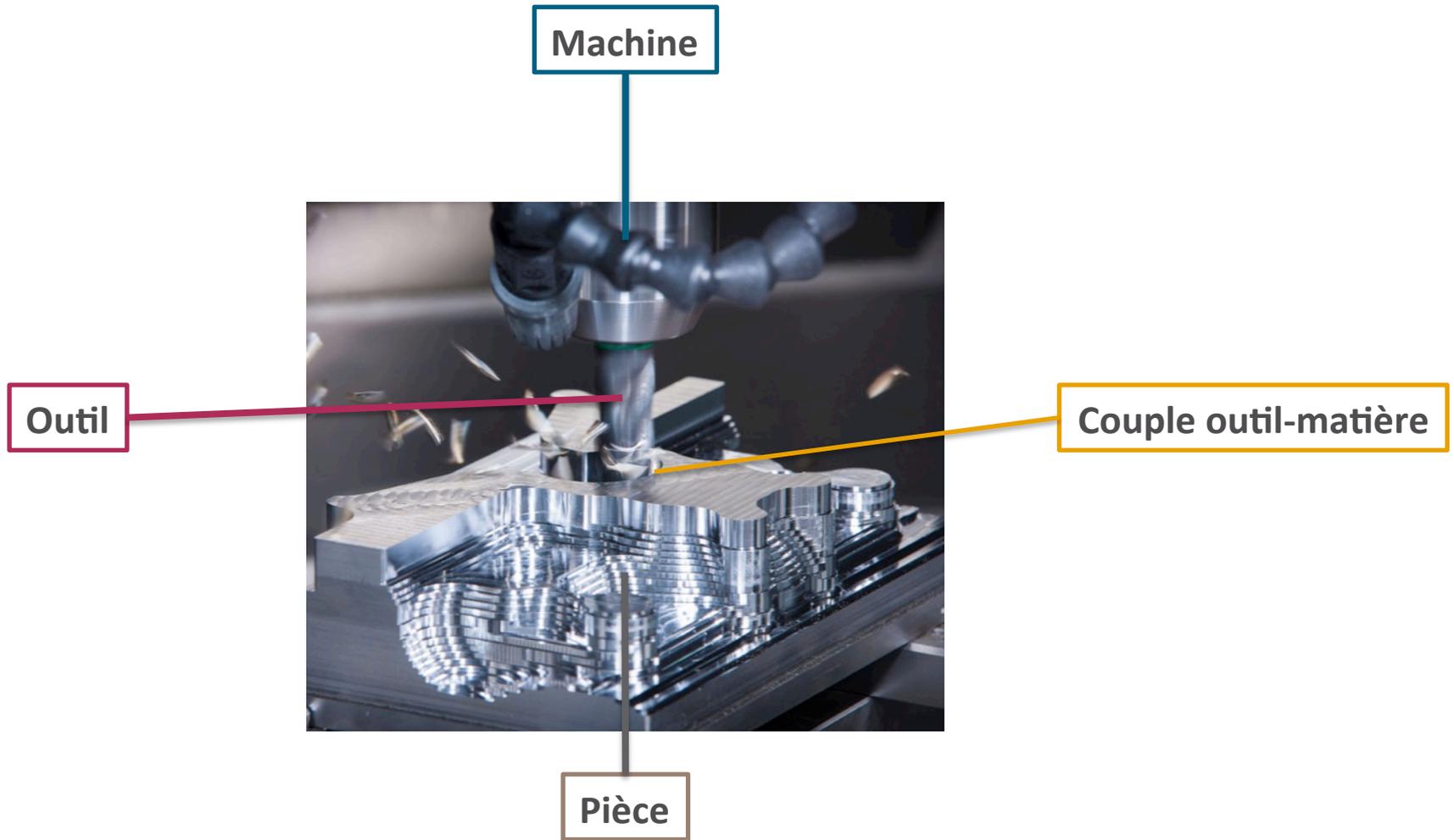


# Guide de choix des outils et des conditions de coupe

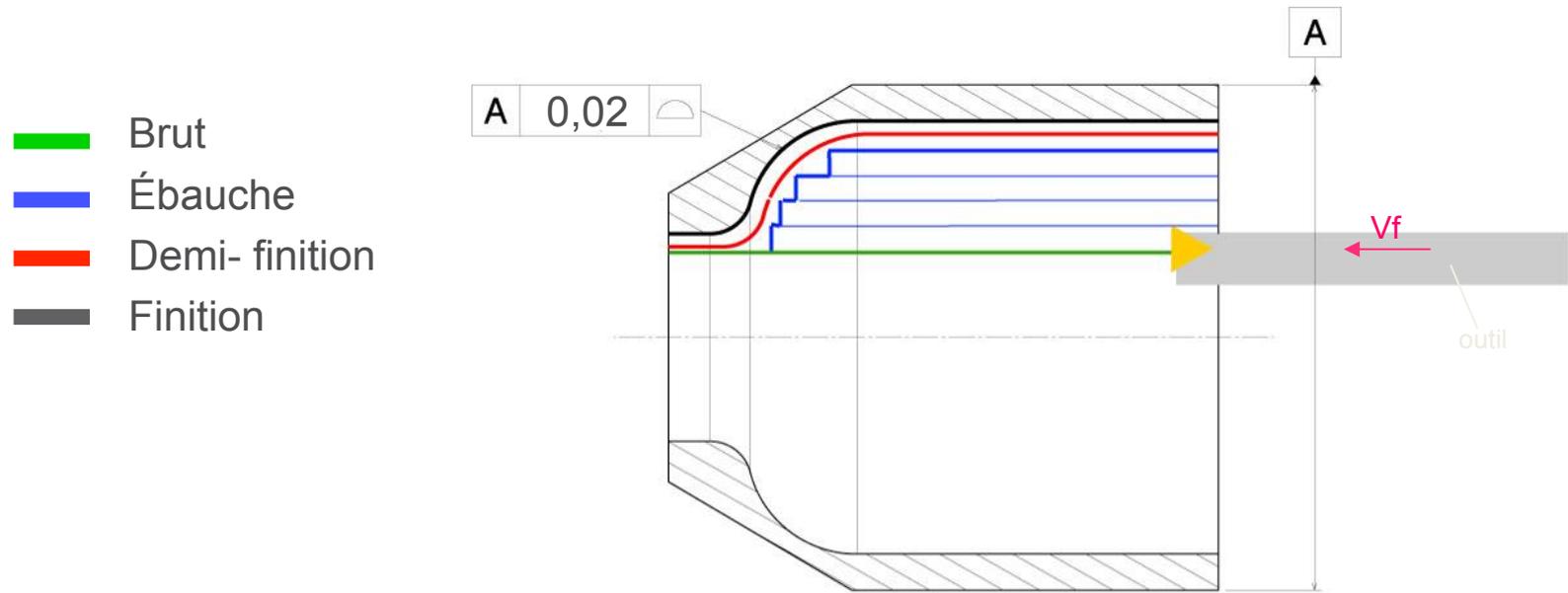
5GMIP - PRODU5

