

Résumé Semaine 6

Principes fondamentaux de la cotation

Dr. S. Soubielle

Principes de la cotation (1/2)

- **Fonction de la cotation**

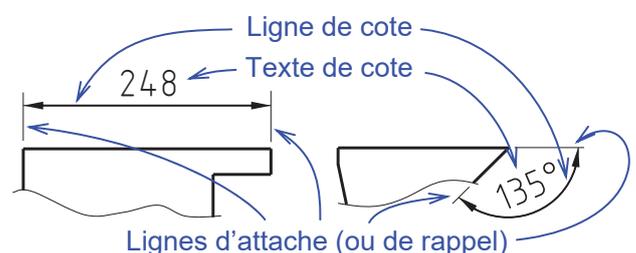
- Spécifier les dimensions (cotes) de la pièce
- Une cote a valeur d'exigence (pour la production)
- **Exception : cote auxiliaire « (...) » → donnée à titre indicatif**

- **Règles à respecter**

- Information complète, mais non redondante / surabondante
- Cotation sur traits interrompus fins → **⚠ INTERDITE ⚠**
- Toujours indiquer les cotes d'encombrement

- **Construction d'une cote**

- À l'extérieur du contour de la pièce (si possible)
- mm = unité par défaut (linéaire)



Procédés de fabrication par usinage

Physique de la coupe,
tournage & fraisage,
matériaux, formes et défauts

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... Définir la physique de coupe en usinage

- ... Mouvements outil / matière et formation du copeau
- ... Sollicitations thermomécaniques sur l'outil
- ... Matières et types d'outils

... Décrire les procédés de tournage et de fraisage

- ... Types de mouvements de l'outil / la pièce dans la machine
- ... Types de machines, d'opérations, terminologie
- ... Topologie d'une pièce de tournage / de fraisage
- ... Paramètres d'usinage et qualité des surfaces usinées

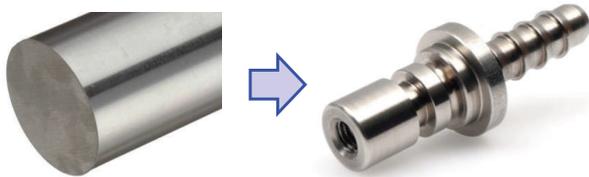
... Design et mise en plan de pièces usinées

- ... Limitations de forme, design vs. coût de fabrication

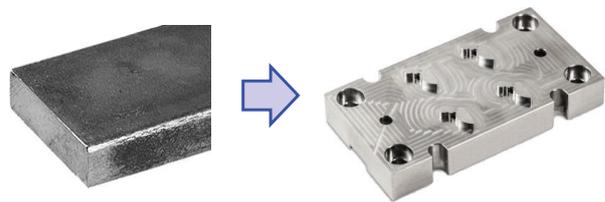
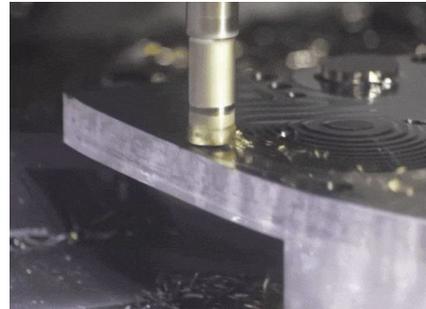
Principe et types d'usinage

