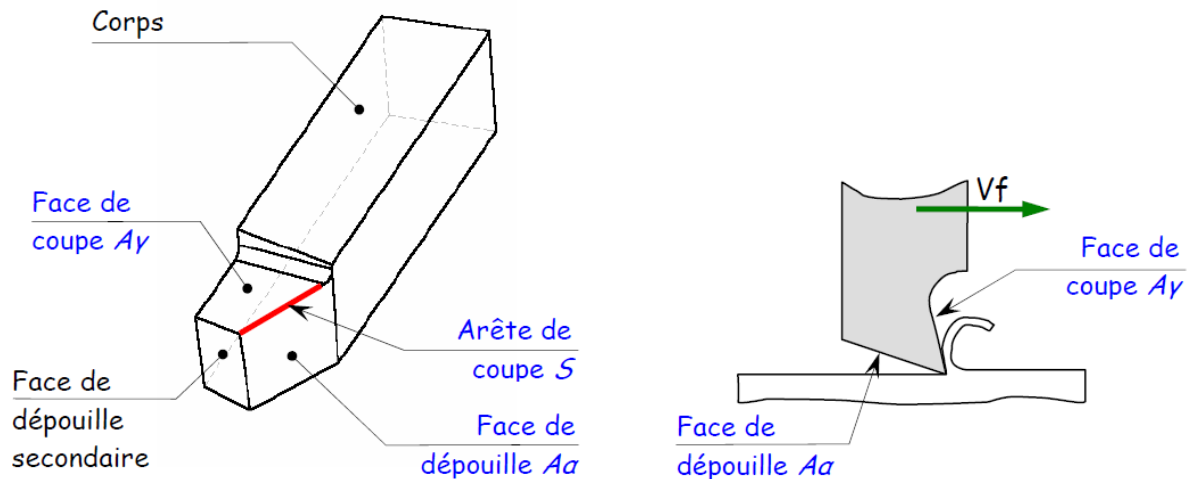


Chapitre II : Nature et propriétés des outils de coupe

1. Introduction - rappels

Un outil coupant est constitué d'un corps d'outil comportant une ou plusieurs parties actives. La partie active est constituée d'une arête de coupe, intersection de la face de coupe ($A\gamma$) et de la face de dépouille ($A\alpha$).



Définition des faces de l'outil

$A\gamma$: face de coupe, face sur laquelle glisse le copeau.

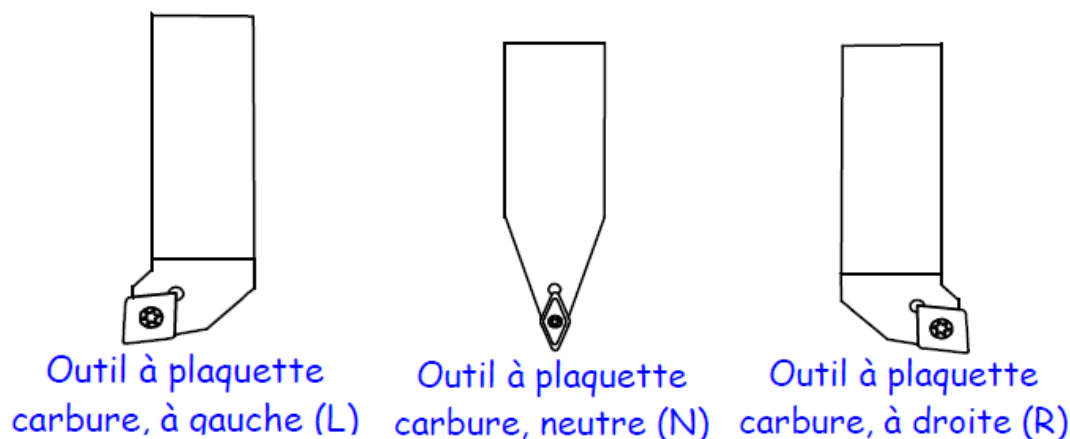
$A\alpha$: face de dépouille, face devant laquelle passe la surface qui vient d'être usinée.

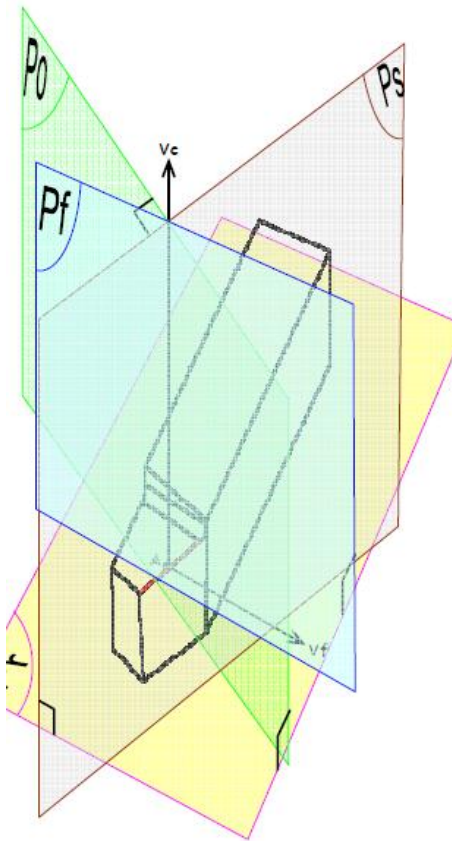
S : arête de coupe principale, intersection entre $A\gamma$ et $A\alpha$.

