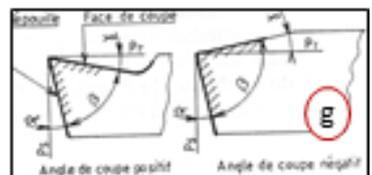
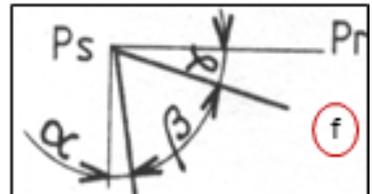
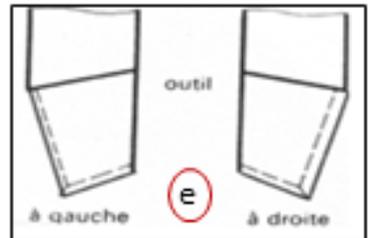
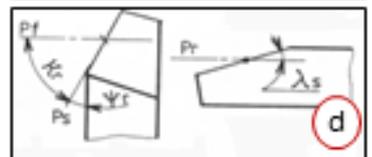
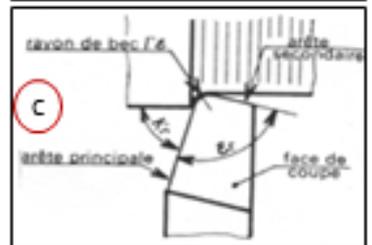
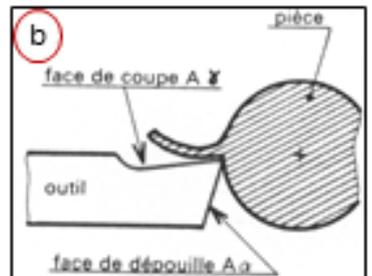
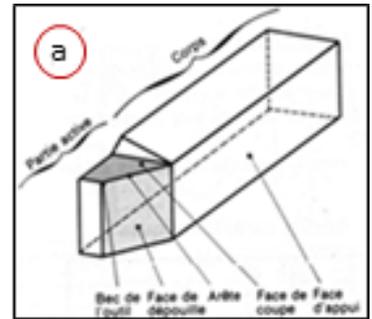


II. ETUDE DE LA COUPE

II.1. Présentation sommaire des angles de l'outil de coupe

II.1.a. Généralités

- Chaque dent des outils à tranchants multiples (fraises, forets, etc.) se comporte comme un outil élémentaire dont le modèle de référence est l'outil prismatique de tournage. L'étude de la partie active de tous les outils de coupe passe par celle de l'outil prismatique de tournage. [Fig. a]
- Un outil de coupe est constitué d'un *corps* comportant une ou plusieurs *parties actives*. La partie non active, souvent appelée *queue*, assure la liaison de la partie active avec le porte-outil. [Fig. a]
- Le corps de l'outil doit résister aux efforts qui prennent naissance pendant la coupe et se prêter à un repérage correct et une fixation rapide sur le porte-outil. [Fig. a]



Figures extraites de Deitrich et al. 1979

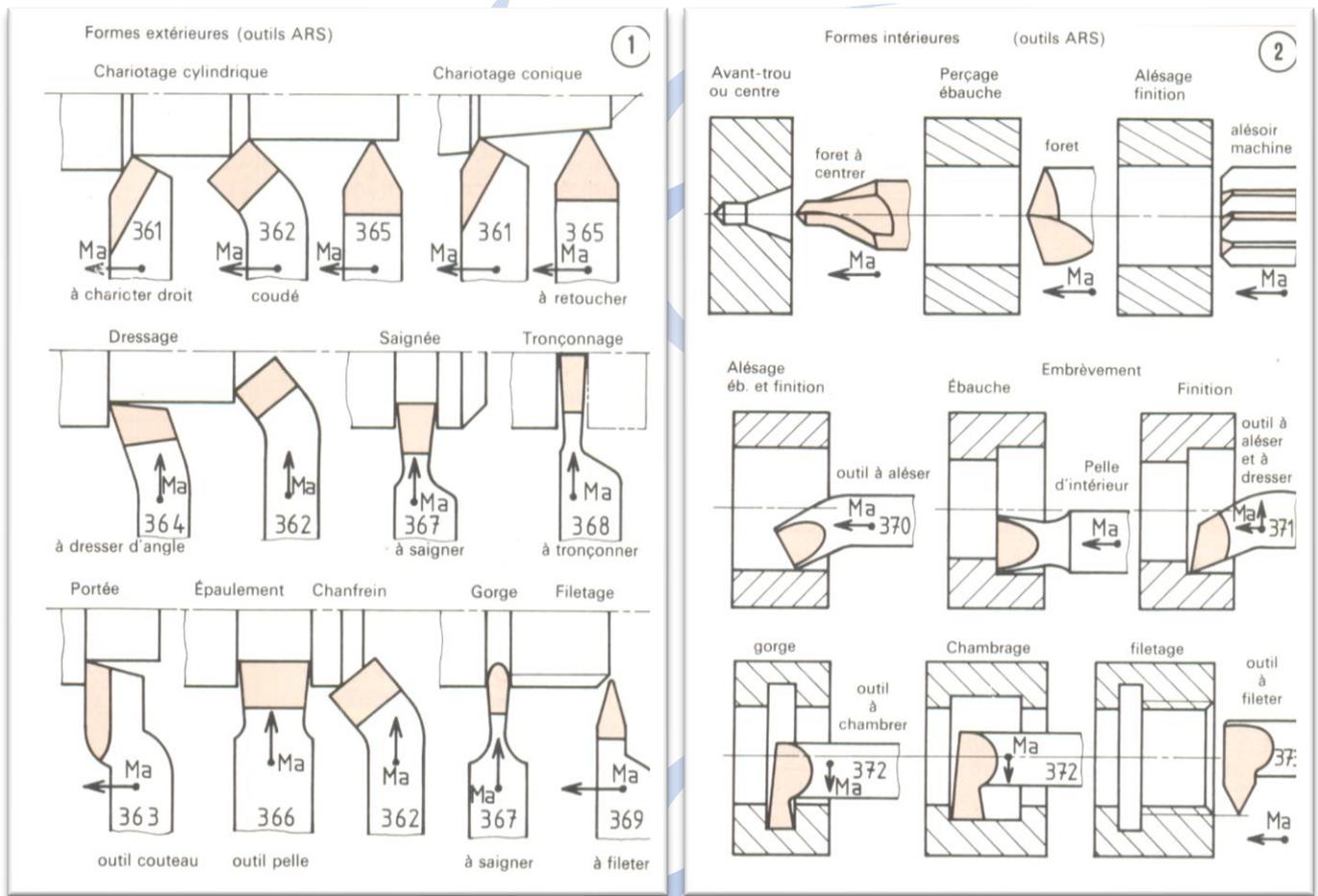
II.1.b. Notions concernant la géométrie de la partie active

