

Résumé Semaine 5

Tolérancement dimensionnel I, Systèmes mécaniques, Tolérancement dimensionnel II

Dr. S. Soubielle

Tolérancement dimensionnel I

- **Pièce réelle**
 - Défauts dimensionnels (linéaires ou angulaires)
 - Plage d'incertitude sur la cote réelle exacte (vs. cote nominale)
- **Intervalle de tolérances**
 - Spécifie les écarts limites admissibles ES et EI
 - L'usineur adapte le procédé pour satisfaire la précision exigée
- **Tolérances générales selon ISO 2768-« ? »**
 - Niveau de précision « standard », peu exigeant
 - Permet d'omettre les valeurs explicites sur le plan



Systèmes mécaniques I

• Documentation d'assemblage

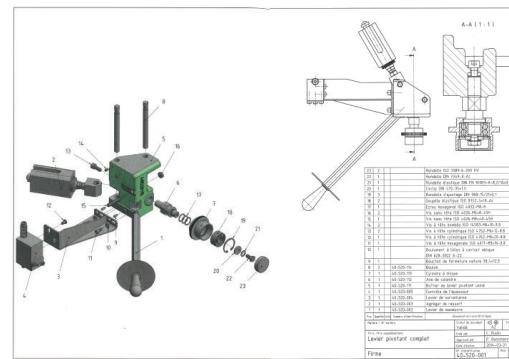
- Plan d'ensemble + nomenclature
- (Procédure d'assemblage)

• Fonctions de services

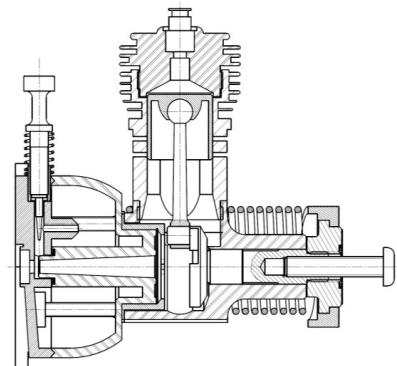
- Fonction(s) principale(s) et fonction(s) contrainte(s)
- Exprimées au niveau du système mécanique

• Fonctions techniques

- Exprimées au niveau du sous-ensemble fonctionnel (ou de la pièce)
- Aboutissent à l'établissement des conditions de fonctionnement



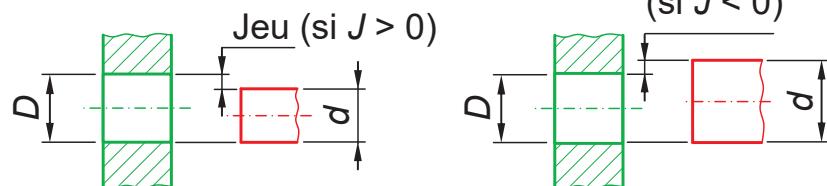
Extrait de Normes 2022, pp. 558-559



Tolérancement dimensionnel II

• Définition du jeu d'assemblage

- Pièces réelles
→ $J = D - d$



- Plans de fabrication (D_{EI}^{ES} et d_{ei}^{es})

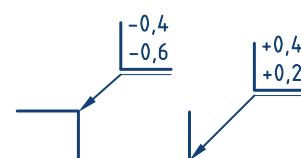
$$\text{Calcul de } J_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = (D + EI) - (d + es)$$

$$J_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (D + ES) - (d + ei)$$

→ Ajustement avec jeu, incertain, ou serré

• Chanfrein et congé par défaut

- À ne pas modéliser sur le 3D
- À toujours spécifier sur le plan de fabrication



Notes personnelles



Notes personnelles





Tolérancement dimensionnel III

Fonctions d'assemblage,
Comportement des matériaux solides,
Système ISO de tolérances,
Chaînes de cotes

Dr. S. Soubielle



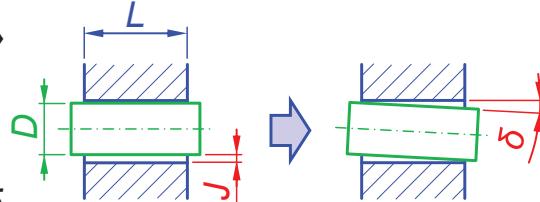
Dans ce cours, nous allons...

- ... **Nous intéresser au caractère de l'ajustement...**
 - ... Et aux paramètres qui l'influencent
- ... **Caractériser le comportement des matériaux solides**
 - ... Comportement en déformation des matériaux solides
 - ... Forces en jeu lors du contact frottant entre deux solides
- ... **Définir ce qu'est le système ISO de tolérances**
 - ... Concept de classe de tolérances
 - ... Ajustements ISO usuels à utiliser dans vos constructions
- ... **Définir la notion de chaîne de cotes**
 - ... Généralisation du concept d'ajustement
 - ... Méthodologie de résolution

Conception de l'assemblage (1/2)

- **Objectif du concepteur = fonction d'assemblage**
 - = Garantir le comportement à l'assemblage des deux pièces
 - « Grand jeu »
 - « Guidage précis »
 - « Déplacement encore mobile par l'emploi de lubrifiant »
 - « Assemblage sans besoin de force importante »
 - « Assemblé sous pression »
 - ...
- **Outil dont il dispose = tolérancement dimensionnel**
 $(ES ; EI)$ pour l'alésage et $(es ; ei)$ pour l'arbre $\rightarrow J_{\min}$ et J_{\max}

