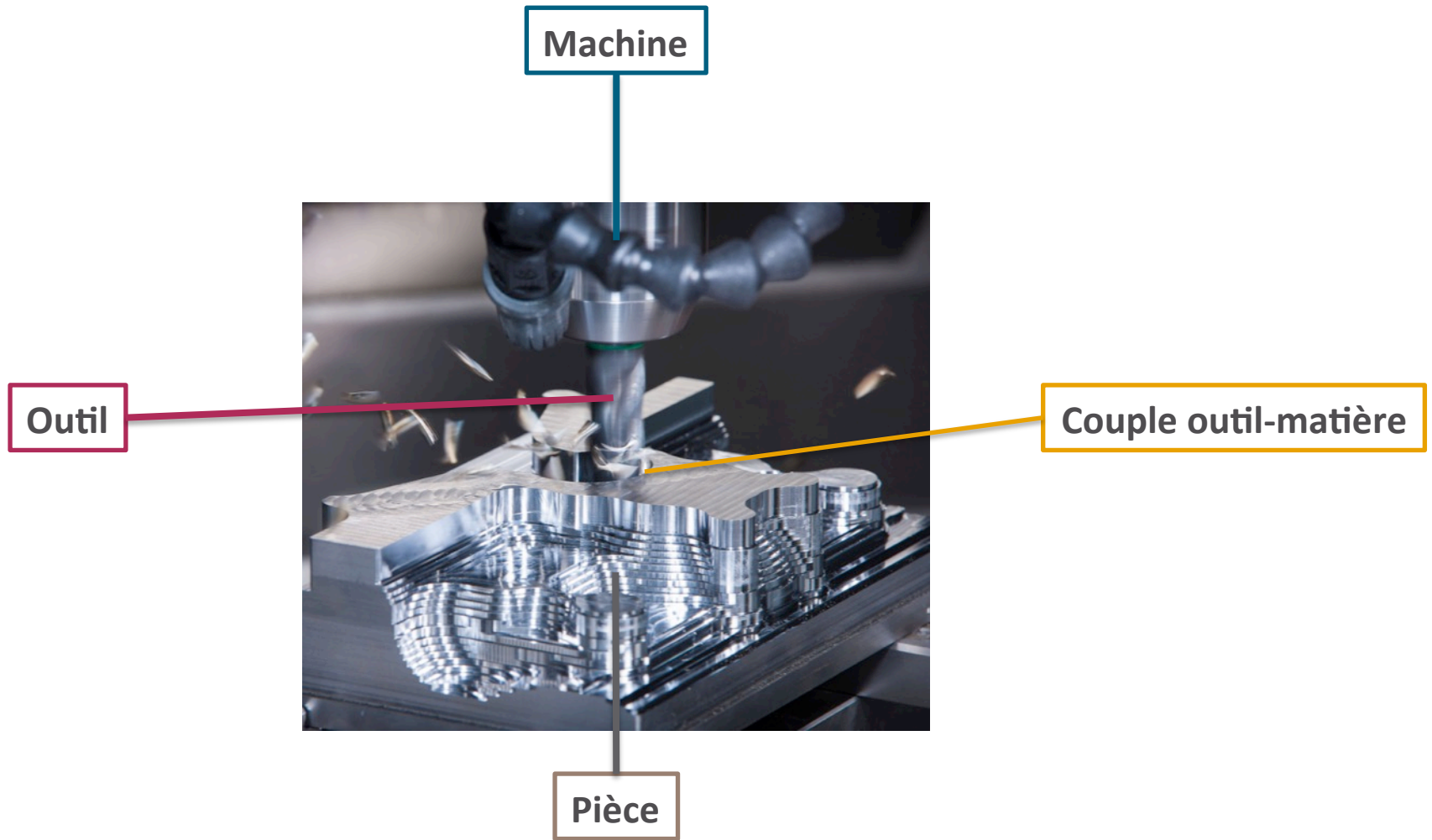


Guide de choix des outils et des conditions de coupe

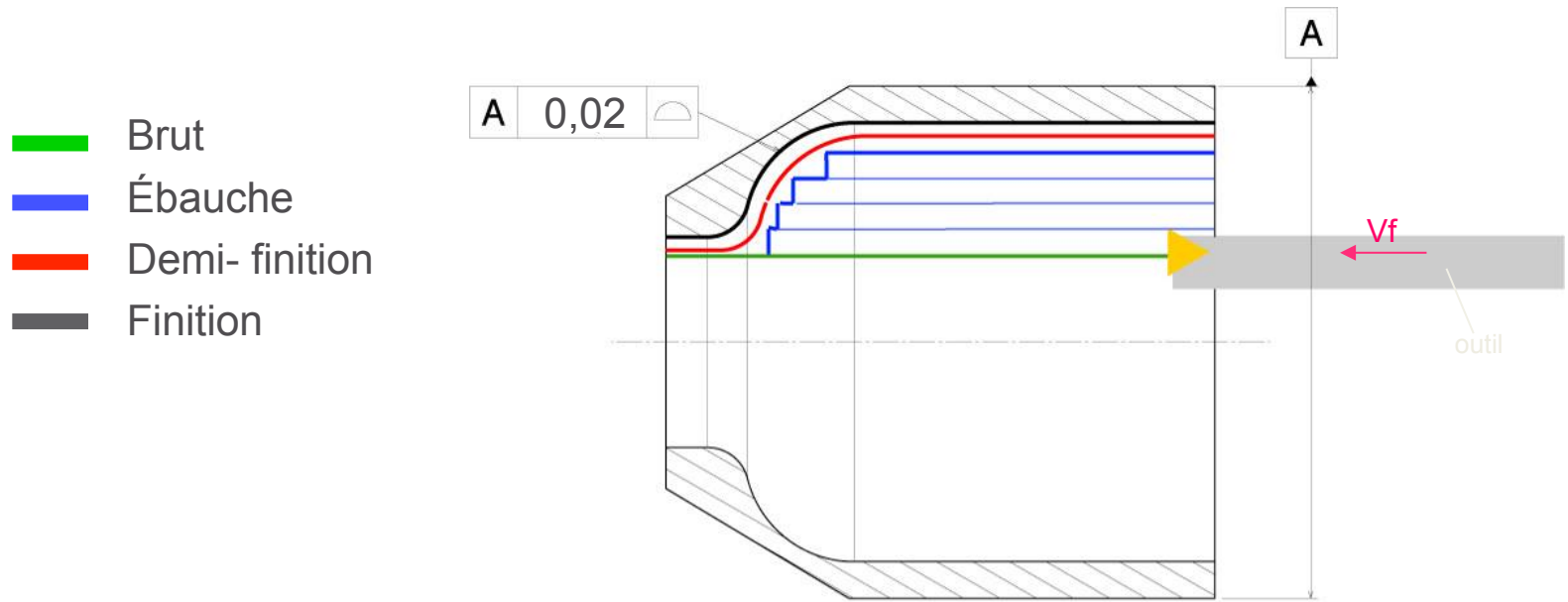
5GMIP - PRODU5

Thibaut Chaise - Nicolas Tardif – Alexandre Zelez

Problématique



Rappel : Opérations élémentaires

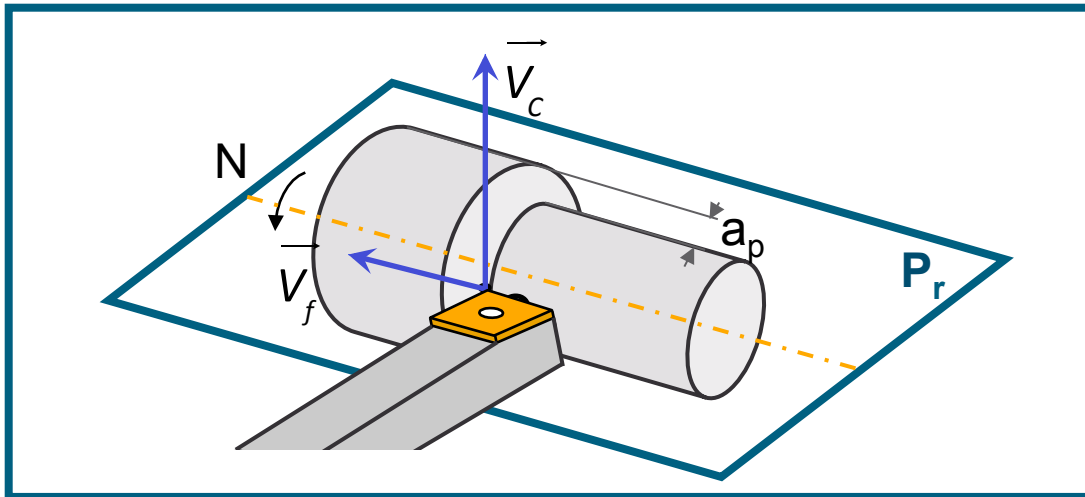
