

Résumé Semaine 6

Tolérancement dimensionnel III, Assemblages boulonnés I

Dr. S. Soubielle

S. Soubielle

1

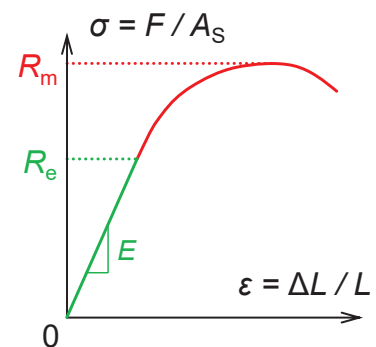
Résumé semaine 6

ME-105 – Introduction à la Conception Mécanique

Comportement mécanique des solides

• Loi de déformation des matériaux

- Caractérisée par essai de traction
- Matériaux usuels en constr. méca.
→ comportement **élasto-plastique**
- Domaine élastique → $\sigma = E \cdot \varepsilon$



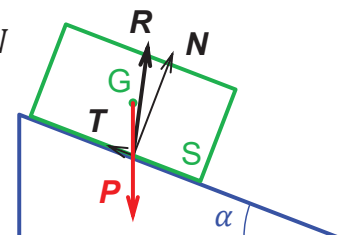
• Contact frottant entre solides

– Défini par les lois de Coulomb

- Si pas de mvt → $T_{\max} = \tan(\delta_0) \cdot N = \mu_0 \cdot N$
- Si glissement → $T = \tan(\delta) \cdot N = \mu \cdot N$

– Caractérise le frottement sec

- Valable si pas de phénomènes visqueux
- Largement utilisé en construction méca. pour prédire les forces



S. Soubielle

2

Fonctions d'assemblage et tolérances

• Fonctions d'assemblage

Il faut adapter J_{\min} et J_{\max} aux dim. nominales

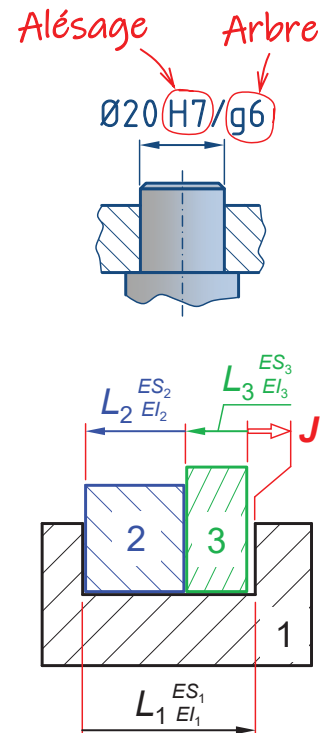
→ Il faut adapter ES et EI aux dim. nominales

• Système ISO de tolérances

- Ajustement ISO → même comportement quelle que soit la dim. nominale de l'interface
- Écriture codifiée des int. de tolérance
- Ajustements ISO à alésage normal (ou à arbre normal) à privilégier

• Chaîne de cotes

- Calcul du jeu si nb de pièces > 2
- Calcul linéaire et uniaxial



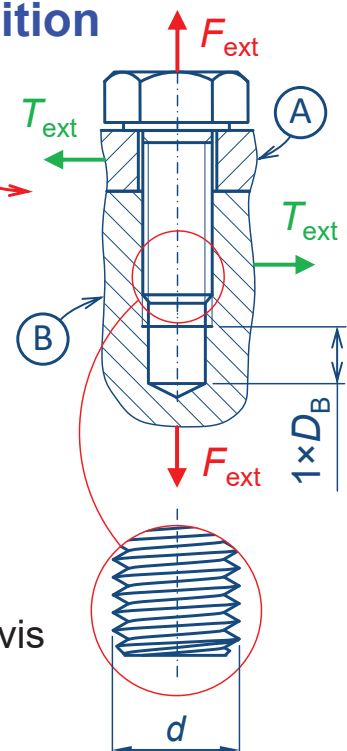
Assemblages boulonnés I

• Fonction du filetage = maintien en position

- Serrage → force d'appui N
 - Filetage hélicoïdal « autobloquant »
 - Contraintes → Traction dans la vis
→ Compression dans les pièces
- Valable si F_{ext} (axiale) ou T_{ext} (transverse)

• Filetage normalisé métrique

- Profil de dent triangulaire
- La valeur du pas dépend du diamètre nominal
- Diamètre nominal de filetage → mesuré sur la vis
- Limitations dues à l'usinage



Notes personnelles

Notes personnelles

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

Assemblages boulonnés II

Règles de conception,
visserie normalisée,
trous de passage

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... Définir les règles de conception d'un assemblage boulonné

- ... Profondeur de filet en prise
- ... Rigidité de la vis et protection contre le desserrage
- ... Dimensions du trou de passage
- ... Résistance mécanique de la vis