Remarque :

Le sens de l'outil est défini par la position de l'arête de coupe (S). En considérant l'outil tenu en main verticalement et le bec en bas :

- l'outil est dit à droite, si, son arête tranchante est orientée vers la droite.
- l'outil est dit à gauche, si son arête tranchante est orientée vers la gauche.
- Si la partie active de l'outil est symétrique par rapport à l'axe de l'outil, ce dernier travaille indifféremment à droite et à gauche, l'outil est neutre.



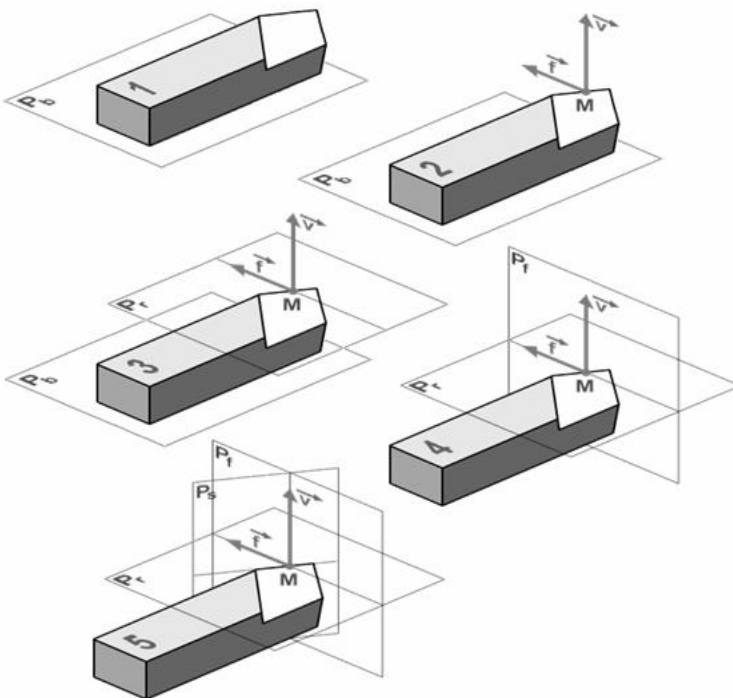


L'outil tenu en main, on a :

- P_r = Plan de référence : c'est un plan perpendiculaire au vecteur V_c (vitesse de coupe) et passant par le point considéré A de l'arête de coupe. Pour un outil rotatif, P_r passe aussi par l'axe de rotation.
- P_f = Plan de travail conventionnel : c'est le plan perpendiculaire au plan de référence P_r , qui contient le vecteur V_f (vitesse d'avance) et passant par le point considéré A de l'arête de coupe.
- P_s = Plan d'arête : c'est le plan perpendiculaire au plan de référence P_r , qui contient la tangente à l'arête de coupe, au point considéré A.
- P_o = Plan orthogonal, c'est le plan perpendiculaire au plan de référence P_r et au plan d'arête P_s , passant par le point considéré A de l'arête de coupe.

Repérage des plans de l'outil

Pour pouvoir étudier les caractéristiques de l'outil en main, il faut au préalable avoir défini :



1) **Pb** : plan de base, surface d'appui de l'outil

2) **M** : point considéré de l'arête de coupe.

V : Vecteur supposé du sens de coupe.

f : Vecteur supposé du sens d'avance.

3) **Pr** : plan de référence, parallèle à P_b et contenant M et f .

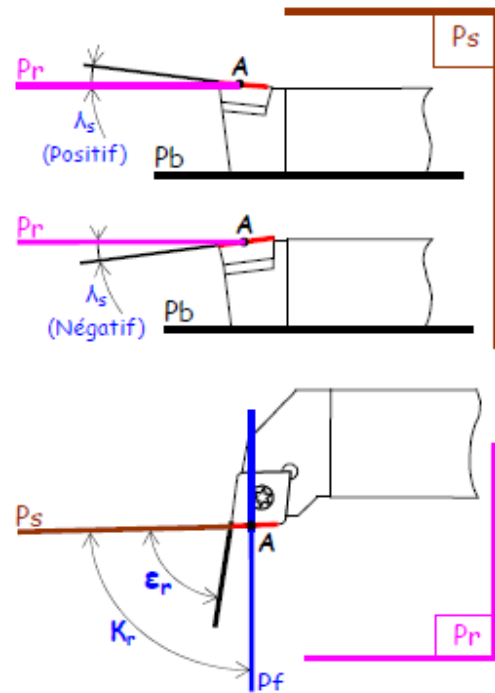
4) **Pf** : plan de travail conventionnel, perpendiculaire à P_r et contenant M, V et f

5) **Ps** : plan d'arête de l'outil, perpendiculaire à P_r et tangent à l'arête de coupe en M.