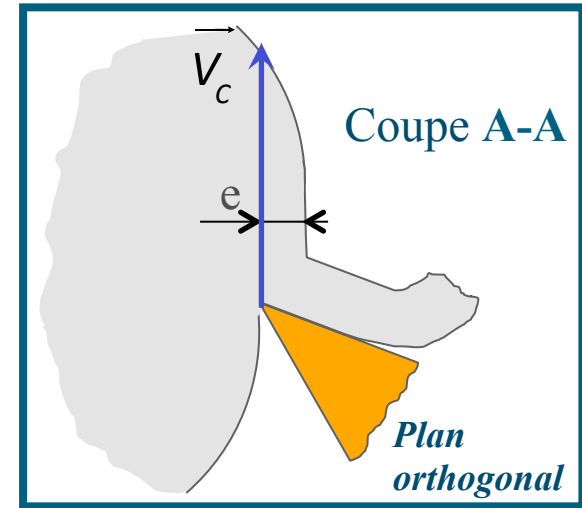
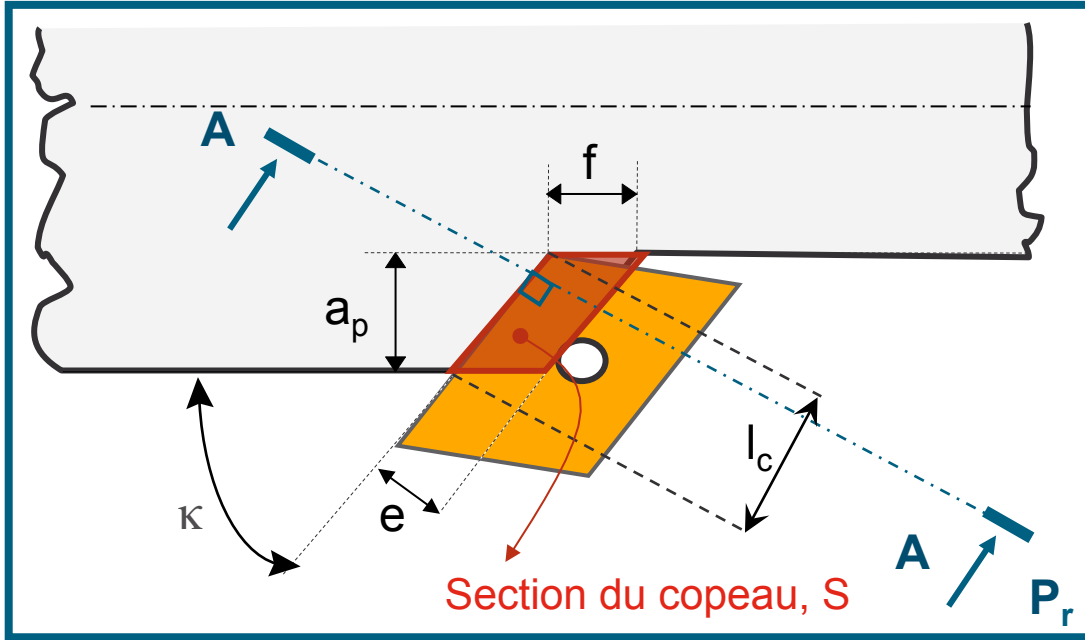


But de l'ébauche : Maximiser le débit copeau

But de la ½ finition : Obtenir une section de copeau constante lors de la finition pour éviter la flexion de l'outil et les problèmes dynamiques du couple outil matière (vibrations) lors de la coupe.