Conception de l'assemblage (2/2)

- **Caractère de l'ajustement : paramètres d'influence**
 - **Cas des ajustements « avec jeu »**
 - $J > 0$ plus ou moins grand
 - « Niveau de précision » du guidage en lien avec débattement angulaire δ
 - **Cas des ajustements « incertains » et « avec serrage »**
 - Il y a « serrage » du moment que $J < 0$
 - « Niveau de serrage » en lien avec le niveau d'effort requis pour assembler les pièces
 - On doit déformer les pièces
 - Il faut vaincre les frottements

Comportement mécanique des matériaux

- **Caractérisé par l'essai de traction**

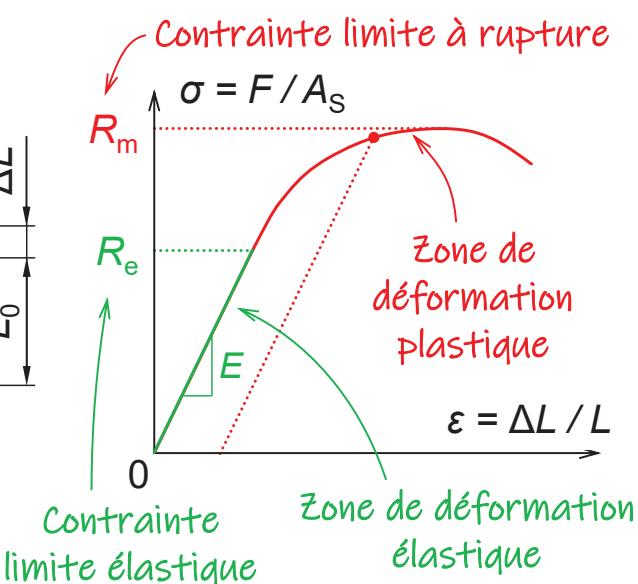
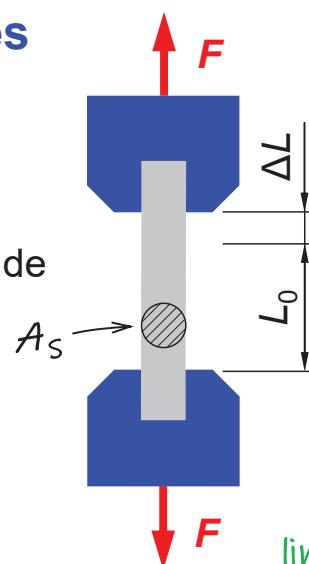
- Relie l'allongement du matériau à la force résistante qu'il exerce
- Utilisation d'une machine de traction et d'une éprouvette d'essai

- **Utilisation des matériaux en mécanique**

- Uniquement dans la zone de déformation élastique

- Loi de Hooke

$$\sigma = E \times \varepsilon$$



Contact frottant et lois de Coulomb (1/2)

- **Expérience du solide S sur un plan incliné**

- Contact statique (i.e, pas de mvt relatif) jusqu'à un angle limite δ_0
- Mise en mouvement (glissement) si inclinaison > δ_0
- Variation de masse du solide S → pas d'effet sur la valeur de δ_0
- Si mouvement initial → angle limite δ ($< \delta_0$)
- Application d'un lubrifiant au contact → δ_0 et δ plus petits

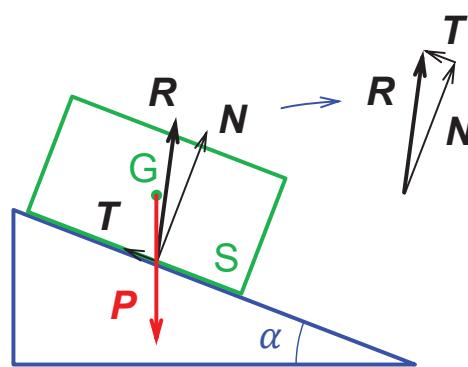
- **Modélisation du contact**

- **Si pas de mouvement relatif**

- Équilibre statique
- PFS → $T = \tan(\alpha) \cdot N$

- **Si mvt relatif (et vitesse ↗)**

- L'équilibre statique est rompu
- PFD → $T < \tan(\alpha) \cdot N$



Contact frottant et lois de Coulomb (2/2)

• Lois de Coulomb

- Sans mouvement relatif → $T_{\max} = \tan(\delta_0) \cdot N = \mu_0 \cdot N$

Avec δ_0 : Angle d'« adhérence » (ou de « frottement statique »)

μ_0 : Coef. d'« adhérence » (ou de « frottement statique »)

- Avec mouvement relatif → $T = \tan(\delta) \cdot N = \mu \cdot N$

Avec δ : Angle de « glissement » (ou de « frott. dynamique »)

μ : Coef. de « glissement » (ou de « frott. dynamique »)

• Commentaires à propos des lois de Coulomb

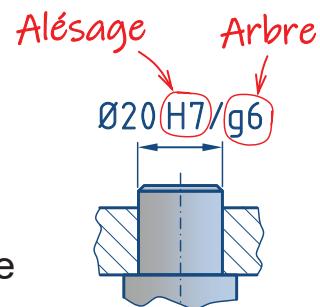
- Pas de pris en compte de la vitesse relative entre les pièces
 - Modélisation du frottement sec uniquement
 - Modèle pas adapté si matériaux visqueux et/ou vitesses élevées

- Valeurs de δ_0 / μ_0 et δ / μ
 - Dépendent des conditions du contact (matériaux, rugosités, etc.)