Définition des angles caractéristiques

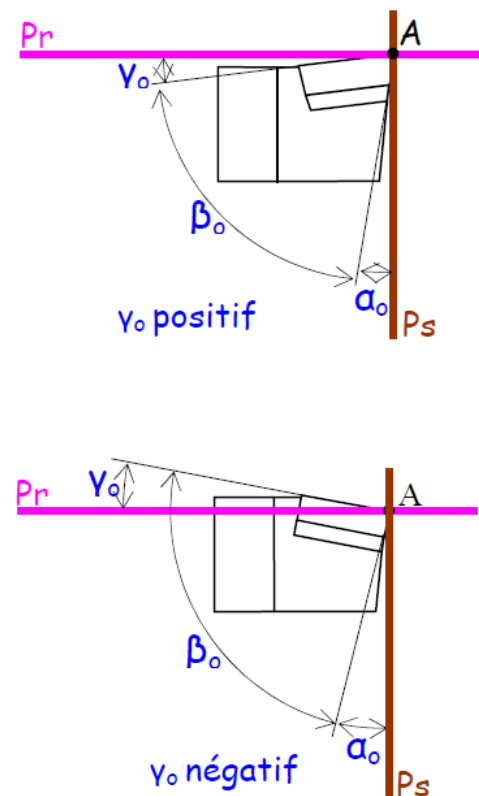
❖ Les angles d'arêtes de l'outil

- λ_s "Lambda s" = angle d'inclinaison d'arête, angle aigu mesuré dans P_s , compris entre P_r et la tangente à l'arête, au point A. Il peut être positif ou négatif.
- κ_r "Kappa r" = angle de direction d'arête, angle aigu mesuré dans P_r , compris entre P_f et P_s .
- ϵ_r "epsilon r" = Angle de pointe, angle mesuré dans P_r , entre l'arête de coupe principale S et l'arête de coupe secondaire S'.



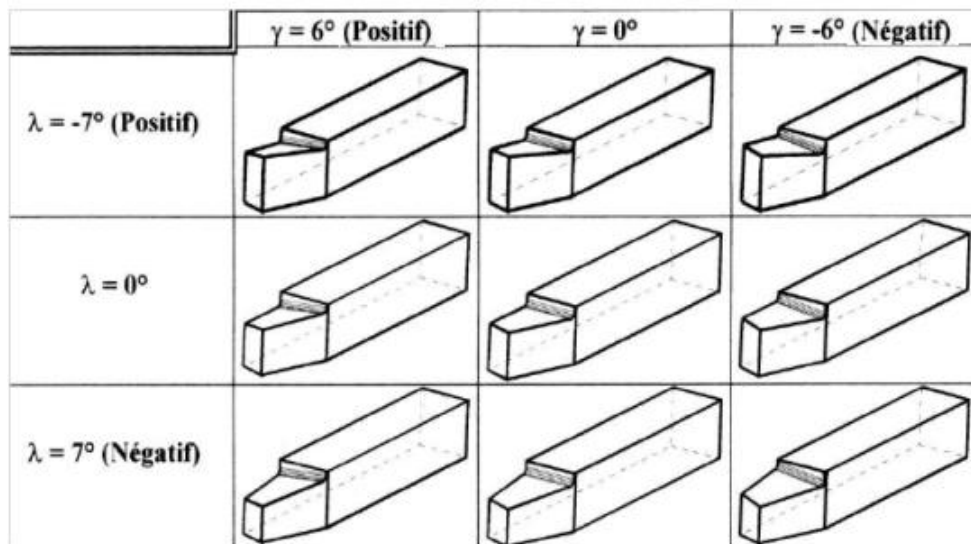
❖ Les angles des faces de l'outil

- α_o (alpha O) = angle de dépouille orthogonal, angle aigu mesuré dans P_o , compris entre P_s et A^α .
- β_o (beta O) = angle de taillant orthogonal, angle mesuré dans P_o , compris entre A^α et A^γ .
- γ_o (gamma O) = angle de coupe orthogonal, angle aigu mesuré dans P_o , compris entre P_r et A^γ .



