

Résumé Semaine 9

Systemes mécaniques I, Tolérancement dimensionnel II

Dr. S. Soubielle

S. Soubielle

1

Résumé semaine 9

ME-101 / ME-106 – Construction Mécanique I

Systemes mécaniques I

• Documentation d'assemblage

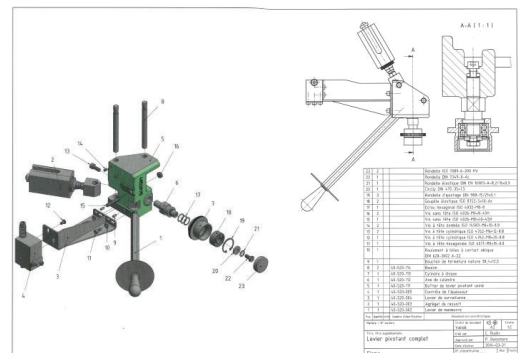
- Plan d'ensemble + nomenclature
- (Procédure d'assemblage)

• Fonctions de services

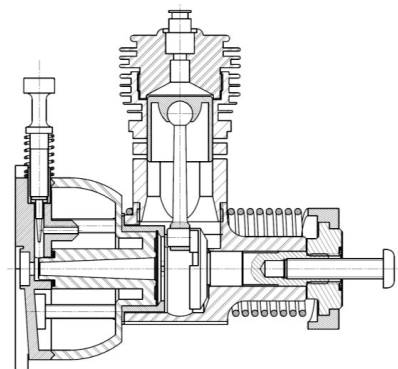
- Fonction(s) principale(s)
et fonction(s) contrainte(s)
- Exprimées au niveau
du système mécanique

• Fonctions techniques

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



Extrait de Normes 2022, pp. 558-559



S. Soubielle

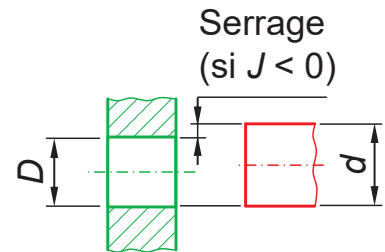
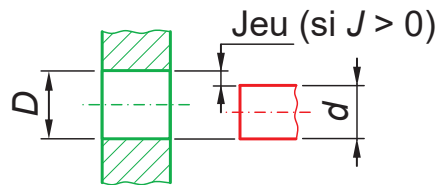
2

Tolérancement dimensionnel II

• Définition du jeu d'assemblage

– Pièces réelles

$$\rightarrow J = D - d$$

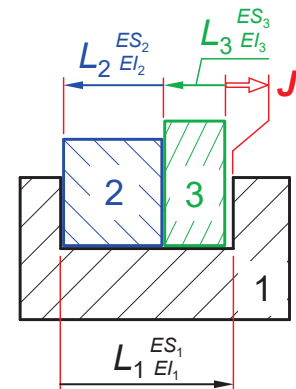


– Plans de fabrication $\rightarrow J_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$ & $J_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$

$\rightarrow$ Ajustement avec jeu si J est toujours > 0 ,

$\rightarrow$ Ajustement serré si J est toujours < 0 ,

$\rightarrow$ Ajustement incertain si $J_{\min} < 0$ et $J_{\max} > 0$



• Chaîne de cotes

– Calcul du jeu si nb de pièces > 2

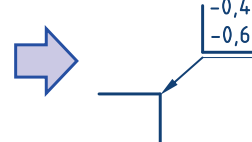
– Calcul linéaire et uiaxial

Chanfreins et congés par défaut

• Chanfrein par défaut

Arêtes vives (90°) sont coupantes

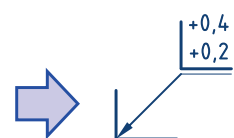
$\rightarrow$ Systématiquement chanfreinées à 45°
(chanfrein « par défaut », $L < 1$ mm)