Système ISO de tolérances (1/6)

• Principe et finalité

- Écriture codifiée des intervalles de tolérances
- ES et EI dépendent de la dimension nominale
- Ajustement en tolérances ISO → même caractère quelle que soit la dimension nominale
- Valable uniquement pour les cotes linéaires



• Codification des intervalles de tolérances

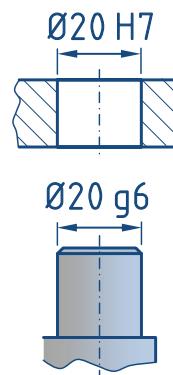
- 1 (ou 2) lettre(s)

→ Position de l'int. de tolérances vs. dim. nominale

→ Majuscule si dim. int. / minuscule si dim. ext.

- 1 (ou 2) chiffres

→ Largeur de l'intervalle de tolérances



Système ISO de tolérances (2/6)

- **Système d'ajustement ISO à alésage normal (« H »)**
 - Le plus utilisé
 - Toujours à privilégier, quand c'est possible
- **Ajustements usuels à alésage normal**

| Ajustement | H8 | H7 | Caractère de l'ajustement | Exemples d'utilisation |
|------------|-------|----|---|---|
| | Arbre | | | |
| Jeu | d9 | | Grand jeu | Arbre à paliers multiples, palier lisse pour large gamme de température, logement de levier |
| | e8 | | Jeu imperceptible | |
| | h9 | | Facilement déplaçable | Accouplement glissant, douille d'entretoise |
| | f7 | | Petit jeu | Coulisseau, glissière |
| | g6 | | Jeu non perceptible | Palier lisse de précision |
| Incertain | h7 | h6 | Déplacement encore possible par l'emploi de lubrifiants | Bague d'arrêt, centrage |
| | js6 | | Encore mobile sous légère pression | Centrage précis |
| | k6 | | Assemblé sans besoin de force importante | Volant, accouplement, poulie |
| Serrage | n6 | | Assemblé sous pression | Transmission de faibles couples |
| | p6 | | | |
| | r6 | | Assemblé au moyen de presses ou fretté | Transmission de couples modérés à forts |
| | s6 | | | |

Système ISO de tolérances (3/6)

- **Système d'ajustement ISO à arbre normal (« h »)**
 - Utilisé lorsque la tolérance sur l'arbre est imposée (h)
 - P. ex. barre étirée (h9), rectifiée (h9, h8 ou h6)
- **Ajustements usuels à arbre normal**

| Ajustement | h9 | h6 | Caractère de l'ajustement | Exemples d'utilisation |
|------------|---------|----|--|---|
| | Alésage | | | |
| Jeu | D10 | | Très grand jeu | Clavetage libre moyeu |
| | F8 | | Jeu perceptible | Palier lisse |
| | G7 | | Jeu non perceptible | Glissière de précision |
| | H9 | | | Clavetage libre arbre |
| | H7 | | Encore juste mobile à la main | Accouplement glissant |
| Incertain | JS9 | | | Clavetage léger dans moyeu |
| | JS7 | | Encore mobile sous légère pression | Pièces souvent démontées et remontées |
| | K7 | | | Volant, accouplement, poulie |
| | N9 | | Assemblé sans besoin de force importante | Clavetage léger arbre |
| | N7 | | Assemblé sous pression | Goupille cylindrique |
| Serrage | P9 | | Ajustage éventuellement nécessaire | Clavetage serré (arbre et moyeu) |
| | P7 | | Assemblé au moyen de presses ou fretté | Transmission de faibles couples |
| | S7 | | Emmanchement par frettage | Transmission de couples modérés à forts |