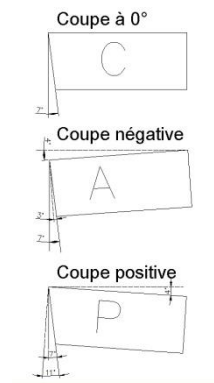
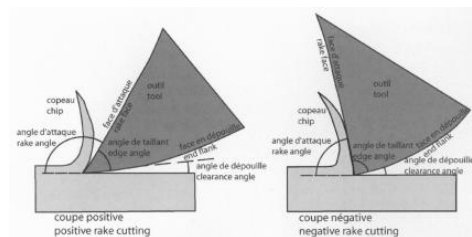
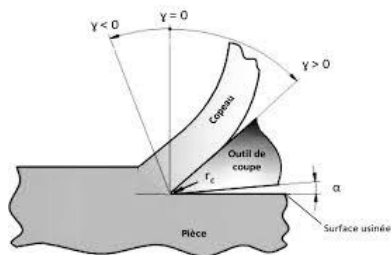
Rq : $\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ$

Exemples d'outils à chariotier droit avec les angles γ_0 et λ_s qui changent :



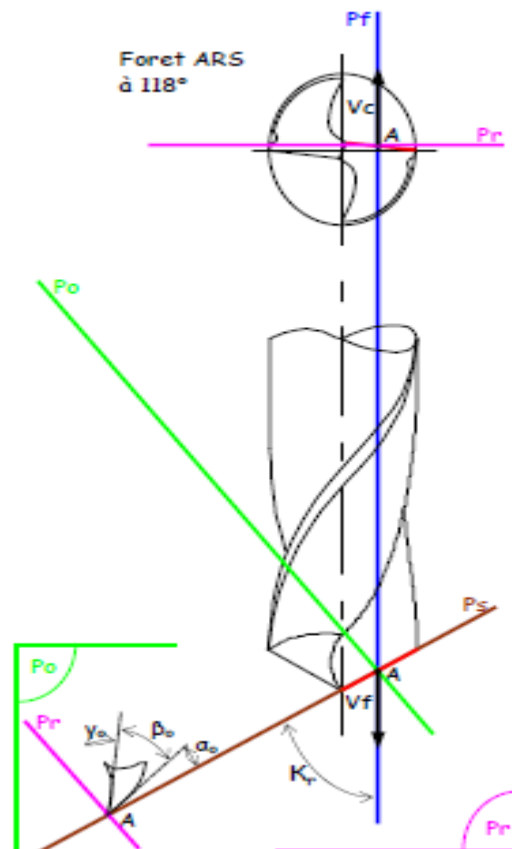
Le choix d'un outil avec une coupe positive ou négative s'effectue essentiellement en fonction de la matière à usiner :

- Alliage léger (ex : alliage d'aluminium) : Coupe de préférence positive.
- Acier : Coupe de préférence négative.

