

# Résumé Semaine 3

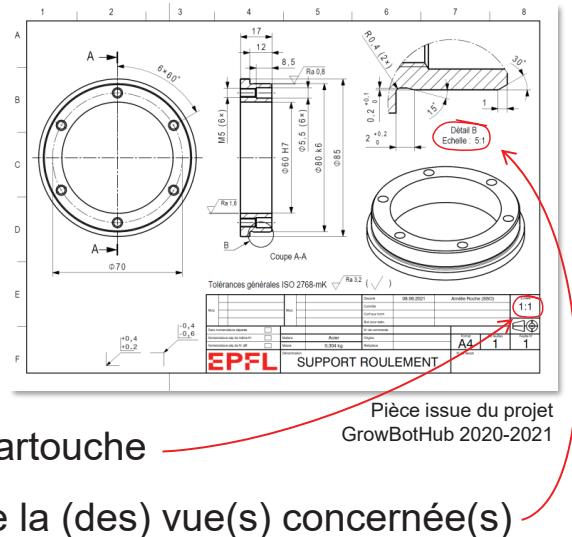
## Règles complémentaires de représentation

## Principes fondamentaux de la cotation

Dr. S. Soubielle

## Règles complémentaires (1/2)

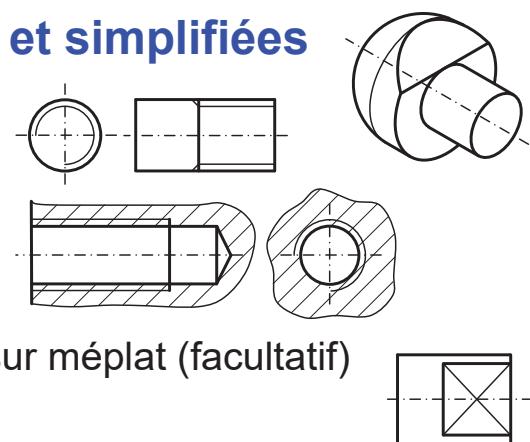
- **Formats de dessin**   Portrait → A4  
Paysage → A4, A3, A2, A1, A0
- **Éléments graphiques permanents (principaux)**
  - Marges
  - Système de coordonnées
  - Cartouche
- **Echelles de représentation**
  - **Principale** → Notée dans le cartouche
  - **Secondaire** → Notée au bas de la (des) vue(s) concernée(s)



# Règles complémentaires (2/2)

## • Représentations particulières et simplifiées

- Filetages et taraudages
- Arêtes fictives (facultatif)
  - À mettre sur les axonométriques, mais pas sur les orthogonales
- Diagonales en traits continus fins sur méplat (facultatif)



## • Types de traits (principaux)

- Continu fort
- Interrompu fin
- Mixte fin (à un point et un tiret long)
  - Si surface axisymétrique → Obligatoire
  - Si plan de symétrie → Facultatif

# Principes de la cotation (1/2)

## • Fonction de la cotation

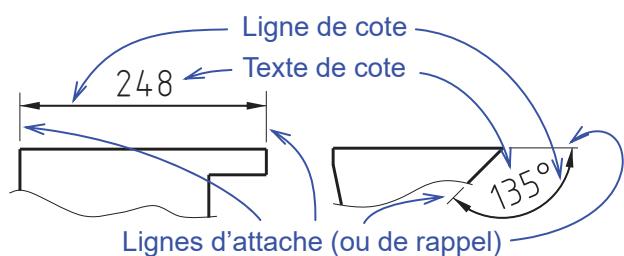
- Spécifier les dimensions (cotes) de la pièce
- Une cote a valeur d'exigence (pour la production)
- **Exception : cote auxiliaire « (...) » → donnée à titre indicatif**

## • 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)



# Principes de la cotation (2/2)

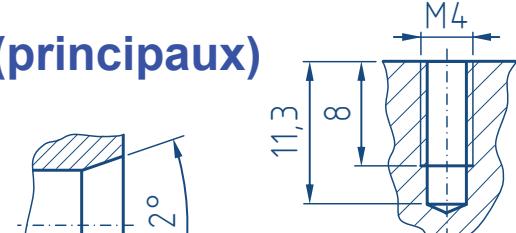
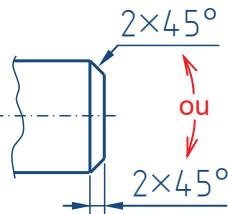
## • Cotation des diamètres et rayons (principaux)