Thibaut Chaise - Nicolas Tardif – Alexandre Zelez

# Problématique



# Rappel : Opérations élémentaires

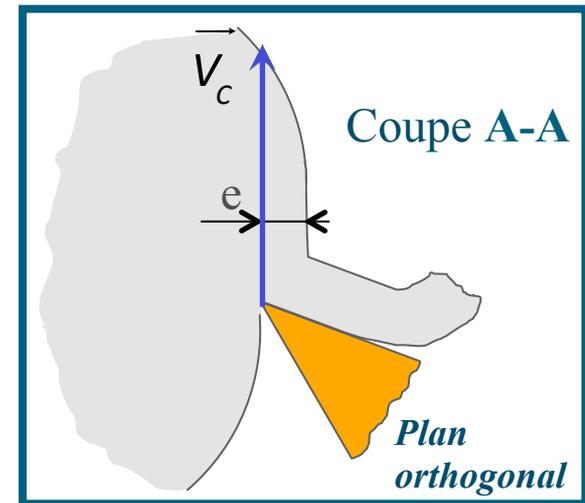
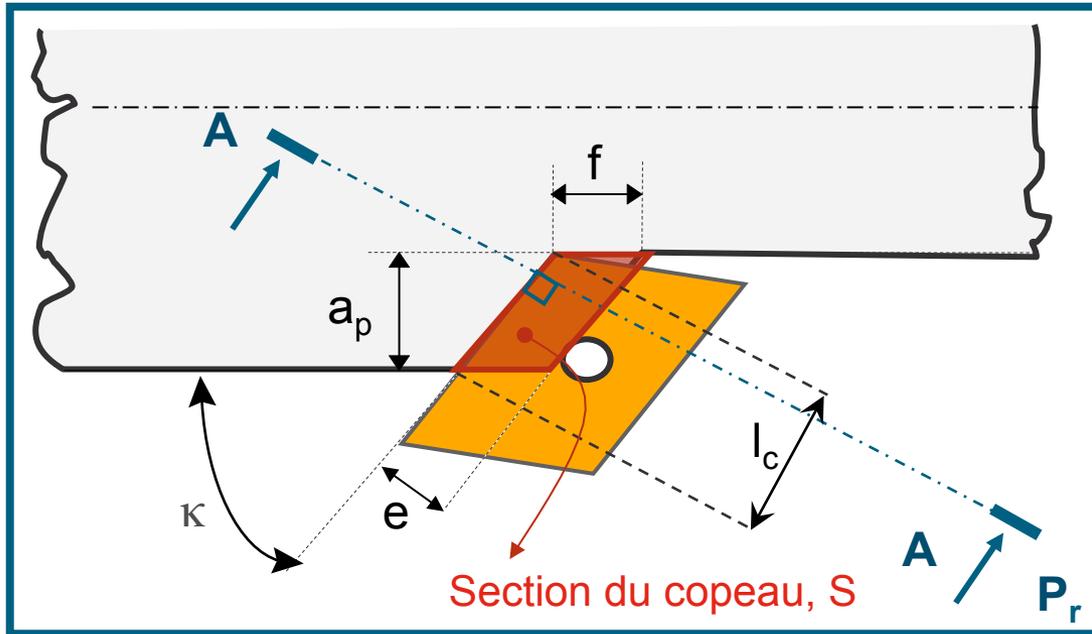


