

Tolérancement dimensionnel II

**Chanfreins et congés par défaut,
tolérances ISO, ajustements,
chaînes de cotes**

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

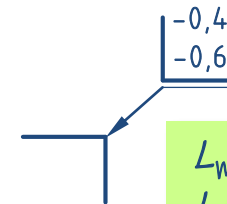
- ... **Définir ce que sont les chanfreins et rayons de congé par défaut**
 - ... Et la condition de montage qui les lie
- ... **Définir ce qu'est le système ISO de tolérances**
 - ... Fournir les tabelles de valeurs pour les arbres et alésages
 - ... Lister les classes de tolérances ISO usuelles
- ... **Définir la notion d'ajustement**
 - ... Concept d'ajustement avec jeu / incertain / serré
 - ... Calcul du jeu / du serrage, si tolérances sur les pièces
 - ... Ajustements en notation ISO et valeurs usuelles
 - ... Calcul de chaîne de cotes

Chanfreins et congés par défaut

• Chanfrein par défaut

Arêtes vives (90°) sont coupantes

→ Systématiquement chanfreinées à 45°
(chanfrein « par défaut », $L < 1$ mm)

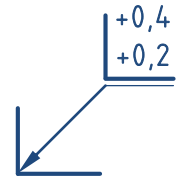


$L_{\max} 0,6$ mm
 $L_{\min} 0,4$ mm

• Rayon de congé par défaut

Rayon d'outil en usinage ($0,2 < R < 0,8$)

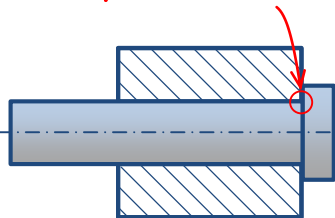
→ Rayon de congé sur arêtes rentrantes



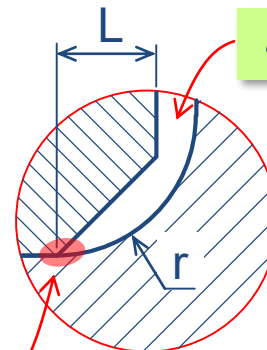
$R_{\max} = 0,4$ mm
 $R_{\min} = 0,2$ mm

• Règle de non-interférence

Inspectons cette zone



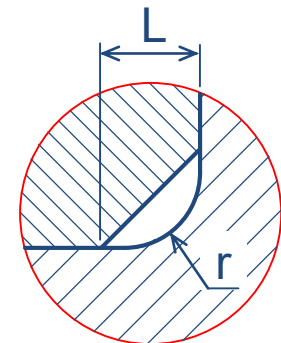
Si $L < r$



ϕ contact !



Si $L > r$



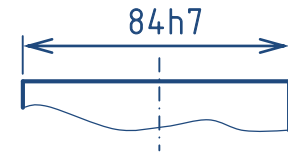
Zone de localisation du contact !

Système ISO de tolérances (1/4)

- **Principe = système codifié**

- Remplace l'écriture explicite des tolérances
- Valable uniquement pour les cotes linéaires
- Surtout utilisé pour le tolérancement des diamètres

$84^{0}_{-0,035} \rightarrow 84h7$



- **1 lettre + 1 nombre = « Classe de tolérance »**

- **Dimension nominale + Classe de tol.** → écarts lim. sup. & inf.
→ Voir tableaux slides suivants
- **Lettre** → Position de la tolérance vs. cote nominale
 - Minuscule (a ... zc) si dimension extérieure (arbre)
 - Majuscule (A ... ZC) si dimension intérieure (alésage)
- **Nombre** → Largeur de la tolérance (classe « IT »)
 - IT compris entre 1 (le + précis) et 18 (le - précis)

Système ISO de tolérances (2/4)

• Écartes limites pour les dimensions extérieures (arbres)