Usinage = Fabrication par enlèvement de matière

Tournage



Fraisage



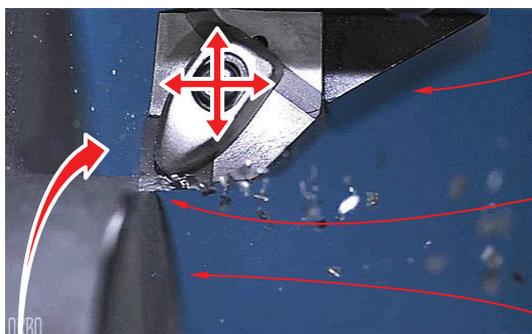
Principe et cinématique de la coupe

Tournage



Principe de la coupe

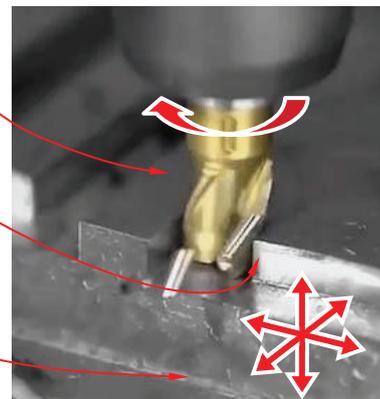
Fraisage



Outil de coupe

Formation du copeau

Pièce en cours d'usinage



Cinématique de la coupe

Matière à usiner → En rotation
Outil de coupe → En translation (deux axes)

Matière à usiner → En translation (trois axes)
Outil de coupe → En rotation

Physique de coupe

- **Formation du copeau**

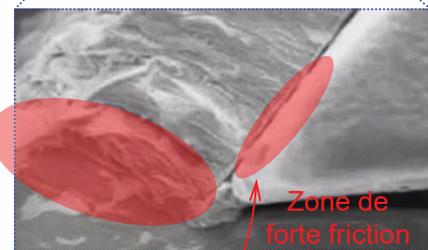
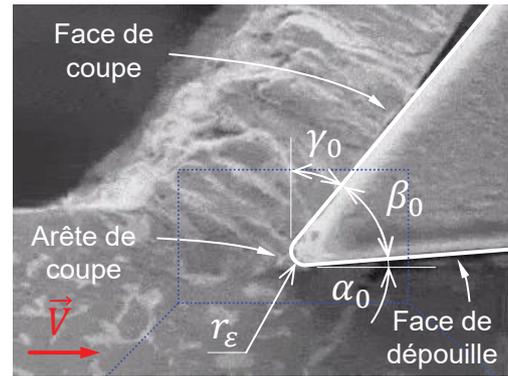
- Mouvement relatif matière / outil
- + Pointe tranchante de l'outil
- Arrachage de matière (copeau)

- **Physique des matériaux**

- Forte contrainte locale (cisaillement)
- Déformation plastique intense
- Echauffement local (→ 600-800 °C)

- **Géométrie de l'outil**

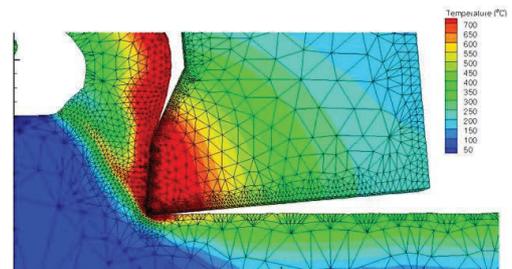
- Arête de coupe → Sépare le copeau
- Face de coupe → Écarte le copeau ($0 < \gamma_0 < 90^\circ$)
- Face de dépouille → Ne doit pas être en contact ! ($\alpha_0 > 0^\circ$)
- Rayon d'outil r_ϵ → Empêche une contrainte ∞ sur la pointe



Matériaux et types d'outils

- **Propriétés requises**

- Résistance à l'abrasion +++
- Limite élastique R_e +++
- Dureté de surface H +++



- **Matière de l'outil de coupe**

- **Carbures métalliques (cermet)**
 - Obtenus par frittage de poudres (WC+Co)
 - Plaquette fixée sur un porte-outil



Pour plus d'infos sur le frittage des plaquettes : <https://www.youtube.com/watch?v=ma7zCe8wNCD>



- « **Aciers rapides supérieurs** » (ARS)
 - Aciers alliés trempés
 - Grande variété de formes



Brut d'usinage – matière

• Métaux (principaux)



Métaux ferreux (aciers & fontes)