But de l'ébauche : Maximiser le débit copeau

But de la  $\frac{1}{2}$  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]

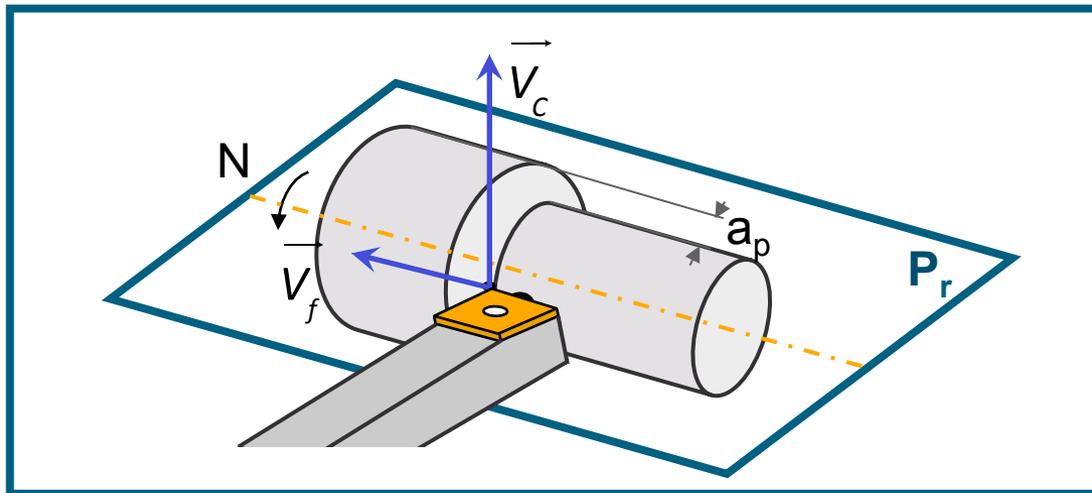
Avance  $f$  [mm/tr]

Vitesse de coupe  $V_c$  [m/min]