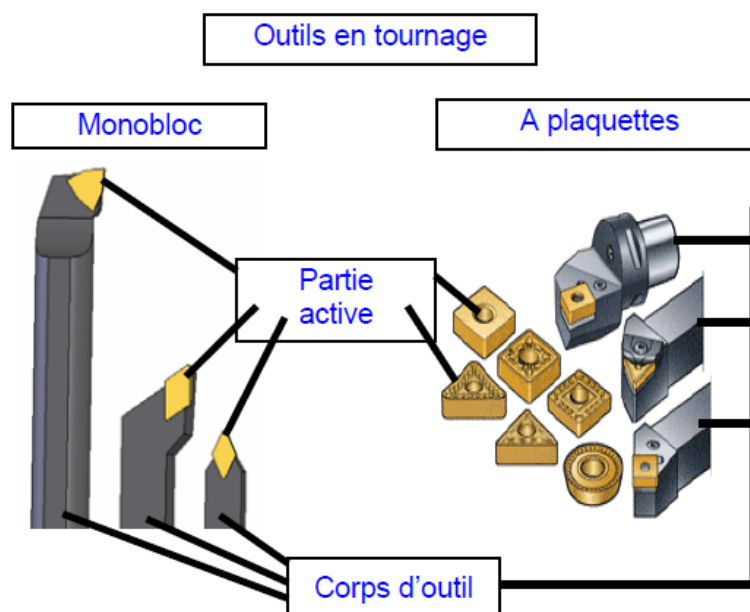


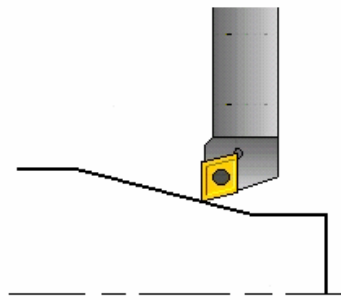
Outil à plaquette carbure STDC

❖ Foret ARS à 118°

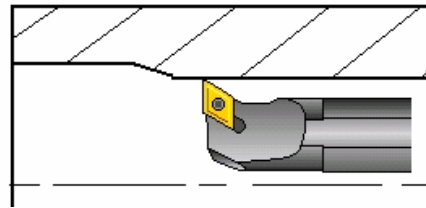


Outils et Opérations de Tournage

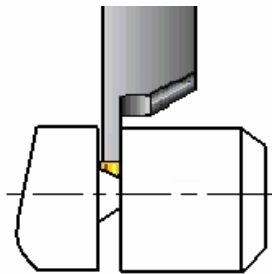




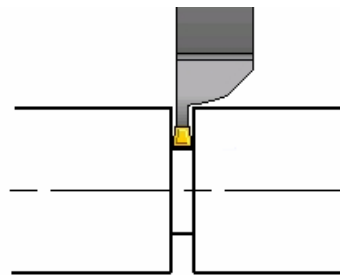
Outil extérieur



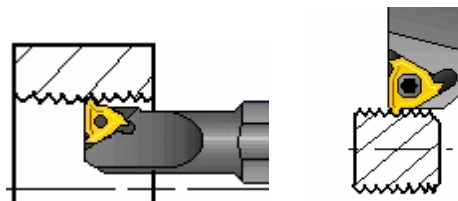
Barre à aléser



Outil à tronçonner

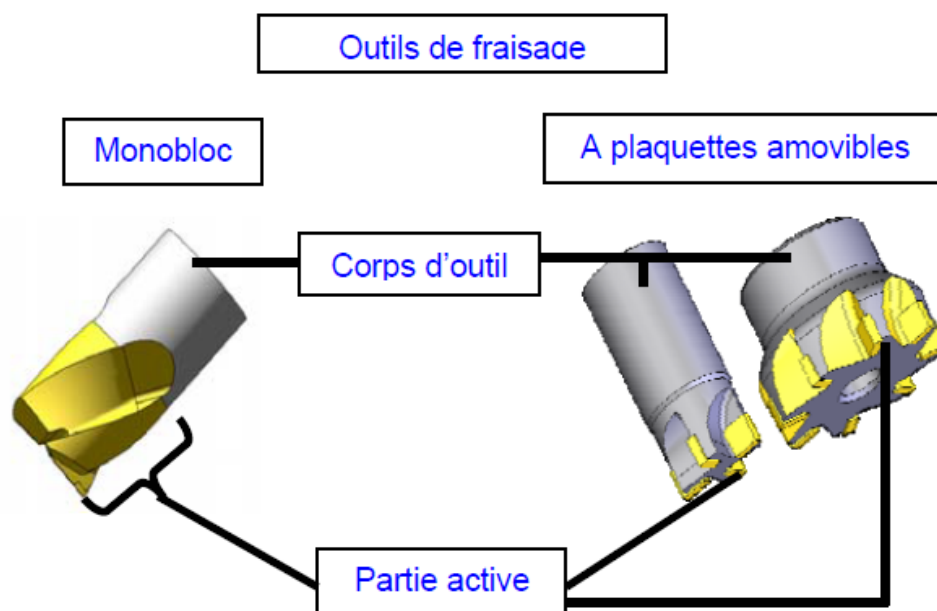


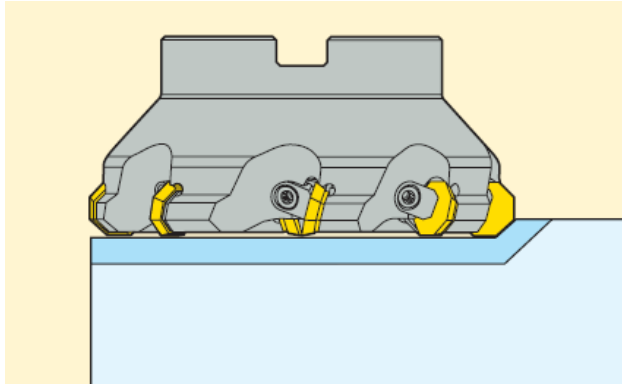
Outil à gorge



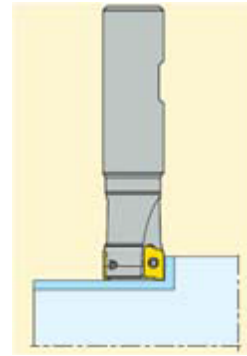
Outils à fileter

Outils et Opérations de Fraisage, Outils de perçage





Fraise à surfacer



Fraise 2 tailles cylindrique



Foret à pointer
(permet le positionnement d'un perçage)



Foret
(permet le perçage des trous (Tolérance **H13**))



Alésoir
(permet la finition d'un trou (Tolérance **H7 H8**))



Taraud
(permet le filetage d'un trou)

3. Matériaux d'outils de coupe, Propriétés et Compositions

➤ Caractéristiques principales des matériaux pour outils de coupes :

la partie active doit posséder une bonne :

- | | | |
|-------------------------------|---|--------------------------------|
| ▪ Résistance au frottement | ⇒ | Bonne résistance à l'usure |
| ▪ Résistance aux chocs | ⇒ | Bonne ténacité |
| ▪ Résistance à la pénétration | ⇒ | Bonne dureté |
| ▪ Résistance à la chaleur | ⇒ | Bonne dureté à chaud |
| ▪ Résistance à la pression | ⇒ | Bonne résistance aux pressions |

➤ Familles de matériaux d'outils ou de coupe

a) acier au carbone (1898)

Il contient 0.6 à 1.4 % de carbone ; après traitement thermique, il peut atteindre une dureté de 58 à 64 HRC ; sa résistance à chaud est de 200 à 250 °C ; La vitesse de coupe permise en usinage avec cet acier 5 à 15 m/min.

