

Résumé Semaine 7

Procédés de fabrication par usinage

Dr. S. Soubielle

Procédés de fabrication par usinage (1/2)

- **Principe et physique de la coupe**
 - Procédé de fabrication par enlèvement de matière → copeau
 - Outil de coupe extrêmement résistant (cermet ou ARS / HSS)
- **Types d'usinage et topologie de pièce**
 - **Tournage**
 - Pièces axisymétriques
 - **Fraisage 3-axes**
 - Pièces prismatiques « simples »
 - **Tournage + fraisage 3-axes (avec reprise de pièce) et/ou fraisage 5-axes+**
 - Pièces à topologie plus complexe →→→→→→→



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

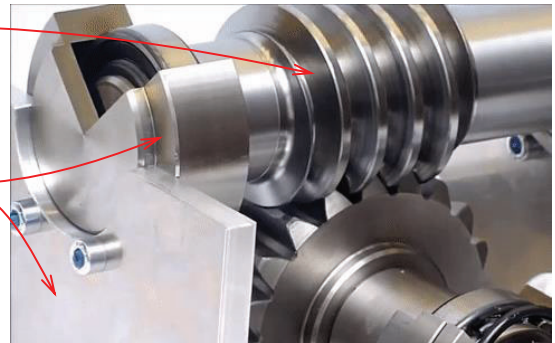
... Définir la manière de spécifier les états de surface sur un plan

- ... 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 ?

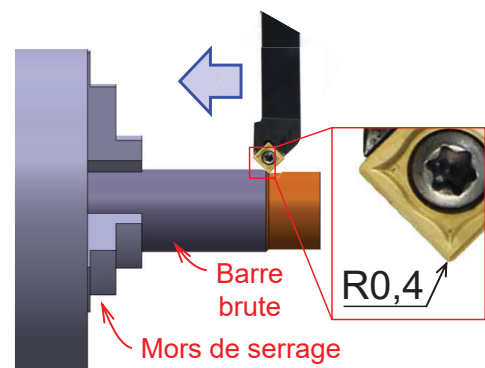
Retour sur l'usinage



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 $f = 0,3$ mm ?
2. Quelle valeur de f doit-on imposer pour obtenir une hauteur de stries de $10 \mu\text{m}$?

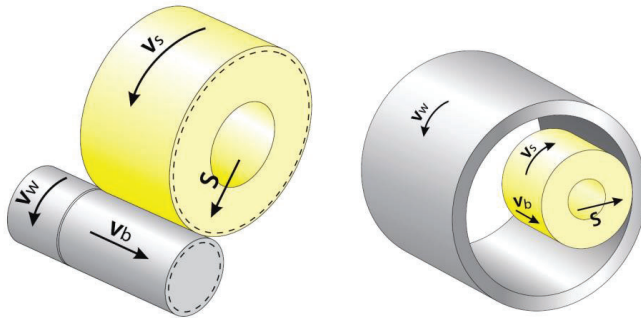


Rectification mécanique

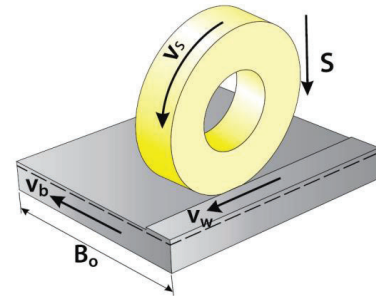
• Principe

- 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

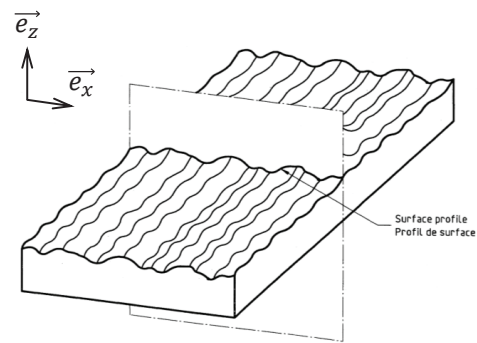


© Swiss Mechanic – Pièce en gris ($V_w \gg V_b$) / Meule en jaune ($V_s \gg S$)