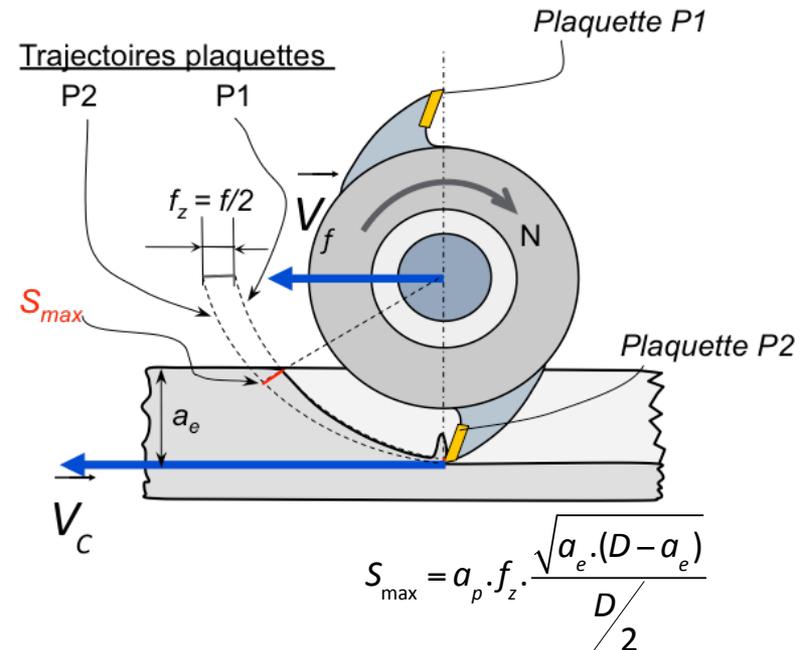
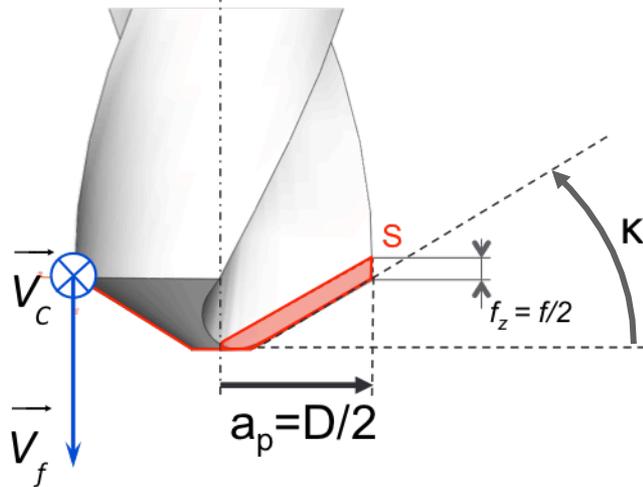
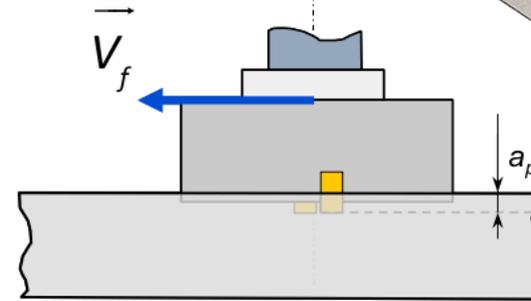
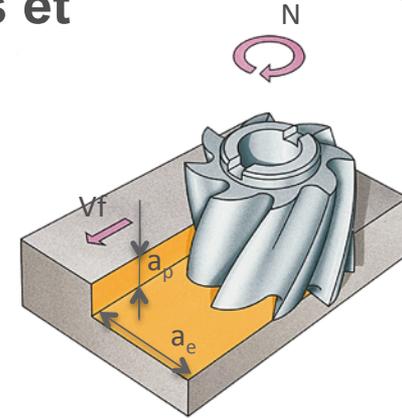
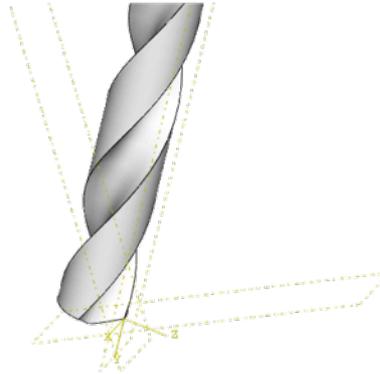
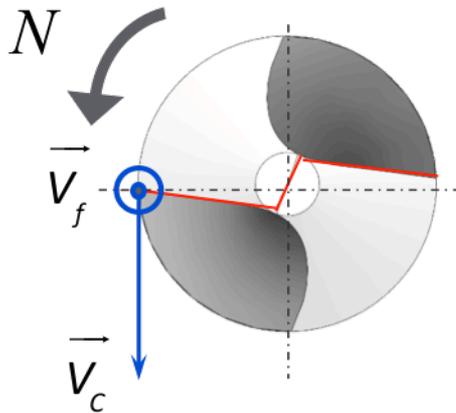
## Paramètres physiques :

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 ½  
(traditionnel)

Poches, épaulement ou surfaçages



## Fraise 2 tailles :

Finition des opérations 2 axes et ½  
(traditionnel)

Poches, épaulement ou surfaçages

**A éviter en ébauche si non rayonnée**



## Fraise torique :

Ebauche et ½ 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  $\Phi$  le plus grand possible (Rigidité, Productivité) tout en respectant les contraintes dimensionnelles de la pièce

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



# Coupe au centre

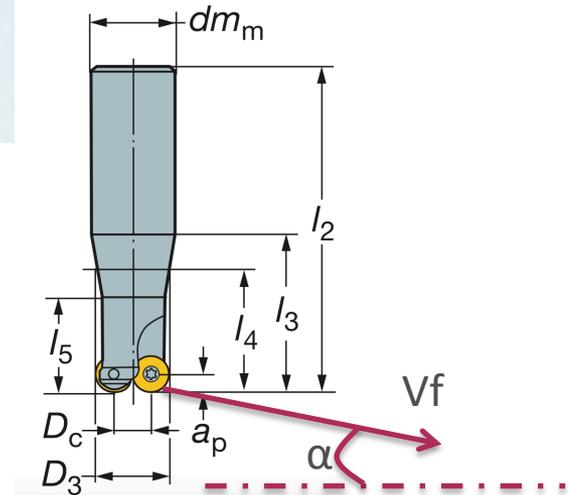
outil avec coupe au centre



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  $\alpha$  par rapport à l'horizontale à définir en fonction des caractéristiques géométriques de l'outil.