b) acier allié

Avec des éléments d'alliage de 0.6 à 1.4 % C + Cr, +W, +Mo, +V, ..., avec des % variés des éléments d'addition permettant d'améliorer les caractéristiques mécaniques, principalement, la résistance à chaud (250 à 300 °C), d'augmenter la vitesse de coupe (1,2 à 1,4 fois plus) par rapport à celle de l'acier au carbone.

c) acier rapide

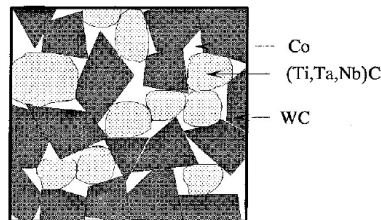
- Composition chimique : (0.6 à 1.4 %) C + (3.8 à 4.6 %) Cr et (8.5 à 19 %) W.
- Résistance à chaud allant jusqu'à 600°C.
- Dureté 62 à 65 HRC.
- Vitesse de coupe 2 à 3 fois supérieure à celle des outils au carbone.

Classification des aciers rapides, d'après AFNOR :

- ARO 14 à 16 % W : $R_{ch} = 400$ °C
- ARS 17 à 19 % W : $R_{ch} = 500$ °C
- ARES 19 à 21 % W + 5 à 15 % Co + 4 à 5 % Cr + 0.6 à 0.8 % C, $R_{ch} = 550$ à 600°C

d) Les carbures métalliques

Ils contiennent un liant, souvent le cobalt (Co), et un/ou plusieurs éléments d'addition (W, Ti, Ta, Bo,...), saturés de carbone, comme le montre la figure ci-après.



Ils sont obtenus par frittage (température + pression) et sont caractérisés par :

- Une résistance à chaud de 1000 °C,
- Une vitesse de coupe allant jusqu'à 250 à 300 m/min,
- Une température d'oxydation de 800°C.

Ils peuvent être classés en trois catégories :

- + **Mono carbure**, selon norme ISO, **type K** : Alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC + Co), il est surtout utilisé en usinage des aciers aux copeaux courts,
- + **Bicarbures**, selon norme ISO, **type P** : C'est un alliage de carbure de tungstène, de carbure de titane et de cobalt (WC + TiC + Co), ils sont utilisés en usinage des aciers inoxydables aux copeaux longs.
- + **Tri carbure ou plus**, selon norme ISO, **type M** : Alliage de carbure de tungstène, de carbure de titane, de carbure de tantale et de cobalt (WC + TiC + TaC + Co), ils sont utilisés en usinage des matériaux friables (comme la fonte) aux copeaux fragmentés.

e) Les carbures revêtus

Les progrès, dans le domaine du revêtement, ont été spectaculaires ces dernières années. Le carbure revêtu est constitué d'une plaquette en carbure métallique et d'un film mince d'épaisseur 3 à 10 µm en matériaux plus durs.

Les couches les plus usuelles sont le carbure de titane, le nitrure de titane, le carbonitrure de titane et l'aluminium. Chacune de ces couches apporte à l'outil une amélioration dans un domaine particulier (résistance à l'usure, à l'oxydation, au frottement, etc.).

f) Les céramiques

Sous le nom de céramique, il est courant de désigner l'oxyde d'aluminium ou alumine Al_2O_3 . L'application de ce matériau sur le marché remonte aux années 1960. Les céramiques ont été introduites en premier lieu pour l'usinage à grande vitesse des fontes et pour l'application nécessitant des taux d'enlèvement de matière importants. Les outils de ce matériau sont plus résistants à l'usure et plus stable chimiquement que les carbures cimentés. Grâce à leur exceptionnelle stabilité à haute température, les céramiques conviennent bien pour les usinages à grande vitesse et l'usinage des alliages ferreux très durs jusqu'à 790 HV (63 HRC). Les avantages des céramiques sont leur faible masse volumique et leur température d'utilisation nettement plus élevée que celle des alliages durs courants. Cependant, leur ténacité, c'est-à-dire leur aptitude à résister aux microfissures, a fait leur principale faiblesse.

Il existe :

- ✚ **La céramique blanche**, aussi appelée céramique pure, est composée d'oxyde d'aluminium et de quelques additifs. Les plaquettes sont obtenues par pressage à froid (on dit aussi pastillage) suivi d'un frittage.
- ✚ **La céramique noire**, également appelée céramique mixte ou **cermet**, est un mélange d'oxyde d'aluminium à 70 % et de carbure de titane à 30 %. Elle est obtenue par frittage sous pression.

Ces deux types de céramiques se présentent en plaquettes de différentes formes, comme celles des carbures.

Céramiques oxydées	Céramiques mixtes		Céramiques non oxydées
Céramiques blanches	Céramiques mixtes noires	Céramiques renforcées fibres de verre (whiskers)	Sialons gris
Au début: Al_2O_3 Actuellement: $Al_2O_3 + ZrO_2$	$Al_2O_3(70\%)TiC(30\%)$ $Al_2O_3-TiN-TiC$ Al_2O_3-WC, TaC	Al_2O_3 -fibres SiC	Base Si_3N_4
ténacité ←-----→ dureté ←-----→			

g) Le diamant

C'est en 1966 que le Docteur Tracy Hall, chercheur dans la firme Mégadiamond Corporation aux U.S.A fabriqua pour la première fois un diamant poly cristallin fritté. Le diamant est le matériau le plus dur, il est aussi le plus cher, mais il est quand même nettement moins cher que le diamant mono cristallin. Il possède une résistance à l'usure supérieure à celles des autres matériaux d'outils, en particulier au contact des **matières fortement abrasives**. Néanmoins, le diamant poly cristallin ne peut supporter des températures supérieures à 850 °C, ainsi il ne peut être utilisé pour usiner les aciers ou les fontes.

L'élaboration du diamant poly cristallin est la suivante : la poudre, préalablement préparée, est placée dans une matrice de la forme désirée. Cette matrice est ensuite placée dans une presse dont la pression est de l'ordre de un million de bars. On chauffe, électriquement, la poudre de diamant à la température de frittage aux environs de 2100 °C ; ensuite, on refroidit ce comprimé toujours sous pression.

Il existe :

✚ **Diamant naturel**, propriétés remarquables, en tant qu'outil de coupe :

- Le plus dur des matériaux connus ;
 - Résistance à la compression très supérieure à celle des autres matériaux;
 - Coefficient de dilatation thermique ($3,1 \cdot 10^{-8} \text{ m.K}^{-1}$), plus faible que celui des autres matériaux d'outils, à qui lui confère une excellente résistance aux chocs thermiques;
 - Conductivité thermique, plus élevée que celle des autres matériaux 600 à 2000 $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, lui permettant l'évacuation facile de la chaleur de la zone de coupe.
- Par contre, sa résistance est faible, ce qui le rend très sensible aux chocs mécaniques. Sa haute dureté est liée à sa structure atomique particulière.

✚ **Diamant synthétique :**

En soumettant du graphite à des températures et pressions très élevées, on obtient des petits grains ($< 0,5 \text{ mm}$). Contrairement au diamant naturel, le PCD (Diamant Compact Polycristallin) est isotope, il ne présente ni plan de clivage ni variation de dureté. Celle-ci est un peu inférieure à la valeur maximale de celle du diamant naturel. Le PCD est plus résistant aux chocs mécaniques.

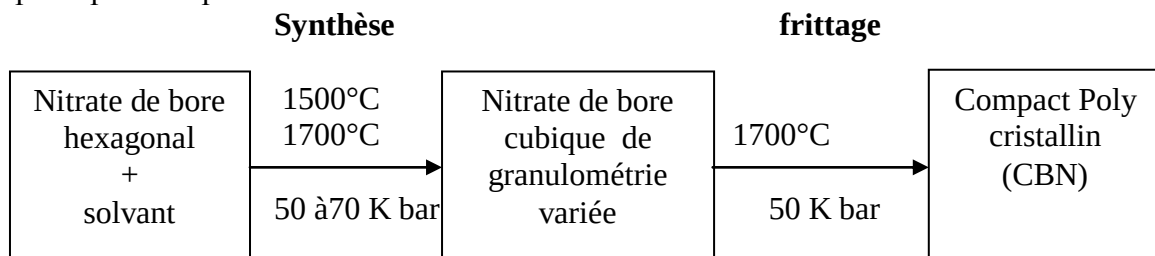
A base de carbone, les diamants (naturels et synthétiques), ont de ce fait une forte affinité pour les matériaux ferreux et sont donc généralement exclus pour leur usinage. On les utilise particulièrement pour les métaux tendre : aluminium, cuivre, magnésium, zinc, et leur alliages, des matières plastique chargées ou non, du bois.

h) Nitrure de bore cubique (CBN)

Le nitrure de bore cubique est le matériau le plus dur après le diamant, il ne se trouve pas dans la nature, on l'obtient par synthèse (première synthèse en 1957 aux Etats-Unis). Mais il n'a été utilisé, industriellement pour la coupe, que dans le milieu des années 1970. Il est réalisé d'une manière traditionnelle, c'est à dire par les procédés employant des pressions de l'ordre de 60 Kbar et des températures de 1500°C . Il présente des propriétés mécaniques élevées, dépendant de la nature et de la quantité de liant. Sa dureté se maintient à chaud (jusqu'à 1000°C), ce qui lui permet de travailler à des vitesses de coupe très élevées et d'usiner des matériaux durs.

La céramique de coupe est un compact Poly cristallin à matrice céramique ou métallique, éventuellement, lié à un substrat en carbure de tungstène.