- La partie active consiste en :
 - une *arête principale* : intersection de deux surfaces dites respectivement face de coupe et face de dépouille principale. [Fig. b & c]
 - une *arête secondaire* : intersection de deux surfaces dites respectivement face de coupe et face de dépouille secondaire. [Fig. c]
 - Un *bec ou une pointe*: intersection de deux arêtes de coupe principale et secondaire. [Fig. c]
- Le principal angle d'arête est l'*angle de direction d'arête de l'outil (Kr)* : Angle aigu montré à la figure ci-contre. Son complémentaire est l'*angle de direction complémentaire de l'outil (ψr)* [$Kr + \psi r = 90^\circ$]. Grossièrement, c'est l'angle que fait l'arête avec la direction de l'avance. Il donne également l'angle de chanfrein. [Fig. c & d]
- L'outil est dit à droite si son arête est orientée vers la droite d'un observateur faisant face à la face de coupe de l'outil et regardant vers l'arrière de l'outil il est dit à gauche dans le cas contraire. [Fig. e]
- Les angles de face [Fig. g]
 - *Angle de dépouille α* : angle aigu entre la face de dépouille $A\alpha$ et le plan d'arête P_s ;
 - *Angle de taillant β* : angle aigu entre la face de coupe $A\gamma$ et la face de dépouille $A\alpha$;
 - *Angle de coupe γ* : angle aigu entre la face de coupe $A\gamma$ et le plan de référence P_r .

II.1.c. Effets des principaux éléments géométrique de la partie active

- Effets de l'*angle de coupe* :
 - *Résultats d'un grand angle de coupe positif*: Production de copeaux minces, réduction de la longueur de la zone de cisaillement, production d'un beau fini de surface. [Fig. g]
 - *Résultats d'un angle de coupe négatif*: Production de copeaux épais, allongement de la zone de cisaillement, augmentation de l'échauffement, fini de surface de qualité inférieure à celui obtenu par un outil à angle de coupe positif, augmentation de la demande d'énergie lors de l'usinage. [Fig. g]
 - *Avantages d'un angle de coupe négatif* :
 - » Le choc lors de l'engagement de l'outil sur la pièce s'exerce à la face de l'outil et non sur sa pointe ou sur son arête tranchante, ce qui prolonge la durée de vie de l'outil.
 - » De plus, la croûte dure de la surface de la matière à usiner n'est pas en contact avec le bec ou l'arête tranchante.
 - » Également, l'usinage peut être exécuté à des vitesses plus élevées et il devient facile et plus économique quand exécuté par étapes.
 - » Finalement les copeaux obtenus sont généralement discontinus donc plus faciles à évacuer et moins dommageables pour les pièces.
- *Angle de dépouille* : Il a pour but d'empêcher la pièce de toucher à l'outil (front ou coté latéral dépendamment de l'angle de dépouille considéré). Il doit donc être suffisant pour le dégagement mais pas trop élevé pour ne pas affaiblir l'outil.
- *Rayon de bec* : La vie utile d'un outil ainsi que le fini de surface engendré augmentent généralement avec l'augmentation de son rayon de bec. La pointe de l'outil est également renforcée avec un grand rayon de bec. Cependant, celui-ci ne devrait pas dépasser une certaine valeur à partir de laquelle il commence à se dégrader par broutement. [Fig. c]

II.1.d. Quelques outils en acier rapide (monobloc) pour le tournage

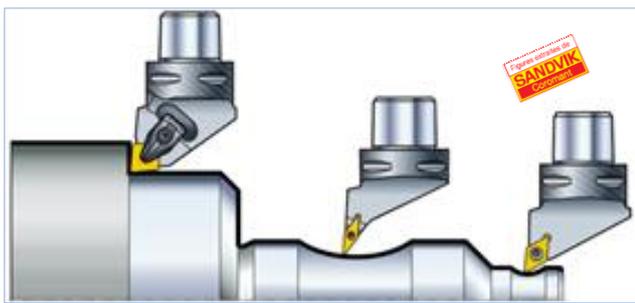


Tournage extérieur avec outils en ARS (Acier Rapide Supérieur - Monobloc)

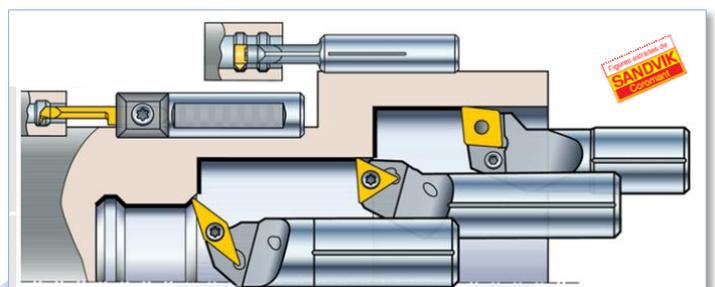
Tournage intérieur avec outils en ARS (Acier Rapide Supérieur - Monobloc)

II.2. Classification et désignation des outils de carbure (tournage uniquement au programme)

De nos jours, ce sont surtout les outils à plaquettes amovibles en carbure qui sont utilisés. Les outils en acier rapide sont plutôt confinés à un usage artisanal et sont de plus en plus délaissés en grande industrie. Dans ce qui suit, un aperçu de la classification et de la désignation des outils de carbure pour tournage ainsi que de leurs porte-outils respectifs.



Tournage intérieur avec outils en carbure (plaquettes rapportées)

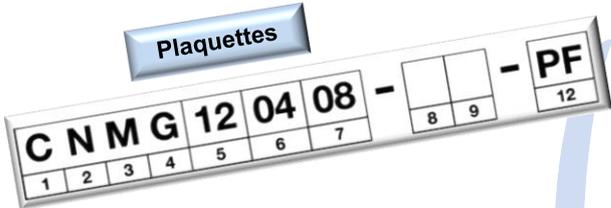


Tournage extérieur avec outils en carbure (plaquettes rapportées)



Quelques plaquettes rapportées pour le tournage

Plaquettes



1 Formes de plaquettes

C		D	
K		R	
S		T	
V		W	

2 Angle de dépouille de la plaquette

B		C	
E		N	
P		O	Description spécifique



3 Tolérances, métriques

Classe s	iC / iW	
G	±0.13	±0.025
M	±0.13	±0.05 - ±0.15 ¹⁾
U	±0.13	±0.08 - ±0.25 ¹⁾
E	±0.025	±0.025

1)Varie selon la valeur de iC. Voir tableau ci-dessous.