# Choix des Conditions de coupe en fraisage

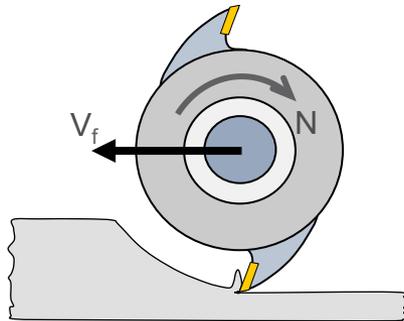
# Fraisage en opposition ou en avalant

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

Fraisage en opposition/conventionnel

Machines traditionnelles, compensation des jeux de transmissions ; qualité moindre

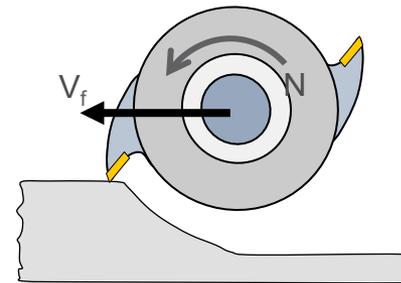
Peut être bénéfique dans le cas des voiles minces



Fraisage en concordance/avalant

Plus couramment utilisé sur les MOCN

à vis à billes, sans jeu à compenser



# Paramètres à optimiser

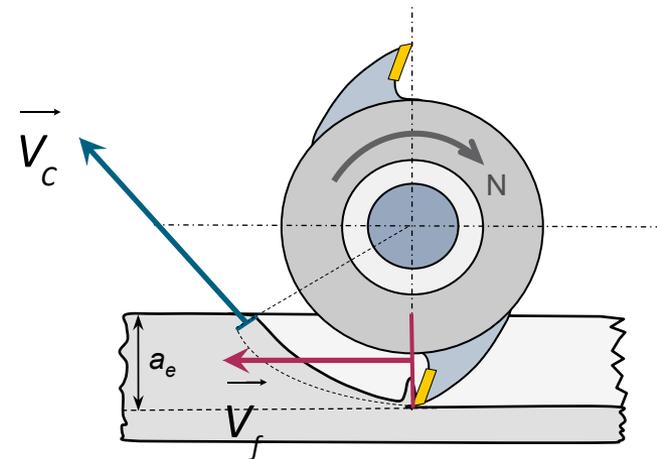
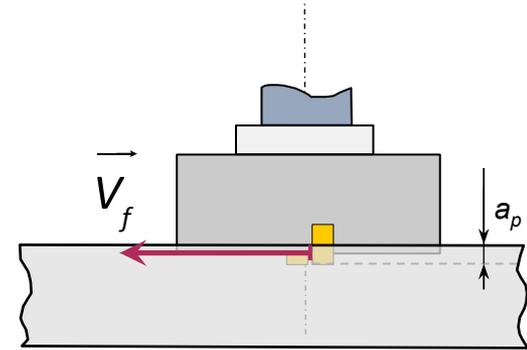
- **Ebauche : Maximisation du débit copeau**

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**

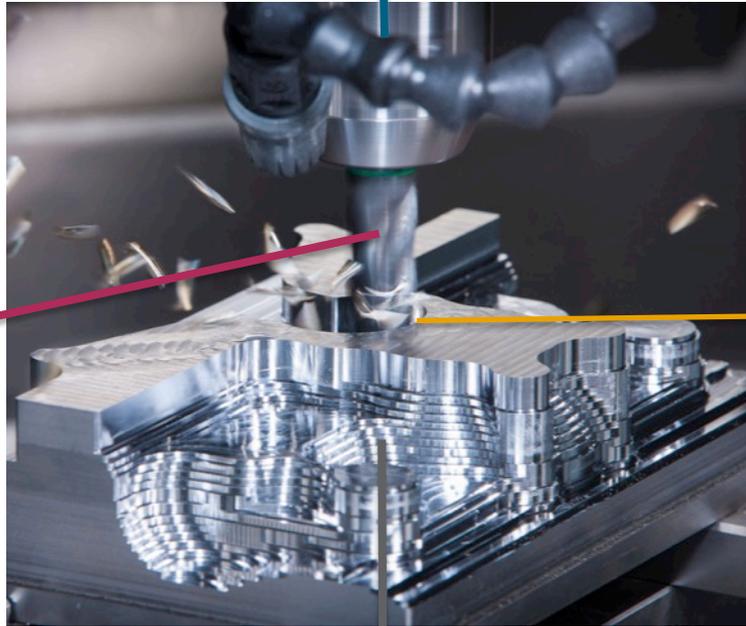
Spécification géométrique (Minimisation des efforts de coupe)

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)  
 $[Vc_{\min} - Vc_{\max}]$