... Présenter la visserie normalisée usuelle

- ... Principales références de vis à serrage par clé
- ... Visserie à serrage manuel (revue succincte)

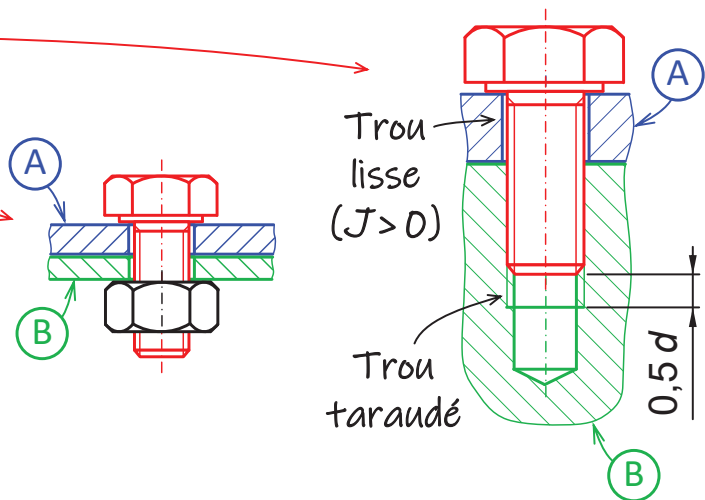
Architecture de boulonnage

1. Vis + taraudage

→ À privilégier

2. Vis + écrou

→ Si taraudage impossible dans la 2^{ème} pièce



Profondeur d'implantation L_i

• Force de traction F sur la vis

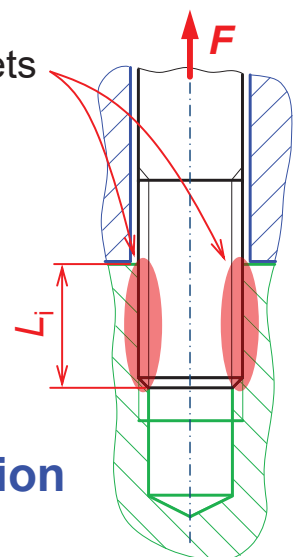
→ Contraintes (contact + cisaillement) dans les filets

• L_i = profondeur de filetage en prise

- Si L_i trop faible → risque d'arrachage des filets
- $(L_i)_{\min}$ dépend du matériau le plus faible (filetage extérieur ou filetage intérieur)

• Valeurs de L_i à utiliser pour la construction

- Aciers → $L_i = 1,5 \times d$
- Fontes et alliages légers → $L_i = 2 \times d$



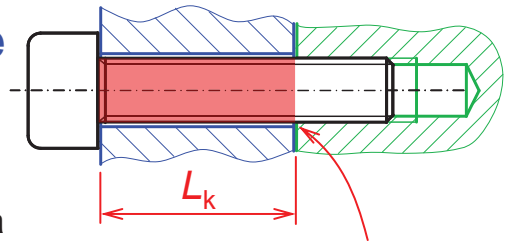
Sécurisation des assemblages boulonnés

• Protection contre le desserrage

1. Si F_{ext} variable et/ou vibratoire
→ Il faut « assouplir » la vis

L_k = distance entre la face d'appui de la tête de vis et le premier filet en prise

$$\rightarrow \Delta F = k_{\text{vis}} \cdot \Delta L \quad \text{avec} \quad k_{\text{vis}} = \frac{E \cdot A_s}{L_k} \quad [\text{N/mm}]$$



$$\frac{\Delta F}{A_s} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_k}$$

2. Emploi d'une rondelle-frein ↓



3. Collage au frein-filet (Loctite ®)

• Protection contre le matage sous la tête de vis

→ Par l'emploi d'une rondelle plate



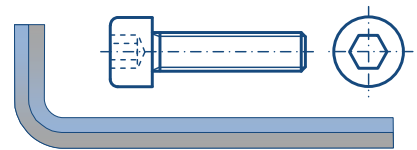
S. Soubielle

5

Vis normalisées principales

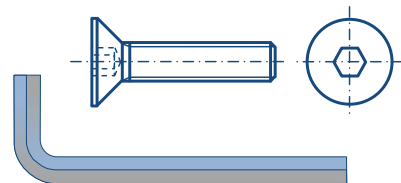
• Vis à tête cylindrique et six pans creux – ISO 4762

- Partiellement ou entièrement filetée
- Serrage → clé Allen (« inbus » en CH)



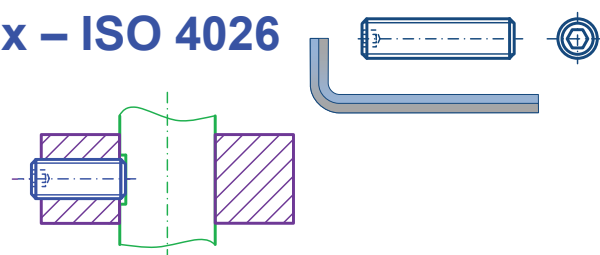
• Vis à tête conique 6 pc – ISO 10642

- Entièrement filetée uniquement
- Embase conique → fonction de centrage
- Serrage → clé Allen (« inbus » en CH)