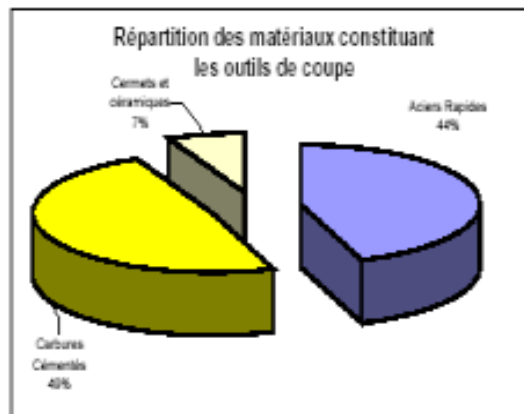
Les principales étapes d'élaboration du CBN sont :



Le CBN est, particulièrement, adapté à l'usinage des matériaux durs (dureté HRC 55, soit environ 595 HV) tels que les aciers traités, les fontes alliées (au chrome, au molybdène,...etc.), alliages de revêtement dur, aciers à outils,...etc. Il permet aussi l'usinage des matériaux conventionnels (fontes ordinaires par exemple) à des vitesses de coupe élevées (plus de 1000 m.min^{-1}) aussi bien en tournage qu'en fraisage.

La géométrie des outils (finition d'arête) a une influence notable sur la tenue en service.
L'assise de l'outil doit être excellente, la machine très rigide.
L'aptitude du CBN à usiner les aciers traités avec d'excellentes qualités de surface fait qu'il peut être envisagé, dans des cas, pour remplacer la technique d'usinage par rectification.

Répartition des matériaux constituant l'outil de coupe.



CONDITIONS DE COUPE ET ANGLES DES OUTILS :

Tournage :

Dans le tableau ci-après vous trouverez des valeurs indicatives de vitesses de coupe et d'angles d'outils.

Matières à usiner	R daN/mm ² ou HB	ARS sans Co Vc (m/min)	ARS 5% de Co Vc (m/min)	Carbure Vc (m/min)		Angles			
				Ebauche	Finition	ARS		Carbure	
						α	γ	α	γ
Aciers	40<R<60	35 à 50	50 à 65	100 à 200	300	6°	30°	5°	20°
Aciers	60<R<90	20 à 25	25 à 50	80 à 130	150 à 200	6°	25°	5°	15°
Aciers	90<R<110	10 à 20	15 à 25	50 à 80	80 à 100	6°	20°	5°	12°
Fontes	160<HB<250	20 à 30	35 à 50	40 à 60	75 à 100	6°	20°	5°	15°
Fontes	260<HB<350	15 à 20	25 à 40	20 à 50	50 à 70	6°	20°	5°	10°
Fontes	360<HB<500	10 à 15	20 à 30	30 à 50	50 à 70	6°	15°	5°	10°
Aciers		18 à 30	25 à 40	25 à 50	50 à 70	6°	10°	4°	5°
Cuivre		40 à 50	50 à 70	80 à 100	80 à 150	8°	30°	8°	20°
Alliages légers		45 à 80	65 à 100	150 à 400	150 à 500	8°	30°	8°	25°
Bronze		40 à 60	45 à 70	100 à 150	200 à 300	8°	25°	6°	15°
Bronze phosphoreu		30 à 50	40 à 60	80 à 120	120 à 200	8°	20°	5°	10°
Laitons		45 à 75	60 à 100	150 à 300	200 à 500	8°	25°	6°	15°

Fraisage :

Dans le tableau ci-après vous trouverez des valeurs indicatives de conditions de coupe et d'angles en surfacage.

Matières à fraisier	R (daN/mm ²) ou HB	Vitesses de coupe Vc (m/min)		Tailles				
				Périphérique			en bout	
		Ebauche	Finition	α	γ	α'''	α	α'
Aciers	< 60	20 à 25	25 à 30	8°	20°	15°	6°	20°
Aciers	60<R<90	8 à 12	12 à 18	10°	12°	15°	6°	15°
Fontes	HB<250	10 à 15	12 à 20	8°	15°	15°	6°	15°
Fontes	HB>250	8 à 12	12 à 15	8°	5°	-	6°	25°
Alliages légers		100 à 150	150 à 300	8°	20°	15°	6°	15°

Nota : L'angle α' correspond à la valeur angulaire de la seconde face en dépouille (face de dépouille principale $\alpha\alpha$ et face de dépouille secondaire $\alpha\alpha'$).

Perçage - Alésage :

Perçage :

Valeurs indicatives de vitesses de coupe pour forets ARS et carbure

Matières à percer	ARS Vc (m/min)	Carbure Vc (m/min)
Aciers R<60	20 à 30	20 à 30
Aciers 60<R<90	15 à 20	8 à 12
Aciers R>90	10 à 15	60 à 100
Fontes HB<250	20 à 30	40 à 80
Fontes HB>250	15 à 20	80 à 100
Bronzes	40 à 50	100 à 200
Laitons	50 à 80	120 à 160

Alésage :

Conditions de coupe (vitesses de coupe) et angles pour alésoirs ARS.

Matières à aléser	ARS Vc (m/min)
Aciers R<60	10 à 15
Aciers 60<R<90	6 à 10
Aciers R>90	4 à 6
Fontes HB<250	10 à 16
Fontes HB>250	6 à 12
Bronzes	6 à 12
Laitons	20 à 30

Type d'alésoir	Alésoir à main	Alésoir machine ébauche	Alésoir machine finition
α	0°	1° à 3°	0°