But de la finition : Obtenir un dimensionnel conforme au dessin de définition (spécification géométrique, état de surface).

Rappel : Tournage – Paramètres cinématiques et géométriques



Paramètres machine :

Fréquence de rotation N [tr/min]

Vitesse d'avance V_f [mm/min]

Paramètres de coupe :

Profondeur de passe a_p [mm]

Avance f [mm/tr]

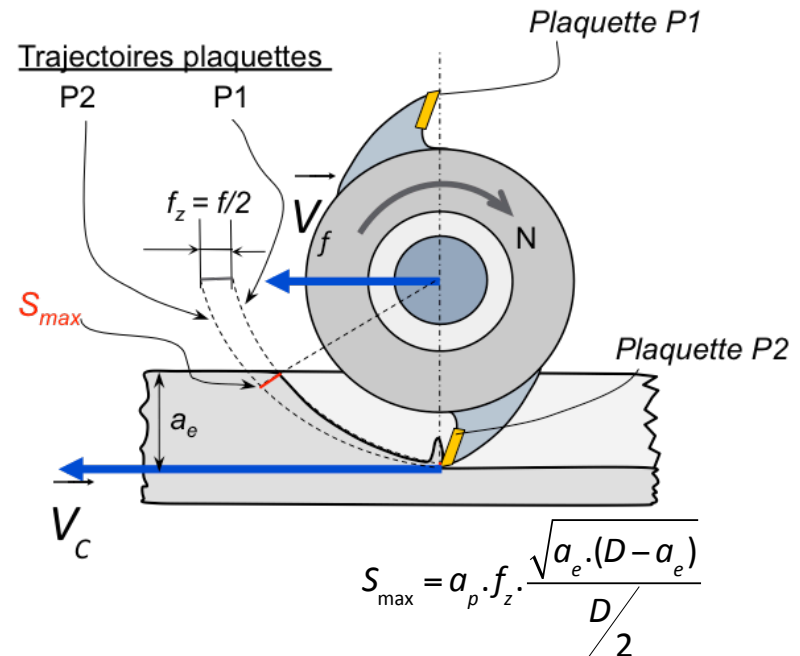
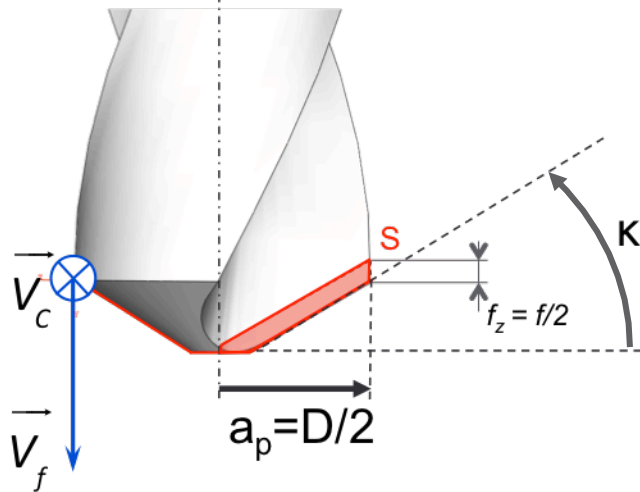
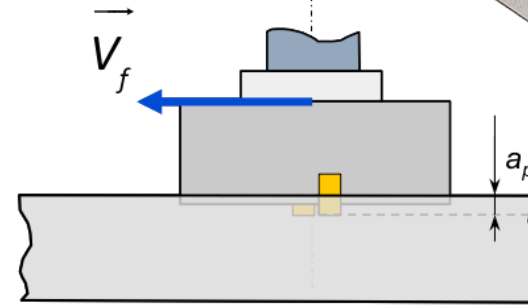
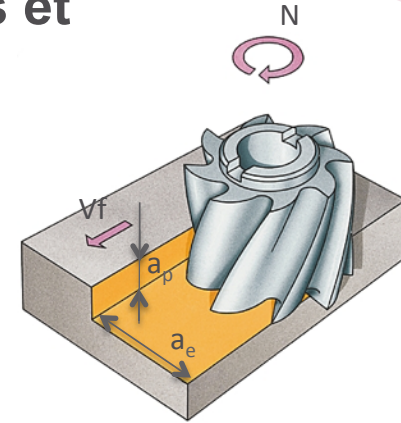
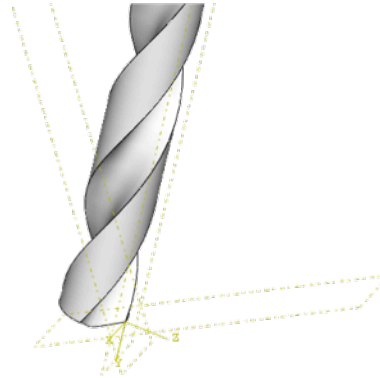
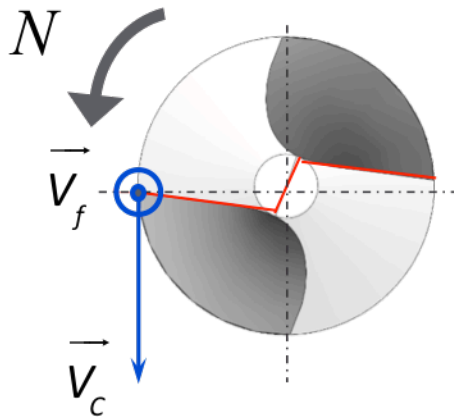
Vitesse de coupe V_c [m/min]