• Vis sans tête six pans creux – ISO 4026

- Vis de pression
- Empreinte / clé de petite taille



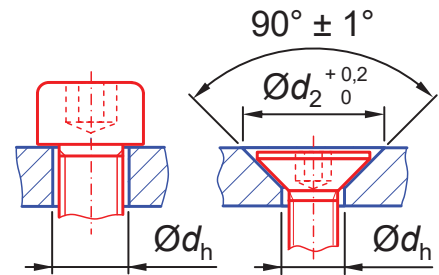
S. Soubielle

6

Trous de passage & fraisure

• Diamètre du trou lisse

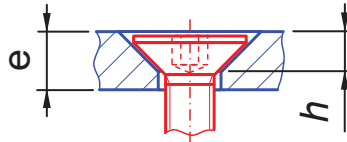
- Il faut du jeu radial ($J > 0$) avec la vis
→ $\varnothing d_h$ (norme ISO 273)
- Si besoin de plus de précision
→ Vis à tête conique



• Dimensions de la fraisure, si vis à tête conique 6pc

La tête de vis doit être noyée

- $\varnothing d_2$ (norme DIN 74)
- Toujours garder $e > h$

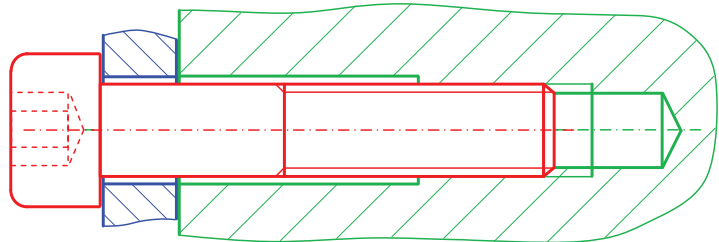


Diamètre de filetage d	d_h H13	d_2
1,6	1,8	-
2	2,4	4,9
2,5	2,9	6,1
3	3,4	7
4	4,5	9,2
5	5,5	11,5
6	6,6	13,7
8	9	18,3
10	11	22,7



Exercice d'application

L'AB ci-contre est représenté à l'échelle 2:1. Il a été réalisé selon les règles du cours, et utilise une vis à pas normal.



1. Quel est le type de vis utilisé (numéro de la norme), et quelles sont ses dimensions (diamètre \times longueur) ?
2. Quel est le matériau de la pièce de droite et de la vis (pièce « B ») ?
3. Quelles natures de sollicitations ext. sont compatibles avec cet AB ?
4. Quel est le dia. du trou de passage selon ISO 273 ? De l'avant-trou ?



Résistance de la vis (1/2)

- Définie par la classe de qualité « XX.Y » (aciers)

- $R_m = 100 \times XX$ [MPa]

- $R_e = 10 \times XX \times Y$ [MPa]

- Classes de qualité usuelles

Classe de qualité	8.8	10.9	12.9
R_e [MPa]	640	900	1080
R_m [Mpa]	800	1000	1200

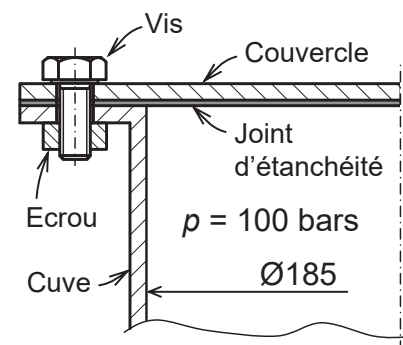


Résistance de la vis (2/2)



Exercice d'application

La cuve ci-contre, fermée par 16 vis M6, est soumise à une pression de 100 bars. Quelle classe de qualité minimum doit-on choisir pour garantir $\sigma < R_e$ (on suppose que les 16 vis reprennent à parts égales la force résultante de pression).



Visserie à serrage manuel

• Quand utiliser de la visserie à serrage manuel ?