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

• Profil de rugosité

= Mesure topographique des défauts de surface réels



• Rugosimètre

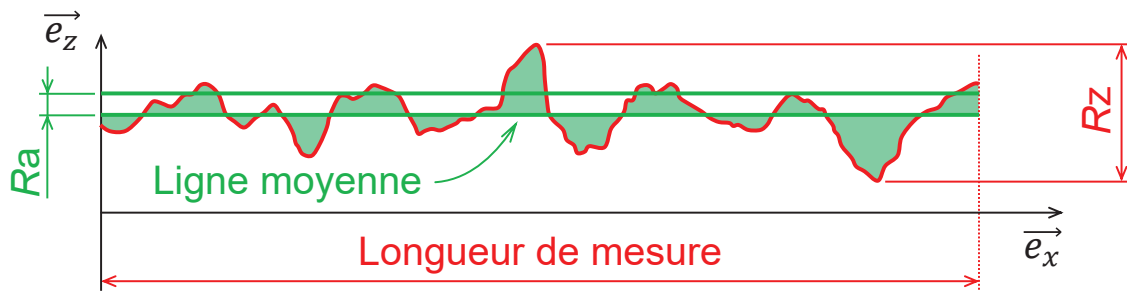
- Scanne le profil de rugosité
- Calcule les paramètres normalisés d'état de surface



<https://www.youtube.com/watch?v=s7rrlhEikq4>

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

• Paramètres normalisés



Écart moyen arithmétique Ra (« average roughness »)

= Surface verte / longueur de mesure

→ Caractérise la qualité de surface globale

Hauteur maximale du profil Rz

→ 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 Ra et Rz , encore souvent utilisé

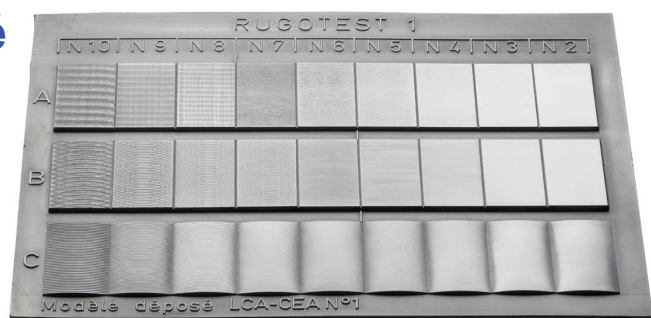
– Notation : « N » suivi d'un nombre entre 1 et 12

→ **Table de correspondance N vs. Ra**

Rugosité Ra [μm]	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



Rugotest L.C.A. – C.E.A – modèle n°1

Rugosités et procédés de fabrication

• Plages de Ra et Rz en usinage et en rectification

Procédé De fabrication	Rugosité arithmétique Ra [μm]										Hauteur maximale de profil Rz [μm]																
	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)

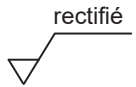
- Usinage, qualité standard → Ra 3,2
- Usinage, qualité supérieure → Ra 1,6
- Rectification, qualité standard → Ra 0,8 / Rz 1,6

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 « Ra 1,6 » → $\sqrt{Ra\ 1,6}$
- 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 »

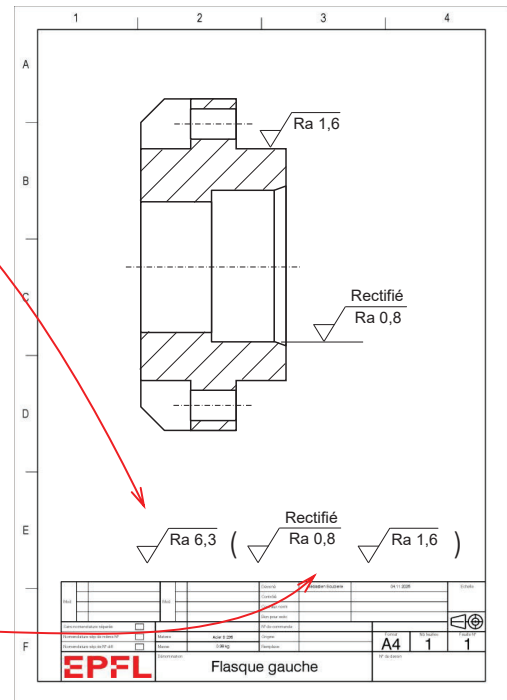
Symbole placé
à proximité du cartouche

– État de surface « local »