• Rayon de congé par défaut

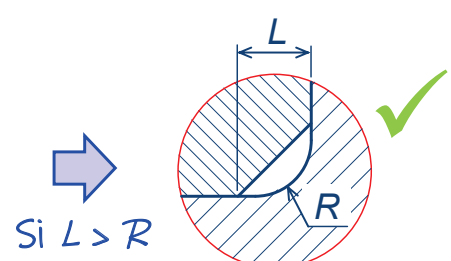
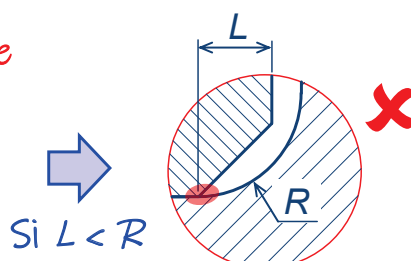
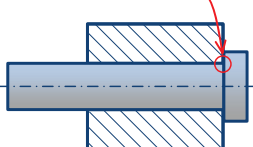
Rayon d'outil en usinage ($0,2 < R < 0,8$)

$\rightarrow$ Rayon de congé sur arêtes rentrantes



• Règle de non-interférence

Inspectons cette zone



Quiz TurningPoint (me101)

A large grid of graph paper, consisting of 20 columns and 40 rows of small squares, intended for taking notes during the quiz.

Notes personnelles

A large grid of graph paper, consisting of 20 columns and 40 rows of small squares, intended for taking notes.

Tolérancement dimensionnel III

Fonctions d'assemblage,
Comportement des matériaux solides,
Système ISO de tolérances,
Mesurage des dimensions réelles

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... **Nous intéresser au caractère de l'ajustement...**

... Corrélation avec la dimension nominale & limitations physiques

... **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

... **Passer en revue les outils de mesure usuels**

... Leurs précisions respectives et la manière de les utiliser

Fonctions d'assemblage et tolérances (1/4)

• Retour sur l'exemple du micro-moteur

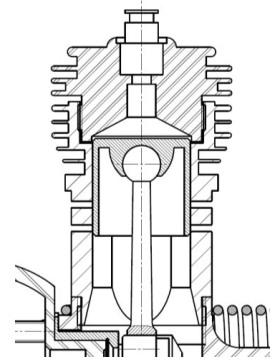
- Guidage précis et étanche (**piston-cylindre**)

$$\rightarrow 5 < J < 15-20 \mu\text{m}$$

- Assemblé sous pression (**bougie-culasse**)

$$\rightarrow -15 \mu\text{m} < J < -5 \mu\text{m}$$

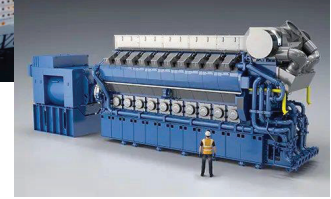
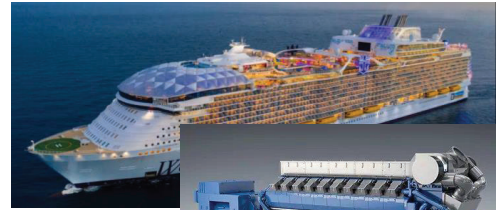
• $J_{\min}$, $J_{\max}$, et dimensions nominales



Cox 0,49 Babe Bee ®



MAN D2676 ®



Wärtsilä 16V46D

Fonctions d'assemblage et tolérances (2/4)

• Caractéristiques techniques des moteurs considérés

- Cylindrée

0,5 cm³

12,4 L

1542 L

- Puissance

40 W

316 kW

20'000 kW

- Ø piston

10 mm

126 mm

460 mm

• $J_{\min}$, $J_{\max}$, et dimensions nominales (suite)

Influence des dilatations thermiques sur le dia. du piston ?

Acier & $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ $\Delta\varnothing \approx 1 \mu\text{m}$ $\Delta\varnothing \approx 15 \mu\text{m}$ $\Delta\varnothing \approx 55 \mu\text{m}$ 

Cox 0,49 Babe Bee ®



MAN D2676 ®



Wärtsilä 16V46D

Fonctions d'assemblage et tolérances (3/4)

• $J_{\min}$, $J_{\max}$, et coût de fabrication

– Supposons que D et d ont la même valeur nominale

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

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

$$\rightarrow J_{\max} - J_{\min} = (ES - ei) - (EI - es) = (ES - EI) + (es - ei)$$

– La largeur de la plage de J impose la largeur des intervalles de tolérances sur les pièces

$$\text{P.ex. } 0 < J < 15\text{-}20 \text{ } \mu\text{m} \rightarrow ES - EI \approx es - ei \approx 7,5\text{-}10 \text{ } \mu\text{m} \text{ sur } d \text{ et } D$$

– Cours « Tol. Dim. I » $\rightarrow$ précision de $\pm 5 \text{ } \mu\text{m}$...