| Taille nominale [mm] | | Écarts limites supérieurs et inférieurs [µm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|--|----------------|--------------|---------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|--------|--------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|----------------|
| > | ≤ | D10 | E9 | F7 | F8 | G7 | H7 | H8 | H9 | H11 | H12 | H13 | JS7 | JS9 | K7 | N7 | N9 | P7 | P9 | S7 |
| – | 3 | + 60 + 20 | + 39 + 14 | + 16 + 6 | + 20 + 6 | + 12 + 2 | + 10 0 | + 14 0 | + 25 0 | + 60 0 | + 100 0 | + 140 0 | ± 5 | ± 12,5 | 0 | - 4 - 10 | - 4 - 14 | - 6 - 29 | - 6 - 16 | - 14 - 31 |
| | | + 14 + 20 | + 6 + 10 | + 2 + 4 | + 16 0 | + 12 0 | + 18 0 | + 30 0 | + 75 0 | + 120 0 | + 180 0 | + 180 0 | ± 6 | ± 15 | + 3 - 9 | - 4 - 16 | 0 - 30 | - 8 - 20 | - 12 - 42 | - 15 - 27 |
| 3 | 6 | + 78 + 30 | + 50 + 20 | + 22 + 10 | + 28 + 10 | + 16 + 4 | + 12 0 | + 18 0 | + 30 0 | + 75 0 | + 120 0 | + 180 0 | ± 6 | ± 15 | + 3 - 9 | - 4 - 16 | 0 - 30 | - 8 - 20 | - 12 - 42 | - 15 - 27 |
| | | + 25 + 40 | + 13 + 13 | + 28 + 5 | + 35 0 | + 20 0 | + 15 0 | + 22 0 | + 36 0 | + 90 0 | + 150 0 | + 220 0 | ± 7,5 | ± 18 | + 5 - 10 | - 4 - 19 | 0 - 36 | - 9 - 24 | - 15 - 51 | - 17 - 32 |
| 6 | 10 | + 98 + 40 | + 61 + 32 | + 28 + 16 | + 35 + 16 | + 20 + 6 | + 15 0 | + 22 0 | + 36 0 | + 90 0 | + 150 0 | + 220 0 | ± 7,5 | ± 18 | + 5 - 10 | - 4 - 19 | 0 - 36 | - 9 - 24 | - 15 - 51 | - 17 - 32 |
| | | + 120 + 50 | + 75 + 32 | + 34 + 16 | + 43 + 6 | + 24 0 | + 18 0 | + 27 0 | + 43 0 | + 110 0 | + 180 0 | + 270 0 | ± 9 | ± 21,5 | + 6 - 12 | - 5 - 23 | 0 - 43 | - 11 - 29 | - 18 - 61 | - 21 - 39 |
| 10 | 18 | + 149 + 65 | + 92 + 40 | + 41 + 20 | + 53 + 20 | + 28 + 7 | + 21 0 | + 33 0 | + 52 0 | + 130 0 | + 210 0 | + 330 0 | ± 10,5 | ± 26 | + 6 - 15 | - 7 - 28 | 0 - 52 | - 14 - 35 | - 22 - 74 | - 27 - 48 |
| | | + 180 + 80 | + 112 + 50 | + 50 + 25 | + 64 + 25 | + 34 + 9 | + 25 0 | + 39 0 | + 62 0 | + 160 0 | + 250 0 | + 390 0 | ± 12,5 | ± 31 | + 7 - 18 | - 8 - 33 | 0 - 62 | - 17 - 42 | - 26 - 88 | - 34 - 59 |
| 18 | 30 | + 220 + 100 | + 134 + 60 | + 60 + 30 | + 76 + 30 | + 40 + 10 | + 30 0 | + 46 0 | + 74 0 | + 190 0 | + 300 0 | + 460 0 | ± 15 | ± 37 | + 9 - 21 | - 9 - 39 | 0 - 74 | - 21 - 51 | - 32 - 106 | - 42 - 72 |
| | | + 220 + 100 | + 134 + 60 | + 60 + 30 | + 76 + 30 | + 40 + 10 | + 30 0 | + 46 0 | + 74 0 | + 190 0 | + 300 0 | + 460 0 | ± 15 | ± 37 | + 9 - 21 | - 9 - 39 | 0 - 74 | - 21 - 51 | - 32 - 106 | - 42 - 72 |
| 30 | 50 | + 260 + 120 | + 159 + 72 | + 71 + 36 | + 90 + 36 | + 47 + 12 | + 35 0 | + 54 0 | + 87 0 | + 220 0 | + 350 0 | + 540 0 | ± 17,5 | ± 43,5 | + 10 - 25 | - 10 - 45 | - 0 - 87 | - 24 - 59 | - 37 - 124 | - 58 - 93 |
| | | + 260 + 120 | + 159 + 72 | + 71 + 36 | + 90 + 36 | + 47 + 12 | + 35 0 | + 54 0 | + 87 0 | + 220 0 | + 350 0 | + 540 0 | ± 17,5 | ± 43,5 | + 10 - 25 | - 10 - 45 | - 0 - 87 | - 24 - 59 | - 37 - 124 | - 58 - 93 |
| 50 | 65 | + 305 + 145 | + 185 + 85 | + 83 + 43 | + 106 + 43 | + 54 + 14 | + 40 0 | + 63 0 | + 100 0 | + 250 0 | + 400 0 | + 630 0 | ± 20 | ± 50 | + 12 - 28 | - 12 - 52 | 0 - 100 | - 28 - 68 | - 43 - 143 | - 85 - 125 |
| | | + 305 + 145 | + 185 + 85 | + 83 + 43 | + 106 + 43 | + 54 + 14 | + 40 0 | + 63 0 | + 100 0 | + 250 0 | + 400 0 | + 630 0 | ± 20 | ± 50 | + 12 - 28 | - 12 - 52 | 0 - 100 | - 28 - 68 | - 43 - 143 | - 85 - 125 |
| 100 | 120 | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| | | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| 120 | 140 | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| | | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| 140 | 160 | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| | | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| 160 | 180 | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| | | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| 180 | 200 | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| | | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| 200 | 225 | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| | | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| 225 | 250 | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |
| | | + 355 + 170 | + 215 + 100 | + 96 + 50 | + 122 + 50 | + 61 + 15 | + 46 0 | + 72 0 | + 115 0 | + 290 0 | + 460 0 | + 720 0 | ± 23 | ± 57,5 | + 13 - 33 | - 14 - 60 | 0 - 115 | - 33 - 79 | - 50 - 165 | - 105 - 159 |