Tailles nominales en mm		Ecartes limites supérieurs et inférieurs (valeurs en µm; 1 µm = 0,001 mm = 1 micromètre)																							
au-dessus de	jusqu'à et y ompris	d9	e8	f7	g6	h5	h6	h7	h8	h9	h11	js5	js6	js13	js14	k5	k6	m5	m6	n5	n6	p6	r6	s6	s7
-	3	- 20 - 45	- 14 - 28	- 6 - 16	- 2 - 8	0 - 4	0 - 6	0 - 10	0 - 14	0 - 25	0 - 60	± 2	± 3	± 70	± 125	+ 4 0	+ 6 0	+ 6 + 2	+ 8 + 2	+ 8 + 4	+ 10 + 4	+ 12 + 6	+ 16 + 10	+ 20 + 14	+ 24 + 14
3	6	- 30 - 60	- 20 - 38	- 10 - 22	- 4 - 12	0 - 5	0 - 8	0 - 12	0 - 18	0 - 30	0 - 75	± 2,5	± 4	± 90	± 150	+ 6 + 1	+ 9 + 1	+ 9 + 4	+ 12 + 4	+ 13 + 8	+ 16 + 8	+ 20 + 12	+ 23 + 15	+ 27 + 19	+ 31 + 19
6	10	- 40 - 76	- 25 - 47	- 13 - 28	- 5 - 14	0 - 6	0 - 9	0 - 15	0 - 22	0 - 36	0 - 90	± 3	± 4,5	± 110	± 180	+ 7 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 6	+ 15 + 6	+ 16 + 10	+ 19 + 10	+ 24 + 15	+ 28 + 19	+ 32 + 23	+ 38 + 23
10	18	- 50 - 93	- 32 - 59	- 16 - 34	- 6 - 17	0 - 8	0 - 11	0 - 18	0 - 27	0 - 43	0 - 110	± 4	± 5,5	± 135	± 215	+ 9 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 7	+ 18 + 7	+ 20 + 12	+ 23 + 12	+ 29 + 18	+ 34 + 23	+ 39 + 28	+ 46 + 28
18	30	- 65 - 117	- 40 - 73	- 20 - 41	- 7 - 20	0 - 9	0 - 13	0 - 21	0 - 33	0 - 52	0 - 130	± 4,5	± 6,5	± 165	± 260	+ 11 + 2	+ 15 + 2	+ 17 + 8	+ 21 + 8	+ 24 + 15	+ 28 + 15	+ 35 + 22	+ 41 + 28	+ 48 + 35	+ 56 + 35
30	50	- 80 - 142	- 50 - 89	- 25 - 50	- 9 - 25	0 - 11	0 - 16	0 - 25	0 - 39	0 - 62	0 - 160	± 5,5	± 8	± 195	± 310	+ 13 + 2	+ 18 + 2	+ 20 + 9	+ 25 + 9	+ 28 + 17	+ 33 + 17	+ 42 + 26	+ 50 + 34	+ 59 + 43	+ 68 + 43
50	65	- 100 - 174	- 60 - 106	- 30 - 60	- 10 - 29	0 - 13	0 - 19	0 - 30	0 - 46	0 - 74	0 - 190	± 6,5	± 9,5	± 230	± 370	+ 15 + 2	+ 21 + 2	+ 24 + 11	+ 30 + 11	+ 33 + 20	+ 39 + 20	+ 51 + 32	+ 60 + 41	+ 72 + 53	+ 83 + 53
65	80																								
80	100	- 120 - 207	- 72 - 126	- 36 - 71	- 12 - 34	0 - 15	0 - 22	0 - 35	0 - 54	0 - 87	0 - 220	± 7,5	± 11	± 270	± 435	+ 18 + 3	+ 25 + 3	+ 28 + 13	+ 35 + 13	+ 38 + 23	+ 45 + 23	+ 59 + 37	+ 73 + 51	+ 93 + 71	+ 106 + 71
100	120																								
120	140																								
140	160	- 145 - 245	- 85 - 148	- 43 - 83	- 14 - 39	0 - 18	0 - 25	0 - 40	0 - 63	0 - 100	0 - 250	± 9	± 12,5	± 315	± 500	+ 21 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 15	+ 40 + 15	+ 45 + 27	+ 52 + 27	+ 68 + 43	+ 90 + 65	+ 125 + 100	+ 140 + 100
160	180																								
180	200																								
200	225	- 170 - 285	- 100 - 172	- 50 - 96	- 15 - 44	0 - 20	0 - 29	0 - 46	0 - 72	0 - 115	0 - 290	± 10	± 14,5	± 360	± 575	+ 24 + 4	+ 33 + 4	+ 37 + 17	+ 46 + 17	+ 51 + 31	+ 60 + 31	+ 79 + 50	+ 109 + 80	+ 159 + 130	+ 176 + 130
225	250																								
250	280	- 190 - 320	- 110 - 191	- 56 - 108	- 17 - 49	0 - 23	0 - 32	0 - 52	0 - 81	0 - 130	0 - 320	± 11,5	± 16	± 405	± 650	+ 27 + 4	+ 36 + 4	+ 43 + 20	+ 52 + 20	+ 57 + 34	+ 66 + 34	+ 88 + 56	+ 126 + 94	+ 190 + 158	+ 210 + 158
280	315																								
315	355	- 210 - 350	- 125 - 214	- 62 - 119	- 18 - 54	0 - 25	0 - 36	0 - 57	0 - 89	0 - 140	0 - 360	± 12,5	± 18	± 445	± 700	+ 29 + 4	+ 40 + 4	+ 46 + 21	+ 57 + 21	+ 62 + 37	+ 73 + 37	+ 98 + 62	+ 144 + 108	+ 226 + 190	+ 247 + 190
355	400																								