Cercle inscrit iC mm	Classe de tolérance	
	M	U
3.97		
5.0		
5.56		
6.0		
6.35	±0.05	±0.08
8.0		
9.525		
10.0		
12.0	±0.08	±0.13
12.7		
15.875		
16.0	±0.10	±0.18
19.05		
20.0		
25.0	±0.13	±0.25
25.4		
31.75	±0.15	±0.25
32.0		

Pour les plaquettes positives, iC est valable pour une pointe vive. Voir état d'arête de coupe F (symbole 8).

4 Type de plaquettes

A		Q	
G		R	
M		T	
N		W	
P		X	
			Modèle spécial

5 Taille de logement

R S T W	Longueur d'arête de coupe, métrique									
	iC mm	iC pouces	C	D	R	S	T	V	W	K
	3.18	1/8"						05		
	3.97	5/32"						06		
	5.0	7/32"			05					
	5.56	7/32"			09					
	6.0	1/4"		06	08					
	6.35	1/4"	06	07	08		11	11	04	
	8.0				10					
	8.0				12					
	9.525	3/8"	09	11	09	09	16	16	06	16 ¹⁾
	10.0	10.0			10					
	12.0				12					
	12.7	1/2"	12	15	12	12	22	22	08	
	13			13				13		
	15.875	5/8"	16		15	15	27			
	16.0				16					
	19.0	3/4"	19		19	19	33			
	20.0				20					
	25.0				25 ¹⁾					
	25.4	1"	25		25 ²⁾	25				
	31.75	1/4"			31					
	32				32					

¹⁾ Système métrique
²⁾ Pouces

6 Epaisseur de la plaquette, s mm, pouce

Cotes n	s mm	Pouces
01	s = 1.59	1 s = .0625
T1	s = 1.98	(1.2) s = .075
02	s = 2.38	(1.5) s = 3/32
03	s = 3.18	2 s = 1/8
T3	s = 3.97	(2.5) s = 5/32
04	s = 4.76	3 s = 3/16
05	s = 5.56	4 s = 1/4
06	s = 6.35	5 s = 5/16
07	s = 7.94	6 s = 3/8
09	s = 9.52	6.3 s = .394
10	s = 10.00	7.6 s = .475
12	s = 12.00	

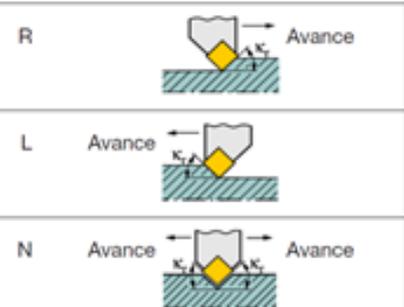
7 Rayon de bec, r, mm, pouce

Métrique :	Pouces :	Cote réelle : pouce
00 = 0	00	Plaquettes
01 = 0.1	03	.004
02 = 0.2	0	.008
04 = 0.4	1 = 1/64	.0156
05 = 0.5		
08 = 0.8	2 = 1/32	.0312
10 = 1.0		
12 = 1.2	3 = 3/64	.047
15 = 1.5		
16 = 1.6	4 = 1/16	.0625
24 = 2.4	6 = 3/32	.094
32 = 3.2	8 = 1/8	.125

8 Etat de l'arête de coupe

F		Arête de coupe vive
A		Arrondi d'arête ER (ANSI)
E		Arrondi d'arête (ER)
T		Chanfrein négatif
K		Double chanfrein négatif
S		Arête avec chanfrein négatif et arrondi (traitée ER)

9 Sens de coupe

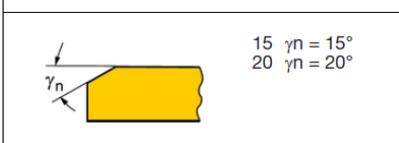


10 Largeur de chanfrein, pouces

Métrique :
010 b _{γn} = 0.10
025 b _{γn} = 0.25
070 b _{γn} = 0.70
150 b _{γn} = 1.50
200 b _{γn} = 2.00
Pouces :
03 b _{γn} = .003
08 b _{γn} = .008
30 b _{γn} = .030
60 b _{γn} = .060
80 b _{γn} = .080

Pour plus d'informations, voir la codification page A76

11 Angle du chanfrein



12 Options propres au fabricant

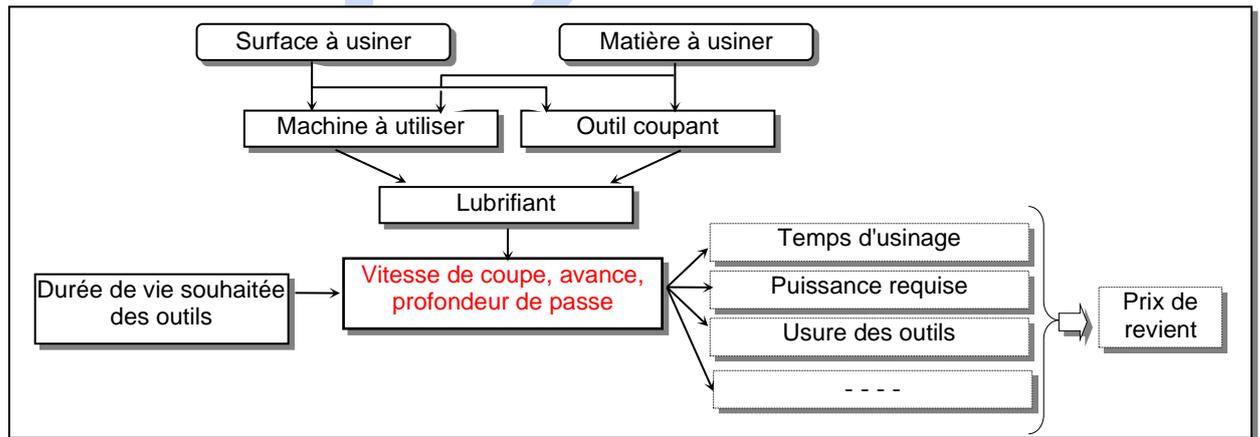
Le code ISO comporte neuf symboles. Les deux derniers ne s'utilisent que si nécessaire. En outre, le fabricant peut ajouter trois symboles, par exemple