- Si on a besoin de démonter / remonter souvent le matériel
- Si on n'a pas besoin de force de serrage élevée

• Design de la visserie à serrage manuel

Vise à permettre un couple de serrage le plus grand possible

- Grande surface de contact et/ou grand dia. d'interface avec la main / les doigts
- Augmentation du « grip » par moletage et/ou forme ergonomique



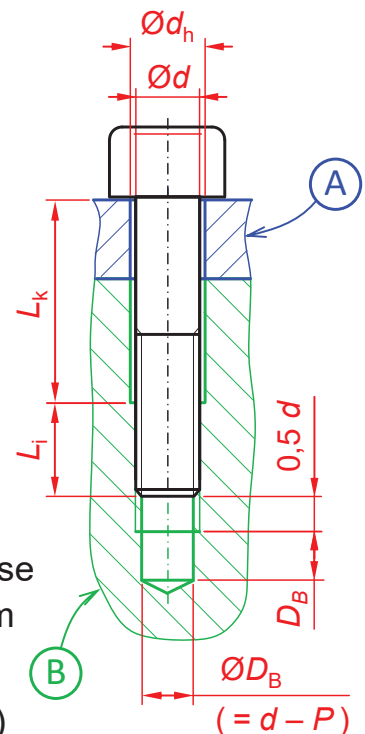
Règles de construction (synthèse)

• Préférer le trou taraudé à l'écrou

- Trou lisse d_h sur la première pièce
- Diamètre de l'avant-trou $D_B = d - P$
- Prof. avant-trou – prof. taraudage $\approx 1 \times D_B$
- Espacement vis / fond de taraudage $\approx 0,5 d$

• Dimensionnement de la vis

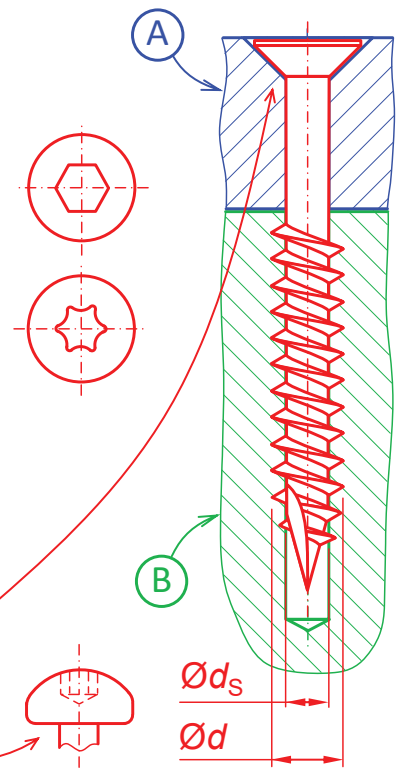
- **Diamètre nominal d et classe de qualité**
 - Dépend de l'intensité des efforts extérieurs
- **Profondeur d'implantation L_i**
 - Détermine la contrainte τ dans les filets en prise
 - $= 1,5 \times d$ si acier / $= 2 \times d$ si fonte ou aluminium
- **Longueur de raideur minimale $(L_k)_{\min}$**
 - Détermine la rigidité de la vis $k_{\text{vis}} (= A_s \cdot E / L_k)$
 - $= 1 \times d$ si F_{ext} constante / $3 \times d$ si F_{ext} variable / $5 \times d$ si F_{ext} vibratoire



Et si vissage dans bois, plastique, tôles ?

- **Principes généraux**

- **Vis auto-taraudeuse**
 - Seul un perçage à d_s (diamètre de tige) est fait dans les pièces à assembler
- **Matériaux mous et peu résistants**
 - Dents hautes pour une meilleure accroche
- **Empreinte de clé**
 - De préférence six-pans creux ou torx



- **Face d'appui vis / pièce « A »**

- **Bois** → Conique (la plupart du temps)
- **Plastique & tôle** → Plate (tête bombée)

Notes personnelles

Notes personnelles

A large grid of graph paper for taking notes, consisting of 20 columns and 30 rows of small squares.

Solutions d'assemblage statique

Interfaces usuelles & Composants mécaniques normalisés

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... Caractériser le besoin d'assemblage statique

- ... Pourquoi assembler en liaison totale des pièces entre elles ?
- ... Quels types d'interfaces sont les plus couramment utilisées ?

... Définir les composants standardisés usuels

- ... Goupilles cylindriques et goupilles élastiques
- ... Clavettes
- ... Anneaux élastiques et segments d'arrêt

... Pour chaque type de composant, nous préciserons

- ... Les variantes et caractéristiques
- ... Les fonctions techniques et règles d'intégration
- ... Les dimensions normales (selon les normes)

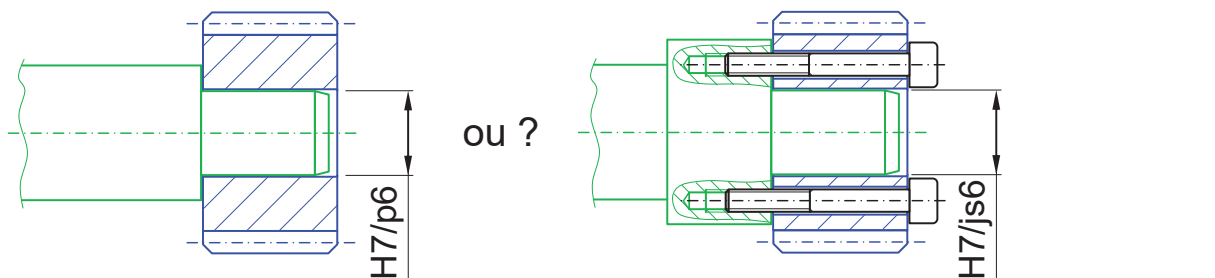
Assemblage statique : pour quoi faire ?