© Extrait de Normes 2018, p. 106, Tableau 106/1

Système ISO de tolérances (3/4)

• Écartes limites pour les dimensions intérieures (alésages)

Tailles nominales en mm		Ecartes limites supérieurs et inférieurs (valeurs en µm; 1 µm = 0,001 mm = 1 micromètre)																							
au-dessus de	jusqu'à et y compris	D10	E9	F7	F8	G7	G9	H6	H7	H8	H9	H11	H12	H13	JS7	JS9	K6	K7	M6	M7	N7	N9 ¹⁾	P7	P9	R7
-	3	+ 60 + 20	+ 39 + 14	+ 16 + 6	+ 20 + 6	+ 12 + 2	+ 27 + 2	+ 6 0	+ 10 0	+ 14 0	+ 25 0	+ 60 0	+ 100 0	+ 140 0	± 5	± 12,5	0 - 6	0 - 10	- 2 - 8	- 2 - 12	- 4 - 14	- 4 - 29	- 6 - 16	- 6 - 31	- 10 - 20
3	6	+ 78 + 30	+ 50 + 20	+ 22 + 10	+ 28 + 10	+ 16 + 4	+ 34 + 4	+ 8 0	+ 12 0	+ 18 0	+ 30 0	+ 75 0	+ 120 0	+ 180 0	± 6	± 15	+ 2 - 6	+ 3 - 9	- 1 - 9	0 - 12	- 4 - 16	0 - 30	- 8 - 20	- 12 - 42	- 11 - 23
6	10	+ 98 + 40	+ 61 + 25	+ 28 + 13	+ 35 + 13	+ 20 + 5	+ 41 + 5	+ 9 0	+ 15 0	+ 22 0	+ 36 0	+ 90 0	+ 150 0	+ 220 0	± 7,5	± 18	+ 2 - 7	+ 5 - 10	- 3 - 12	0 - 15	- 4 - 19	0 - 36	- 9 - 24	- 15 - 51	- 13 - 28
10	18	+ 120 + 50	+ 75 + 32	+ 34 + 16	+ 43 + 16	+ 24 + 6	+ 49 + 6	+ 11 0	+ 18 0	+ 27 0	+ 43 0	+ 110 0	+ 180 0	+ 270 0	± 9	± 21,5	+ 2 - 9	+ 6 - 12	- 4 - 15	0 - 18	- 5 - 23	0 - 43	- 11 - 29	- 18 - 61	- 16 - 34
18	30	+ 149 + 65	+ 92 + 40	+ 41 + 20	+ 53 + 20	+ 28 + 7	+ 59 + 7	+ 13 0	+ 21 0	+ 33 0	+ 52 0	+ 130 0	+ 210 0	+ 330 0	± 10,5	± 26	+ 2 - 11	+ 6 - 15	- 4 - 17	0 - 21	- 7 - 28	0 - 52	- 14 - 35	- 22 - 74	- 20 - 41
30	50	+ 180 + 80	+ 112 + 50	+ 50 + 25	+ 64 + 25	+ 34 + 9	+ 71 + 9	+ 16 0	+ 25 0	+ 39 0	+ 62 0	+ 160 0	+ 250 0	+ 390 0	± 12,5	± 31	+ 3 - 13	+ 7 - 18	- 4 - 20	0 - 25	- 8 - 33	0 - 62	- 17 - 42	- 26 - 88	- 25 - 50
50	65	+ 220 + 100	+ 134 + 60	+ 60 + 30	+ 76 + 30	+ 40 + 10		+ 19 0	+ 30 0	+ 46 0	+ 74 0	+ 190 0	+ 300 0	+ 460 0	± 15	± 37	+ 4 - 15	+ 9 - 21	- 5 - 24	0 - 30	- 9 - 39	0 - 74	- 21 - 51	- 32 - 106	- 30 - 60
65	80																								- 32 - 62
80	100	+ 260 + 120	+ 159 + 72	+ 71 + 36	+ 90 + 36	+ 47 + 12		+ 22 0	+ 35 0	+ 54 0	+ 87 0	+ 220 0	+ 350 0	+ 540 0	± 17,5	± 43,5	+ 4 - 18	+ 10 - 25	- 6 - 28	0 - 35	- 10 - 45	0 - 87	- 24 - 59	- 37 - 124	- 38 - 73
100	120																								- 41 - 76
120	140																								- 48 - 88
140	160	+ 305 + 145	+ 185 + 85	+ 83 + 43	+ 106 + 43	+ 54 + 14		+ 25 0	+ 40 0	+ 63 0	+ 100 0	+ 250 0	+ 400 0	+ 630 0	± 20	± 50	+ 4 - 21	+ 12 - 28	- 6 - 33	0 - 40	- 12 - 52	0 - 100	- 28 - 68	- 43 - 143	- 50 - 90
160	180																								- 53 - 93
180	200																								- 60 - 106
200	225	+ 355 + 170	+ 215 + 100	+ 96 + 50	+ 122 + 50	+ 61 + 15		+ 29 0	+ 46 0	+ 72 0	+ 115 0	+ 290 0	+ 460 0	+ 720 0	± 23	± 57,5	+ 5 - 24	+ 13 - 33	- 8 - 37	0 - 46	- 14 - 60	0 - 115	- 33 - 79	- 50 - 165	- 63 - 109
225	250																								- 67 - 113
250	280	+ 400 + 190	+ 240 + 110	+ 108 + 56	+ 137 + 56	+ 69 + 17		+ 32 0	+ 52 0	+ 81 0	+ 130 0	+ 320 0	+ 520 0	+ 810 0	± 26	± 65	+ 5 - 27	+ 16 - 36	- 9 - 41	0 - 52	- 14 - 66	0 - 130	- 36 - 88	- 56 - 186	- 74 - 126
280	315																								- 78 - 130
315	355	+ 440 + 210	+ 265 + 125	+ 119 + 62	+ 151 + 62	+ 75 + 18		+ 36 0	+ 57 0	+ 89 0	+ 140 0	+ 360 0	+ 570 0	+ 890 0	± 28,5	± 70	+ 7 - 29	+ 17 - 40	- 10 - 46	0 - 57	- 16 - 73	0 - 140	- 41 - 98	- 62 - 202	- 87 - 144
355	400																								- 93 - 150