Aluminiums



Laitons

• Autres



Matières plastiques

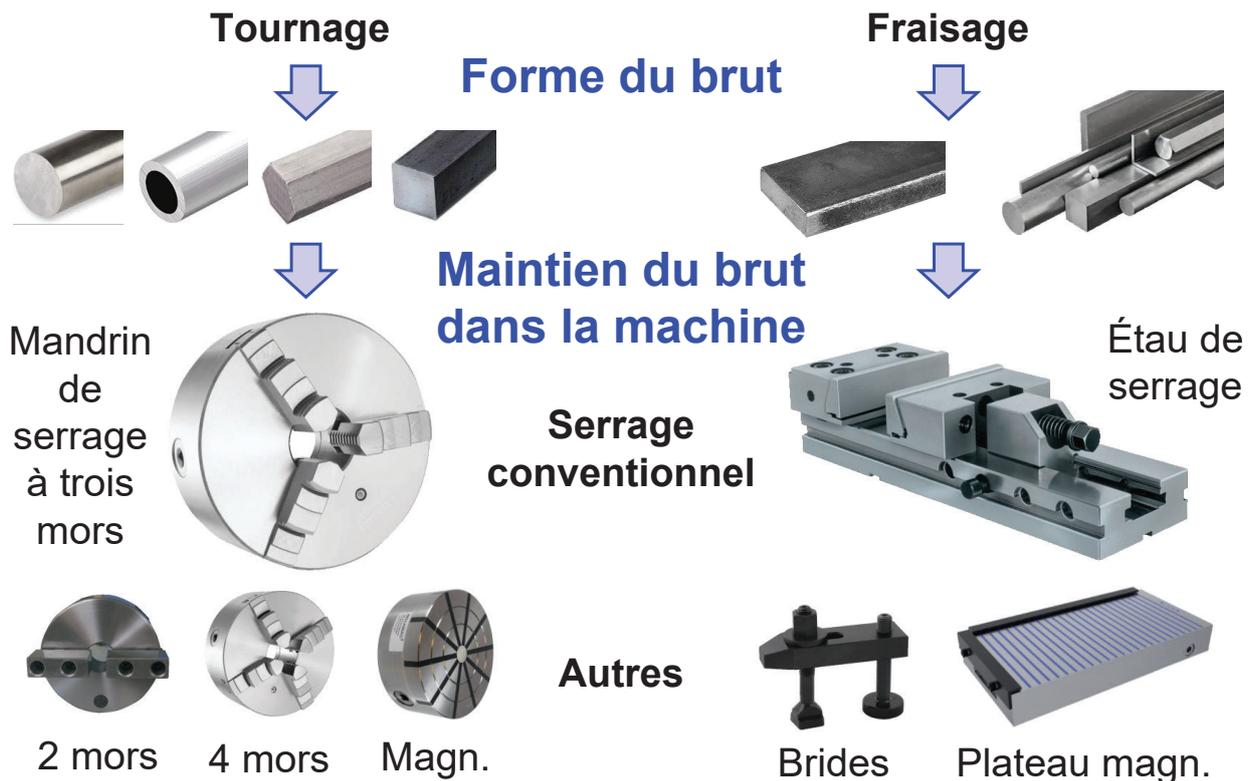


Céramiques



Bois

Brut d'usinage – forme et serrage



Liquides de coupes

• Fonctions

- Réduire les frottements
 - Dégagement de chaleur ↓
 - Efforts tangentiels ↓
 - Contraintes mécaniques ↓
 - Rendement énergétique ↑
- Évacuer les calories
 - T° locales (outil et pièce) ↓
- Évacuer les copeaux



• Types

- Huiles de coupe
- Solutions aqueuses (émulsions)

Topologie des pièces usinées

Tournage



Surfaces axisymétriques
(y c. face plane \perp axe)



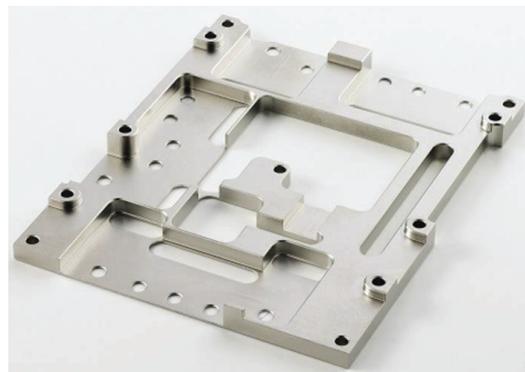
Possibilité de réaliser des filetages et taraudages centrés sur l'axe de révolution

Présence de faces brutes non-axisymétriques

Fraisage (3-axes)