• Fabrication

- Pour permettre la fabrication (si impossible en une seule pièce)
- Pour réduire les coûts
- Si besoin de matériaux différents

• Exigences à l'assemblage

- Niveau de précision de positionnement entre pièces ?
- Intensité des efforts qui transitent ?



Assemblage statique : solutions usuelles

• Interfaces usuelles d'assemblage (rappel)

- Plan / plan
- Cylindre / cylindre

• Combinaisons usuelles d'interfaces

– Plan / plan + cylindre / cylindre

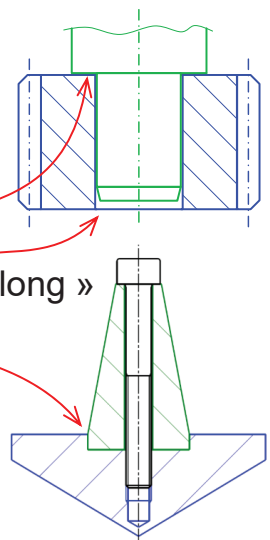
- Apparition d'un « épaulement » sur l'arbre
- Obtention d'un « centrage court » ou d'un « centrage long »

– Liaison totale

Les derniers DDL sont bloqués par obstacle et/ou par frottement statique

• Utilisation de composants standardisés

→ Goupilles, clavettes, anneaux élastiques, segments d'arrêt



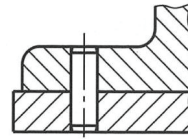
Goupilles (1/3)



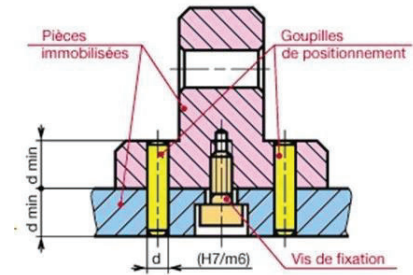
Fonctions techniques

Mise en position plan sur plan

- Ajustement incertain sur le support / avec jeu sur la 2^{ème} pièce
- En général combiné à un AB

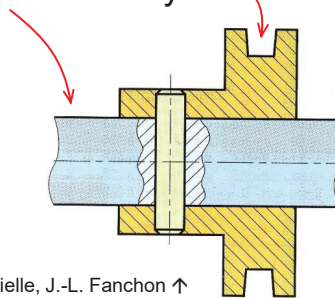


© Extrait de Normes 2022, p. 306, fig. 306/4



Liaison totale arbre-moyeu (avec maintien en position)

- La goupille traverse l'arbre et le moyeu (par ex. radialement)
- Ajustement incertain ou serré sur les 2 pièces (dépend de l'intensité des efforts extérieurs)



© Guide des sciences et technologies industrielle, J.-L. Fanchon ↑

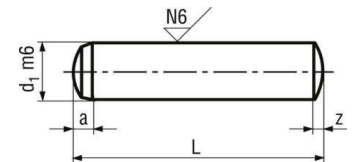


Goupilles (2/3)



Goupille cylindrique ISO 8734

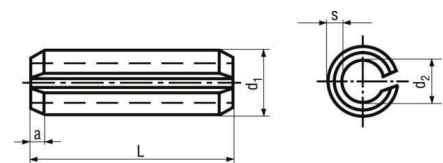
- Acier haute résistance trempé + rectifié
- Finition sur le $\varnothing \rightarrow$ h6 ou m6 / Ra 0,8
- Tolérances de montage (pour métaux, avec Ra 1,6 dans le trou)



	h6	m6
Avec jeu	H7	F7
Incertain	JS7, N7	H7
Serré	P7	JS7

Goupille élastique à fente droite

- Chassée (à la presse) dans l'alésage
- Type d'exécution
 - Faibles charges \rightarrow « légère » ISO 13337
 - Fortes charges \rightarrow « lourde » ISO 8752
- Tolérances de montage : H12 / Ra 6,3



Goupilles (3/3)



- **Dimensions normales (en mm) →**

- **Longueurs normales L (en mm) ↓**

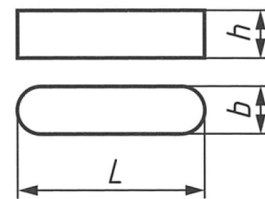
4, 5, 6, 8, 10,
12, 14, 16, 18,
20, 22, 24, 26,
28, 30, 32, 35,
40, 45, 50, 55,
60, 65, 70, 75,
80, 85, 90, 95,
100, 120, 140,
160, 180, 200

Diamètre nominal d	Longueur L		
	ISO 8734	ISO 13337	ISO 8752
1	3 ... 10	-	4 ... 20
1,2		-	-
1,5	4 ... 16	-	4 ... 20
2	5 ... 20	4 ... 30	4 ... 30
2,5	6 ... 24	4 ... 30	4 ... 30
3	8 ... 30	4 ... 40	4 ... 40
3,5	-	4 ... 40	4 ... 40
4	10 ... 40	4 ... 50	4 ... 40
4,5	-	6 ... 50	5 ... 50
5	12 ... 50	6 ... 80	5 ... 80
6	14 ... 60	10 ... 100	10 ... 100
8	16 ... 80	10 ... 120	10 ... 120
10	22 ... 100	10 ... 160	10 ... 160

Clavettes parallèles DIN 6885-A (1/4)

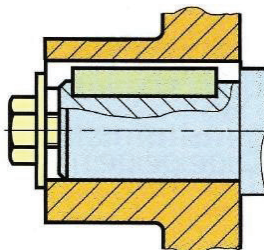
- **Forme de base**

Dimensions $b \times h \times L$

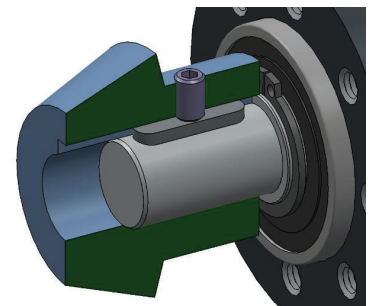


- **Fonction technique**

= transmission de couple

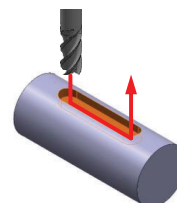


© Guide des Sciences et Technologies Industrielles, J.-L. Fanchon



- **Interfaces dans l'arbre et le moyeu**

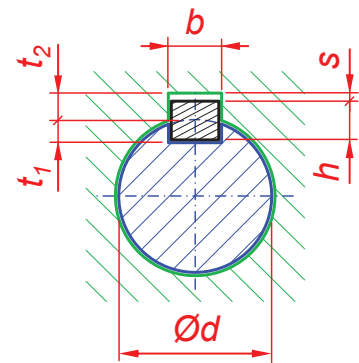
- Rainure oblongue dans l'arbre (fraisage)
- Rainure débouchante dans l'alésage



Clavettes parallèles DIN 6885-A (2/4)

• Dimensions de la clavette, du logement, et de la rainure

Diamètre de l'arbre		Clavette		Plage de longueurs	Profondeur de la rainure			
au-dessus de	jusqu'à	b	h	L	Arbre		Moyeu	
					$t_1^{(2)}$	Ecart	$t_2^{(2)}$	Ecart
6	8	2 h9	2 h9	6 ... 20	1,2	+0,1 0	1	+0,1 0
8	10	3 h9	3 h9	6 ... 36	1,8		1,4	
10	12	4 h9	4 h9	8 ... 45	2,5		1,8	
12	17	5 h9	5 h9	10 ... 56	3		2,3	
17	22	6 h9	6 h9	14 ... 70	3,5		2,8	
22	30	8 h9	7 h11	18 ... 90	4		3,3	
30	38	10 h9	8 h9	22 ... 110	5		3,3	
38	44	12 h9	8 h9	28 ... 140	5		3,3	
44	50	14 h9	9 h11	36 ... 160	5,5		3,8	
50	58	16 h9	10 h11	45 ... 180	6	+0,2 0	4,3	+0,2 0
58	65	18 h9	11 h11	50 ... 200	7		4,4	
65	75	20 h9	12 h11	56 ... 220	7,5		4,9	
75	85	22 h9	14 h11	63 ... 250	9		5,4	
85	95	25 h9	14 h11	70 ... 280	9		5,4	
95	110	28 h9	16 h11	80 ... 320	10		6,4	



← © Extrait de Normes 2022, p. 311, Tableau 311/1, partiel

• Liste des longueurs normales L (en mm)

6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320

Clavettes parallèles DIN 6885-A (3/4)

• Écartes limites dans la longueur →

Longueur de la clavette		6 ... 28	32 ... 80	90 ... 320
Écartes limites	Sur la longueur de la rainure	+ 0,2 0	+ 0,3 0	+ 0,5 0
	Sur la longueur de la clavette	0 - 0,2	0 - 0,3	0 - 0,5

• Tolérances dans la largeur de la rainure →

Type de clavetage		Libre	Léger	Serré
Tolérance	Largeur de la rainure dans l'arbre	H9	N9	P9
	Largeur de la rainure dans le moyeu	D10	JS9	P9

• Quel clavetage choisir ?