- Diamètre sur cylindre
- Rayon de congé



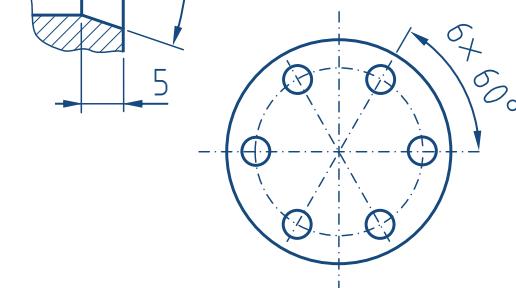
## • Cotation des éléments usuels (principaux)

- Chanfreins / fraisures
- Trous taraudés



## • Divers

- Cotation en série / en parallèle
- Éléments équidistants, multiples, et utilisation des symétries



# Notes personnelles

(Large blank area for personal notes)

# Notes personnelles

---





@ EPFL

# 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 sur l'outil et matière de l'outil

### ... Décrire les procédés de tournage et de fraisage

- ... Mouvements de l'outil / de la pièce dans la machine
- ... Opérations de tournage / de fraisage et topologie de pièce
- ... Paramètres d'usinage et qualité des surfaces usinées

### ... Design et mise en plan de pièces usinées

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

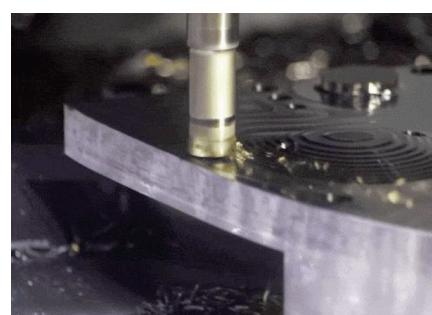
# Principe et types d'usinage

**Usinage = Fabrication par enlèvement de matière**

**Tournage**



**Fraisage**



## Outil de coupe et mouvements outil / pièce

**Tournage**

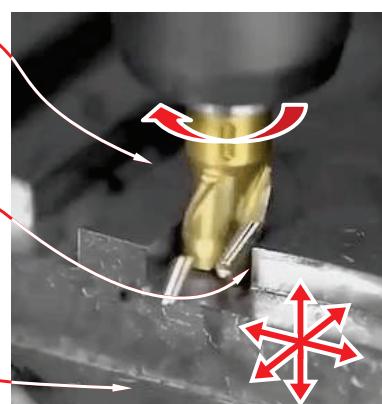


Outil de coupe

Formation du copeau

Pièce en cours d'usinage

**Fraisage**



**Matière à usiner**

→ En rotation (axe fixe)

**Outil de coupe**

→ En translation (deux axes)

**Outil de coupe**

→ En rotation

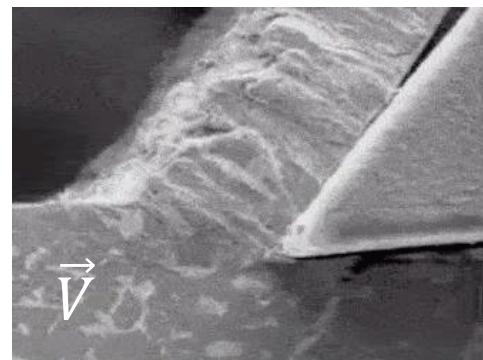
+ Mouvement de translation (trois axes)

→ Sur l'outil ou sur la pièce

# Physique de coupe et matériau de l'outil

- **Physique de coupe**

- **Mouvement relatif matière / outil + pointe tranchante de l'outil**  
→ Arrachage de matière (copeau)
- **Forte déformation locale + friction**  
→ Echauffement local ( $\rightarrow 600\text{-}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ )



- **Matière de l'outil de coupe**

- **Carbures métalliques (cermet)**



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



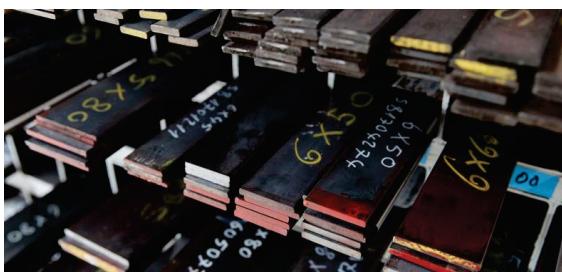
- **« Aciers rapides supérieurs » (ARS / HSS)**

- Aciers alliés trempés
- Grande variété de formes



## Matières pouvant être usinées

- **Métaux (principaux)**



Métaux ferreux (acières &amp; fontes)



Aluminiums



Laitons

- **Autres**



Matières plastiques « dures »



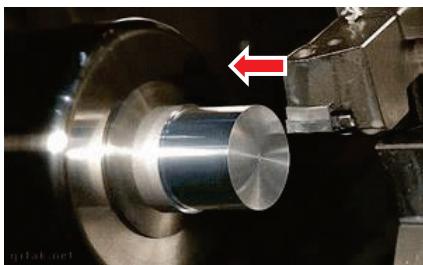
Bois



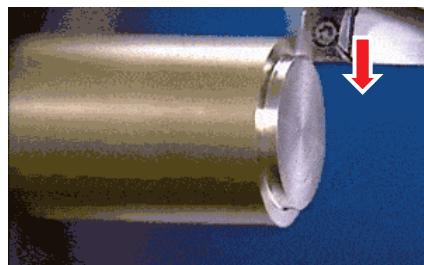
Céramiques

# Terminologie et typologie en usinage

- **Opérations en tournage (terminologie)**



chariotage



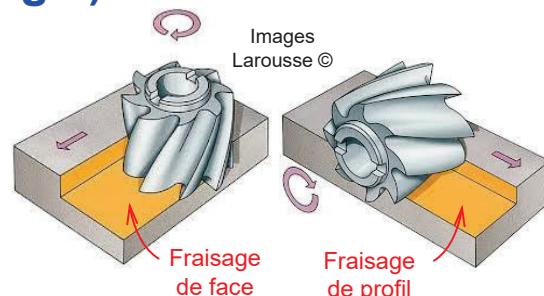
dressage



alésage

- **Opérations en fraisage (typologie)**

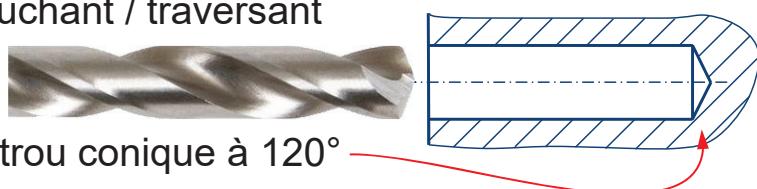
- **Fraisage de face (= en bout)**  
→ Face usinée  $\perp$  à l'axe de la fraise
- **Fraisage de profil (= en roulant)**  
→ Face usinée  $\parallel$  à l'axe de la fraise



## Zoom sur l'opération de perçage

- **Généralités**

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



- **Limitations**

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



# Zoom sur les opérations de filetage

## • En tournage

✓ **Filetage intérieur & filetage extérieur**

→ OK si axe du filetage = axe de révolution de la pièce



## • En fraisage

✓ **Filetage intérieur**

✗ **Filetage extérieur**

→ Impossible, sauf outillage spécifique (hors programme)



# Motifs de stries des surfaces usinées

## Présence de stries sur les surf. usinées

### Tournage

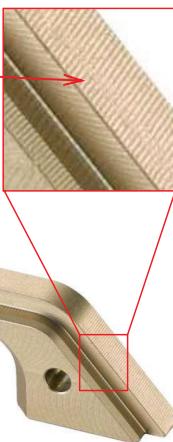
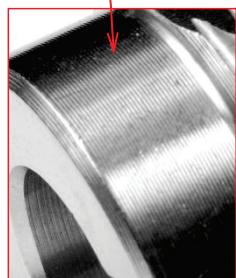
### Fraisage