| Taille nominale [mm] | | Écarts limites supérieurs et inférieurs [µm] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----|--|---------------|---------------|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| > | ≤ | d9 | e8 | f7 | f9 | g6 | h6 | h7 | h9 | h11 | h12 | h13 | js6 | k6 | m6 | n6 | p6 | r6 | s6 |
| – | 3 | - 20 - 45 | - 14 - 28 | - 6 - 16 | - 6 - 31 | - 2 - 8 | 0 - 6 | - 10 0 | 0 - 25 | 0 - 60 | 0 - 100 | 0 - 140 | ± 3 | + 6 0 | + 8 + 2 | + 10 + 4 | + 12 + 6 | + 16 + 10 | + 20 + 14 |
| | | - 30 - 60 | - 20 - 38 | - 10 - 22 | - 4 - 40 | - 4 - 12 | 0 - 8 | - 12 0 | 0 - 30 | 0 - 75 | 0 - 120 | 0 - 180 | ± 4 | + 9 + 1 | + 12 + 4 | + 16 + 8 | + 20 + 12 | + 23 + 19 | + 27 + 19 |
| 3 | 6 | - 40 - 76 | - 25 - 47 | - 13 - 28 | - 5 - 49 | - 5 - 14 | 0 - 9 | - 15 0 | 0 - 36 | 0 - 90 | 0 - 150 | 0 - 220 | ± 4,5 | + 10 + 1 | + 15 + 6 | + 19 + 10 | + 24 + 15 | + 28 + 19 | + 32 + 23 |
| | | - 50 - 93 | - 32 - 59 | - 16 - 34 | - 6 - 59 | - 6 - 17 | 0 - 11 | - 18 0 | 0 - 43 | 0 - 110 | 0 - 180 | 0 - 270 | ± 5,5 | + 12 + 1 | + 18 + 7 | + 23 + 12 | + 29 + 18 | + 34 + 23 | + 39 + 28 |
| 6 | 10 | - 65 - 117 | - 20 - 73 | - 10 - 41 | - 7 - 72 | - 7 - 20 | 0 - 13 | - 21 0 | 0 - 52 | 0 - 130 | 0 - 210 | 0 - 330 | ± 6,5 | + 15 + 2 | + 21 + 8 | + 28 + 15 | + 35 + 22 | + 41 + 28 | + 48 + 35 |
| | | - 80 - 142 | - 50 - 89 | - 25 - 50 | - 9 - 25 | 0 - 16 | - 25 0 | 0 - 62 | 0 - 160 | 0 - 250 | 0 - 390 | 0 - 460 | ± 8 | + 18 + 2 | + 25 + 9 | + 33 + 17 | + 42 + 26 | + 50 + 34 | + 59 + 43 |
| 10 | 18 | - 100 - 120 | - 30 - 207 | - 36 - 126 | - 36 - 71 | - 36 - 34 | 0 - 22 | 0 - 35 | 0 - 87 | 0 - 220 | 0 - 350 | 0 - 540 | ± 11 | + 25 + 3 | + 35 + 13 | + 45 + 23 | + 59 + 37 | + 72 + 32 | + 72 + 53 |
| | | - 120 - 207 | - 72 - 126 | - 36 - 71 | - 36 - 34 | - 36 - 22 | 0 - 35 | 0 - 87 | 0 - 220 | 0 - 350 | 0 - 540 | ± 11 | + 25 + 3 | + 35 + 1 | | | | | |

Système ISO de tolérances (6/6)



Intervalles de tolérances ISO

Trouver ES et EI (exprimer les valeurs en μm)

$$30 \text{ H7} \rightarrow ES = \quad \rightarrow EI =$$

$$30 \text{ H11} \rightarrow ES = \quad \rightarrow EI =$$

$$125 \text{ H7} \rightarrow ES = \quad \rightarrow EI =$$

$$30 \text{ h7} \rightarrow ES = \quad \rightarrow EI =$$

$$30 \text{ g6} \rightarrow ES = \quad \rightarrow EI =$$

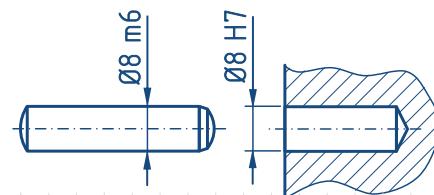
$$125 \text{ k6} \rightarrow ES = \quad \rightarrow EI =$$



Ajustement ISO

Calculer le jeu min. et le jeu max.

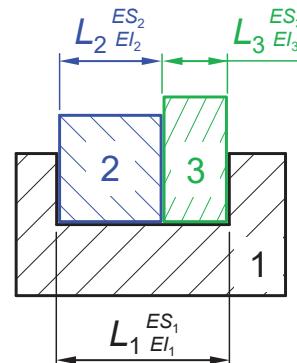
En déduire le caractère de l'ajustement



Chaîne de cotes (1/3)

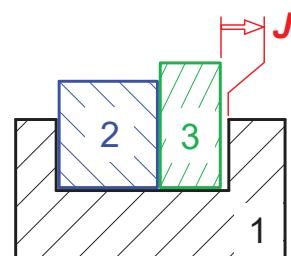
Définition

- Généralisation du concept d'ajustement pour un empilement de plus de 2 pièces
- Objectif = calcul du jeu min. et du jeu max.
- Calcul uniaxial (linéaire)



Méthodologie

1. Représenter l'empilement de pièces de manière à faire apparaître un jeu localisé à un seul endroit
2. On matérialise le jeu par un vecteur J