– Clavetage libre

Jeu angulaire arbre / moyeu

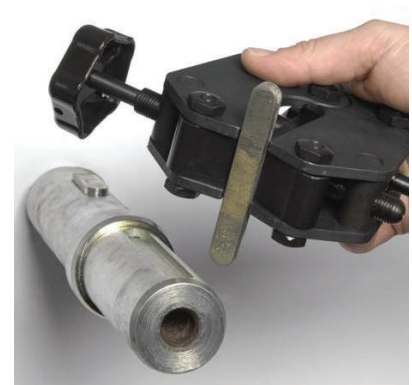
→ Adapté aux faibles charges (sinon... ↑)

– Clavetage serré

→ Adapté aux fortes charges

→ Mais démontage compliqué →→→→→

→ Privilégier forme E (démontage avec vis)



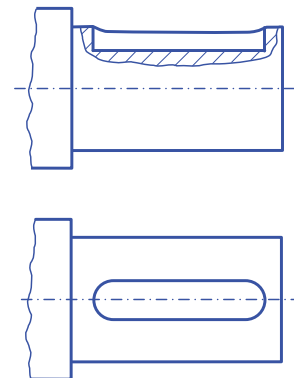
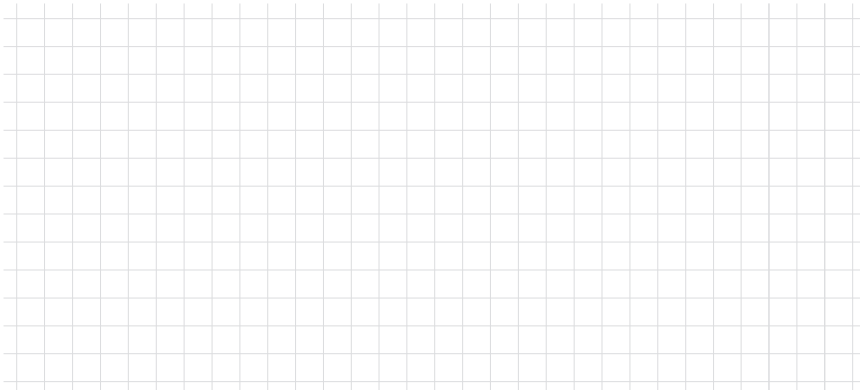
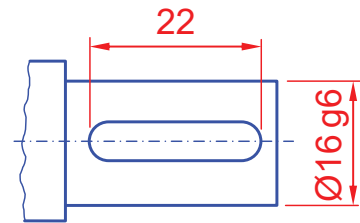
Clavettes parallèles DIN 6885-A (4/4)



Exercice d'application

On considère la portée $\varnothing 16$ g6 d'un arbre de transmission, équipé d'une clavette DIN 6885-A de longueur nominale 22 mm.

Sachant que le clavetage est léger, effectuer la cotation de la rainure de clavette dans l'arbre au moyen des deux vues ci-dessous.



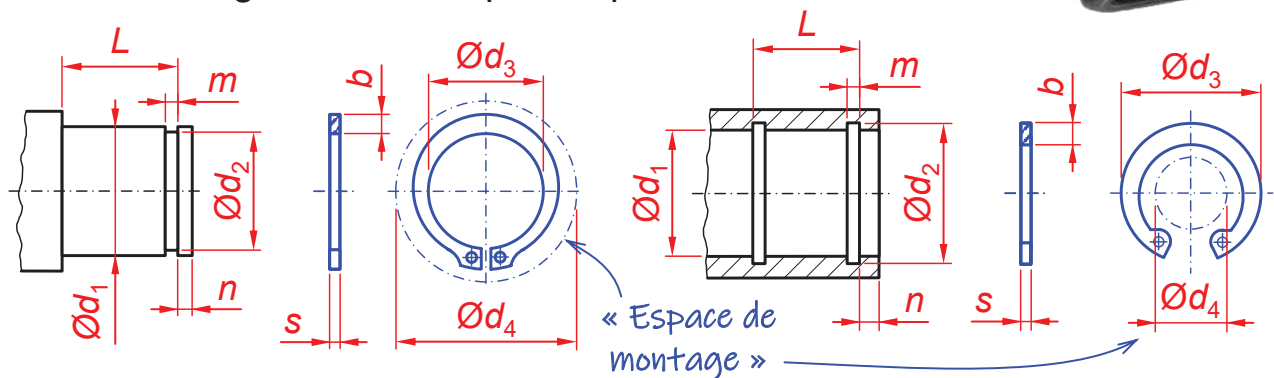
Anneaux élastiques (« circlips ») (1/4)

• Variantes de forme

- Pour arbres – DIN 471
- Pour alésages – DIN 472

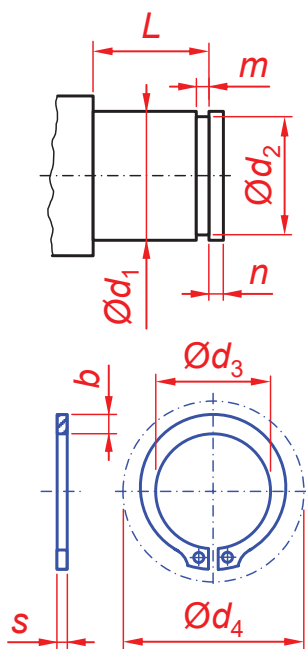
• Fonction technique et montage

- Fonction technique = Arrêt axial
- Montage axial, avec pince spéciale



Anneaux élastiques (« circlips ») (2/4)