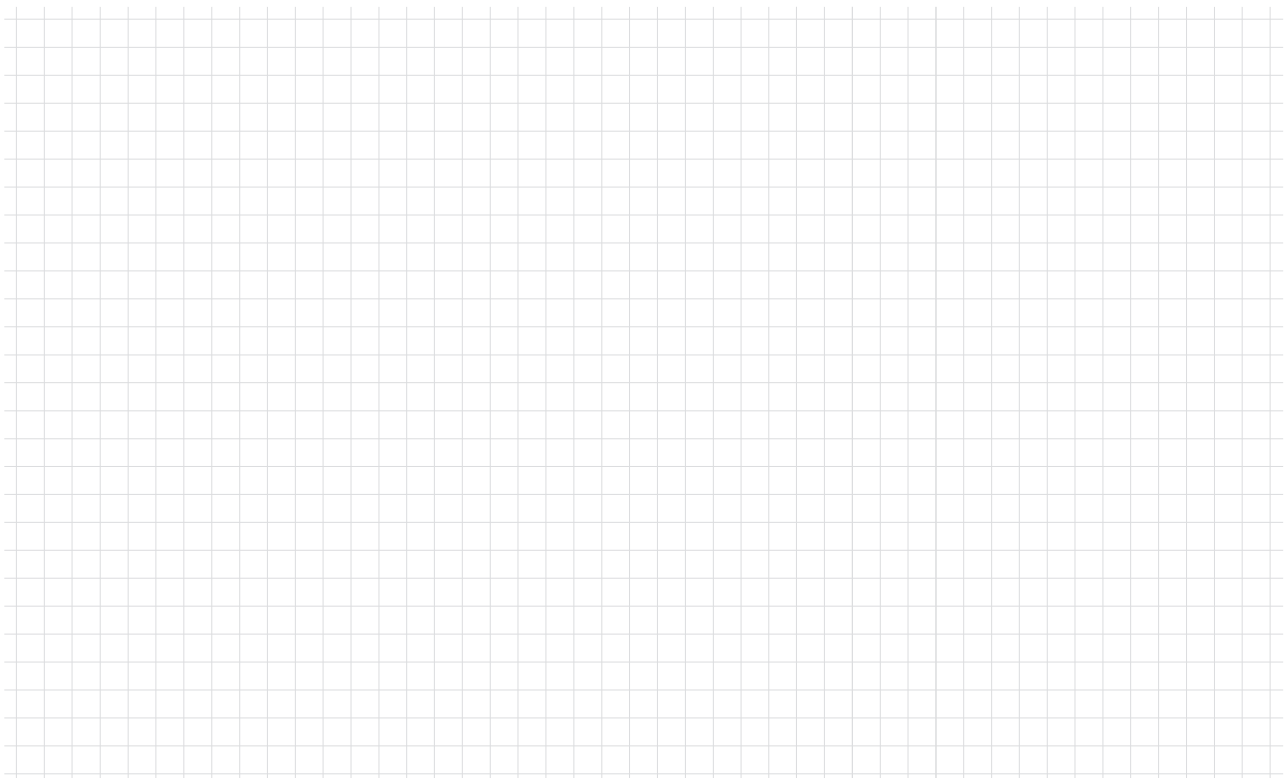
- Exigence spécifique
à une surface
- Symbole placé...
... sur une arête visible de
la surface concernée

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

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



Notes personnelles



Tolérancement dimensionnel I

Défaut dimensionnel, Tolérance dimensionnelle, Système de tolérances générales

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... Introduire la notion de tolérance dimensionnelle

- ... Origine des défauts dimensionnels sur pièces réelles
- ... Concept de défaut maximum admissible
- ... Terminologie et notation des tolérances dimensionnelles

... Définir le principe des tolérances dimensionnelles générales

- ... Valeurs et notation sur le plan
- ... À quel besoin cela répond-il ?

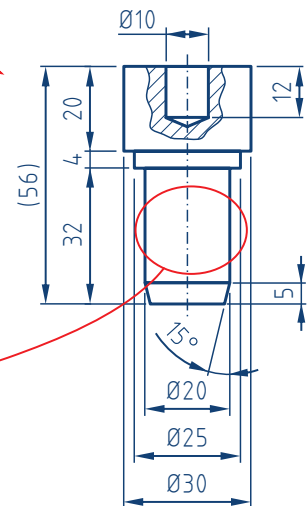
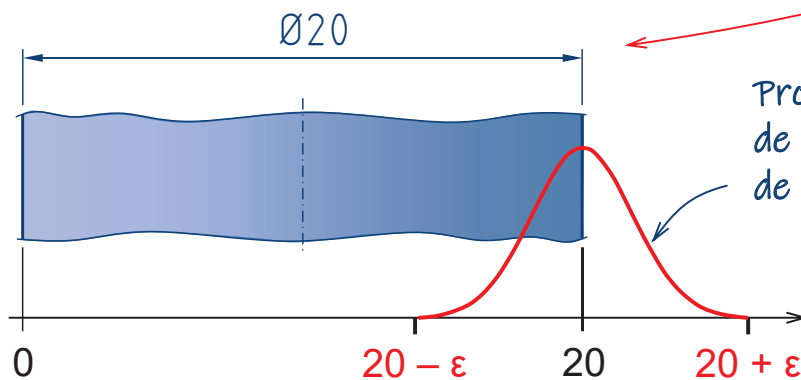
Pièce réelle vs. pièce parfaite (1/2)

- **Cotation selon cours semaine 6**

- Cas idéal d'une pièce « parfaite »
- Dimensions issues du modèle 3D

- **Fabrication de la pièce (« monde réel »)**

Impossible d'obtenir une pièce aux cotes parfaitement exactes !



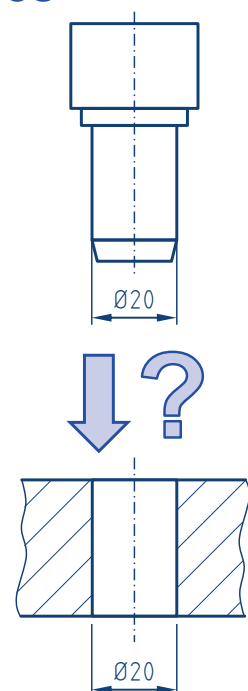
Pièce réelle vs. pièce parfaite (2/2)

- **Système mécanique = assemblage de pièces**

- Comment s'assurer que les pièces réelles puissent s'assembler malgré leurs défauts ?

- **Phase de conception**

- Les pièces réelles n'existent pas encore
- L'ingénieur-constructeur doit anticiper les défauts potentiels des pièces pour garantir qu'elles s'assemblent dans 100 % des cas



Amplitude du défaut dimensionnel

• Distribution de la probabilité

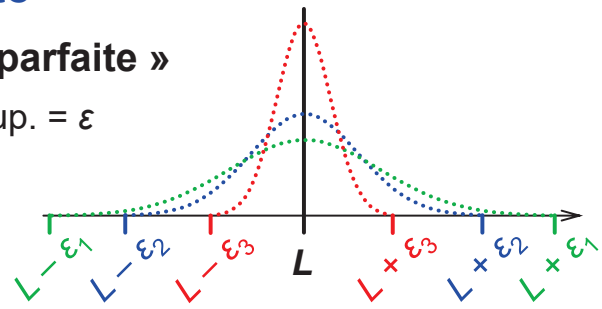
- **A priori centrée sur la cote « parfaite »**

→ Écart max. inf. = écart max. sup. = ε

→ Plage d'incertitude = $2 \times \varepsilon$

- **Incertain + ou – grande...**

→ Cote plus ou moins précise



• De quoi dépend la largeur de la plage d'incertitude ?

- **Précision intrinsèque du procédé de fabrication**

Par ex. sur machine d'usinage std : $\pm 50 \mu\text{m} / 100 \text{mm}$ et $\pm 5'$ d'angle

- **Valeur de la cote « parfaite » (si linéaire)**

Par ex. : $\pm 0,1$ plus facile à obtenir sur une cote de 100 mm que 1 m

- **Autres** → Paramètres d'usinage et niveau d'usure des outils
→ Précision des outils de mesure / contrôle

Écarts limites et dimension admissible

• Pour chaque cote, le concepteur doit spécifier...

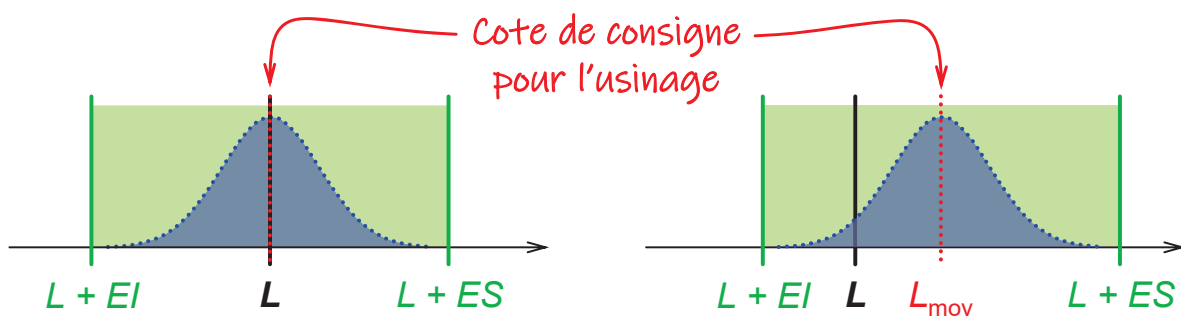
- L'écart limite inférieur admissible EI → $L_{\min} = L + EI$

- L'écart limite supérieur admissible ES → $L_{\max} = L + ES$

→ **La cote réelle devra être comprise entre L_{\min} et L_{\max}**

- Si $EI = -ES$ → L'usineur va viser la cote parfaite L pour l'usinage

- Si $EI \neq -ES$ → L'usineur va viser la cote moyenne $(L_{\min} + L_{\max}) / 2$



Terminologie et notation (1/3)

- Dimension (taille) nominale**

Dimension de référence sur le plan
(= pièce parfaite virtuelle)

- Ecart limite supérieur (ES) et écart limite inférieur (EI)**

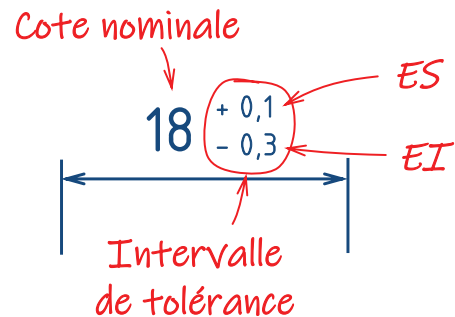
1^{ère} ligne = ES / 2^{ème} ligne = EI

- Dimensions limites admissibles**

- Limite supérieure adm. = dim. nominale + ES
- Limite inférieure adm. = dim. nominale + EI

- Intervalle de tolérance**

= Combinaison de ES et de EI



Terminologie et notation (2/3)

- Unité de ES et EI** → Identique à celle de la cote nominale

- « Positions » possibles de l'intervalle de tolérance**

- Quelconque ($|ES| \neq |EI|$) → $ES > 0$ et $EI < 0$ $18 \begin{smallmatrix} +0,1 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$
- $ES < 0$ $18 \begin{smallmatrix} -0,006 \\ -0,017 \end{smallmatrix}$
- $EI > 0$ $18 \begin{smallmatrix} +0,15 \\ +0,12 \end{smallmatrix}$
- Centré sur la cote nominale ($|EI| = |ES|$) → $18 \pm 0,05$
- $ES = 0$ → $18 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,030 \end{smallmatrix}$
- $EI = 0$ → $18 \begin{smallmatrix} +0,065 \\ 0 \end{smallmatrix}$

Terminologie et notation (3/3)

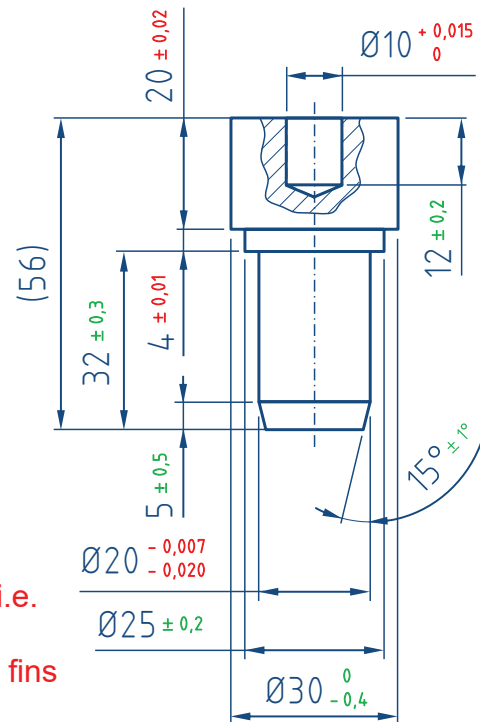
• Exemple de tolérancement dimensionnel d'un pièce

→ **Intervalle de tolérance explicite affecté à chaque cote**

- Surcharge le dessin et nuit à sa lisibilité
- Ne permet pas d'identifier rapidement les tolérances les plus exigeantes

→ **Tolérances exigeantes ou pas ?**

- **En vert** : tolérances peu exigeantes, i.e. pouvant être facilement satisfaites avec machine de précision standard et paramètres de coupe plus grossiers
- **En rouge** : tolérances les plus exigeantes, i.e. nécessitant l'utilisation d'une machine plus précise et/ou de paramètres de coupe plus fins



Tolérances générales ISO-2768 (1/2)

• Principe

Remplacer l'écriture explicite de l'intervalle de tolérances par une « classe de tolérance générale »

- Valable pour la pièce complète
- Destinée aux cotes pour lesquelles aucun niveau de précision particulière n'est requis

• Classes de tolérances générales à choix

- Fine (« *fine* ») → ISO 2768-f
- Moyennes (« *medium* ») → ISO 2768-m
- Grossières (« *coarse* ») → ISO 2768-c
- Très grossière (« *very coarse* ») → ISO 2768-v

