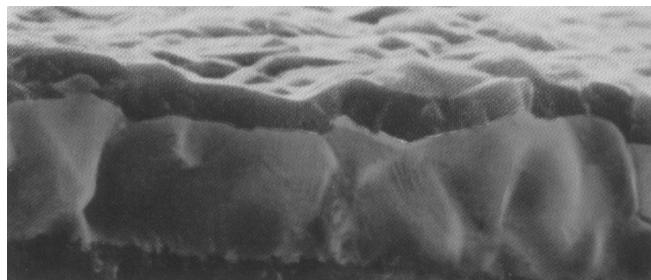


Figure 48 – Carbures revêtus

Tableau 6 – Affectations des matières suivant le type de matériau usiné

Pièce à usiner	Matière de l'outil
1	GC, C CT, CC
2	GC, C CT
3	GC, C CT, CC CB
4	GC, C CC, CB
5	C, CD
6	CB, CT C, GC

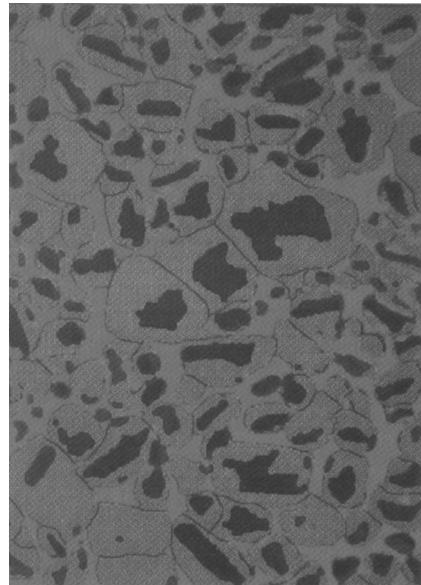
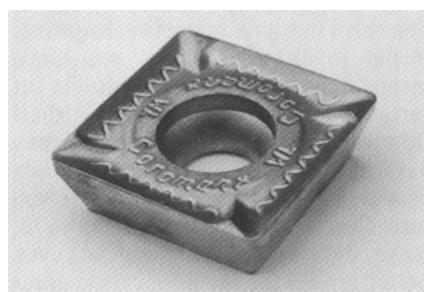


Figure 49 – Cermets

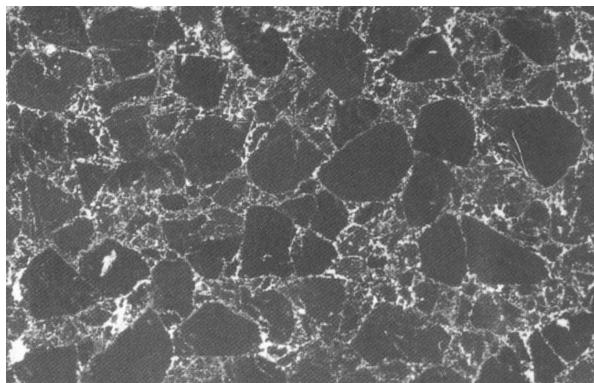


Figure 50 – Céramiques

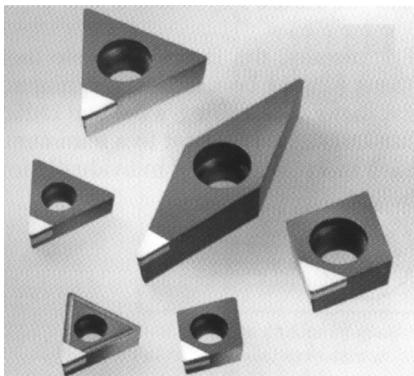


Figure 51 – Nitrure de bore cubique

**Les diamants polycristallins (CD)** (figure 52) ont un domaine d'utilisation complètement différent, étant donné qu'ils sont totalement inappropriés pour les métaux contenant du carbone. Ils sont utilisés en finition et demi-finition pour les métaux non ferreux et les matières non métalliques.