- WF = Wiper - finition
- WMX = Wiper, semi-finition
- PF = ISO P - finition
- PR = ISO P - ébauche

II.3. Choix des paramètres de coupe

II.3.a. Généralités

La détermination des conditions optimales de coupe est une tâche qui a d'importantes répercussions technico-économiques. C'est également est un processus compliqué qui fait intervenir plusieurs facteurs:



II.3.b. Calcul de l'avance et de la vitesse de coupe

- La vitesse de coupe peut être définie en termes de vitesse métrique V_c (m/min) ou aussi en termes de vitesse angulaire N (tr/min). Les deux vitesses sont reliées de la façon suivante:

$$V_c = \frac{N\pi D}{1000} ; \text{Tournage : } D \text{ le diamètre de la pièce en mm; Fraisage : } D \text{ est le diamètre de la fraise en mm}$$

- De même, l'avance de coupe peut être exprimée par unité de temps : A (mm/min), par tour : a (mm/tr) ou aussi par dent, dans le cas du fraisage, : f (mm/tr.dent) Les trois avances sont reliées par la fonction suivante:

$$A = N.a = N.f.Z ; Z \text{ étant le nombre de dents}$$

II.3.c. Choix de la profondeur de passe, de l'avance et de la vitesse de coupe

- En ébauche : on tend à
 en mais en respectant :
 »
 »
- En finition on recherche surtout et ce on jouant sur les facteurs suivants :
 - *L'avance:*
 - *La géométrie de l'outil :*
 - *La vitesse de coupe :*
 - *La profondeur de passe:*
 - *Autres facteurs améliorant l'état de surface :*

II.3.d. Utilisation des tableaux et abaquages pour le choix des conditions de coupe

Dans cette section, quelques abaquages et tableaux aidant au choix des conditions de coupe sont montrés à titre d'exemple. Il est question pour l'étudiant, à l'aide d'applications en classe, d'apprendre à utiliser ces supports pour extraire les informations pertinentes.

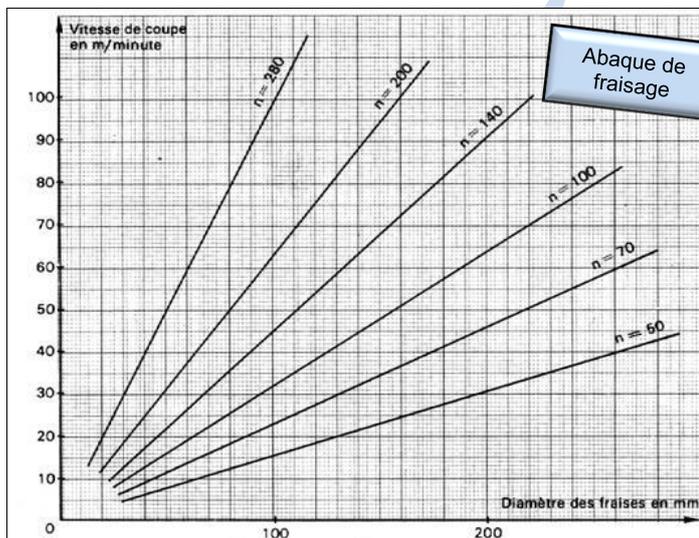
44 ■ 10

CHOIX DES NUANCES DE CARBURE EN TOURNAGE

Tab 1 Chevalier et Bohan 1998

Code ISO et matière	Nuance Sandvik	Nuance ISO	Usinage	Nuance Sandvik	Nuance ISO	Usinage
P (bleu) Acier Ac. coulé Ft malleable à copeaux longs	Nuances de base			Nuances complémentaires		
	S 1P	P 10 P 01	Finition et léger dégrossissage d'acier et d'acier coulé dans des conditions favorables à vitesses de coupe élevées et avances modérées. De préférence à utiliser sans liquide de coupe. Recommandée pour le copiage et le filetage.	S 4	P 30 P 40	Dégrossissage moyen à fort de l'acier et de l'acier coulé à vitesses de coupe assez faibles et avances importantes, dans des conditions de travail défavorables.
	GC 015	P 15 P 10 P 20 P 30	Finition et dégrossissage léger d'acier, d'acier coulé, de fontes malléables et nodulaires à copeaux longs. La très grande résistance à l'usure permet un débit d'usinage important pour une plage d'application très large.	S 6	P 40 P 30	Grosse ébauche d'acier, d'acier inoxydable et d'acier coulé dans des conditions défavorables, à faibles vitesses de coupe, avance importante et grande profondeur de coupe.
	GC 1025	P 25 P 10 P 20 P 30	Léger et moyen dégrossissage d'acier coulé, de fontes malléables et nodulaires à vitesses de coupe élevées et avances relativement importantes. Très grande résistance à l'usure.	F 02	P 01	Finition de l'acier et de l'acier coulé à de très grandes vitesses et faibles avances dans des conditions de travail stables.
M (jaune) Acier Ac. coulé Ac. au Mn Ft allié Ac. austénitiques Ft malleable Acier de décolletage	Nuances de base			Nuances complémentaires		
	R 1p	M 10	Finition et ébauche légères d'alliages résistants aux hautes températures et d'aciers inoxydables tels que ceux utilisés pour les réacteurs nucléaires. Très grande résistance à l'usure en entaille, vitesse de coupe relativement élevée et avance moyenne.	GC 135	P 35 M 10 M 20 M 30	Dégrossissage léger à fort d'acier inoxydable forgé ou laminé avec une structure austénitique. Vitesses et avances relativement élevées. Convient à certains types d'acier de décolletage.
	GC 315	P 35 M 10 M 20 M 30	Finition et léger dégrossissage d'alliages réfractaires ; arête de coupe très résistante. Vitesses de coupe relativement élevées et avances modérées. Grande résistance à l'usure.	S 6	P 40 M 30 M 40	Dégrossissage léger à fort d'aciers inoxydables austénitiques et matériaux inoxydables avec croûte de coulée ou de laminage, dans des conditions d'usinage difficiles.
	H 20	K 20 M 20 M 30	Dégrossissage léger à fort d'alliages réfractaires. Dans des conditions difficiles d'usinage. Résistance très élevée de l'arête de coupe.	Nuances pour applications spéciales		
K (rouge) Ft centrifugée Ft coulée en coquille Ft malleable à copeaux courts Ac. trempé Métaux non ferreux Plastiques Bois	Nuances de base			Nuances complémentaires		
	H 1P	H 10 K 01 K 20	Finition et léger dégrossissage de la fonte, de la fonte alliée, du bronze et du laiton à vitesses relativement grandes et avances modérées.	GC 1025	P 25 K 10 K 20	Dégrossissage léger à moyen de fonte faiblement alliée à vitesse de coupe et avance relativement élevées. Très grande résistance à l'usure.
	GC 015	K 15 K 10 K 20	Finition et dégrossissage léger de fontes grises de faible et de haute résistance, de fonte malléable et nodulaire. Surtout recommandée pour les fontes modernes faiblement alliées. La très grande résistance à l'usure permet un débit d'usinage très important et donne le meilleur résultat lors de l'utilisation de plaquettes avec brise-copeaux incorporés.	H 20	K 20 K 30	Grosse ébauche de la fonte. Conditions défavorables à faibles vitesses et avances importantes.
	GC 315	K 15 K 10 K 20	Nuance universelle pour l'usinage de la fonte et autres matériaux donnant des copeaux courts dans des conditions peu favorables, à vitesses de coupe relativement élevées et avances importantes. Très grande résistance à l'usure.	Nuances pour applications spéciales		
				H 05	K 01	Finition de la fonte. Convient pour la fonte trempée en coquilles plastiques, etc.
				H 10	K 10	Convient pour l'usinage de l'aluminium.

NOTA : Utiliser de préférence les nuances en caractères gras.



Tab 2 Chevalier et Bohan 1998

AVANCE MAX a — RAYON DE BEC r_b

r _b (mm)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
a (mm)	0,25 à 0,35	0,4 à 0,7	0,5 à 1	0,7 à 1,3	1 à 1,8

ÉTAT DE SURFACE R_a — RAYON DE BEC r_b

État de surface		Rayon r _b				
R _a (μm)	R (μm)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
Avance (mm/tr)						
0,8	1,6	0,07	0,1	0,12	0,14	0,17
1,6	4	0,11	0,15	0,19	0,22	0,26
3,2	10	0,17	0,24	0,29	0,34	0,42
6,3	16	0,22	0,3	0,37	0,43	0,53
8	25	0,27	0,38	0,47	0,54	0,66
32	100	—	—	—	1,08	1,32
État de surface		Rayon r _b				
R _a (μm)	R (μm)	10	12	16	20	25
Avance (mm/tr)						
0,8	1,6	0,25	0,28	0,32	0,36	0,4
1,6	4	0,40	0,44	0,51	0,57	0,63
3,2	10	0,63	0,69	0,8	0,89	1
6,3	16	0,8	0,88	1,01	1,13	1,26
8	25	1	1,1	1,26	1,42	1,61
32	100	2	2,2	2,64	2,94	3,33

Tab 3
Chevalier et
Bohan 1998

CONDITIONS DE COUPE — OUTILS A PLAQUETTE CARBURE **Tournage**

Matière		ka (daN/ mm ²)	HB**	Nuances de carbure Sandvik*									
				GC 015	GC 1025	GC 135	S1P	S4	S6	F02	S2	R4	
				Avance (mm/tr)									
				1,2-0,4-0,2	1,2-0,4-0,2	2-0,4-0,2	0,7-0,3-0,1	2-0,4-0,2	2,5-1-0,4	0,3-0,15-0,05	1,2-0,2-0,15	2,5-1-0,4	
Matière		ka (daN/ mm ²)	HB	Nuances de carbure Sandvik*									
				GC 015	GC 315	GC 1025	H1P	H20	H05	H10	R1P	R4	
				Avance (mm/tr)									
				1-0,3-0,2	1-0,5-0,2	1-0,7-0,2	1-0,5-0,2	1,2-0,7-0,4	0,2-0,1	0,2	0,3-0,15	0,4-0,2	
Acier au carbone non allié	C = 0,15 %	190	125	180-310-385	160-300-400	95-220-280	200-290-410	80-190-250	45-95-160	350-440-540	130-260-330	35-65-100	
	C = 0,35 %	210	150	165-245-350	140-245-330	75-170-220	170-240-350	65-150-200	40-75-125	290-360-460	100-210-270	25-50-80	
	C = 0,70 %	230	180-250	130-245-300	110-190-260	60-135-175	130-190-280	45-115-160	30-55-95	230-290-370	80-160-210	15-35-60	
Acier allié	Recuit	210	125-200	150-250-310	110-190-260	60-135-175	130-190-280	50-120-160	35-60-95	230-290-370	80-160-210	20-40-60	
	Trempe et recuit	250	200-275	110-195-265	85-155-210	50-110-140	105-150-220	40-95-125	30-50-75	180-230-290	65-130-170	15-30-50	
	Trempe et recuit	275	220-325	90-155-210	70-125-170	40-90-115	85-120-175	30-75-100	20-40-60	145-180-230	50-100-130	10-25-40	
Acier inox. recuit ferritique	Martensitique	230	150-270	140-200-250	125-185-230	170-210	200-280	95-165-200	65-90-115	—	120-190-225	40-55-70	
	Austénitique	260	150-220	100-165-200	90-150-180	135-165	—	80-125-150	55-80-110	—	140-175	40-55-70	
	Non allié	180	150	100-185-260	80-155-225	60-120-150	160-200	55-115-145	40-60-90	—	80-135-160	25-40-60	
Acier coulé	Faiblement allié	210	150-250	75-135-165	60-120-160	45-80-100	115-160	35-75-100	25-40-60	—	55-95-115	20-30-40	
	Hautement allié	240	160-200	155-195	—	80-95	—	30-70-90	20-35-50	—	90-105	15-25-35	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Acier dur	Ac. au Mn (12 %)	360	250	25-30-40	20-30-40	25-40-70	20-35-50	10-30	—	—	—	—	
	Ac. trempé	450	50-65 HRC	—	15-25-35	—	10-20-35	10-20	—	—	—	—	
Ac. réfractaires	Recuit	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60-75	35-45	
	Vieilli	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35-50	25-35	
Acier à base de Ni - Co	Recuit	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25-35	10-20	
	Vieilli	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10-25	10-15	
	Coulé	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5-10	
Fonte malléable	Copeaux courts	110	110-145	150-215-275	130-165-200	120-140-235	90-140-200	60-90-110	—	—	—	—	
	Copeaux longs	100	200-250	170-225-290	—	130-155-260	95-160-230	—	—	—	—	—	
Fonte grise	Faible résistance	110	180	120-205-330	90-150-220	—	90-150-225	65-90-105	160-200	180	—	—	
Ft. grise allié	Haute résistance	150	260	85-150-243	70-115-160	—	65-110-175	45-65-75	90-135	130	—	—	
Fonte GS	Ferritique	110	160	85-135-185	85-135-180	80-110-155	65-110-175	—	—	—	—	—	
	Perlitique	180	250	80-120-165	65-110-140	65-90-130	55-95-160	—	—	—	—	—	
Fonte trempée en coquille	—	275	400	—	9-15-25	—	-12-20	—	6-20	—	—	—	
	—	350	600	—	-10-15	—	-10-15	—	4-16	—	—	—	
Cu. électrolytique	—	110	50-85	—	225-320-450	—	250-350-475	150-210-280	—	—	—	—	
Bronzes Alliances de laiton	Alliances au Pb	70	80-150	—	305-375-470	—	350-420-500	220-280-335	—	—	—	—	
	Laiton rouge	75	60-110	—	220-270-335	—	250-300-360	160-200-240	—	—	—	—	
	Phosphoreux	175	85-110	—	130-180-250	—	150-210-275	100-130-165	—	—	—	—	
Alliances d'aluminium	Non traitables à chaud	50	30-80	—	—	—	1300-1700-2200	800-1000-1300	—	—	—	—	
	Traitables à chaud	70	80-120	—	—	—	350-480-650	200-270-350	—	—	—	—	
Alliances d'aluminium coulés	Non traitables à chaud	75	100	—	—	—	300-480-700	140-225-320	—	—	—	—	
	Traitables à chaud	90	130	—	—	—	160-250-380	85-130-190	—	—	—	—	
Matériaux divers	Caoutchouc dur	—	—	—	—	—	230-350-	115-230	—	—	—	—	
	Fibre	—	—	—	—	—	115-230-	85-170	—	—	—	—	
	Plastiques durs	—	—	—	—	—	230-460-	175-350	—	—	—	—	

* Voir le tableau de correspondance avec les nuances ISO § 44.13.

** Pour les aciers Rr = 0,35 HB

Ces conditions de coupe sont données pour une durée de vie de l'arête de coupe de 15 min.

Tab 4
Chevalier et
Bohan 1998

CONDITIONS DE COUPE DES FRAISES EN CARBURE											Fraisage					
Profondeur de passe						Avance										
Pour avoir la meilleure économie d'outil, choisir la plus grande profondeur de passe possible.						L'avance doit être choisie de façon que l'épaisseur moyenne du copeau soit au moins égale à 0,1 mm par dent.										
FRAISES À SURFACER ET À SURFACER-DRESSER																
Matière		Dureté*	Vitesse de coupe en m/min					Matière		Dureté*	Vitesse de coupe en m/min					
Aciers au carbone non alliés	c < 0,25 %	130	205	185	130	235	190	Ac. au manganèse	300	—	20	18	30	35		
	c < 0,8 %	180	135	120	85	150	125	Aciers trempés	HRc 65	—	—	—	10	12		
	c < 1,4 %	350	110	100	70	125	100	Fontes copeaux courts	145	195	125	80	150	160		
Faiblement alliés	Recuit	225	135	120	85	150	125	Malléables copeaux longs	230	175	115	65	125	140		
	Trempé	450	85	75	55	95	80	Fontes	220	230	120	95	130	160		
Hautement alliés	Recuit	250	115	105	80	135	110	Fontes grises	330	170	90	70	100	120		
	Trempé	500	75	65	50	90	70	Fontes ferritiques	230	150	90	65	110	120		
Ac. rapide	Recuit	250	105	95	60	95	85	GS perlitique	300	135	85	60	100	110		
Ac. outils	Trempé	350	80	70	40	70	60	Fontes trempées	60	—	—	—	18	20		
Inoxydables recuits	Ferr. mart.	270	165	150	105	190	155	Avance en mm/dent		0,1		0,2		0,1		
	Aust.	220	130	115	80	150	120	Nuance**		GC310	HM	H20	H1P	GC315		
Aciers coulés	Non alliés	230	115	105	75	140	110	Alliages d'aluminium								
	Faib. all.	250	100	90	65	115	95	Vitesse de coupe en m/min		500						
	Haut. all.	200	70	65	45	80	65	Avance en mm/dent		0,1 min						
Inoxydables coulés	Ferr. mart.	250	65	60	40	75	60	Nuance**		H 10						
	Aust.	250	50	45	30	55	50									
Avance en mm/dent			0,2													
Nuance**			SM	SM30	S6	S1P	GC135	Valeurs données à titre de première estimation.								
FRAISES À RAINURER																
Matière		Dureté*	Vitesse de coupe en m/min					Matière		Dureté*	Vitesse de coupe en m/min					
Aciers non alliés		300	160	140	120	95	Aciers trempés		HRc 65	25	18	30	—			
Faiblement alliés		400	140	125	105	85	Fontes malléables		230	120	90	145	—			
Hautement alliés		500	130	120	100	80	Fontes grises		260	115	85	140	—			
Inoxydables		220	120	110	90	70	Fontes GS		250	80	60	95	—			
Coulés		200	110	100	80	65	Bronzes et laitons		150	160	120	190	—			
Avance en mm/dent			0,15					Monobloc	Avance en mm/dent			0,15				
Nuance**			SM	SM30	S6	S6	Nuance**			HM	H20	H1P	—			
FRAISES 3 TAILLES																
Matière		Dureté*	Vitesse de coupe en m/min					Matière		Dureté*	Vitesse de coupe en m/min					
Aciers non alliés		300	140	120	90	130	—	Aciers trempés		HRc 60	—	—	—	10	12	
Faiblement alliés		400	100	80	65	90	—	Fontes malléables		230	130	70	50	85	110	
Hautement alliés		500	70	60	45	65	—	Fontes grises		260	150	75	55	90	125	
Inoxydables		220	90	80	60	85	45	Fontes GS		250	100	55	35	65	80	
Coulés		200	60	55	40	55	30	Alliages d'aluminium		100	—	400	290	—	—	
—		—	—	—	—	—	—	Bronzes et laitons		150	—	135	95	160	—	
Avance en mm/dent			0,3					Avance en mm/dent			0,1	0,3			0,1	
Nuance**			SM	SM30	S6	GC135	R4	Nuance**			GC310	HM	H20	H1P	GC315	

* Dureté Brinell maximale (HB max).

** Nuance Sandvik, correspondance avec une nuance ISO, voir § 44.10.

D'après Sandvik-Coromant.

II.4. Effort et puissance de coupe

II.4.a. Effort de coupe et puissance absorbée en tournage

o **Effort de coupe en tournage**

Soit le cas d'un usinage avec un outil à charioter coudé. L'action $\vec{A}_{P/O}$ de la pièce P sur l'outil O admet trois composantes: \vec{F}_c , \vec{F}_a et \vec{F}_p . Parmi ces trois, le premier, l'effort tangentiel de coupe est le plus important. Il est défini par :

Fc : Ka.S où

Fc : effort tangentiel de coupe en newtons (N).

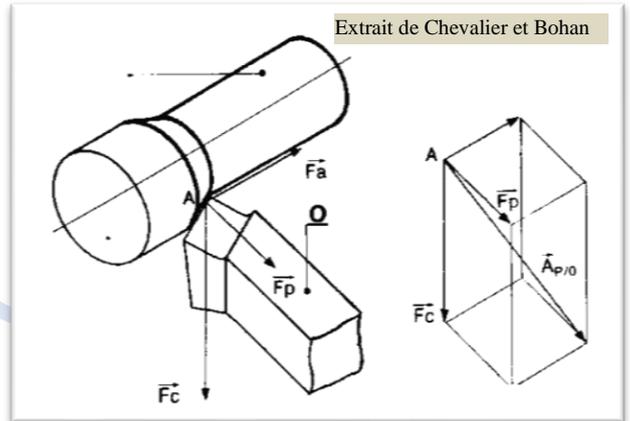
Ka : pression spécifique de coupe en N/mm².

S : section du copeau en mm², avec :

S=a.p où :

a : avance en millimètre par tour (mm/tr).

p : profondeur de passe en mm.



o **Puissance de coupe en tournage**

La puissance Pc (watts), nécessaire à la coupe, est égale au produit de la force F (newtons) par la vitesse V (m/s) :

Pc = Dans le cas d'outil à charioter coudé : Pc =

avec

..... = et

D'où l'expression de Pc =

et par la suite, la puissance absorbée par la machine est donnée par

P = où

II.4.b. Puissance absorbée en fraisage

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

Pc= K.Q où

Pc = puissance nécessaire à la coupe en watts (W).

K = coefficient déterminé expérimentalement.

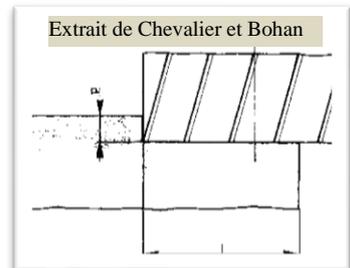
Q = débit en mm³/min, défini par

Q= avec

..... et

.....

et de même que le tournage



II.5. Fluides de coupe

- Face à la chute drastique de la dureté des outils ainsi que la dégradation de l'état de surface qui accompagne l'élévation de la température, la lubrification est, maintenant et depuis deux siècles, considérée comme un composant indispensable et incontournable du processus d'usinage (voir plus loin).
- Les fonctions principales d'un fluide de coupe sont :
..... Son action passe par l'atténuation du contact métal sur métal par l'interposition d'un film d'huile entre les surfaces de l'outil et de la pièce.
- Le fluide de coupe sert également à
.....
- Il améliore grandement par la permission de
.....
- De plus, un bon fluide de coupe devrait être: un bon inhibiteur de corrosion, d'une stabilité permettant une longue durée de vie, non toxique, non inflammable et sans odeur désagréable et finalement, transparent et de faible viscosité.

II.6. Temps de coupe

II.6.a. Définitions

- Temps effectif : Il sert pour le calcul de
- Temps Technologique : Il sert pour le calcul de
- Temps Technologique = Temps effectif + + (s'il y a lieu)

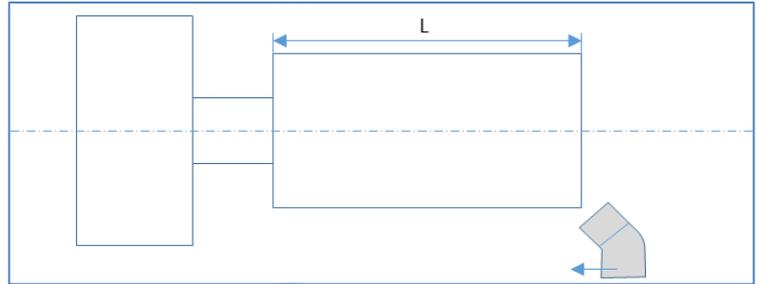
II.6.b. Exemples de calcul

Déterminez le temps effectif ensuite le temps technologique dans les 3 cas suivants (vous pouvez définir tous les paramètres jugés nécessaires)

Cas 1 : chariotage avec un outil coudé

paramètres :

.....



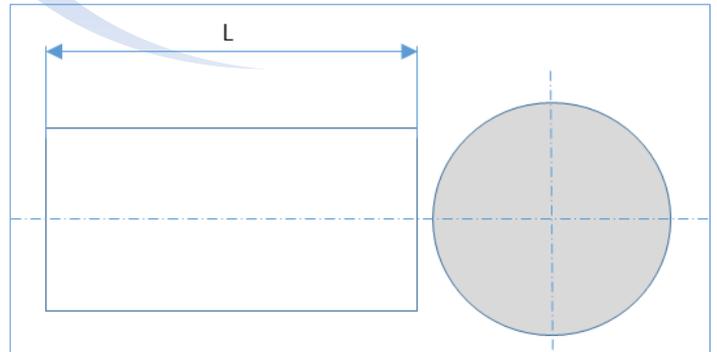
Calcul

.....

Cas 2 : Surfaçage avec fraise (finition) et Cas 3 : Surfaçage avec fraise (ébauche)

Paramètres :

.....



Calcul (cas 2)

.....

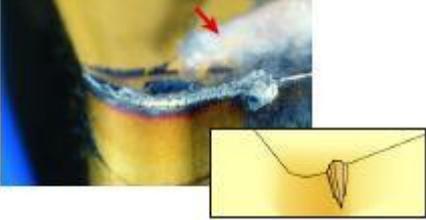
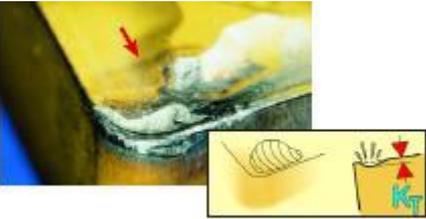
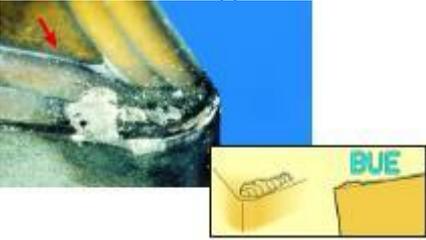
Calcul (cas 3)

.....

II.7. Usure des outils

II.7.a. Types d'usure

Le tableau ci-dessous présente quelques types d'usure d'outils. Le premier, l'usure en dépouille c'est le type le plus souhaitable, quelle que soit l'application. Elle offre une durée de vie d'outil stable et prévisible. L'estimation de cette durée de vie fera l'objet de la section suivante

Quelques types	Cause	Solution
<p>Usure en dépouille</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse de coupe trop élevée • Nuance trop tenace • Résistance à l'usure insuffisante • Arrosage insuffisant. 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire la vitesse de coupe • Choisir une nuance mieux adaptée en fonction des besoins en ténacité ou en résistance à l'usure • Utiliser l'arrosage.
<p>Usure en entaille</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Matières collantes ou sujettes à l'écaillage en coupe • Utiliser un angle d'attaque proche de 90° • La géométrie est trop négative 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une arête plus vive • Réduire l'angle d'attaque • Sélectionner une nuance à revêtement CVD, par exemple 4325 (meilleure résistance à l'usure) • Sélectionner une nuance à revêtement PVD, par exemple 1125 (meilleure résistance à l'écaillage et aux arêtes rapportées) • Modifier la profondeur de coupe.
<p>Usure en cratère</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse de coupe et/ou avance trop élevée • Nuance trop tenace • Brise-copeaux trop étroit 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire la vitesse de coupe et/ou l'avance. • Sélectionner une nuance plus résistante à l'usure • Choisir une géométrie plus ouverte/positive.
<p>Arête rapportée</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Température de coupe trop basse • Soudage du copeau sur la plaquette • Matière collante • Géométrie trop négative 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter la température de coupe en augmentant la vitesse ou l'avance • Sélectionner une nuance à revêtement PVD, par exemple 1125 (meilleure résistance aux arêtes rapportées des revêtements PVD) • Sélectionner une géométrie plus positive.
<p>Écaillage en dehors de la zone de coupe</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Bourrage des copeaux à proximité d'un épaulement • Les copeaux sont déviés en direction de l'arête de coupe • Avance ou direction de l'avance non optimisées 	<ul style="list-style-type: none"> • Modifier la trajectoire de l'opération (pour éviter d'arriver contre un épaulement) • Modifier l'avance • Sélectionner une nuance à revêtement PVD, par exemple 1125 • Choisir une géométrie de plaquette qui oriente les copeaux différemment.

II.7.b. Durée de vie d'un outil

- Il est souhaitable de connaître, surtout dans les travaux d'usinage en série, la durée de vie (T) d'un outil entre deux affûtages ou changements de plaquette, pour pouvoir déterminer avec précision les fréquences d'arrêt de la machine pour changer les outils.

- Les lois d'usure représentent les variations du temps effectif de coupe en fonction des conditions géométriques et cinématiques de l'usinage. Le temps de coupe (T) est celui qui permet d'atteindre la limite du critère d'usure de référence d'un outil.
- En usinage, pour des conditions d'usinage identiques (matière à travailler, arrosage, forme de la partie active, profondeur de passe...), il existe pour chaque valeur de la vitesse de coupe, une durée de vie. Taylor propose une relation entre T et Vc, on l'appelle «modèle ou loi de Taylor simplifié» :

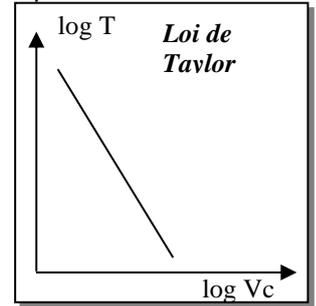
$$T = C \cdot (V_c)^n \quad \text{où}$$

Vc: Vitesse de coupe en m/min

T: Durée de vie en min

C et n : Constantes (à déterminer expérimentalement)

- La loi de Taylor permet de déterminer, pour des conditions de coupe stabilisées, la vitesse de coupe à utiliser en fonction de la durée de coupe souhaitée entre deux affûtages.
- La loi de Taylor généralisée par Gilbert (hors-programme) intègre également les autres paramètres de coupe (ρ et f)



Exemple de calcul :

La durée de vie d'un outil est gouverné par la loi de Taylor avec les paramètres suivants : $C = 10^{10}$; $n = -4$.

1- Calculez la durée de vie d'un outil pour les valeurs suivantes de la vitesse de coupe : $V_c = 50, 100, 150, 200$ m/min.

.....

.....

.....

.....

2- En appliquant la loi de Taylor la durée de vie de l'outil est estimée à 60 min. Le temps effectif d'usinage d'une pièce est de 80 secondes alors que le temps technologique est de 90 secondes. Combien faut-il d'outils pour usiner une série de 20 000 pièces?

.....

.....

.....

.....

II.8. Usinabilité des matériaux

- Le terme usinabilité "Machinability" tel qu'il est utilisé par les ingénieurs et les techniciens présentement est quelque peu vague, il est supposé exprimer la facilité relative avec laquelle un matériau peut être usiné. Les critères pouvant servir de base à l'évaluation de l'usinabilité sont:
 - la plus longue vie utile de l'outil (ou la vitesse de coupe la plus élevée pour des conditions de coupe données)
 - les plus faibles forces ou puissances de coupe
 - le bon état de surface de la pièce usinée
 - la facilité d'évacuation des copeaux
 - la stabilité géométrique de la pièce usinée
 - la quantité maximum de métal enlevé à chaque affûtage de l'outil.
- L'usinabilité ne peut se mesurer en valeur absolue, on ne mesure que sa valeur relative. L'usinabilité de deux métaux, l'un par rapport à l'autre, variera suivant les processus d'usinage employés, elle ne sera pas nécessairement la même pour une coupe d'ébauche et une coupe de finition, pour un perçage et un fraisage, pour un tournage et une rectification à la meule.
- Une bonne usinabilité sera donc indiquée par tous, quelques-uns, ou un seul des facteurs cités ci-dessus, tout dépend de l'objectif fixé. Il faudra très souvent sacrifier certains facteurs de façon à obtenir les autres; car tous les facteurs ne sont pas toujours compatibles et il faudra faire des compromis suivant l'objectif visé. On peut, en ne variant que la sorte de matériau coupé et en gardant tous les autres facteurs constants, classer les matériaux les uns par rapport aux autres suivant le critère qui importe le plus.