Paramètres physiques :

épaisseur de copeau e [mm]

longueur en prise l_c [mm]

Rappel : Fraisage - Perçage : Paramètres cinématiques et géométriques



$$S_{max} = a_p \cdot f_z \cdot \frac{\sqrt{a_e \cdot (D - a_e)}}{D/2}$$

Choix des outils en fraisage

Principaux type de fraise :

Fraise droite 2T : outil le plus classique en usinage de formes conventionnelles, travail sur 3 axes simultanés si coupe au centre. Outil fragile. A réserver aux surfaces verticales ou raccords à 90° de fonds de poche



Fraise rayonnée (généralement monobloc) et fraise torique (à plaquettes rapportées) : moins fragile car rayonné (efforts de coupes répartis de manière plus homogène). Idéale pour les opérations d'ébauche, de surface gauche notamment



Fraise hémisphérique : utile pour les opération de balayage (finition de surfaces gauches) et reprises de rayon. Outil fragile, *faibles* profondeurs de passe.



Principaux type de fraises : opérations recommandées



Fraise d'ébauche : Hérisson, Ravageuse

Ebauche des opérations 2 axes et $\frac{1}{2}$
(traditionnel)

Poches, épaulement ou surfaçages



Fraise 2 tailles :

Finition des opérations 2 axes et $\frac{1}{2}$
(traditionnel)

Poches, épaulement ou surfaçages

A éviter en ébauche si non rayonnée



Fraise torique :

Ebauche et $\frac{1}{2}$ finition des surfaces gauches

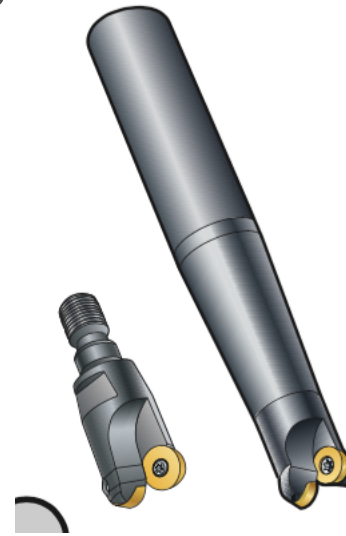


Fraise hémisphérique :

Finition des surfaces gauches

A proscrire en ébauche

Outils Monoblocs ou à plaquettes rapportées



Monobloc	Plaquette
A réaffûter	plaquettes changeables
Matériau de l'outil fixé	Matériau de la partie active modifiable
Petits outils possible	N'existe pas en dessous de $\Phi 10\text{mm}$
Possibilité de coupe au centre	Pas de coupe au centre
Assez vite limité en V_c , f_z	Très bonne performance : V_c , f_z
La partie active peut être longue	Peut être limité en a_p (notamment fraise torique)

Dimension de l'outil

- De manière générale,

Le diamètre de l'outil Φ le plus grand possible (Rigidité, Productivité) tout en respectant les contraintes dimensionnelles de la pièce

L'élancement Φ/L le plus grand possible (Rigidité) tout en respectant les contraintes dimensionnelles de la pièce



Coupe au centre

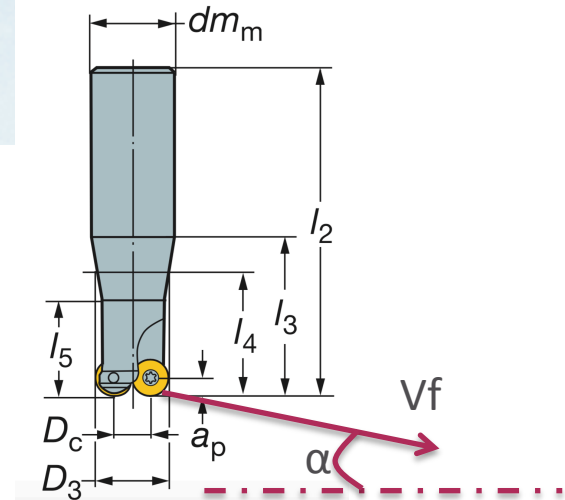
outil avec coupe au centre



Possibilité d'entrée en matière en plongée verticale.
Attention $f_{zz} = f_z/2$



outil sans coupe au centre



Plongée verticale à proscrire.
Entrée en matière en rampe ou en spirale avec angle α par rapport à l'horizontale à définir en fonction des caractéristiques géométriques de l'outil.

Choix des Conditions de coupe en fraisage

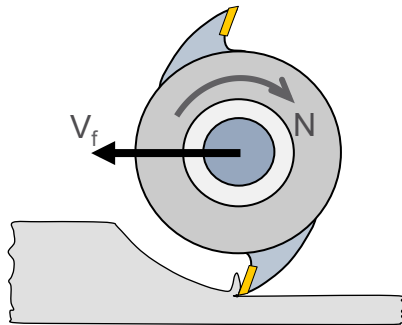
Fraisage en opposition ou en avalant

- **Recommandation : usiner en *concordance* (ou *en avalant*)**

Fraisage en opposition/conventionnel

Machines traditionnelles, compensation des jeux de transmissions ; qualité moindre