Surfaces dressées  
→ Stries concentriques

Fraisage en roulant  
→ Stries parallèles

Surfaces chariotées  
→ Stries parallèles

Fraisage en bout  
→ Motifs de stries circulaires



# Arêtes rentrantes et arêtes sortantes

- Arêtes rentrantes**

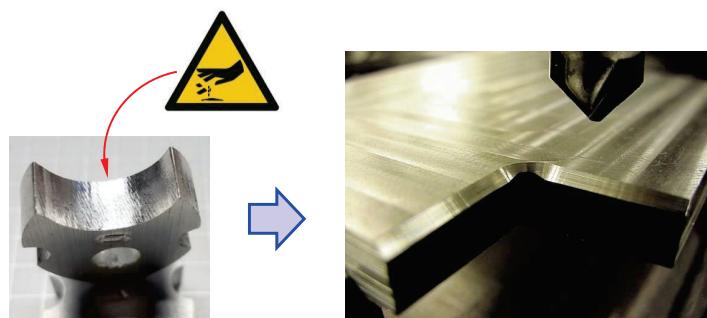
Présence d'un rayon d'outil → Congé d'arête sur arêtes rentrantes



- Arêtes sortantes**

Les arêtes vives à 90° sont coupantes

→ Chanfreins à 45° sur toutes les arêtes vives

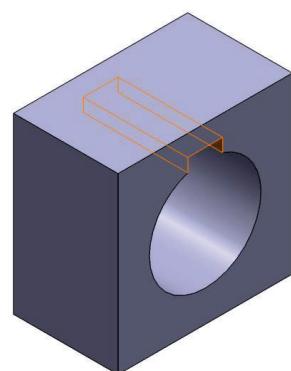
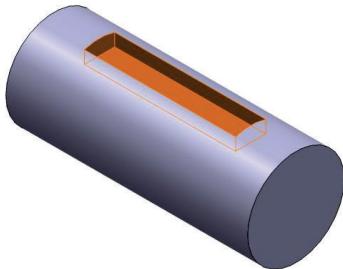


## Exercice d'application



### Usable ou pas usable ?

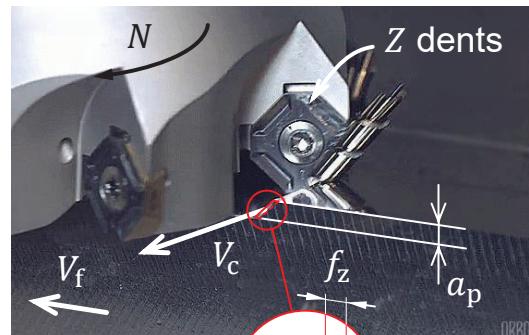
Est-il possible d'obtenir les formes suivantes (surfaces oranges) par usinage ?



# Choix des paramètres de coupe (1/3)

- **Paramètres à régler sur la machine**

- Vitesse de rotation  $N$  [tr/min]
- Vitesse de translation  $V_f$  [m/min] (appelée « vitesse d'avance »)
- Profondeur de passe  $a_p$



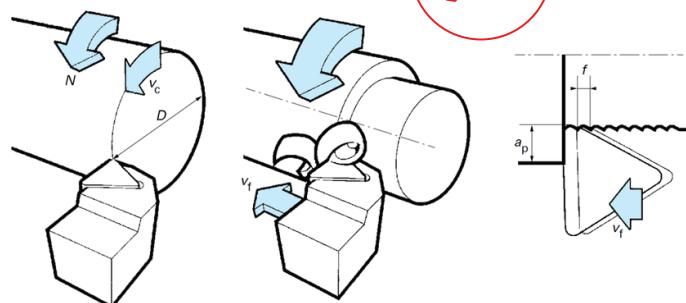
- **Paramètres de génération du copeau**

- **Vitesse de coupe  $V_c$**

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

- **Avance par dent  $f_z$**

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



# Choix des paramètres de coupe (2/3)

- **Valeurs de  $V_c$ ,  $f_z$  et  $a_p$ , et effets sur l'usinage**

- **Vitesse de coupe  $V_c$**

Valeurs selon tableau →→→

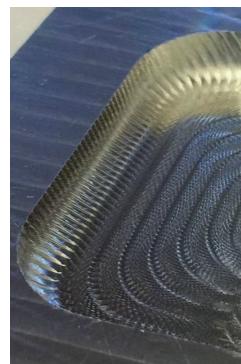
- ⚠ → Intensité des efforts de coupe
- ⚠ → Niveau d'échauffement et vitesse d'usure de l'outil

Matière à usiner	$V_c$ [m/min]	
	Outil ARS	Outil Cermet
Acier - fonte	15 – 30	60 - 120
Aluminium - laiton	60 - 120	250 - 500
PA6 - POM - PC	120 - 240	250 - 500

- **Avance par dent  $f_z$**

De qq centièmes à qq dixièmes de mm

- ⚠ → Largeur et profondeur des stries d'usinage



- **Profondeur de passe  $a_p$**

De qq dixièmes de mm à 1-2 mm max.