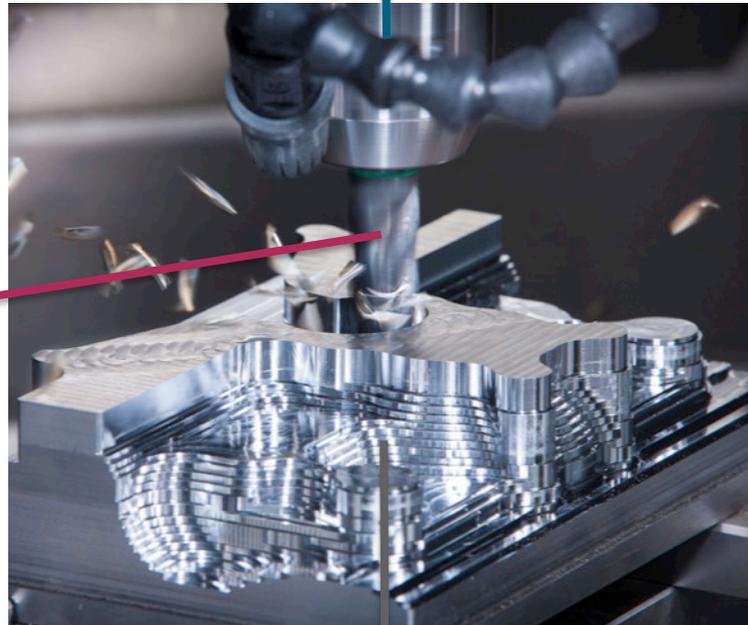
**Pièce**  
Géométrie  
Déformation  
Etat de surface

# Calcul des effets dynamiques

Limitations en  
Ebauche  
Finition

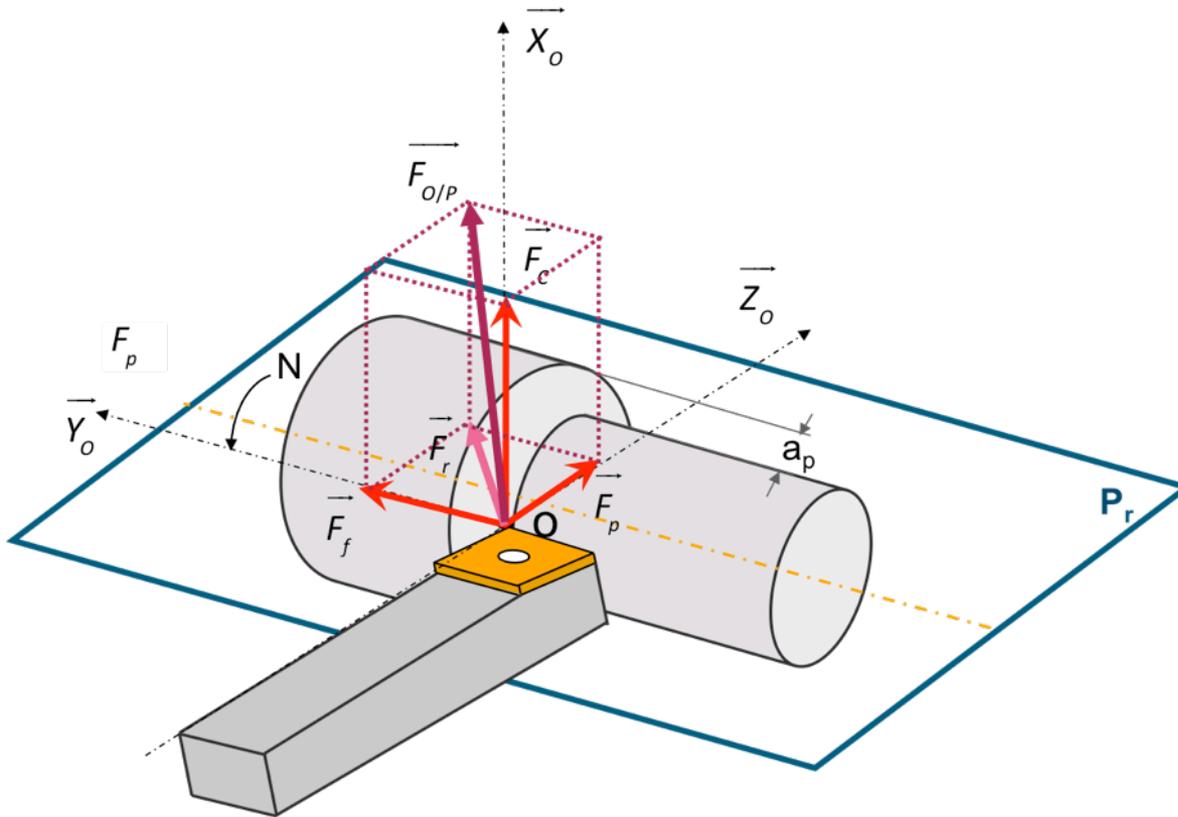
**Machine**  
Puissance  $P_{\max}$   
Couple  $C_{\max}$

**Outil**  
Vibration  
Déformation



**Pièce**  
Déformation  
Vibration

# Modélisation des effets dynamiques



## Effort :

Rapport approximatif dans le cas du tournage :