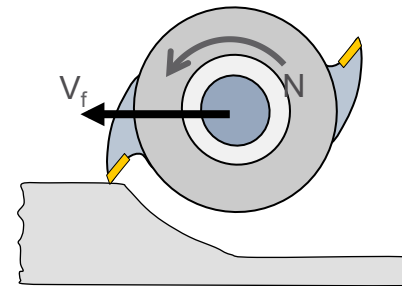
Peut être bénéfique dans le cas des voiles minces



Fraisage en concordance/avalant

Plus couramment utilisé sur les MOCN

à vis à billes, sans jeu à compenser



Paramètres à optimiser

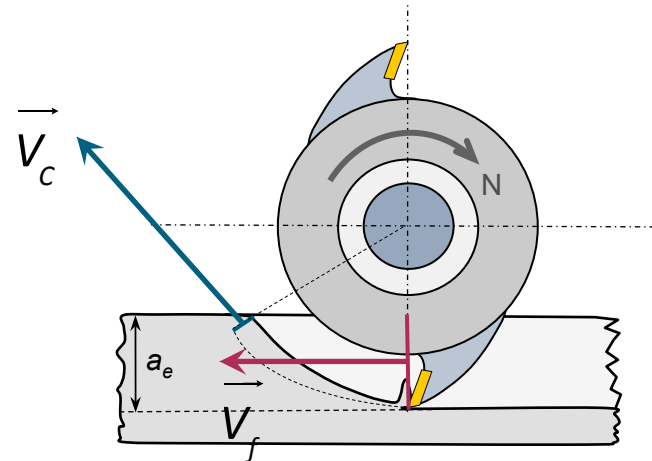
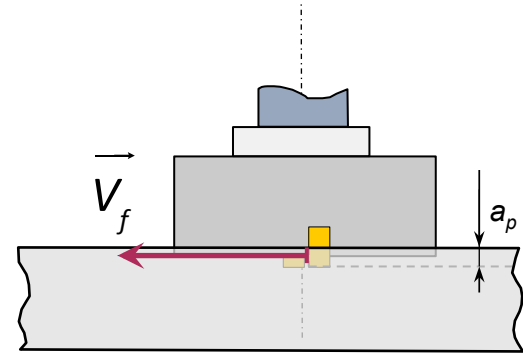
- **Ebauche : Maximisation du débit copeau**

Débit moyen Q_m

$$Q_m = V_f \cdot a_p \cdot a_e$$

Valeur moyennée sur plusieurs rotations

Calcul simplifié



- **Finition : conformité au plan de définition**

Spécification géométrique (Minimisation des efforts de coupe)

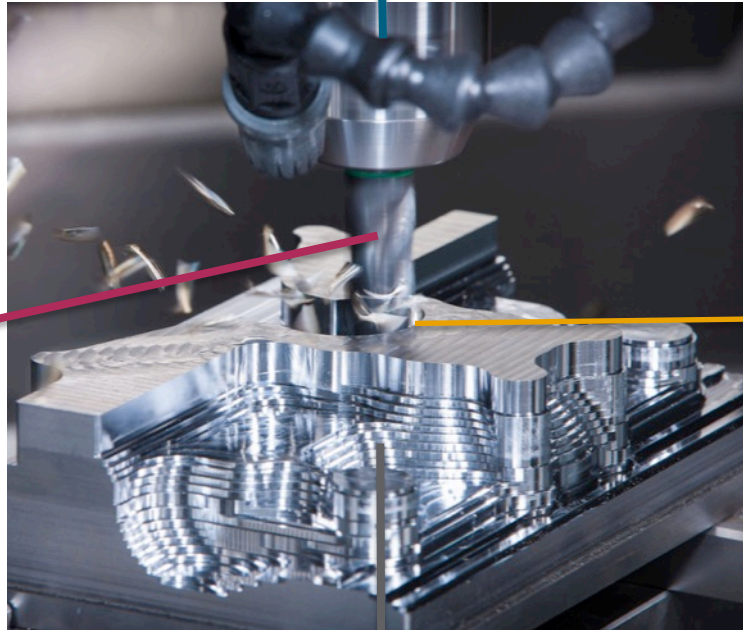
Etat de surface

Contraintes de choix des conditions de coupe

Limitations en
Ebauche
Finition

Machine
Puissance P_{\max}
Couple C_{\max}
Vitesse de rotation N_{\max}
Vitesse d'avance Vf_{\max}

Outil
Usure
Vibration
Déformation



Couple outil-matière
Brise-copeaux (ap-f)
 $[Vc_{\min} - Vc_{\max}]$

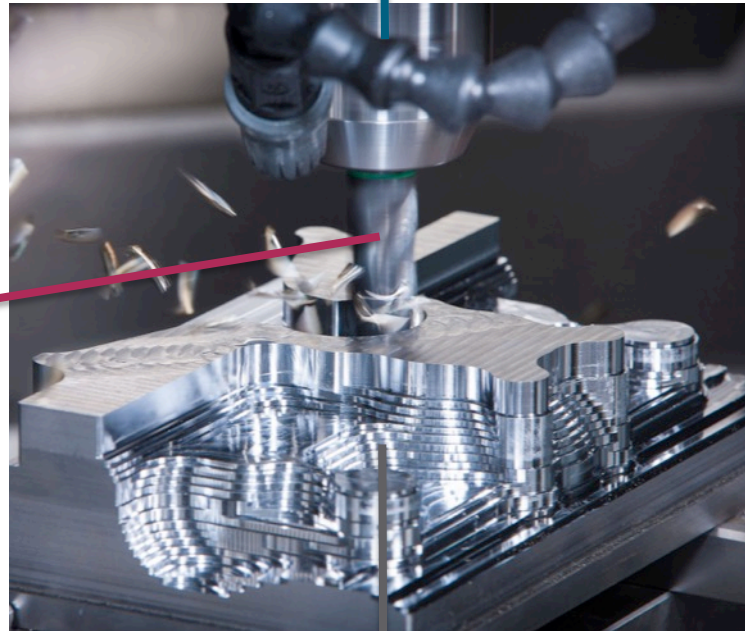
Pièce
Géométrie
Déformation
Etat de surface

