

# Chapitre IV : Actions mécaniques de la coupe :

## Les efforts et la puissance de coupe

### 1- Introduction

L'étude et l'approximation des efforts de coupe sont nécessaires pour choisir les outils et dimensionner le porte-pièce ; leurs directions permettent de déterminer le sens de déplacement des outils afin que les appuis du montage s'opposent à ces efforts.

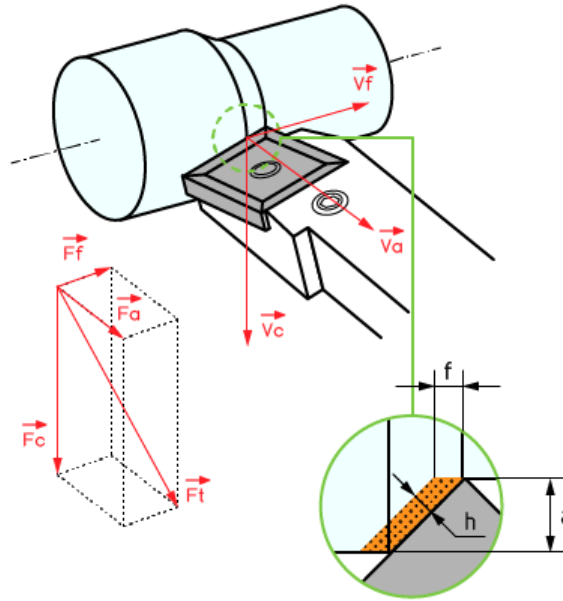
### 2.1-Les efforts de coupe : tournage

L'effort de coupe exercé par la pièce sur l'outil admet trois composantes :

- **F<sub>c</sub>** : effort tangentiel de coupe, dû au mouvement de coupe
- **F<sub>t</sub>** : effort tangentiel d'avancement, dû au mouvement d'avance
- **F<sub>a</sub>** : effort de poussée, dû à la profondeur de passe

La plus importante composante est l'effort tangentiel de coupe (figure ci-contre) donné par la relation :  $F_c = K_c \cdot a \cdot f$ , avec :

- $K_c$  [ $daN/mm^2$ ] est la pression spécifique de coupe ; ce paramètre dépend de l'épaisseur de copeau  $h$  et du matériau de la pièce (voir, pour le choix des valeurs de  $K_c$ , le tableau ci-dessous)
- $a$  est la valeur de la profondeur de passe (en mm)
- $f$  est la valeur de l'avance (en mm/tr)



Les efforts de coupe en tournage

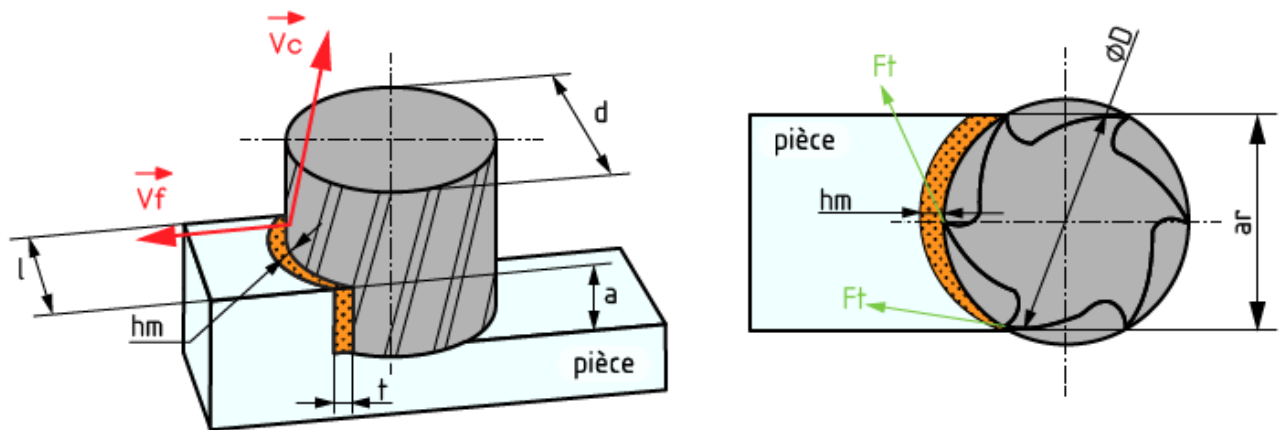
Type d'outil	Matériau usiné	Fa	Fp		
Outil à charioter coudé à 45°	Acier	2/5 F <sub>c</sub>	2/5 F <sub>c</sub>		
	Fonte	1/3 F <sub>c</sub>	1/3 F <sub>c</sub>		
Outil couteau	Acier	2/3 F <sub>c</sub>	1/10 F <sub>c</sub>		
	Fonte	2/3 F <sub>c</sub>	1/10 F <sub>c</sub>		
Matière			<b>Ka [daN/mm<sup>2</sup>]</b>		
			<b>Avance</b>		
			<b>0,1</b> <b>0,2</b> <b>0,4</b> <b>0,8</b>		
Aciers ordinaires	A-33 - E 26	360	250	190	140
	E 36	400	290	210	150
	A-60	420	300	220	150
	A-70	440	315	230	165
Aciers fins	XC 38 - XC 42	320	230	170	125
	XC 55 - XC 65	350	250	190	140
	XC 70	390	285	205	150
Aciers alliés	Acier au manganèse	470	340	245	180
	Acier au nickel-chrome	500	360	250	185
	Acier au chrome molybdène	530	380	275	200
	Acier inoxydable	520	375	270	190
Fontes	Ft 10 - Ft 15	190	136	100	70
	Ft 20 - Ft 25	290	210	150	110
	Fonte alliée	325	230	170	120