Le tableau 6 donne l'affectation principale de ces matières suivant le type de matériau usiné.

On peut aussi récapituler les domaines d'emploi des différents matériaux d'outils (en incluant l'acier rapide) (figure 53).

## Références bibliographiques

- [1] *Modern Metal Cutting*. SANDVIK.
- [2] *Memotech productique*. Casteilla.
- Dans les Techniques de l'Ingénieur**
- [3] LEROY (F.). – *Physique de la coupe des métaux*. B 7 040. Traité Génie mécanique, 2, 1993.
- [4] LEROY (F.). – *Endommagement des outils de coupe*. B 7 042. Traité Génie mécanique, 2, 1993.
- [5] GLADEL (G.), GOURDET (D.) et TOUS (J.-L.). – *Matériaux pour outils de coupe*. B 7 080. Traité Génie mécanique, 5, 1992.

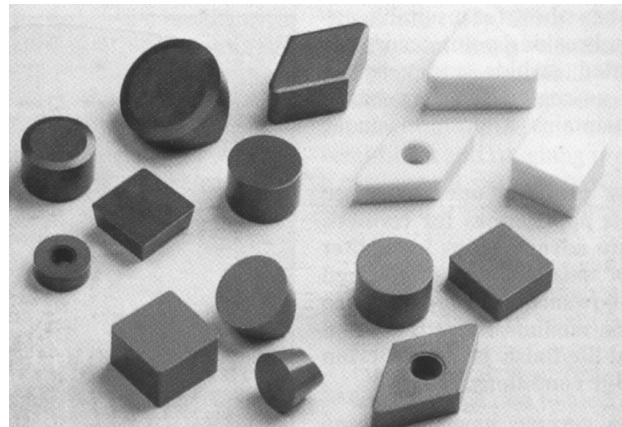
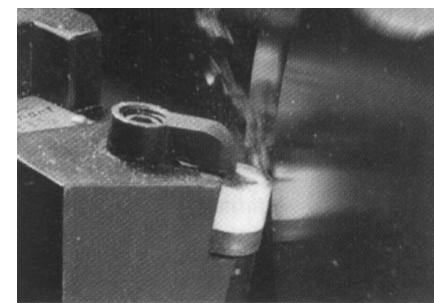
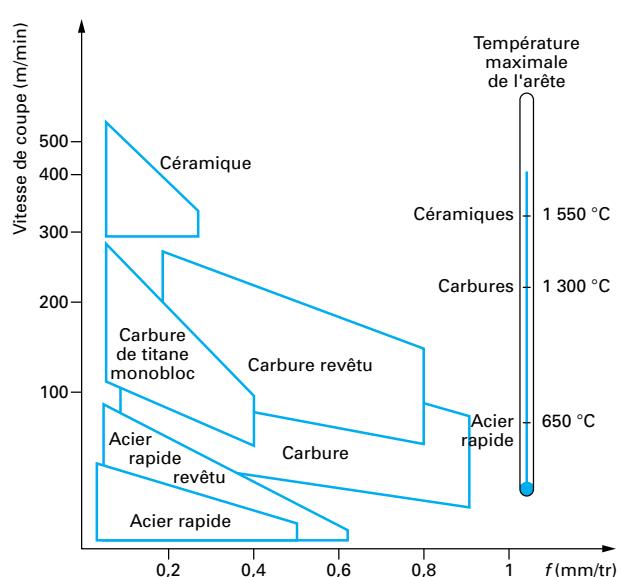


Figure 52 – Diamants polycristallins



Ce diagramme est donné à titre indicatif pour situer les différents domaines des matériaux à outil. Il est représentatif des conditions normales d'utilisation de ces outils, en ébauche, pour les aciers et les fontes. Il ne peut être utilisé pour choisir les conditions de coupe.

Figure 53 – Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant