Résumé Semaine 7

Procédés de fabrication par usinage

Dr. S. Soubielle

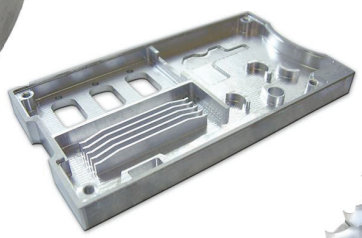
Procédés de fabrication par usinage (1/2)

- **Principe et physique de la coupe**
  - Procédé de fabrication par enlèvement de matière → copeau
  - Outil de coupe extrêmement résistant (cermet ou ARS)
  - Utilisation d'un liquide de coupe, la plupart du temps
- **Types d'usinage et topologie de pièce**
  - **Tournage « pur »**

    → Pièces axisymétriques

  - **Fraisage 3-axes « pur »**

    → Pièces prismatiques « simples »

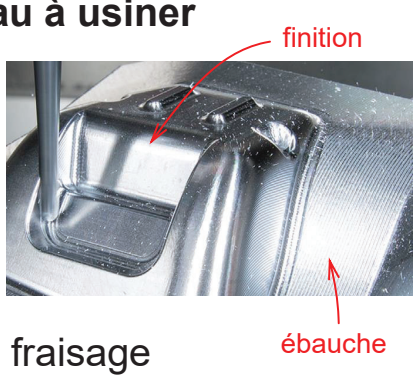


  - **Tournage + fraisage 3-axes (avec reprise de pièce) et/ou fraisage 5-axes ++**

    → Pièces à topologie plus complexe →→→→→→→

Procédés de fabrication par usinage (2/2)

- **Paramètres de coupe**
  - **V_c dépend de l'outil utilisé et du matériau à usiner**
    - → Pièce : aluminium + rapide qu'acier/fonte
    - → Outil : cermet + rapide qu'ARS
  - **V_f , a_p → Impact qualité des surfaces**



- **Types d'opération**
  - Terminologie spécifique en tournage et en fraisage
  - Stries caractéristiques sur les surfaces usinées
- **⚠ Limitations et design ⚠**
  - **Coin rentrant impossible à réaliser en usinage**
  - Géométrie → Toujours privilégier le volume min. de copeau

Quiz TurningPoint (me101)

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**

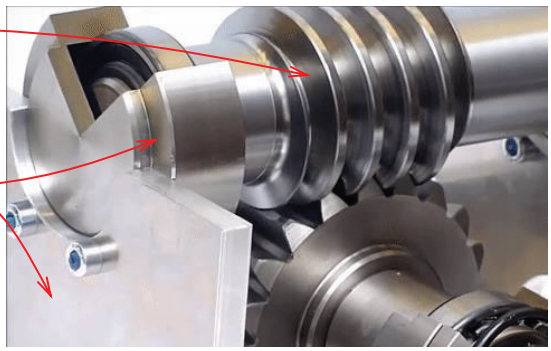
- … Pour les principaux types de procédés
- … Avec un focus sur la rectification mécanique

… **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



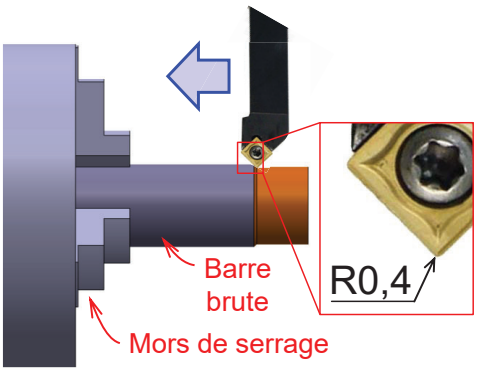
- **Quantification et contrôle sur une pièce réelle**
  - → Comment quantifier la qualité d'une surface ?
  - → Comment contrôler la qualité d'une surface ?

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.

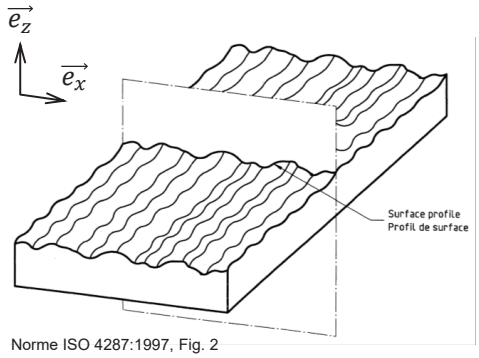
1. Quelle est la hauteur des stries si l'avance par tour f = 0,3 mm ?
2. Quelle valeur de f doit-on imposer pour obtenir une hauteur de stries de 10 µm ?



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

- **Profil de rugosité**

  = Mesure topographique des défauts de surface réels



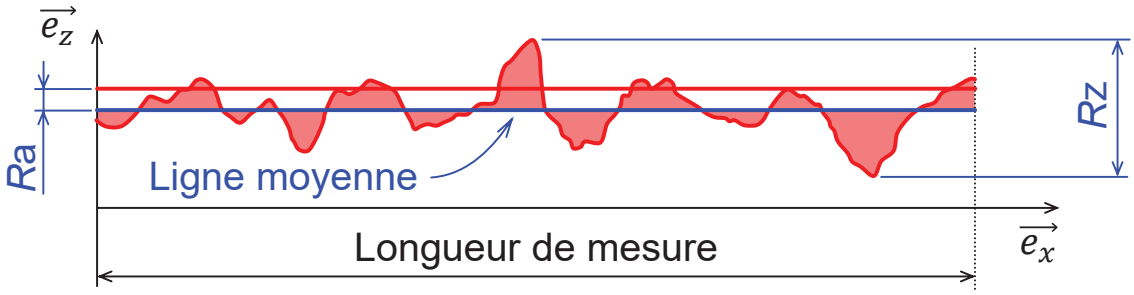
Norme ISO 4287:1997, Fig. 2

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

https://www.youtube.com/watch?v=s7rrIhEikg4

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

- **Paramètres normalisés**



Écart moyen arithmétique *Ra* (« average roughness »)

= Surface rouge / 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 »

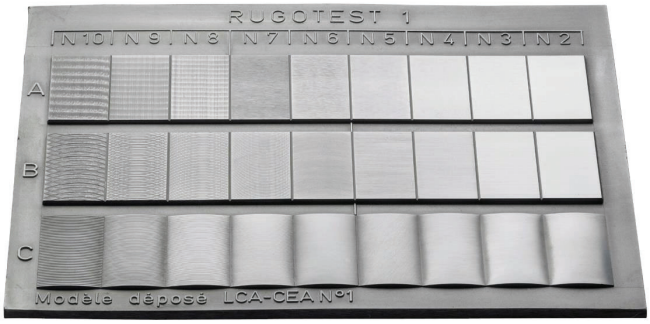
Quantification de l'état de surface (3/3)

- **Classes de rugosité ISO**
  - Critère antérieur à *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 [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

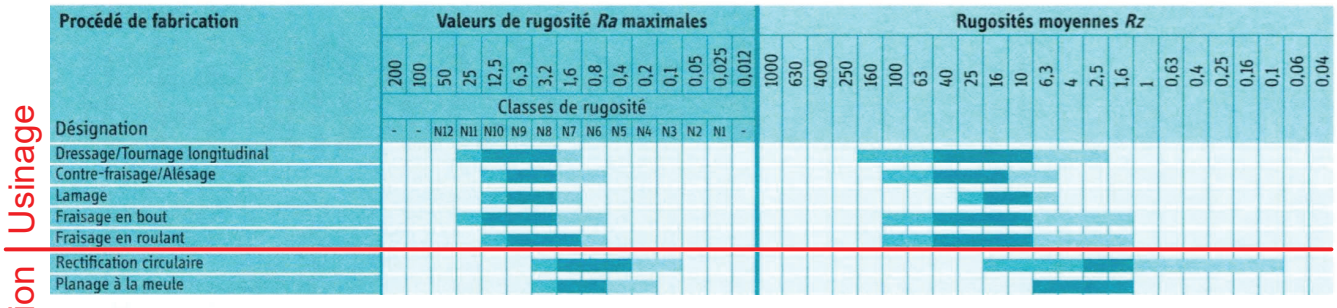
- **Estimation de la rugosité ISO par « rugotest »**
  - Plaquette de référence
  - Mesure estimative, par comparaison visuelle ou tactile (grattage à l'ongle)



Rugotest L.C.A. – C.E.A – modèle n°1

Rugosités et procédés de fabrication

- **Plages de rugosités *R*a et *R*z en usinage et en finition**



grossier normal fin

normal = Rugosité obtenue en pratique normale d'atelier.
fin = Rugosité obtenue par des soins particuliers ou par des méthodes spéciales.
grossier = Limite supérieure de rugosité pour l'ébauchage.

↑ © Extrait de Normes 2022, p. 211, Tableau 211/1, partiel

- **Valeurs de référence en usinage**
  - Usinage normal → (*R*a 1,6) – *R*a 3,2 / (*R*z 10) – *R*z 16
  - Usinage fin → (Ra 0,8) – *R*a 1,6 / (*R*z 1.6) – *R*z 6,3

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**

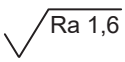
© Swiss Mechanic – Pièce en gris (V_w >> V_b) / Meule en jaune (V_s >> S)

- **Valeurs optimales de rugosité**

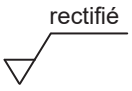
  → (Ra 0,1) – *R*a 0,4 / (Rz 0,1) – Rz 2,5

Notation normalisée sur le plan (1/2)

- **Symboles pour l'indication des états de surface**
  - **Symbole de base…** →
  - **Indication de la valeur de rugosité maximale exigée**

    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 →
- **Indication du procédé de fabrication (optionnel)**

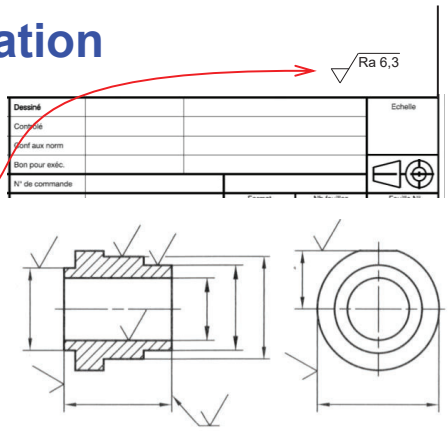
  Ex. si l'état de surface doit être obtenu par rectification → 

Notation normalisée sur le plan (2/2)

- **Indications sur le dessin de fabrication**
  - **État de surface « général »**

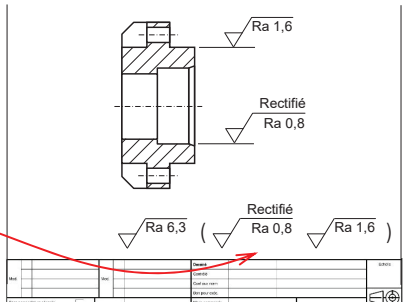
    Symbole placé à proximité du cartouche

    Exemple: rugosité générale Ra 6,3
    avec enlèvement de matière



© Extrait de Normes 2022, p. 209, Fig. 209/1

  - **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.
    - Rappelé à proximité du cartouche (noté entre parenthèses, après l'état de surface général)



Références normatives principales

ISO 8015	Spécification géométrique des produits (GPS) — Principes fondamentaux — Concepts, principes et règle
ISO 21920-1	Spécification géométrique des produits (GPS) — État de surface: Méthode du profil — Partie 1: Indication des états de surface
ISO 21920-2	Spécification géométrique des produits (GPS) — État de surface: Méthode du profil — Partie 2: Termes, définitions et paramètres d'état de surface
ISO 80000-3	Grandeurs et unités - Partie 3: Espace et temps

@ EPFL

Tolérancement dimensionnel I

Défaut dimensionnel, Tolérance dimensionnelle, Système de tolérances générales

Dr. S. Soubielle

Dans ce cours, nous allons…

… **Introduire la notion de défaut dimensionnel**

- … Écart par rapport à la cote « parfaite » et plage d'incertitude
- … Origines / causes des écarts mesurés ?
- … Concept de défaut maximum admissible
- … Terminologie, notation, et tolérancement d'une pièce

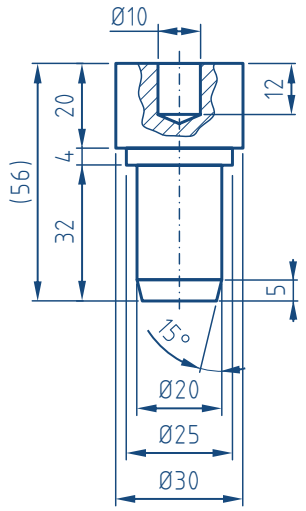
… **Définir les tolérances dimensionnelles générales**

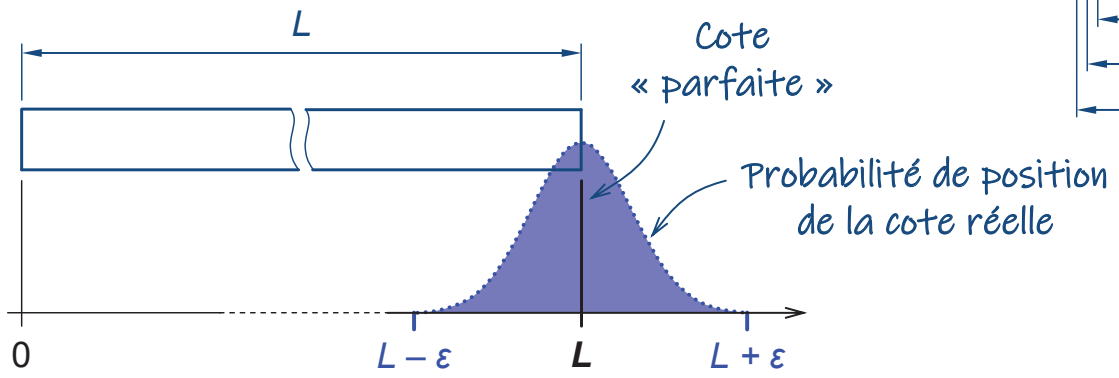
- … Principe et notation
- … À quel besoin cela répond-il ?
- … Valeurs numériques des écarts dimensionnels maximum admissibles

Pièce réelle vs. pièce parfaite

- **Cotation selon cours semaine 3**
  - → Cas idéal d'une pièce « parfaite »
  - → Dimensions issues du modèle 3D
- **Pièce réelle et défauts dimensionnels**

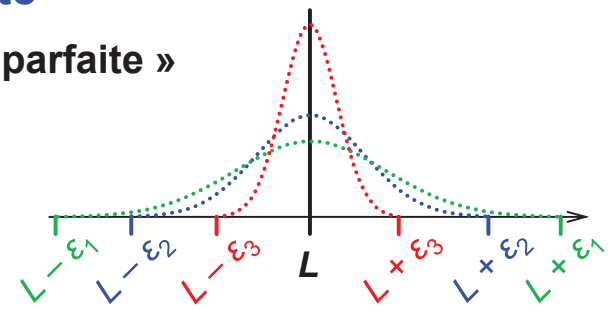
  Procédé de fabrication → impossible d'obtenir une pièce aux cotes « parfaites »





Amplitude du défaut dimensionnel

- **Distribution de la probabilité**
  - **A priori centrée sur la cote « parfaite »**
    - → $L - L_{min} = L_{max} - L = \varepsilon$
    - → Plage d'incertitude = 2 × ε
  - **ε plus ou moins grand…**
    - → 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 : ± 50 µm / 100 mm et ± 5' d'angle
  - **Valeur de la cote « parfaite » (si linéaire)**

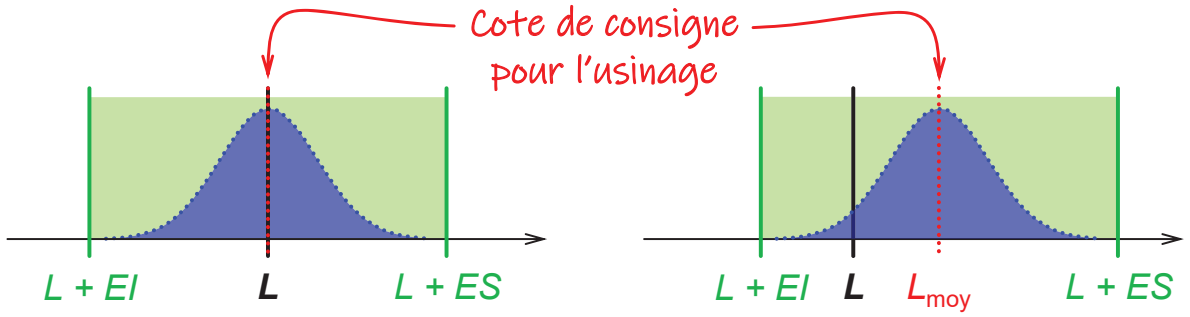
    Par ex. : ± 0,1 plus facile à obtenir sur une cote de 100 mm que 1 m
  - **Autres** → Paramètres d'usinage et niveau d'usure des outils
    → Précision des outils de mesure / contrôle

Écarts limites et dimension admissible

- **Pour chaque cote, on va 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 $(L_{min} + L_{max}) / 2$



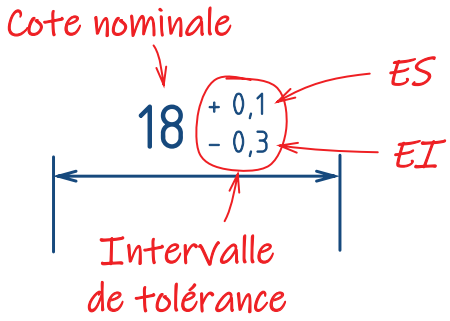
Terminologie et notation (1/3)

- **Dimension (taille) nominale**

  Dimension de référence sur le plan
  (= cas idéal)

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

  1ère ligne = *ES* / 2ème 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)

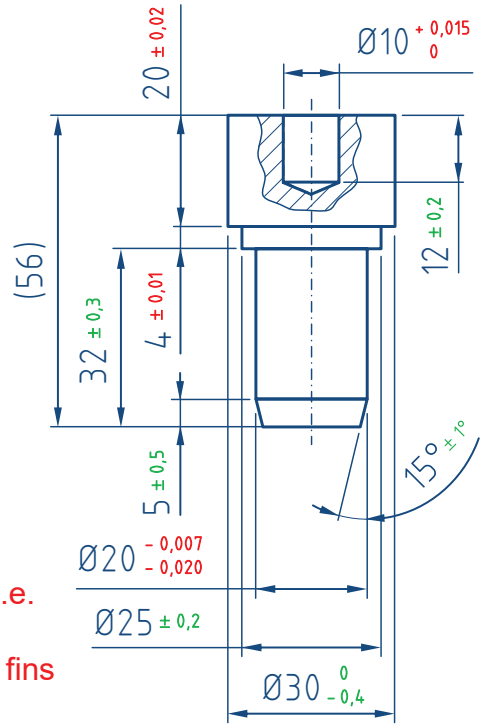
- **Unité de *ES* et *EI*** → Identique à celle de la cote nominale
- **Positions de l'intervalle de tolérance**
  - **Quelconque (|*ES*| ≠ |*EI*|)** → *ES* > 0 et *EI* < 0 $18^{+0,1}_{-0,3}$
    → *ES* < 0 $18^{-0,006}_{-0,017}$
    → *EI* > 0 $18^{+0,15}_{+0,12}$
  - **Centré sur la cote nominale (|*EI*| = |*ES*|)** → $18 \pm 0,05$
  - ***ES* = 0** → $18^{0}_{-0,030}$
  - ***EI* = 0** → $18^{+0,065}_{0}$

Exercice d'application

Exprimer la cote $18^{+0,1}_{-0,3}$ telle que 1) |*ES*| = |*EI*| ; 2) *ES* = 0 ; 3) *EI* = 0

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 (1/3)

- **Principe**
  - Remplacer l'écriture explicite de l'intervalle de tolérances pour chaque cote par une « classe de tolérance générale »
    - → Classe de tolérance valable pour la pièce complète
    - → Destinée aux tolérances peu exigeantes
    - → Intervalles de tolérance explicites conservés si exigeants
  - **Objectif : alléger le dessin pour mettre en évidence les tolérances les plus exigeantes**
- **Valeur de l'intervalle de tolérances en tol. gén. ?**
  - Déterminée pour chaque cote
  - Fonction de… … La valeur de la cote nominale
    … La classe de tolérance générale choisie

Tolérances générales ISO-2768 (2/3)

- **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
- **Propriétés de l'intervalle de tolérances en tol. gén.**
  - Centré sur la cote nominale
  - La largeur de l'intervalle augmente avec la cote nominale
  - Valeurs numériques définie dans trois tableaux, selon que :
    - → Dimensions linéaires
    - → Dimensions angulaires
    - → Rayons de congé et largeur de chanfrein

Tolérances générales ISO-2768 (3/3)

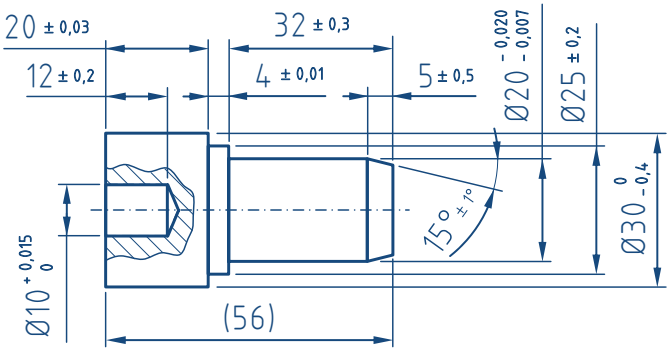
- **Intervalles de tolérances si dimension linéaire**

© Extrait de Normes 2022, p. 153, Fig. 153/1

Classe de tolérance	Dimension nominale [1]							
	≥ 0,5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000	> 1000 ... 2000	> 2000 ... 4000
	Ecarts							
f (fine) [2]	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	–
m (moyenne)	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c (grossière)	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v (très grossière)	–	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

Exercice d'application

Le plan spécifie les tolérances générales selon ISO 2768-m. Supprimer les intervalles de tolérances redondants.



Références normatives principales

ISO 129-1 Documentation technique de produit – Représentation des dimensions et tolérances – Partie 1 : Principes généraux

ISO/DIS 129-2 Documentation technique de produit – Indication des cotes et tolérances – Partie 2: Cotation dans le domaine de la construction mécanique

ISO 2768-1 Tolérances générales – Partie 1: Tolérances pour dimensions linéaires et angulaires non affectées de tolérances individuelles

ISO 80000-3 Grandeurs et unités - Partie 3: Espace et temps