	Fonte malléable	240	175	125	90
Alliages de cuivre	Laiton	160	115	85	60
	Bronze	340	245	180	130
Alliages d'aluminium	Alliage d'alu (%Si < 13%)	140	100	70	50
	Alliage de moulage ( $R_r < 19$ )	115	85	50	45
	Alliage de moulage ( $19 < R_r < 27$ )	140	100	70	50
	Alliage de moulage ( $27 < R_r < 37$ )	170	122	85	55

La pression spécifique de coupe  $K_a$  en tournage

## 2.2- Les efforts de coupe : fraisage

La situation des efforts pour une dent en prise est identique à celle du tournage. L'effort tangentiel de coupe s'exprime de la même façon. La valeur du coefficient  $K_c$  dépend également de l'épaisseur du copeau. Ce paramètre étant variable, comme le montre la figure, la démarche de recherche de ce coefficient nécessite de déterminer une **épaisseur moyenne de copeau,  $h_m$** :



Les efforts de coupe en fraisage

**Étape 1 :** Déterminer  $K_c$  par rapport à la matière à usiner ; le tableau ci-après donne les valeurs de  $K_c$  pour les matériaux couramment utilisés en construction mécanique.

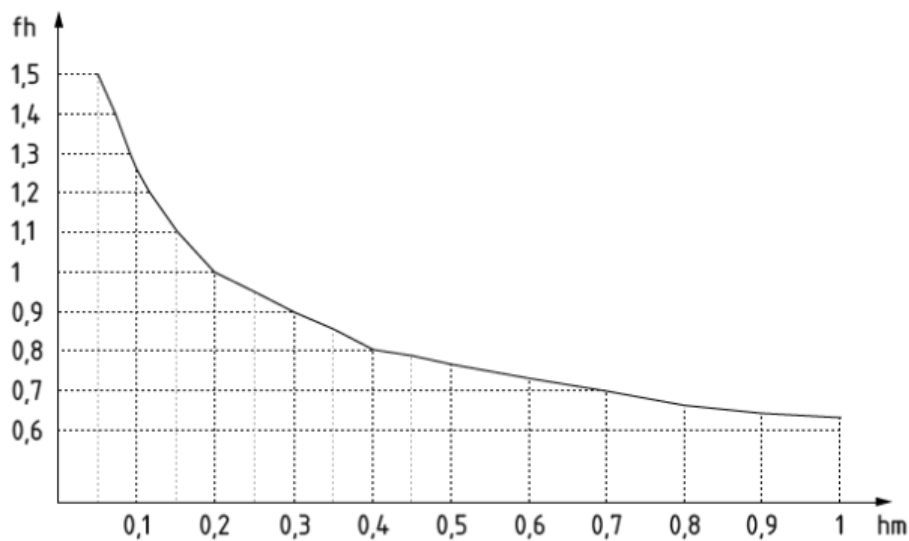
**Étape 2 :** Corriger la valeur calculée de  $K_c$  en fonction de l'angle de coupe  $\gamma$ . On applique une correction de 1,5% par degré de changement d'angle. Un angle de coupe plus grand (positif) donnera donc un  $K_c$  réduit et inversement.