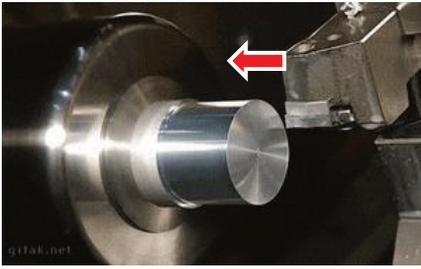
Surfaces planes ou év. courbées,
à génératrices rectilignes et //



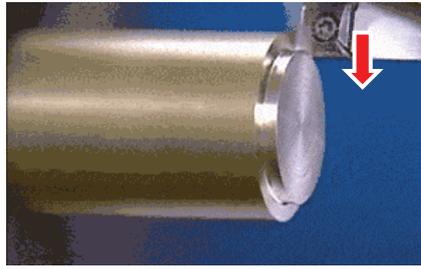
Possibilité de réaliser des trous, év. taraudés, d'axe // à celui des génératrices

Terminologie et typologie en usinage

• Opérations en tournage (terminologie)



chariotage



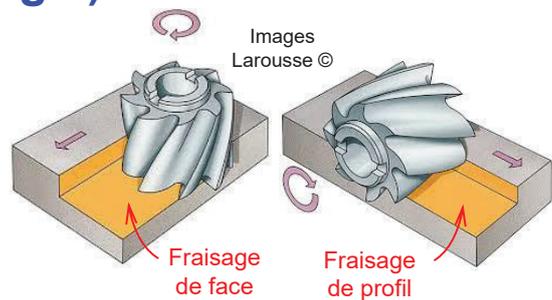
dressage



alésage

• Opérations en fraisage (typologie)

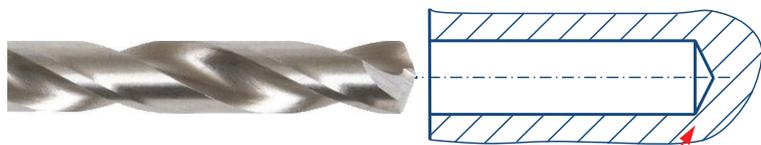
- **Fraisage de face (= en bout)**
→ Face usinée \perp à l'axe de la fraise
- **Fraisage de profil (= en roulant)**
→ Face usinée \parallel à l'axe de la fraise



Opération de perçage

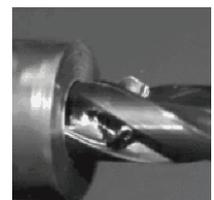
• Caractéristiques

- Peut être obtenu en tournage ou en fraisage
- Outil = forêt
- Trou borgne ou débouchant / traversant
- Si borgne → fond de trou conique à 120°