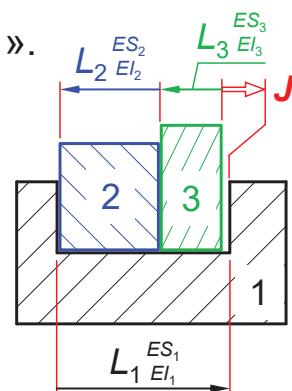
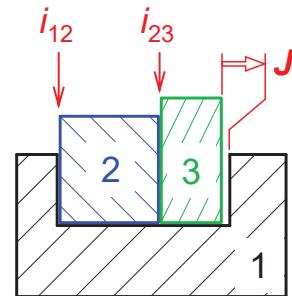
Chaîne de cotes (2/3)

Méthodologie (suite)

3. Identifier les interfaces de contact restantes entre les pièces de l'empilement
4. Tracer le chemin permettant, depuis la base de J et en partant dans la direction opposée à J , de rejoindre la pointe de J en traversant les interfaces de contact entre les pièces et sans jamais passer par du « vide ».
5. Les cotes intervenant au point précédent se transforment en vecteurs, et :

$$J = - \sum_i \overrightarrow{L_i^{ES_i}} + \sum_k \overrightarrow{L_k^{ES_k}}$$

Avec indice « i » si direction opposée à J
 indice « k » si même direction que J



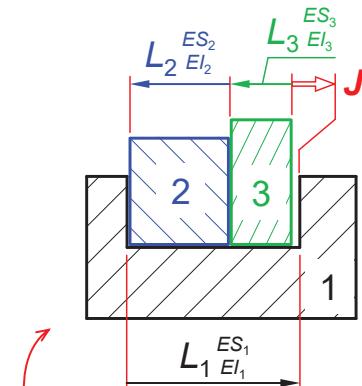
Chaîne de cotes (3/3)

Méthodologie (fin)

6. Calcul du jeu min. et du jeu max. :

$$\begin{aligned} J_{\min} &= - \sum_i \left(L_i^{ES_i} \right)_{\max} + \sum_j \left(L_k^{ES_k} \right)_{\min} \\ &= - \sum_i (L_i + ES_i) + \sum_k (L_k + EI_k) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{\max} &= - \sum_i \left(L_i^{ES_i} \right)_{\min} + \sum_k \left(L_k^{ES_k} \right)_{\max} \\ &= - \sum_i (L_i + EI_i) + \sum_k (L_k + ES_k) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} J_{\min} &= - (L_3 + ES_3) \\ &\quad - (L_2 + ES_2) \\ &\quad + (L_1 + EI_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{\max} &= - (L_3 + EI_3) \\ &\quad - (L_2 + EI_2) \\ &\quad + (L_1 + ES_1) \end{aligned}$$



@ EPFL

Assemblages boulonnés I

Principe, filetage métrique, procédés de fabrication du filetage

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... **Décrire la fonction d'un assemblage boulonné**

- ... Sollicitations mécaniques dans les pièces mises en jeu
- ... Fonctions et caractéristiques du filetage

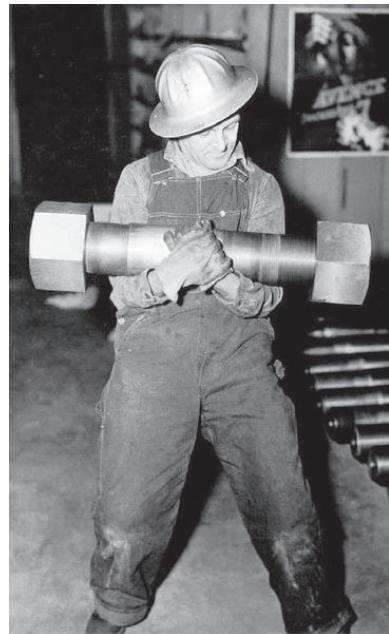
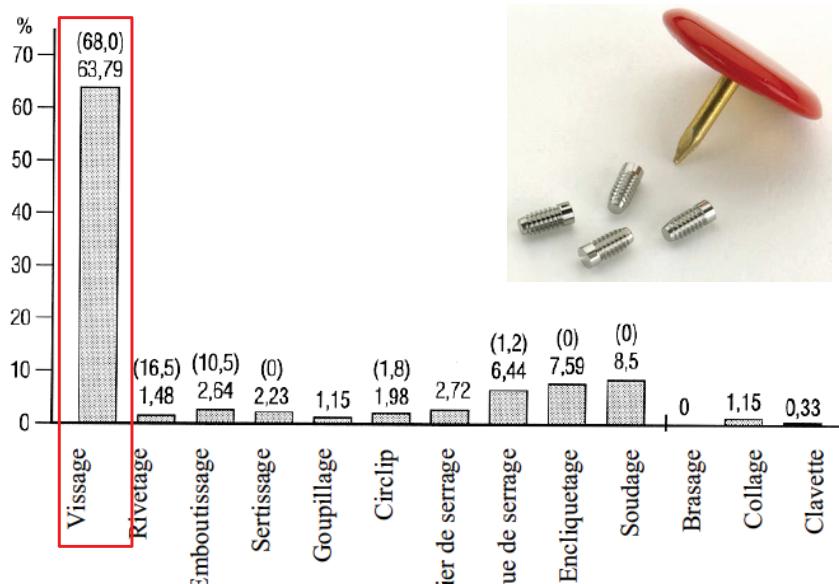
... **Définir les filetages normalisés métriques**

- ... Caractéristiques géométriques
- ... Détail des dimensions de filetage

... **Décrire les procédés de fabrication du filetage**

- ... Pour un filetage extérieur et intérieur
- ... Et en déduire les limitations géométriques

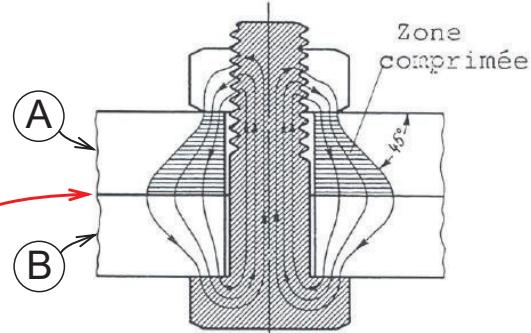
Pourquoi les assemblages boulonnés ?