Matière	Kc	Matière	Kc	Matière	Kc	Matière	Kc
XC10	275	Z200C12	350	10NC6	320	Ft20	140
XC35	300	Z85W	410	35CD4	390	Ft40	180
XC80	330	Z8C17	320	FGS 400	150	MP 60-3	200
A70	260	90MV8	675	FGS 700	225	Alliage Alu	95

**Étape 3 :** Déterminer la valeur de l'épaisseur moyenne de copeau, en fonction de l'avance par dent.

Épaisseur moyenne de copeau $h_m$ [ mm ]									
Avance par dent en mm									
$a_f/D$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
1/10	0,05	0,1	0,19	0,29	0,38	0,48	0,58	0,77	0,96
2/10	0,05	0,1	0,19	0,29	0,38	0,48	0,57	0,76	0,95
3/10	0,05	0,09	0,19	0,28	0,38	0,47	0,56	0,75	0,94
4/10	0,05	0,09	0,19	0,28	0,37	0,47	0,56	0,74	0,93
1/2	0,05	0,09	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55	0,74	0,92
6/10	0,04	0,09	0,18	0,27	0,36	0,44	0,53	0,71	0,89
7/10	0,04	0,09	0,17	0,26	0,35	0,43	0,51	0,70	0,87
8/10	0,04	0,08	0,16	0,25	0,33	0,41	0,49	0,66	0,82
9/10	0,04	0,08	0,15	0,23	0,31	0,39	0,46	0,62	0,77
1	0,0	0,07	0,12	0,18	0,24	0,31	0,37	0,49	0,61

**Étape 4 :** Rechercher (utiliser le tableau suivant) la valeur de correction  $f_h$  en fonction de  $h_m$ .



Valeur de la correction  $f_h$  en fonction de l'épaisseur moyenne de copeau  $h_m$

**Étape 5** : Calculer la valeur du coefficient spécifique de coupe pour l'opération considérée en appliquant la formule :  $K_c = K_{c_p} \cdot \text{rovisoire} \cdot f \cdot h$

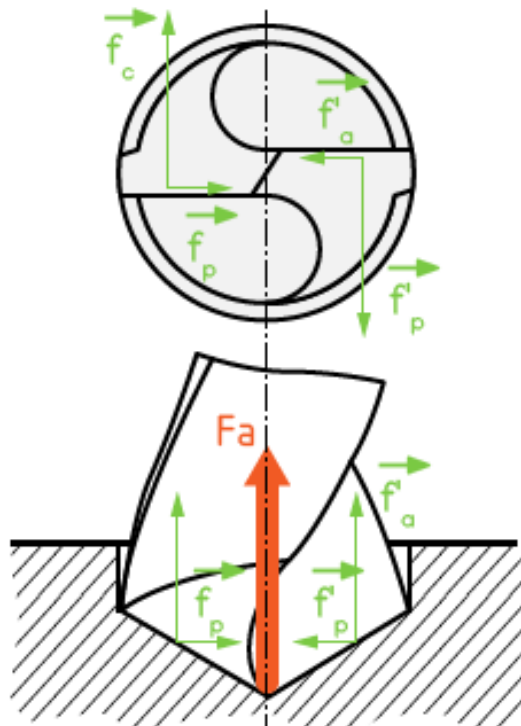
## 2.3- Les efforts de coupe : perçage

La figure ci-dessous donne une représentation schématique de la situation des efforts s'exerçant sur chacune des arêtes. On observe que la résultante des efforts de coupe s'exerçant sur une arête de coupe admet trois composantes :

- $f_c$ , l'effort tangentiel de coupe,
- $f_p$ , l'effort de pénétration,
- $f_a$ , l'effort d'avance.

Si le foret est parfaitement affûté et si le matériau de la pièce est homogène on a  $f_c = f'_c$ ,  $f_p = f'_p$  et  $f_a = f'_a$ . Les composantes de l'effort de pénétration égales et pratiquement opposées s'annulent, la résultante de l'effort d'avance  $F_a = 2f_a$  est portée par l'axe du foret et les forces  $f_c$ ,  $f'_c$  constituent le couple résistant au perçage.

On peut donc s'apercevoir de l'importance d'un bon affûtage : en effet une dissymétrie des arêtes provoquerait un écart entre les efforts  $F_a$  sur chacune d'elles et par là même occasion une déviation de la trajectoire. Pour le calcul de l'effort d'avance on utilise la relation  $F_a \approx k \cdot f \cdot d$  avec  $k$  un coefficient déterminé expérimentalement (voir le tableau suivant),  $f$  l'avance et  $d$  le diamètre du foret.



Matière	K	k
Aciers R ≤ 600 MPa	11	1 000
Aciers R > 600 Mpa	11,5	1 200
Aciers inoxydables	15	1 300
Aciers au nickel-chrome	14	900
Aciers au chrome-molybdène	13	1 600
Fontes grises	8	700
Fontes GS	7,5	1 100
Laitons	3,5	800*
Alliages d'aluminium	5	850
Valeurs données à titre de première estimation		

Les coefficients K et k en perçage

Le coefficient K est appelé coefficient spécifique de coupe : unité N/mm<sup>2</sup>

### 3- La puissances de coupe

#### 3.1- Définition :

La puissance  $P$ [watts] est égale au produit de la force  $F$ [newtons] par la vitesse  $V$ [m/s] :

$$P = F * V.$$

On distingue généralement deux puissances :

- la puissance de coupe ( $P_c$ ) qui dépend principalement de la vitesse de coupe ( $V_c$ ) et de l'effort tangentiel de coupe ( $F_c$ ) ;
- la puissance au moteur ( $P_m$ ), absorbée par la machine. Elle est fonction du rendement  $\eta$  de la chaîne cinématique :  $P_m = P_c / \eta$ . Elle varie également en fonction de l'angle de coupe et de la direction de l'arête.

#### 3.2- Cas du tournage

Dans le cas d'un outil à charioter coudé, on a la relation suivante pour la puissance de coupe :

$$P = (F_c * V_c) / 60 \text{ où :}$$

$$P \approx (K_a * f * p * V_c) / 60$$

### 3.3- Cas du fraisage

En fraisage, la puissance nécessaire à la coupe est sensiblement proportionnelle au débit de matière enlevée :

$$P = K * Q$$

Avec K un coefficient déterminé expérimentalement (donné dans le tableau) et le débit de copeau Q exprimé en  $mm^3/min$ .

Matière	K	k
Aciers R $\leq$ 600 MPa	11	1 000
Aciers R > 600 Mpa	11,5	1 200
Aciers inoxydables	15	1 300
Aciers au nickel-chrome	14	900
Aciers au chrome-molybdène	13	1 600
Fontes grises	8	700
Fontes GS	7,5	1 100
Laitons	3,5	800*
Alliages d'aluminium	5	850

Les coefficients K et k en perçage

Valeurs données à titre de première estimation

Suivant les données disponibles pour le calcul du débit, on a plusieurs expressions pour calculer la puissance :

$$P = K * l * p * f * z * N_{\text{où}}$$

$$P = (K * l * p * f * z * v * 10^3) / (\pi * d)_{\text{et}}$$

$$P = K * l * p * A$$

$l$  la représente la largeur de coupe,  $Z$  le nombre de dents,  $N$  est la fréquence de rotation [tour/min] et  $A = f.z.N$  la vitesse d'avance [mm/tour/min] de la fraise.

### 3.4- Cas du perçage

La puissance nécessaire à la coupe pour ce type d'opération se calcule à l'aide de la relation  $P \approx K * f * d * Vc$ .

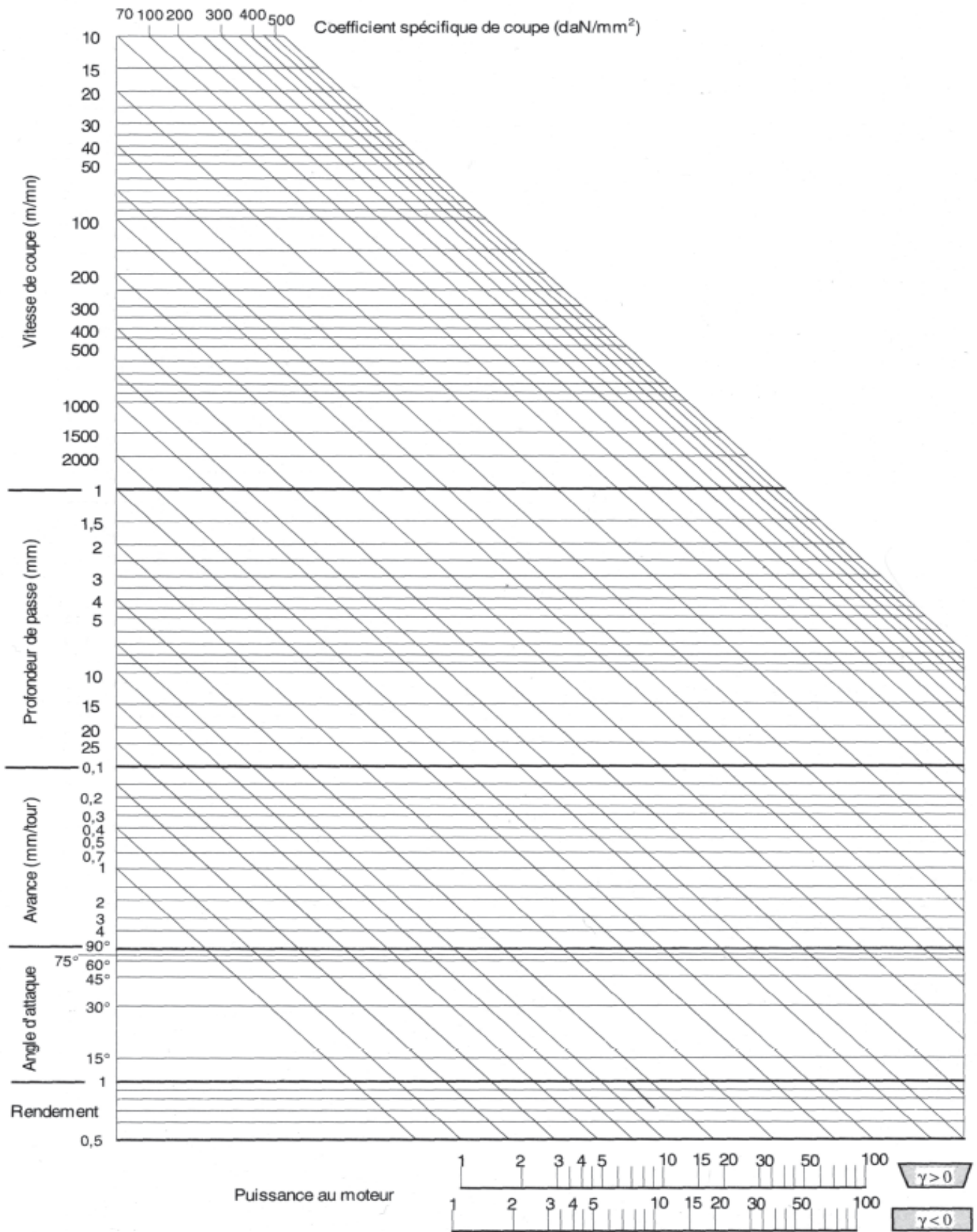
### **3.5- La puissance de coupe : utilisation des abaques**

A l'aide des abaques de calcul de puissance on peut déterminer :

- soit la puissance de la machine, si les paramètres de coupe sont déjà déterminés ;
- soit un des paramètres de coupe, si la machine est imposée



Abaque de calcul de puissance de coupe en tournage



**Abaque de calcul de puissance de coupe en fraisage**