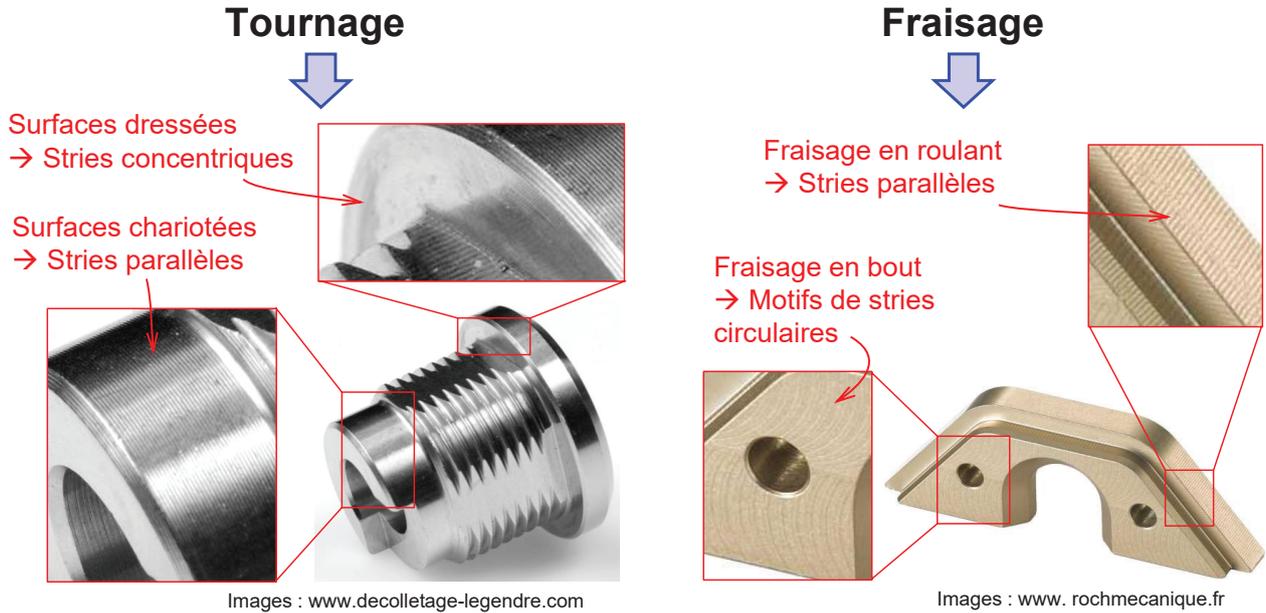
• Limitations

- **Evacuation difficile du copeau (espace confiné)**
- **Qualité médiocre des surfaces obtenues**
→ Finition à l'alésoir si besoin d'une bonne qualité



Motifs de stries des surfaces usinées

Présence de stries sur les surf. usinées



Arêtes rentrantes et arêtes sortantes

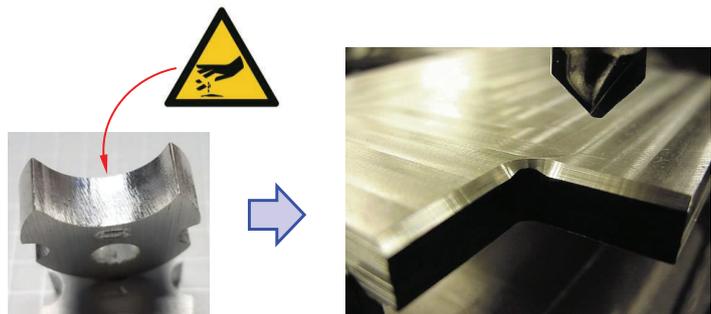
- Arêtes rentrantes**

Présence d'un rayon d'outil → Congé d'arête sur arêtes rentrantes



- Arêtes sortantes**

Les arêtes vives à 90° sont coupantes
→ Chanfreins à 45° sur toutes les arêtes vives

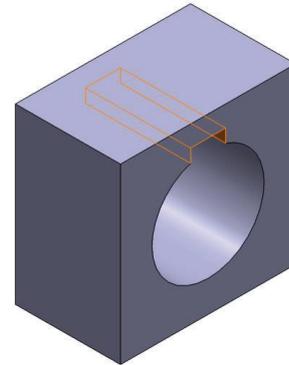
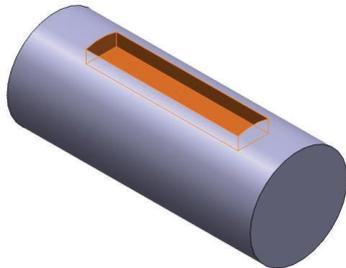


Exercice d'application



Usinable ou pas usinable ?

Est-il possible d'obtenir les formes suivantes (surfaces oranges) par usinage ?



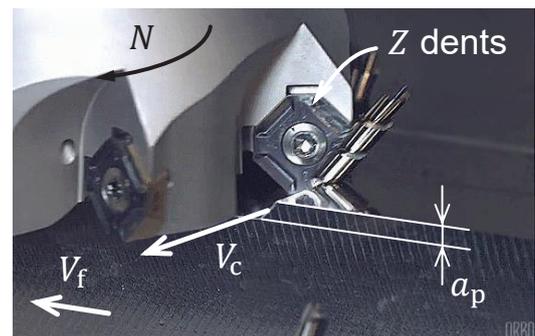
Choix des paramètres de coupe (1/3)

• Principe

Vitesse relative outil / matière & dim. du copeau → impact sur :