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

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

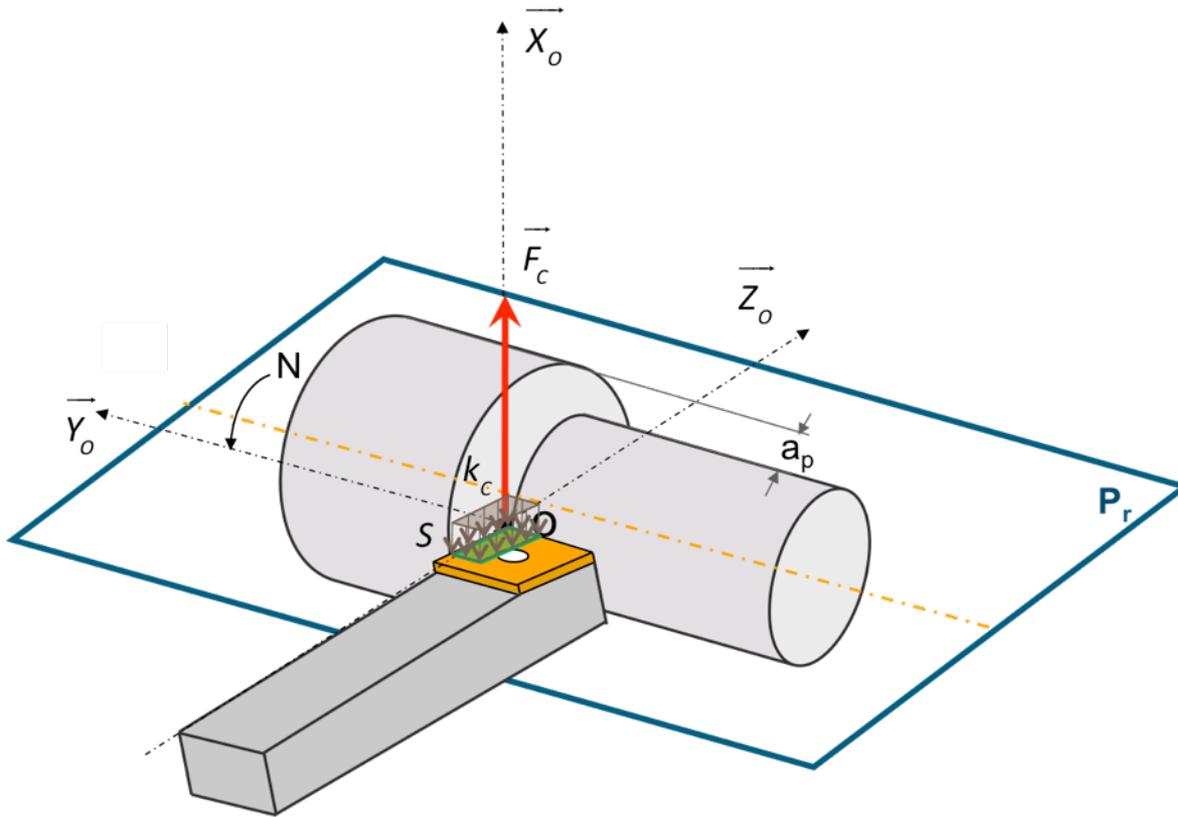
## Puissance :