Calcul des effets dynamiques

Limitations en
Ebauche
Finition

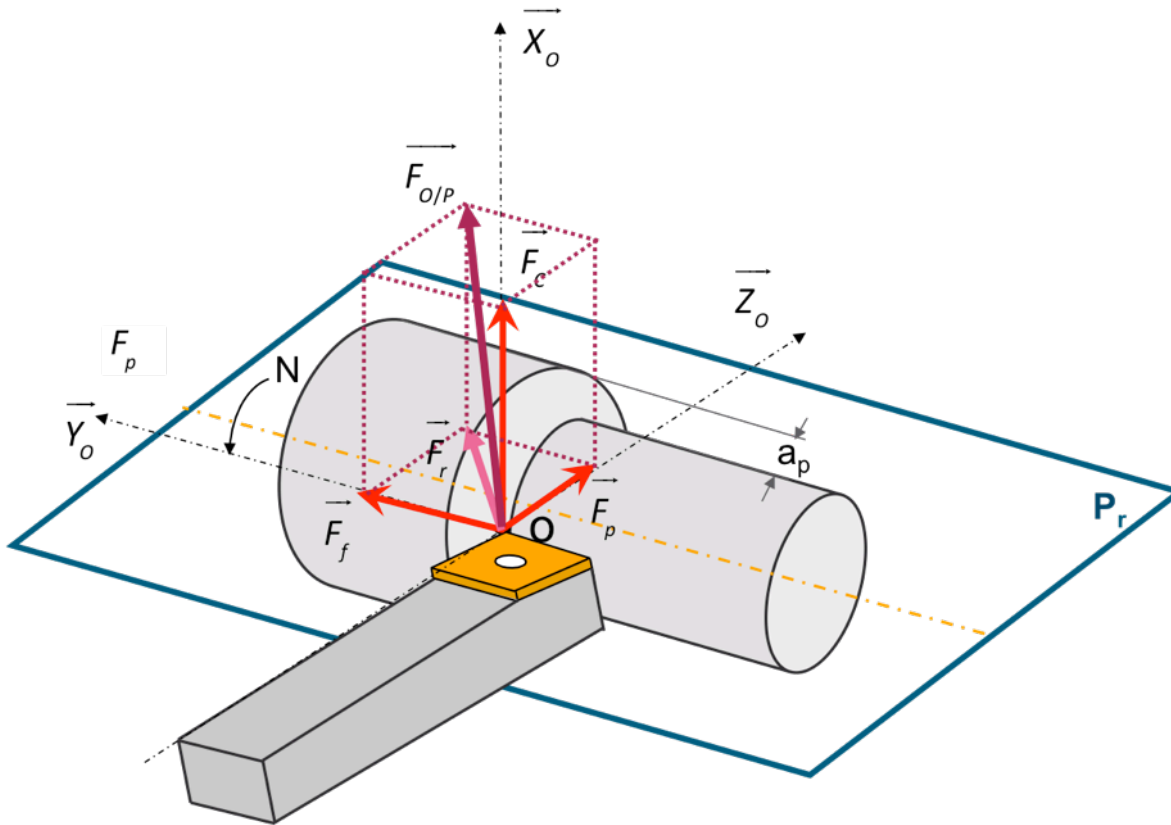
Machine
Puissance P_{\max}
Couple C_{\max}

Outil
Vibration
Déformation



Pièce
Déformation
Vibration

Modélisation des effets dynamiques



Effort :

Rapport approximatif dans le cas du tournage :

$$F_f \approx \left[\frac{1}{2} ; \frac{2}{3} \right] F_c$$

$$F_p \approx 0,3.F_c$$

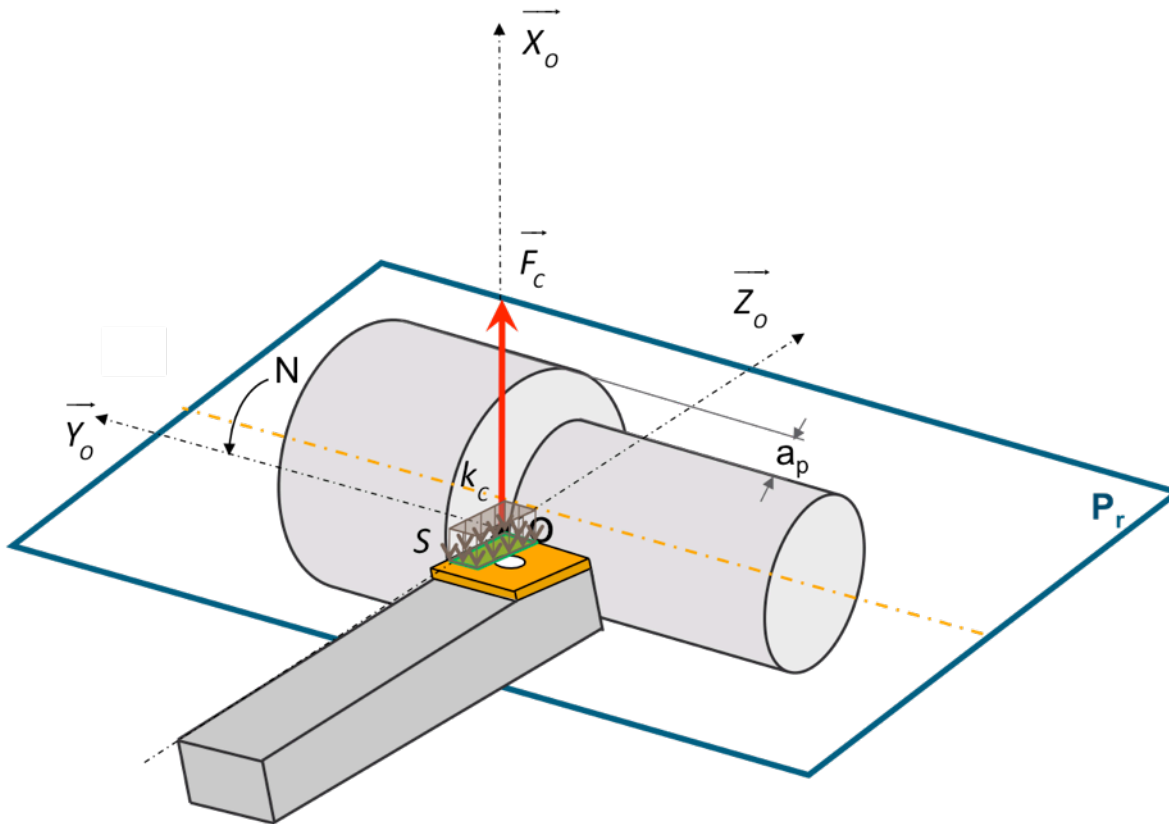
Puissance :