- ⚠ → Puissance machine requise (en combinaison avec  $V_c$  et  $f_z$ )



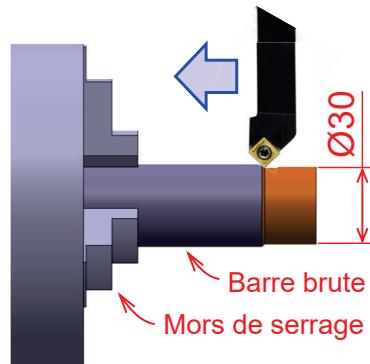
## Choix des paramètres de coupe (3/3)



# 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 ( $V_f$ )<sub>min</sub> correspondante.

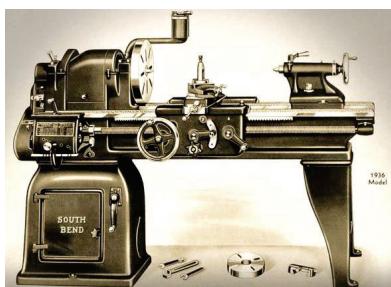


S. Soubjelle

15

# Machines d'usinage

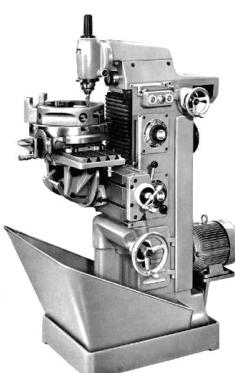
## Tour (2-axes)



## Par le passé

Machines dites  
« conventionnelles »

## Fraiseuse (3-axes)



# Machines actuelles

Dites « à commande numérique » (CNC)



© Schaublin 180 CCN

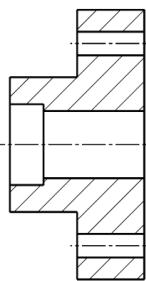
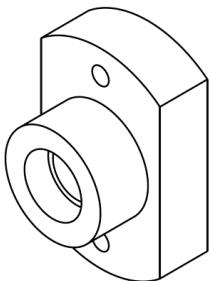
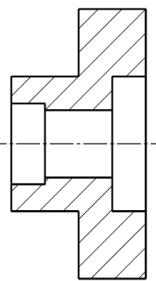
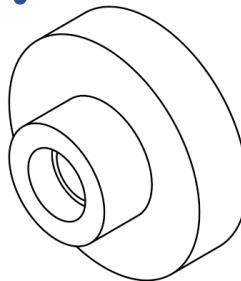


© Schaublin 60CNC

# Et si mes pièces sont + complexes ?...



**Comment usiner les pièces suivantes ?**



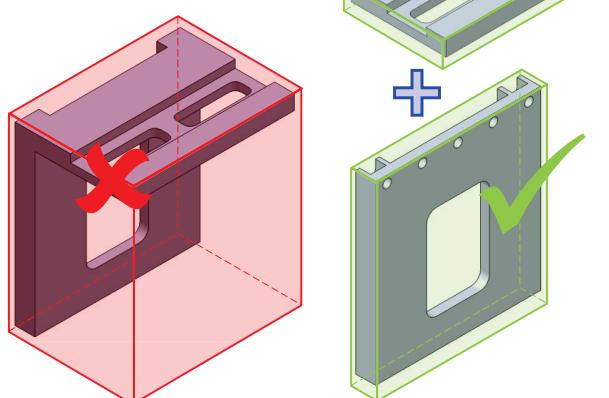
## Design et coût d'une pièce d'usinage (1/2)

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

✓ Favoriser les matières qui s'usinent vite

✓ Minimiser le volume de copeau

- Deux pièces plutôt qu'une ?
- Laisser des surfaces brutes ?
- Dimensions de la pièce finie vs. dimensions du brut ?