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

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

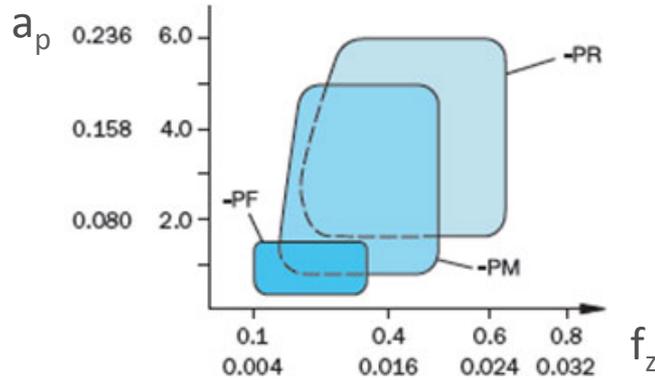
Finition



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

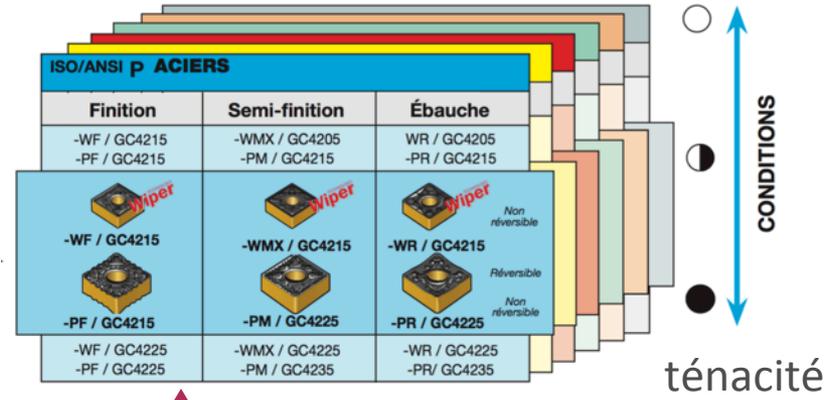
# Couple outil-matière

Diagramme brise copeau



nuance

résistance à l'usure



CONDITIONS

ténacité

Matière à usiner  
Type d'application  
Conditions d'usage

Plaquettes de tournage

Plaquettes de fraiseage



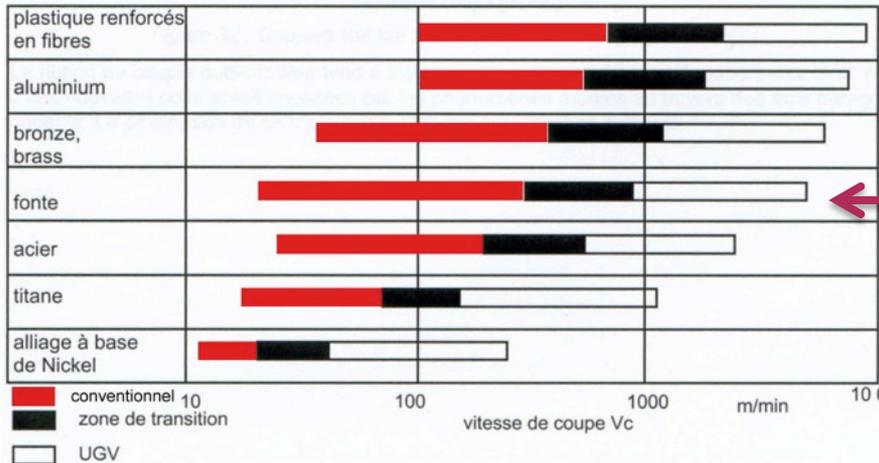
$a_p$  = Profondeur de coupe (mm, pouces)

$f_n$  = 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

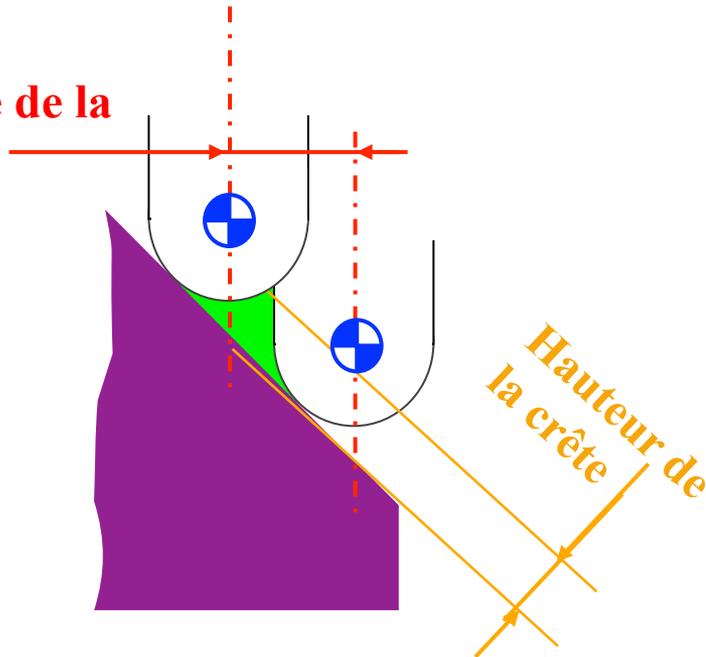


Pièce  
Etat de surface

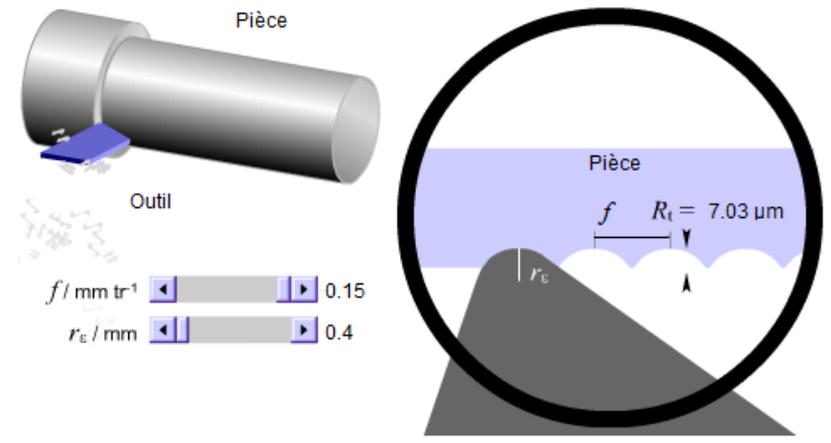
# L'état de surface

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

**Décalage de la fraise**



A l'échelle de la plaquette :



Interaction cercle - cercle :

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

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**

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