$$P = \vec{F}_{O/P} \cdot \vec{V}_{O/P} = F_c \cdot V_c + F_f \cdot V_f + F_p \cdot 0$$

très souvent $V_f \ll V_c$

$$P \approx F_c \cdot V_c$$

Modélisation des effets dynamiques



Effort de coupe :

$$F_c = k_c S$$

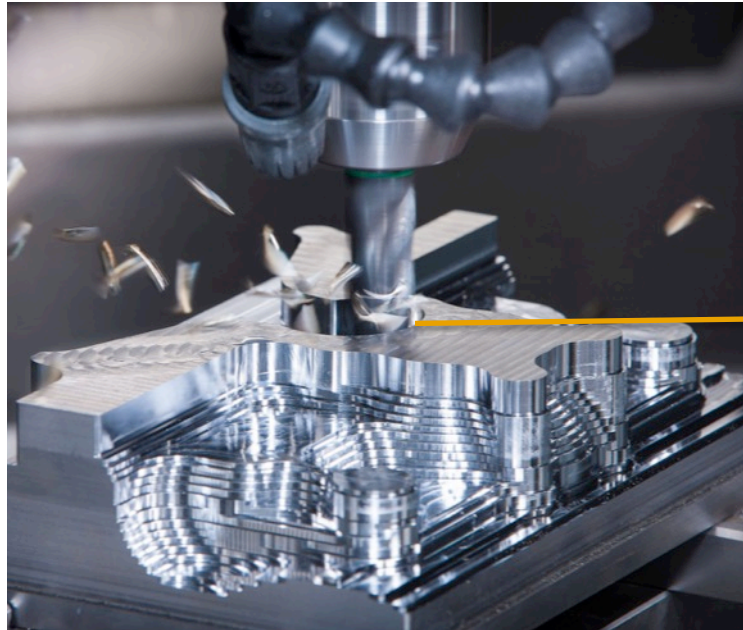
avec S section de copeau,
 k_c effort spécifique de coupe
dépendant au premier ordre du
matériau usiné.