- Quid des copeaux ?**

Collectés pour être recyclés

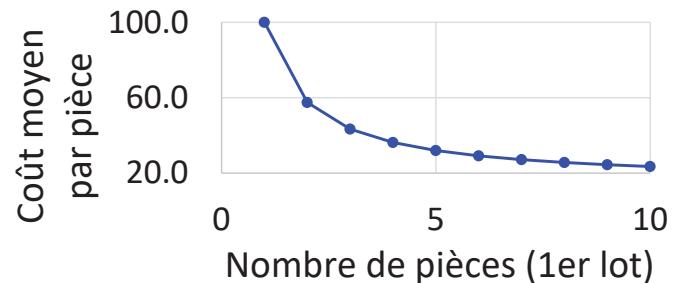


## Design et coût d'une pièce d'usinage (2/2)

- | • Structure de coût (exemple)      | Prototype        | Pièces suivantes |
|------------------------------------|------------------|------------------|
| – Engineering (3D + 2D)            | →                | →                |
| – Programmation machines           | →                | →                |
| – Mise en train (outils, réglages) | →                | →                |
| – Matière                          | →                | →                |
| – Usinage                          | →                | →                |
| – <b>TOTAL</b>                     | → <b>100 Fr.</b> | →                |

- **Coût par pièce**

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



# Notes personnelles

# États de surface

Définitions et notations, mesurage,  
influence du procédé de fabrication,  
rectification

Dr. S. Soubielle



**Dans ce cours, nous allons...**

... **Définir la notion d'état de surface**

- ... Influence du procédé de fabrication
- ... Paramètres normalisés de l'état de surface
- ... Mesurage de l'état de surface

... **Lister les valeurs atteignables d'état de surface**

- ... Pour les principaux types de procédés
- ... Avec un focus sur la rectification mécanique

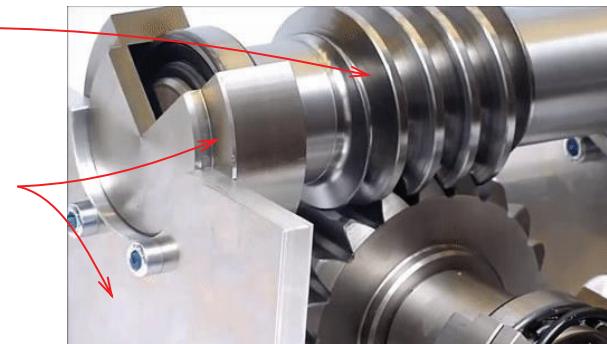
... **Définir la manière de spécifier les états de surface sur un plan**

- ... Etat de surface général / local
- ... Indications complémentaires

# Etat de surface et fonction technique

## • Constat

- Pas besoin de la même qualité de surface partout
  - Dépend des fonction techniques à satisfaire
    - Contact + mouvement relatif (roulement et/ou glissement)  
→ Qualité « élevée » requise
    - Ø contact ou contact statique  
→ Qualité « basse » ok



### • Quantification et contrôle sur une pièce réelle

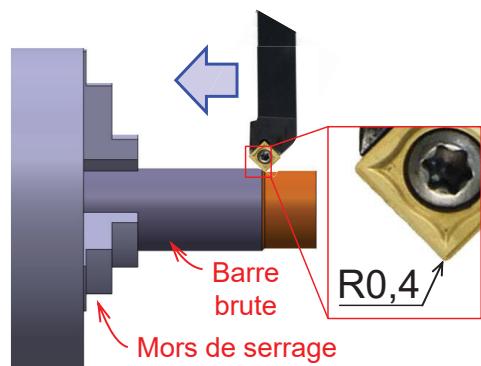
- Comment quantifier la qualité d'une surface ?
  - Comment contrôler la qualité d'une surface ?

## Retour sur l'usinage

## Exercice de mise en situation

L'outil de coupe utilisé pour réaliser l'opération de chariotage ci-contre a un rayon de pointe  $r = 0,4$  mm.