© Extrait de Normes 2018, p. 107, Tableau 107/1

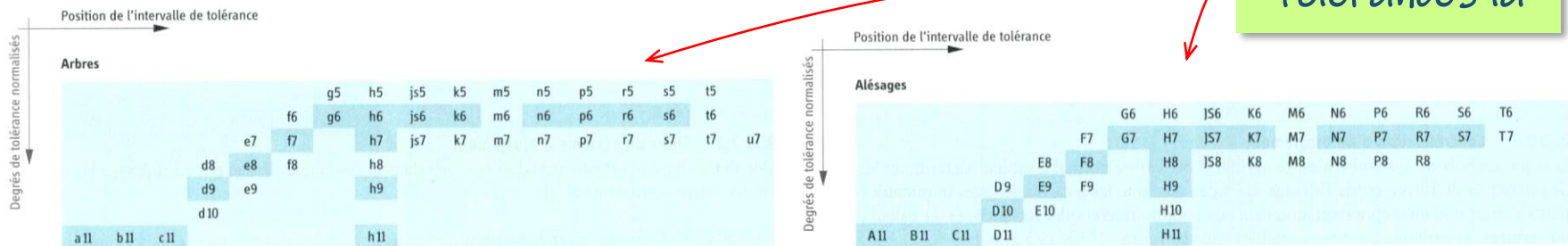
Système ISO de tolérances (4/4)

• Constat et problématique

- $28 \times 18 = 504$ classes de tolérances possible !
- Outils spécifiques à chaque classe de tolérance !