... plus difficile à atteindre / coûte plus cher ... si dim. nominale $\nearrow$

Fonctions d'assemblage et tolérances (4/4)

• $J_{\min}$, $J_{\max}$, et caractère de l'ajustement

– Interface piston / cylindre

- Guidage précis $\rightarrow$ Pour conserver le même « niveau de précision » on adapte $J_{\min}$ et $J_{\max}$ aux dimensions nominales

$$\text{P.ex. } 0,1 < J < 0,2 \text{ mm si } D = 126$$

$$0,4 < J < 0,8 \text{ mm si } D = 460$$

- Interface étanche $\rightarrow$ Il faudrait conserver $0 < J < 15\text{-}20 \text{ } \mu\text{m}$ quelles que soient les dim. du piston



Étanchéité obtenue
par des « segments »

– Interface bougie / culasse

- Assemblage sous pression / indémontable $\rightarrow J_{\min} = ? / J_{\max} = ?$

Comportement mécanique des matériaux

• Caractérisé par l'essai de traction

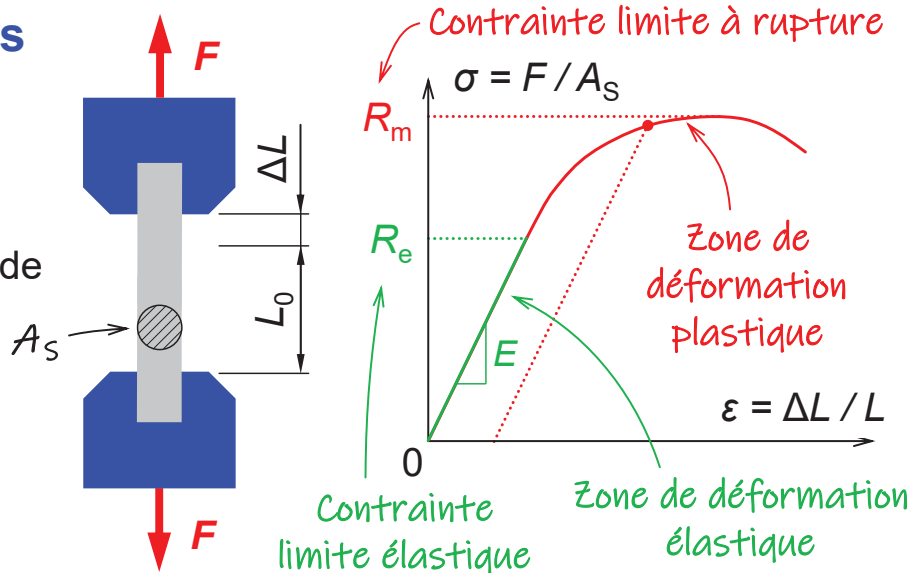
- Relie l'allongement du matériau à la force résistante qu'il exerce
- Utilisation d'une machine de traction et d'une éprouvette d'essai

• 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 $> \delta_0$
- Variation de masse du solide S $\rightarrow$ pas d'effet sur la valeur de δ_0
- Application d'un lubrifiant au contact $\rightarrow \delta_0$ plus petit
- Si mouvement initial $\rightarrow$ angle limite $\delta (< \delta_0)$

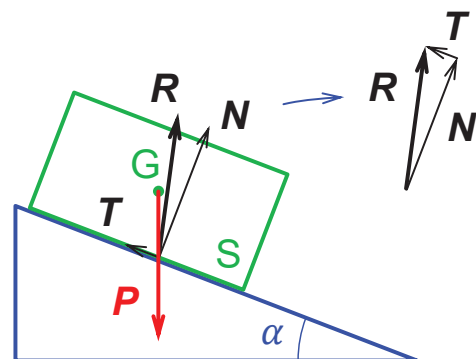
• Modélisation du contact

- Si pas de mouvement relatif

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

- Si mvt relatif (et vitesse $\nearrow$)