- 
  1. Quelle est la hauteur des stries si l'avance par tour  $f = 0,3 \text{ mm}$  ?
  2. Quelle valeur de  $f$  doit-on imposer pour obtenir une hauteur de stries de  $10 \mu\text{m}$  ?

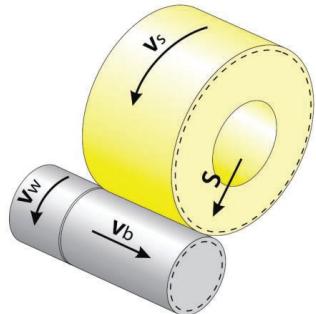


# Rectification mécanique

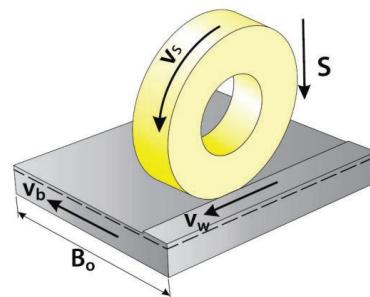
## • Principe

- Opération de finition pour qualité élevée d'état de surface
- Abrasion de la surface au moyen d'une meule cylindrique

### Rectification circulaire / cylindrique



### Rectification plane

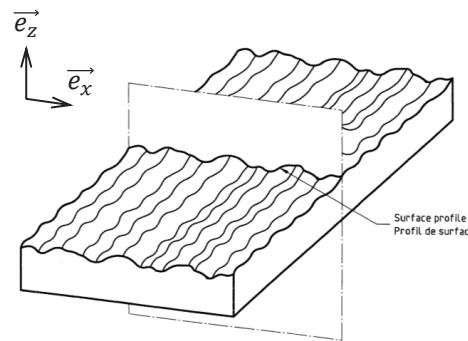


© Swiss Mechanic – Pièce en gris ( $V_w >> V_b$ ) / Meule en jaune ( $V_s >> S$ )

# Quantification de l'état de surface (1/3)

## • Profil de rugosité

- = Mesure topographique des défauts de surface réels



Norme ISO 4287:1997, Fig. 2

## • Rugosimètre

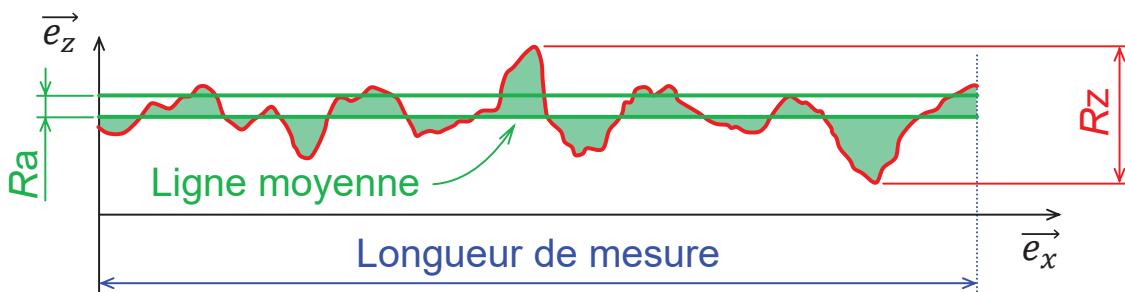
- Scanne le profil de rugosité
- Calcule les paramètres normalisés d'état de surface



<https://www.youtube.com/watch?v=s7rrlhEikg4>

# Quantification de l'état de surface (2/3)

- Paramètres normalisés



## Écart moyen arithmétique $R_a$ (« average roughness »)

- = Surface rouge / longueur de mesure
- Caractérise la qualité de surface globale

## Hauteur maximale du profil $R_z$

- Caractérise l'amplitude max. de défaut (local)
- Utile pour spécifier la qualité des surfaces avec contact « frottant »