- Contraintes thermomécaniques (vues par la pièce et par l'outil)
- Efforts sur la machine d'usinage
- Puissance nécessaire à la coupe
- Qualité des surfaces usinées

f_z = avance par dent



• Paramètres de coupe

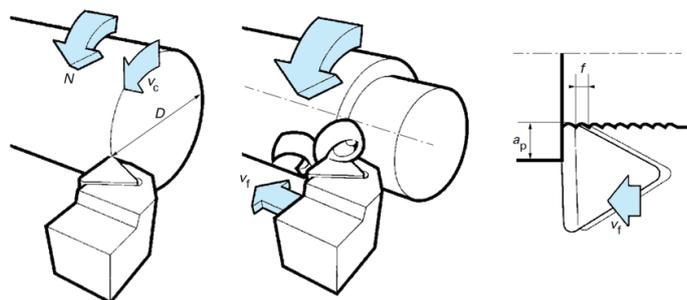
- **Vitesse de coupe V_c :**

$$V_c = \pi d \cdot N$$

- **Vitesse d'avance V_f :**

$$V_f = N \cdot f_z \cdot Z$$

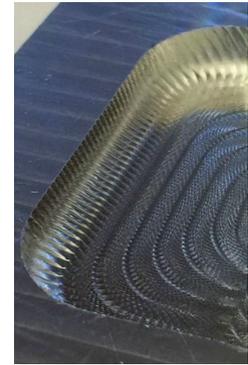
- **Profondeur de passe a_p**



Choix des paramètres de coupe (2/3)

- Conséquences d'un choix inapproprié de $V_c / V_f / a_p$**

- Usure prématurée de l'outil
- Piètte qualité des surfaces usinées
- Puissance insuffisante de la machine
- Défauts de forme des surfaces usinées



- Valeurs de référence pour V_c**

| Matière à usiner | Vitesse de coupe V_c (m/min) | |
|------------------|--------------------------------|--------------|
| | Outil ARS | Outil Cermet |
| Aciers - fontes | 15 - 30 | 60 - 120 |
| Aluminium | 75 - 400 | 150 - 1000 |
| Cuivre - laiton | 40 - 60 | 120 - 160 |
| PA6 - POM – PC | 200 - 400 | |

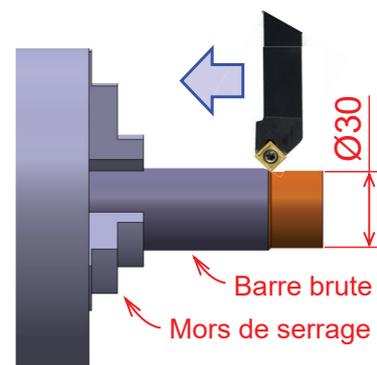
Choix des paramètres de coupe (3/3)



Exercice d'application

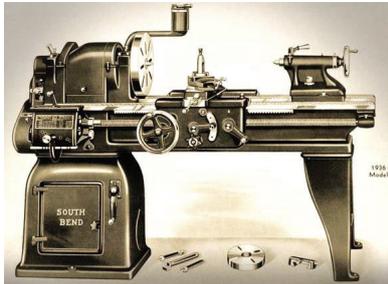
On souhaite effectuer l'opération de tournage décrite sur la figure ci-contre. La barre brute est en acier, et l'outil doit avoir une avance par tour de $f = 0,3$ mm.

Calculer la vitesse de rotation minimum N_{min} de la barre brute, et la vitesse d'avance $(V_f)_{min}$ correspondante.



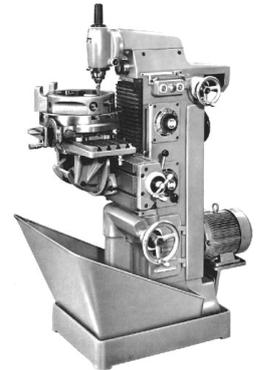
Machines d'usinage

Tour (2-axes)



© Schaublin 180 CCN

Fraiseuse (3-axes)



© Schaublin 60CNC

Par le passé

Machines dites « conventionnelles »

Machines actuelles

Dites « à commande numérique » (CNC)

Et si mes pièces sont + complexes ?...