Fonction = maintien en position

1. Précontrainte de serrage

- Vis sollicitées en traction
- Pièces en sandwich sollicitées en compression
- Création d'une force d'appui N au contact entre A et B



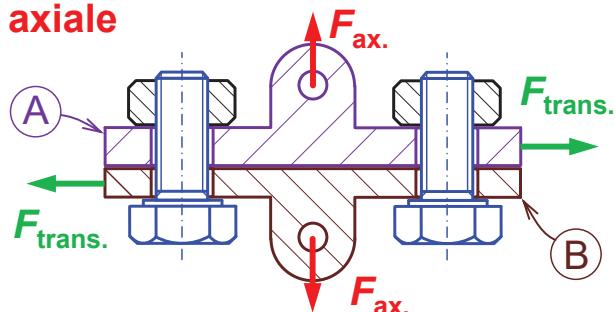
2. Application d'une charge extérieure F_{ext}

- Maintien par obstacle si F_{ext} axiale

(Condition : $F_{ax.}$ tq $N > 0$)

- Maintien par frottement statique si F_{ext} transverse

(Condition : $F_{trans.} < \mu_0 \cdot N$)



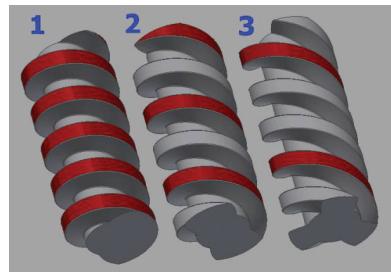
Fonctions et caractéristiques du filetage

• Fonctions du filetage

- Mettre en contact les pièces à assembler
Rotation → translation (filetage hélicoïdal)
- Assurer et maintenir la précontrainte de serrage dans l'AB
Frottements statiques → précontrainte conservée après serrage

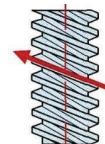
• Caractéristiques du filetage

- Forme du filet
- Nombre de filets
- Pas = distance entre deux filets successifs
- Sens du filetage

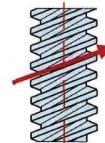


© Guide des Sciences et Technologies Industrielles, J.-L. Fanchon ↑

Filet « à gauche »



Filet « à droite »



Filetage normalisé métrique

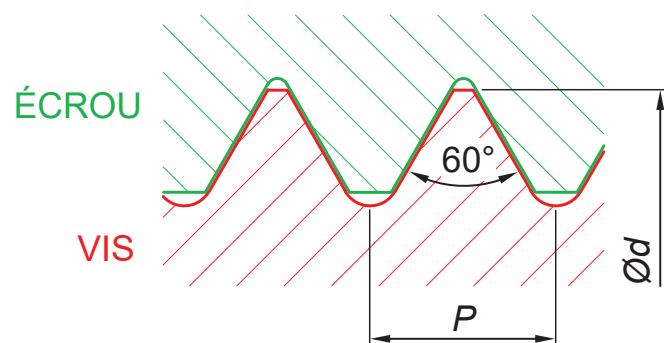
• Caractéristiques générales

- Dimensions en unités SI (mm)
- 1 seul filet → Pas = avance par tour
- Sens d'hélice à droite, par défaut



• Géométrie du filet

- Profil triangulaire
- P = pas
- d = diamètre nominal (= diam. ext. vis)



• Divers

- Taille de pas → dépend du diamètre nominal d
- Existe en deux séries : pas normal et pas fin

Tailles de filetage (pas normal)

- Notation = M « d »

Par ex. : M1,2 ; M5 ...

- ### • Tailles (ISO 262) →

- Section résistante A_s

- Section par laquelle transite la force de traction dans la vis
 - À utiliser pour calculer la contrainte de traction

$$\sigma = \frac{F}{A_s}$$

| Diamètre nominal [mm] | Pas [mm] | Section résistante [mm ²] | Diamètre d'avant-trou [mm] |
|-----------------------|----------|---------------------------------------|----------------------------|
| <i>d</i> | <i>P</i> | <i>A_s</i> | <i>D_B</i> |
| M1 | 0,25 | 0,460 | 0,75 |
| M1,2 | 0,25 | 0,732 | 0,95 |
| M1,6 | 0,35 | 1,27 | 1,25 |
| M2 | 0,4 | 2,07 | 1,6 |
| M2,5 | 0,45 | 3,39 | 2,05 |
| M3 | 0,5 | 5,03 | 2,5 |
| M4 | 0,7 | 8,78 | 3,3 |
| M5 | 0,8 | 14,2 | 4,2 |
| M6 | 1 | 20,1 | 5 |
| M8 | 1,25 | 36,6 | 6,75 |
| M10 | 1,5 | 58,0 | 8,5 |

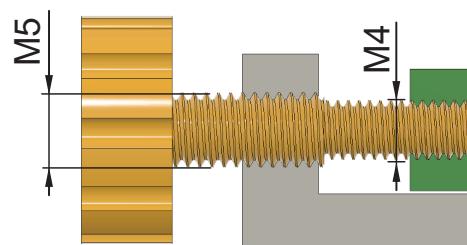
Exercice d'application



Soit la vis différentielle ci-contre, équipée d'un premier filetage en taille M5 et d'un deuxième en taille M4.