• Classes de tolérance usuelles

On va travailler en priorité avec ces classes de tolérances là



© Extrait de Normes 2018, p. 109, Fig. 109/1 et 109/2

• Exercice d'application



Trouver, en μm , les écarts limites des éléments tolérancés suivants

$$30h7 \rightarrow E_{\text{sup}} =$$

$$\rightarrow E_{\text{inf}} =$$

$$30g6 \rightarrow E_{\text{sup}} =$$

$$\rightarrow E_{\text{inf}} =$$

$$125k6 \rightarrow E_{\text{sup}} =$$

$$\rightarrow E_{\text{inf}} =$$

$$30H7 \rightarrow E_{\text{sup}} =$$

$$\rightarrow E_{\text{inf}} =$$

$$30H11 \rightarrow E_{\text{sup}} =$$

$$\rightarrow E_{\text{inf}} =$$

$$125H7 \rightarrow E_{\text{sup}} =$$

$$\rightarrow E_{\text{inf}} =$$

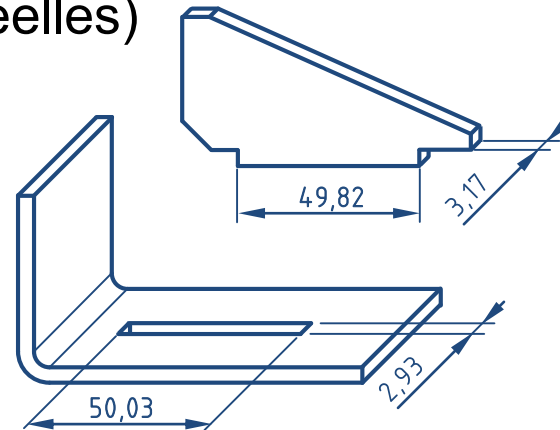
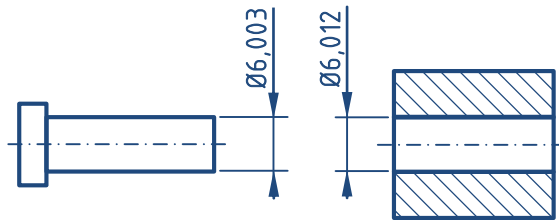
Tolérances et assemblage (1/3)



• Mise en situation : « Ça se monte ou pas ? »

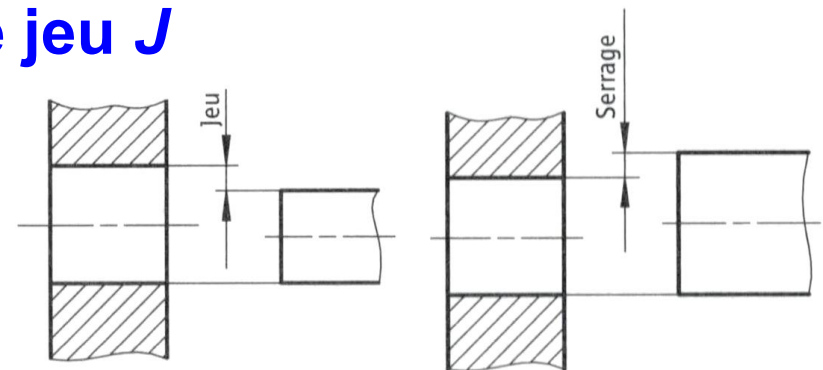


(Cotes indiquées = dimensions réelles)



• Notions d'ajustement et de jeu J

- Ajustement « avec jeu »
(ou « glissant ») si $J > 0$
- Ajustement « avec serrage »
(ou « serré ») si $J < 0$



© Extrait de Normes 2018, p. 98, Fig. 98/1 et 98/2

Tolérances et assemblage (2/3)

Tolérances vs. jeu min. / max.

$$J_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

= Situation au maximum de matière

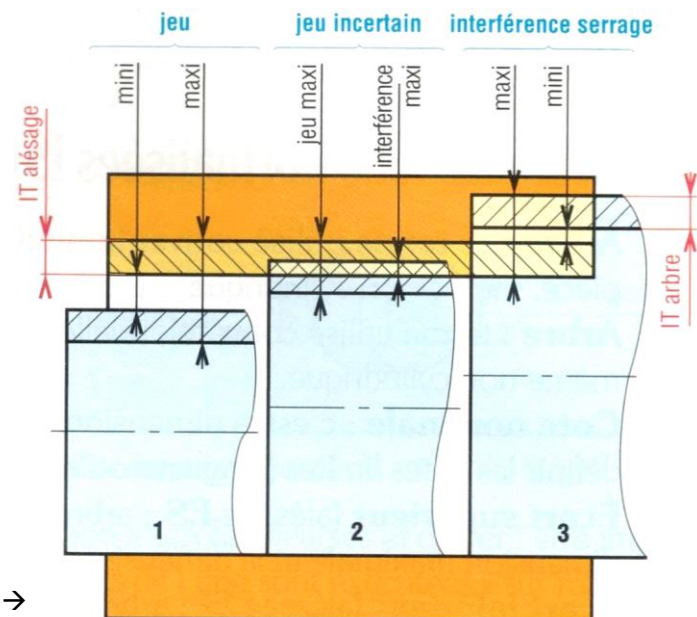
$$J_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