Couple outil-matière

Limitations en

Ebauche

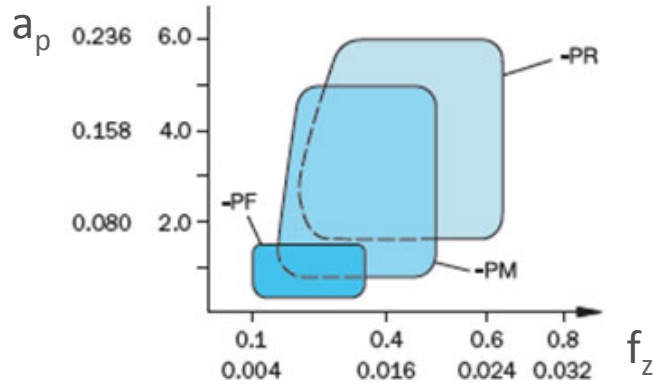
Finition



Couple outil-matière
Brise-copeaux ($ap-f$)
 $[V_{c_{\min}} - V_{c_{\max}}]$

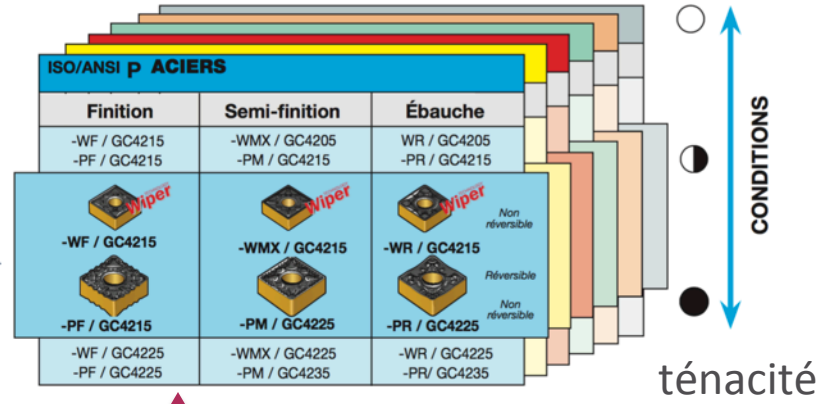
Couple outil-matière

Diagramme brise copeau



nuance

résistance à l'usure



Matière à usiner
Type d'application
Conditions d'usage

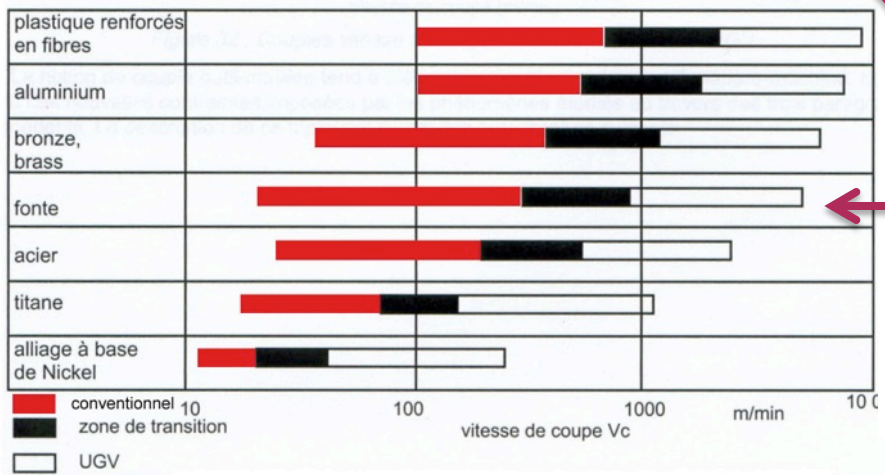
Plaquettes de tournage

Plaquettes de fraiseage



a_p = Profondeur de coupe (mm, pouces)
 f_n = Avance (mm/tr, pouces/tr)
 v_c = Vitesse de coupe (m/min pieds/min)

f_z = Avance par dent (mm, pouces)
 v_c = Vitesse de coupe (m/min pieds/min)



L'état de surface

Limitations en

Ebauche

Finition

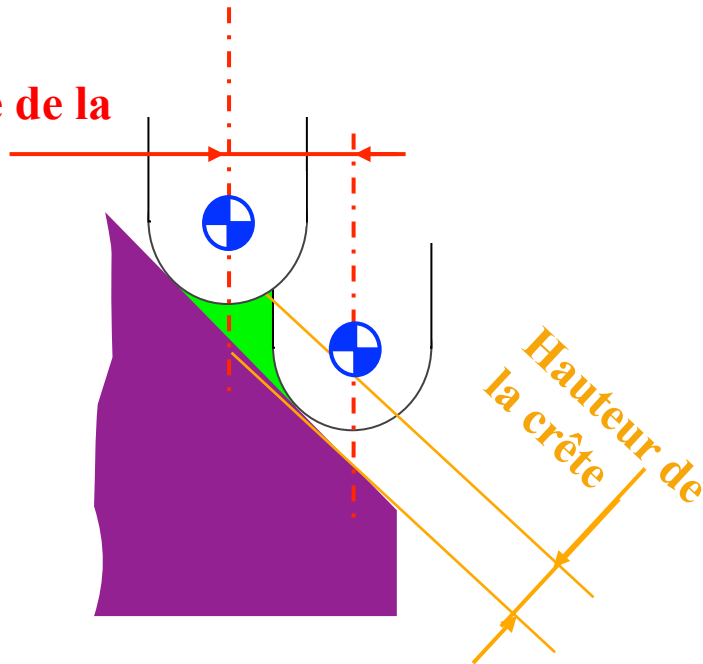


Pièce
Etat de surface

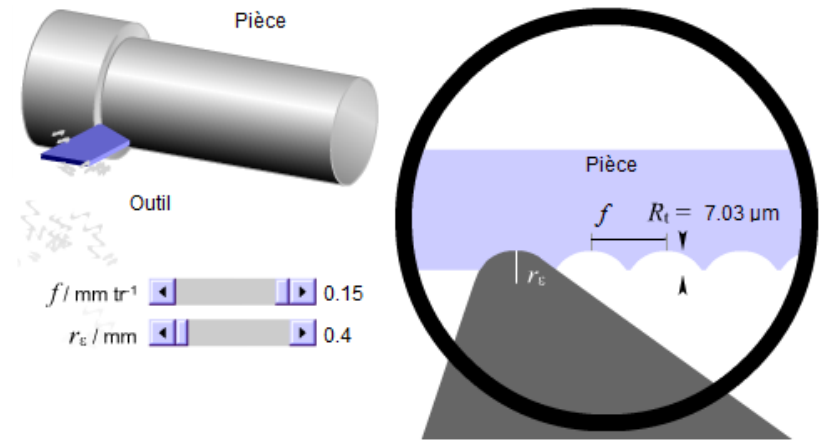
L'état de surface

A l'échelle de l'outil :
Géré par Esprit

Décalage de la fraise



A l'échelle de la plaquette :



Interaction cercle - cercle :

$$R_t = \frac{f^2}{8R_\epsilon} \quad [mm]$$

autre géométrie de plaquette :
raisonnement géométrique...

Résumé des équations de modélisation d'une opération de fraisage

- **Paramètres de coupe (pour le cas du fraisage)**

Vitesse de coupe $V_c \left(\frac{m}{min} \right)$; Avance par dent $f_z \left(\frac{mm}{dent} \right)$; Avance $f \left(\frac{mm}{tr} \right)$; Nombre de dents n_z

Tout en mm : profondeur de passe radiale a_e ; profondeur de passe axiale a_p

Vitesse de rotation $N \left(\frac{tr}{min} \right)$; Vitesse d'avance $V_f \left(\frac{mm}{min} \right)$; Diamètre de l'outil $D (mm)$

- **Grandeurs cinématiques**

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} ; f = n_z \cdot f_z ; V_f = f \cdot N$$

- **Grandeurs dynamiques**

$$S_{copeau\ maxi} = a_p \cdot f_z \cdot \frac{\sqrt{a_e \cdot (D - a_e)}}{D/2} \leq a_p \cdot f_z ; F_{par\ dent} = k_c \cdot S_{copeau} \Rightarrow$$

couple et puissance sur la broche (**attention** aux unités et au nombre de dents en prise dans la matière)

- **Etat de surface**

$$\text{En première approximation : } R_z \approx \frac{f_z^2}{8 \cdot R_\epsilon}$$