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



Contact frottant et lois de Coulomb (2/2)

• Lois de Coulomb

- **Sans mouvement relatif** $\rightarrow T_{\max} = \tan(\delta_0) \cdot N = \mu_0 \cdot N$
 Avec δ_0 : Angle d'« adhérence » (ou de « frottement statique »)
 μ_0 : Coef. d'« adhérence » (ou de « frottement statique »)
- **Avec mouvement relatif** $\rightarrow T = \tan(\delta) \cdot N = \mu \cdot N$
 Avec δ : Angle de « glissement » (ou de « frott. dynamique »)
 μ : Coef. de « glissement » (ou de « frott. dynamique »)

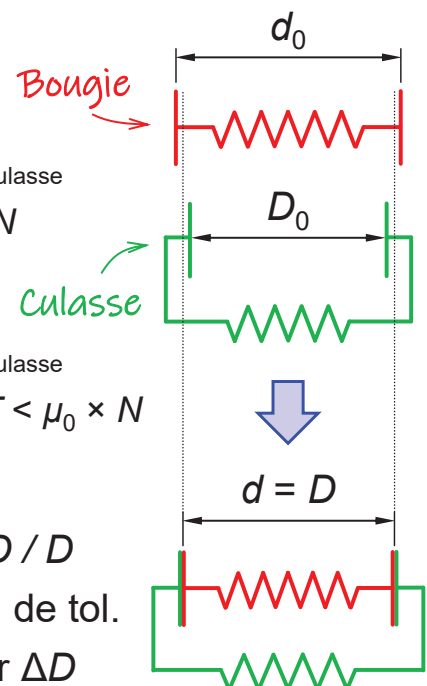
• Commentaires à propos des lois de Coulomb

- **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.)

Retour sur le micro-moteur

• Ajustement serré bougie-culasse

- **Étape 1 : assemblage des pièces**
 - $J < 0 \rightarrow \varepsilon_{\text{bougie}} \& \varepsilon_{\text{culasse}} \rightarrow N_{\text{bougie / culasse}}$
 - Mvt relatif bougie / culasse $\rightarrow T = \mu \times N$
- **Étape 2 : fonctionnement du moteur**
 - $J < 0 \rightarrow \varepsilon_{\text{bougie}} \& \varepsilon_{\text{culasse}} \rightarrow N_{\text{bougie / culasse}}$
 - On veut Ø mvt bougie / culasse $\rightarrow$ Il faut $T < \mu_0 \times N$



• Forces de contact et dimensions

- $T_{\max}$ en contact statique dépend de $\varepsilon = \Delta D / D$
- ΔD dépend de $J (< 0)$, qui dépend des int. de tol.
- $\rightarrow$ Selon le diamètre du piston, il faut adapter ΔD pour conserver le même niveau de serrage

Taille nominale en mm		Ecartes limites supérieurs et inférieurs (valeurs en µm; 1 µm = 0,001 mm = 1 micromètre)																							
supérieure à	inférieure ou égale à	D10	E9	F7	F8	G7	G9	H6	H7	H8	H9	H11	H12	H13	J57	J59	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 - 62
65	80																								
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																								
120	140	+ 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 - 2							

Taille nominale en mm		Ecartes limites supérieurs et inférieurs (valeurs en µm; 1 µm = 0,001 mm = 1 micromètre)																							
supérieure à	inférieure ou égale à	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 + 43	+ 72 + 59	+ 83 + 59
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 + 108	+ 190 + 190	+ 210 + 190
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 + 150	+ 226 + 244	+ 247 + 265
355	400																								

Système ISO de tolérances (4/4)



Intervalle de tolérances ISO

Trouver ES et EI (exprimer les valeurs en μm)

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

$$\rightarrow EI =$$

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

$$\rightarrow EI =$$

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

$$\rightarrow EI =$$

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

$$\rightarrow EI =$$

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

$$\rightarrow EI =$$

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

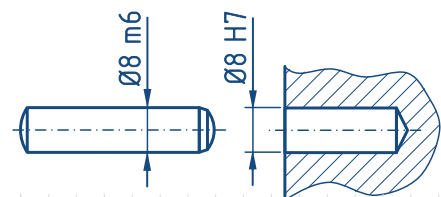
$$\rightarrow EI =$$



Ajustement ISO

Calculer le jeu min. et le jeu max.