= Situation au minimum de matière

D : dimension intérieure
(pièce femelle, p. ex. alésage)
 d : dimension extérieure
(pièce mâle, p. ex. arbre)

Trois types d'ajustements

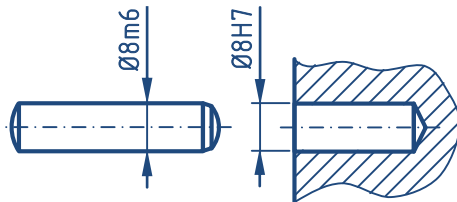
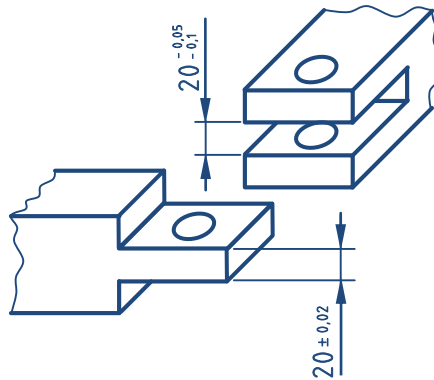
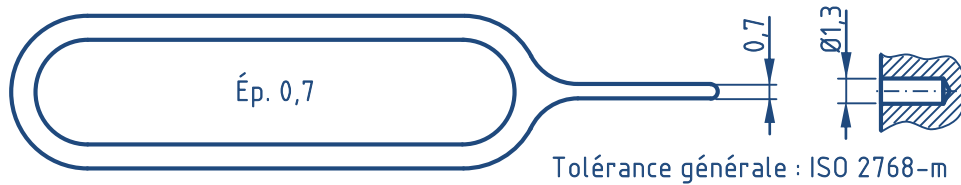
- Si $J_{\min} \geq 0 \rightarrow$ « Avec jeu »
- Si $J_{\max} \leq 0 \rightarrow$ « Avec serrage »
- Si $J_{\max} \geq 0$ & $J_{\min} \leq 0 \rightarrow$ « Incertain »



© Guide des Sciences et Technologies Industrielle, J.-L. Fanchon →

Tolérances et assemblage (2/3)

Exercice d'application : quel type d'ajustement ?



Ajustements ISO (1/4)

- **Définition**

Assemblage de deux pièces de même cote nominale, chacune étant affectée d'une tolérance ISO

- **Notation**

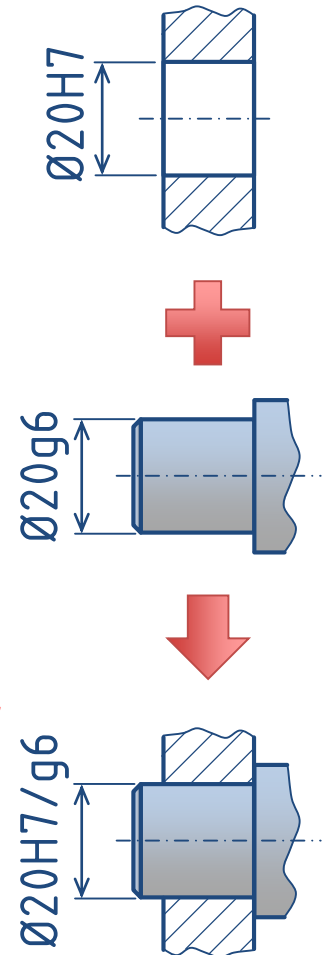
Dim. nominale + Tol. ISO alésage / Tol. ISO arbre

- **Utilisation**

Plutôt pour le tolérancement des diamètres
(mais pas exclusivement)

- **IT dimension ext. vs. IT dimension int.**

IT arbre = IT alésage – 1 (en général)



Ajustements ISO (3/4)