La rotation de l'écrou (en vert) est empêchée mais pas sa translation.

Calculer le déplacement de l'écrou (pièce verte) pour chaque tour de vis.

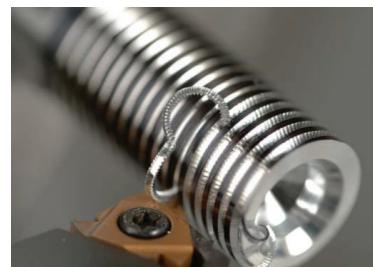


Fabrication et design du filetage (1/3)

• Filetage extérieur (1/2)

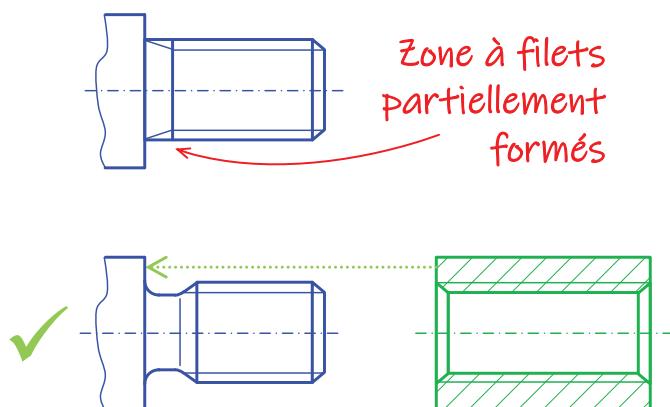
– Modes d'obtention

- Filière + porte-filière (opération manuelle)
- Burin de filetage (tournage)



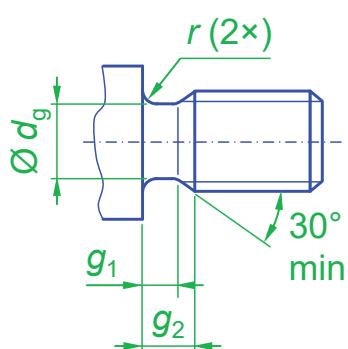
– Limitation géométrique

- Impossible de fileter jusqu'à l'épaulement
- Solution
= usinage d'une gorge en fond de filetage



Fabrication et design du filetage (2/3)

• Dimensions de la gorge pour filetage extérieur



| Diamètre nominal [mm] <i>d</i> | Gorge pour filetage [mm] | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|------------|
| | <i>d_g</i> h13 | <i>g₁</i> min. | | <i>g₂</i> max. | | <i>r</i> ≈ |
| | | normal | court | normal | court | |
| M1 | <i>d</i> - 0,4 | 0,55 | 0,25 | 0,9 | 0,6 | 0,12 |
| M1,2 | <i>d</i> - 0,4 | 0,55 | 0,25 | 0,9 | 0,6 | 0,12 |
| M1,6 | <i>d</i> - 0,6 | 0,7 | 0,4 | 1,2 | 0,9 | 0,16 |
| M2 | <i>d</i> - 0,7 | 0,8 | 0,5 | 1,4 | 1 | 0,2 |
| M2,5 | <i>d</i> - 0,7 | 1 | 0,5 | 1,6 | 1,1 | 0,2 |
| M3 | <i>d</i> - 0,8 | 1,1 | 0,5 | 1,75 | 1,25 | 0,2 |
| M4 | <i>d</i> - 1,1 | 1,5 | 0,8 | 2,45 | 1,75 | 0,4 |
| M5 | <i>d</i> - 1,3 | 1,7 | 0,9 | 2,8 | 2 | 0,4 |
| M6 | <i>d</i> - 1,6 | 2,1 | 1,1 | 3,5 | 2,5 | 0,6 |
| M8 | <i>d</i> - 2 | 2,7 | 1,5 | 4,4 | 3,2 | 0,6 |
| M10 | <i>d</i> - 2,3 | 3,2 | 1,8 | 5,2 | 3,8 | 0,8 |

Fabrication et design du filetage (3/3)

• Filetage intérieur / taraudage

– Modes d'obtention

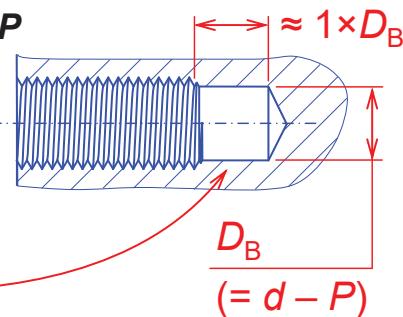
- Taraud + « tourne-à-gauche »
(opération manuelle)
- Fraise à tarauder
(tournage ou fraisage)



– Gamme de fabrication

1. Perçage d'avant-trou à D_B tel que $D_B = d - P$

2. Taraudage au diamètre d



– Limitation géométrique

- Prof. taraudage < prof. avant-trou
- Projet (S. 8-14) → Prof. taraudage = prof. avant-trou - D_B

Notes personnelles

Handwritten notes area.