• Comment usiner des pièces ayant...

... Des faces planes non \perp à l'axe
(si pièces de révolution)

... Des surfaces courbes ayant des
génératrices non // entre elles



→ Reprise de pièce

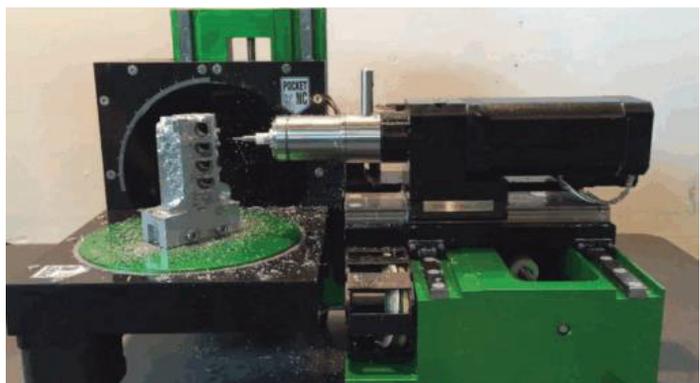
Pièce installée successivement dans \neq positions et/ou machines

→ Fraiseuse 5-axes

2 axes de rotation en plus
des 3 axes de translation

→ Centre d'usinage

À la fois tour et fraiseuse
(généralement 5-axes)



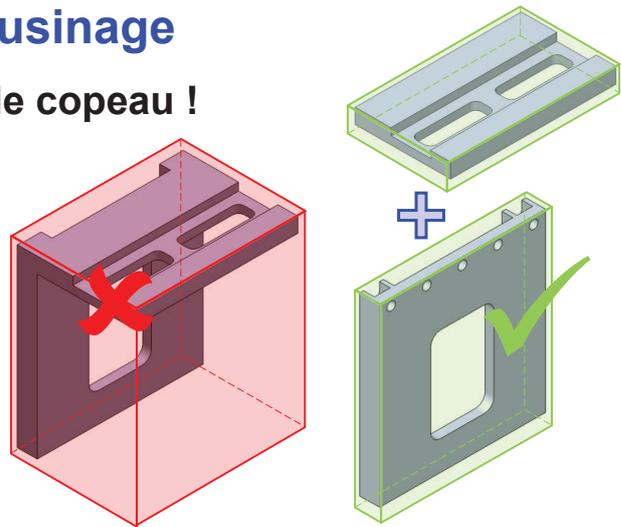
Design et coût d'une pièce d'usinage (1/2)

- Coût d'usinage \propto durée d'usinage**

→ Il faut minimiser le volume de copeau !

→ Deux pièces plutôt qu'une, si le volume de copeau est significativement réduit

→ Dimensions extérieures ajustées sur les dimensions du brut



- Quid des copeaux ?**

Collectés dans des bacs (acier / aluminium / cuivre) pour être recyclés



Design et coût d'une pièce d'usinage (2/2)

- Structure de coût (exemple)**

- Engineering (3D + 2D)
- Matière
- Programmation machines
- Mise en train (outils, réglages)
- Usinage
- **TOTAL**

Prototype

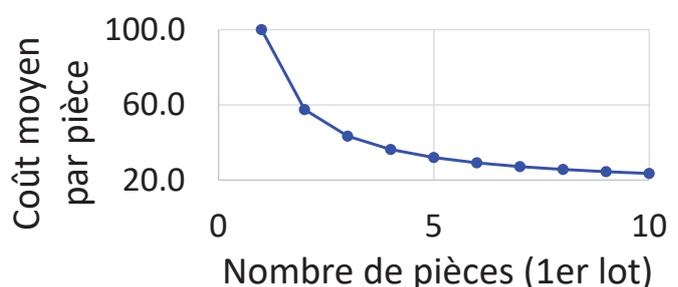
Pièces suivantes

→
→
→
→
→
→

→
→
→
→
→
→

- Coût par pièce**

Effet d'amortissement des coûts d'engineering + prog. machine + mise en train sur le nb de pièces produites



Notes personnelles

A large grid of graph paper for taking notes, consisting of a uniform pattern of small squares covering the majority of the page.