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

Ajustement	H8	H7	Caractère de l'ajustement	Exemples d'utilisation
	Arbre			
Jeu	d9		Grand jeu	Arbre à plusieurs paliers, palier lisse pour large gamme de température, palier de levier
	e8		Jeu perceptible	
	h9		Facilement déplaçable	Embrayage coulissant, entretoise
	f7		Petit jeu	Coulisseau, glissière de tête de bielle
		g6	Jeu non perceptible	Palier lisse de précision
	h7	h6	Déplacement encore possible par l'emploi de lubrifiants	Bague d'arrêt, roue interchangeable, centrage, contre-pointe de tour
Incertain		js6	Encore mobile sous légère pression	Centrage précis
		k6	Assemblé sans besoin de force importante	Volant, accouplement, poulie
		n6	Assemblé sous pression	Transmission d'un couple avec sécurité supplémentaire contre la rotation
Serrage		p6	Assemblé au moyen de presses ou fretté	Transmission de petits couples sans sécurité supplémentaire contre la rotation
		r6		
		s6		

© Extrait de Normes 2018, p. 112, Tableau 112/1

Ajustements ISO (3/4)

- **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)
- **Valeurs usuelles d'ajustements en alésage normal**

Ajustement	h9	h6	Caractère de l'ajustement	Exemples d'utilisation
	Alésage			
Jeu	H11		Très souvent grand jeu	Pièces s'emboîtant facilement
	D10		Très grand jeu	Clavetage libre avec clavette inclinée
	E9		Grand jeu	Raccordement emboîté, palier de levier
	F8		Jeu perceptible	Palier lisse
		G7	Jeu non perceptible	Glissière de précision
	H9		Encore juste mobile à la main	Clavetage libre (arbre et moyeu)
		H7		Embrayage coulissant
Incertain	JS9		Encore mobile sous légère pression	Clavetage léger dans moyeu
		JS7		Pièces souvent démontées et remontées
		K7	Assemblé sans besoin de force importante	Volant, accouplement, poulie
		N7	Assemblé sous pression	Goupille cylindrique
	P9		Ajustage éventuellement nécessaire	Clavetage serré (arbre et moyeu)
Serrage		P7	Assemblé au moyen de presses ou fretté	Transmission de petits couples sans sécurité supplémentaire contre la rotation
		S7	Emmanchement par frettage	Transmission de couples plus importants

© Extrait de Normes 2018, p. 112, Tableau 112/2

Ajustements ISO (4/4)



- **Exercices d'application**



Donner les valeurs de jeux (ou serrages) extrêmes pour les ajustements 30H7/g6 et 125H7/k6. Préciser le type d'ajustement.

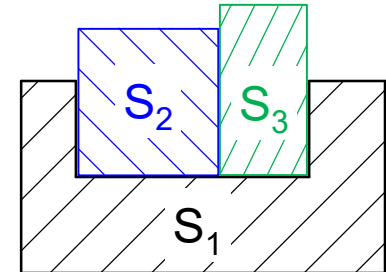


Soit un montage serré arbre-moyeu de $\varnothing 12$, serrage min. $23 \mu\text{m}$ / max. $52 \mu\text{m}$. L'alésage est en N7. Quelle est la tol. ISO de l'arbre ?

Chaîne de cotes (1/2)

• Définition

- Généralisation du concept d'ajustement (nb de pièces > 2)
- Calcul uniaxial (linéaire)

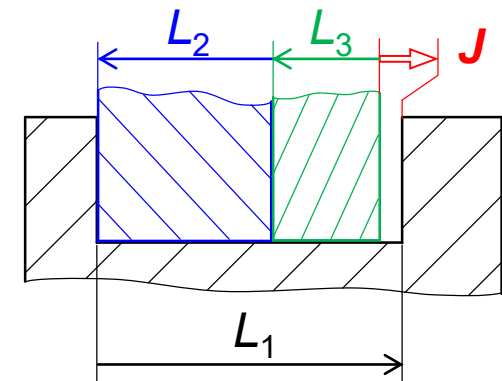


• Méthodologie de calcul (ex. : 3 pièces)

Soit le vecteur \mathbf{J} tq : $J = \sum_i L_i - \sum_j L_j$

Avec L_i : vecteurs de même dir. que \mathbf{J}

L_j : vecteurs de dir. opposée à \mathbf{J}



$$\Rightarrow J_{\text{Max}} = \sum_i (L_i)_{\text{Max}} - \sum_j (L_j)_{\text{min}} \quad \text{et} \quad J_{\text{min}} = \sum_i (L_i)_{\text{min}} - \sum_j (L_j)_{\text{Max}}$$