En déduire le caractère de l'ajustement



Ajustements ISO usuels (1/2)

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

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

© Extrait de Normes 2022, p. 137, Tableau 137/1

Ajustements ISO usuels (2/2)

- **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 à arbre normal**

Ajustement	h9 Alésage	h6	Caractère de l'ajustement	Exemples d'utilisation
Jeu	H11		Très souvent grand jeu	Pièces s'emboîtant facilement
	D10		Très grand jeu	Clavetage libre avec clavette inclinée
	E9		Grand jeu	Raccordement emboîté, logement 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)
Incertain		H7		Accouplement glissant
	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
Serrage		P9	Ajustage éventuellement nécessaire	Clavetage serré (arbre et moyeu)
		P7	Assemblé au moyen de presses ou fretté	Transmission de petits couples sans sécurité anti-torsion supplémentaire
		S7	Emmanchement par frettage	Transmission de couples plus importants

© Extrait de Normes 2022, p. 137, Tableau 137/2

Mesurage des dimensions réelles (1/2)

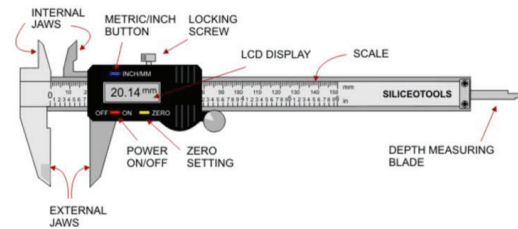
• Mesurage des cotes linéaires

– Règlette graduée ($\pm 0,5$ mm)



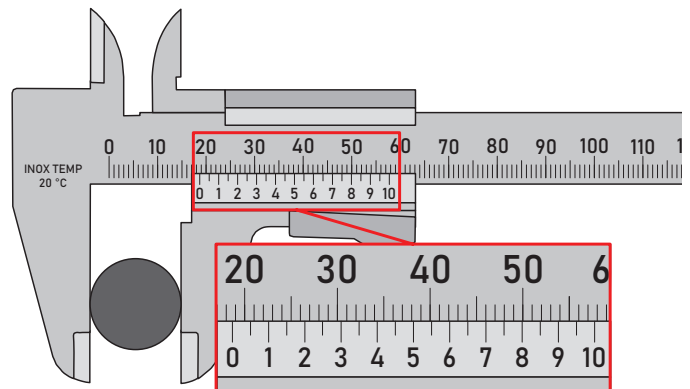
– Pied à coulisse ($\pm 0,05$ mm)

- Dimensions extérieures (y.c. $\varnothing$)
- Dimensions intérieures (y.c. $\varnothing$)
- Profondeur



Exercice d'application

On souhaite mesurer le diamètre d'une barre cylindrique au pied à coulisse. Quelle est la valeur mesurée ?



Mesurage des dimensions réelles (2/2)

• Contrôle des cotes linéaires (suite)

– Micromètre ($\pm 0,002$ mm)

D'extérieur (dimensions extérieures, y.c. $\varnothing$)



Micromètre d'extérieur Vogel®

D'intérieur (y.c. alésages)



Micromètre d'intérieur (alésages) Mitutoyo®

De profondeur



Micromètre de profondeur Tesa®

• Contrôle des cotes angulaires

Rapporteur d'angle ($\pm 2'$ / $\pm 0,03^\circ$)



Rapporteur d'angle Tesa®

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 13715	Dessins techniques — Arêtes de forme non définie — Vocabulaire et indications sur les dessins
ISO 80000-3	Grandeurs et unités - Partie 3: Espace et temps

Notes personnelles