# Quantification de l'état de surface (3/3)

- Classes de rugosité ISO

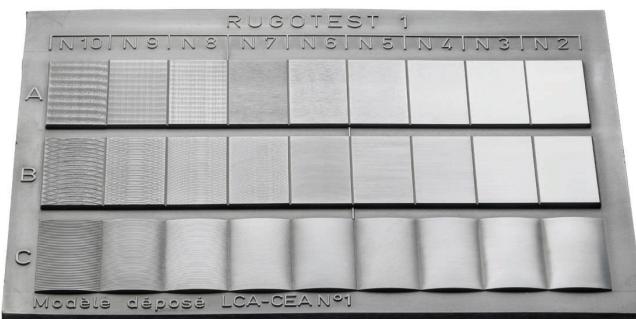
- Critère antérieur à  $R_a$  et  $R_z$ , encore souvent utilisé
- Notation : « N » suivi d'un nombre entre 1 et 12

→ Table de correspondance N vs.  $R_a$

Rugosité $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Classe ISO [-]	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12

- Estimation de la rugosité ISO par « rugotest »...

... Par la comparaison visuelle ou tactile (grattage à l'ongle) de plaquettes témoins avec la pièce réelle

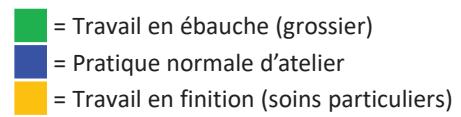


# Rugosités et procédés de fabrication

- Plages de  $R_a$  et  $R_z$  en usinage et en rectification

Procédé De fabrication	Rugosité arithmétique $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]										Hauteur maximale de profil $R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]																
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	160	100	63	40	25	16	10	6,3	4	2,5	1,6	1	0,63	0,4	0,25	0,16	0,1
	Classe de rugosité ISO										N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3							
	Tournage et fraisage																										
Perçage																											
Rectification circulaire																											
Rectification plane																											

- Valeurs à utiliser pour les plans des pièces usinées


  
 = Travail en ébauche (grossier)  
 = Pratique normale d'atelier  
 = Travail en finition (soins particuliers)

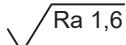
- Rugosité générale →  $R_a$  6,3 (3,2)
- Rugosité locale, en usinage →  $R_a$  1,6 (0,8)
- Rugosité locale, en rectif. →  $R_a$  0,8 (0,1) /  $R_z$  1,6 (0,1)

## Notation normalisée sur le plan (1/2)

- Symboles pour l'indication des états de surface

- Symbole de base... → 

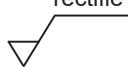
- Valeur de rugosité maximale admissible

Par exemple «  $R_a$  1,6 » → 

- Spécification avec / sans enlèvement de matière (optionnel)

- La surface doit être obtenue par enlèvement de matière → 
- La surface doit être obtenue sans enlèvement de matière →   
(Cours de CM → = laissée brute, c'est-à-dire non usinée)

- Indication du procédé de fabrication (optionnel)

Ex. si l'état de surface doit être obtenu par rectification → 

## Notation normalisée sur le plan (2/2)

- Indications sur le dessin de fabrication

- #### – État de surface « général »

Symbole placé  
à proximité du cartouche

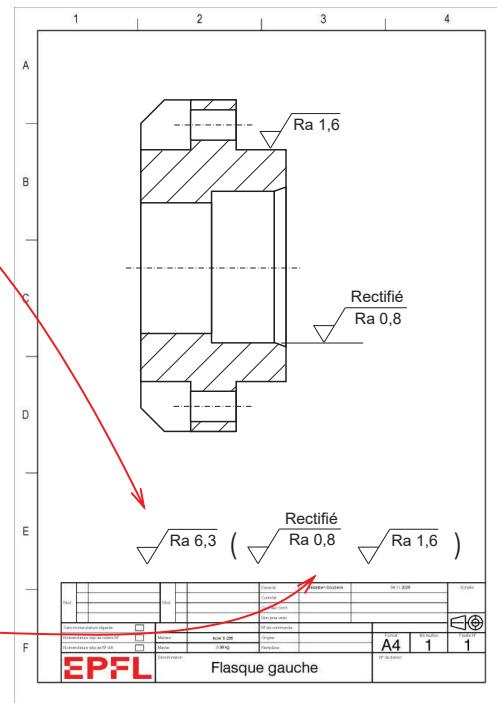
- #### – État de surface « local »

- Exigence spécifique à une surface
  - Symbole placé...

... sur une arête visible de la surface concernée

ou ... sur une ligne de rappel  
qui la prolonge

- + Rappel à proximité du cartouche (noté entre parenthèses)



# Notes personnelles