Mini matière

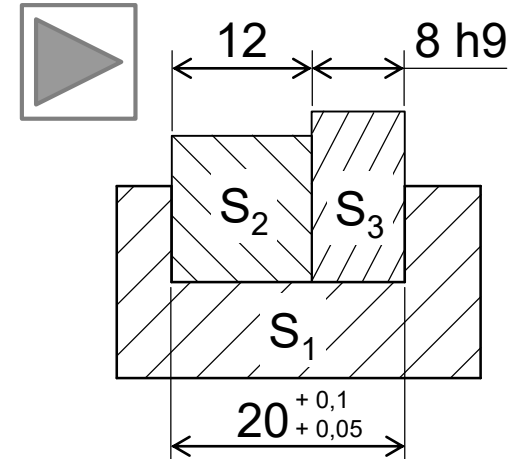
Maxi matière

Chaîne de cotes (2/2)

- Exercice d'application**



Soit l'assemblage ci-contre, selon ISO 2768-m.
De quel type d'ajustement s'agit-il (avec jeu / incertain / avec serrage) ? Donner les valeurs extrêmes de jeu et/ou de serrage.



Tolérances et coût de fabrication

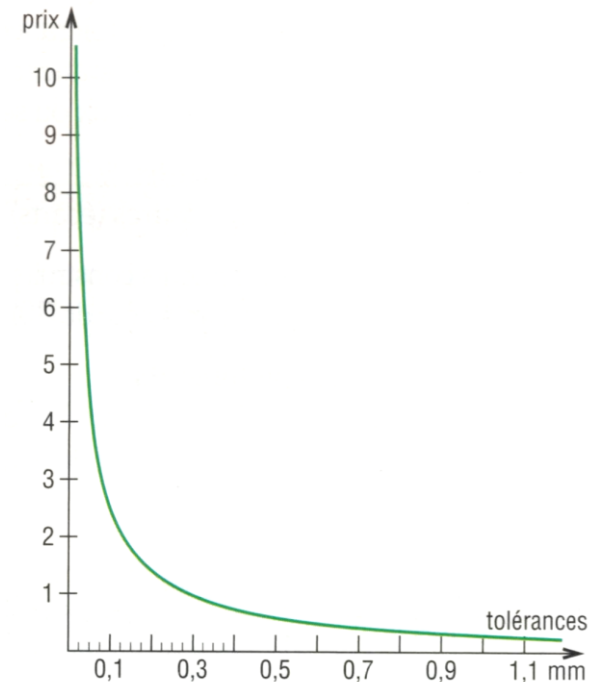
- **Plan de fabrication = contrat**

Le donneur d'ordre peut refuser la réception (et le paiement) d'une pièce si une ou plusieurs exigences ne sont pas satisfaites.

- **Coût de fabrication**

- Chaque tolérance a un coût
- Coût proportionnel au niveau de précision demandé
 - ISO 2768-m → coût faible
 - ISO 2768-f → coût modéré
 - $IT < 8 \rightarrow$ coût \uparrow exponentiellement

*Règle d'or en construction mécanique =
spécifier le strict nécessaire*



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

Des questions ?



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 286-1	Spécification géométrique des produits (GPS) – Système de codification ISO pour les tolérances sur les tailles linéaires – Partie 1: Base des tolérances, écarts et ajustements
ISO 286-2	Spécification géométrique des produits (GPS) – Système de codification ISO pour les tolérances sur les tailles linéaires – Partie 2: Tableaux des classes de tolérance normalisées et des écarts limites des alésages et des arbres
ISO 2768-1	Tolérances générales – Partie 1: Tolérances pour dimensions linéaires et angulaires non affectées de tolérances individuelles
ISO 13715	Dessins techniques — Arêtes de forme non définie — Vocabulaire et indications sur les dessins
ISO 14405-1	Spécification géométrique de produits (GPS) – Tolérancement dimensionnel – Partie 1 : Tailles linéaires
ISO 14405-2	Spécification géométrique de produits (GPS) – Tolérancement dimensionnel – Partie 2 : Dimensions autres que tailles linéaires ou angulaires
ISO 14405-3	Spécification géométrique de produits (GPS) – Tolérancement dimensionnel – Partie 3 : Tailles angulaires
ISO 80000-3	Grandeurs et unités - Partie 3: Espace et temps