Pour arbres
(en mm) →

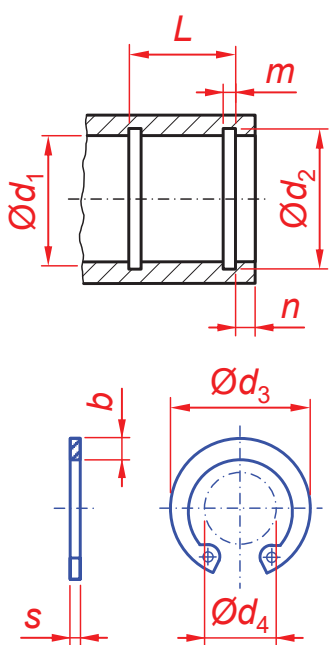


© Extrait de Normes 2022,
Tableau 315/1 →

Cotes nominales			Dimensions du circlip			Dimensions de la rainure			Limite de charge F_N de la rainure kN
Diamètre de l'arbre d_1	Épaisseur du circlip s	Écart admissible	b ≈	d_3	d_4	d_2 Classes de tolérances	$m^2)$ H13	n min.	
12 14 15	1	0 -0,06	1,8 2,1 2,2	11 12,9 13,8	19 21,4 22,6	11,5 13,4 14,3	0 -0,11 (h11)	1,1	1,53 2,15 2,66
16 17			2,2 2,3	14,7 15,7	23,8 25	15,2 16,2		1,2	3,26 3,46
18 20 22	1,2		2,4 2,6 2,8	16,5 18,5 20,5	26,2 28,4 30,8	17 19 21	0 -0,13 (h11)	1,3	4,58 5,06 5,65
25			3	23,2	34,2	23,9	0 -0,21 (h12)	1,7	7,05
28 30	1,5		3,2 3,5	25,9 27,9	37,9 40,5	26,6 28,6		2,1	10 10,73
32 35			3,6 3,9	29,6 32,2	43 46,8	30,3 33		2,6	13,85 17,8
36 40 45	1,75		4 4,4 4,7	33,2 36,5 41,5	47,8 52,6 59,1	34 37,5 42,5	0 -0,25 (h12)	3	18,33
50 55 60	2		5,1 5,4 5,8	45,8 50,8 55,8	64,5 70,2 75,6	47 52 57		3,8	25,3 28,6
65 70	2,5		6,3 6,6	60,8 65,5	81,4 87	62 67	0 -0,3 (h12)	4,5	38 42 46
75 80			7 7,4	70,5 74,5	92,7 98,1	72 76,5		2,65	49,8 53,8
85 90	3		7,8 8,2	79,5 84,5	103,3 108,5	81,5 86,5			57,6 71,6
95 100			8,6 9	89,5 94,5	114,8 120,2	91,5 96,5	0 -0,54 (h13)	5,3	76,2 80,8 85,5 90

Anneaux élastiques (« circlips ») (3/4)

Pour alésages
(en mm) →



© Extrait de Normes 2022,
p. 316, Tableau 316/1 →

Cotes nominales			Dimensions du circlip			Dimensions de la rainure			Limite de charge F_N de la rainure kN
Diamètre d'alésage d_1	Épaisseur du circlip s	Écart. admiss.	b ≈	d_3	d_4	d_2 Classes de tolérances	$m^2)$ H13	n min	
28 30 32	1,2	0 -0,06	2,9 3 3,2	30,1 32,1 34,4	17,9 19,9 20,6	29,4 31,4 33,7	+0,21/0 (H12)	1,3	10,5 11,3 14,6
35 37	1,5		3,4 3,6	37,8 39,8	23,6 25,4	37 39	+0,25 0 (H12)	1,6	18,8 19,8
40 42 45	1,75		3,9 4,1 4,3	43,5 45,5 48,5	27,8 29,6 32	42,5 44,5 47,5		3,8	27 28,4 30,2 31,4
46			4,4	50,5	33,5	49,5			
50 52	2		4,6 4,7	54,2 56,2	36,3 37,9	53 55		2,15	40,5 42
55 60 62			5 5,4 5,5	59,2 64,2 66,2	40,7 44,7 46,7	58 63 65	+0,30 0 (H12)	4,5	44,4 48,3 49,8
65 68	2,5		5,8 6,1	69,2 72,5	49 51,6	68 71		2,65	51,8 54,5
70 72			6,2 6,4	74,5 76,5	53,6 55,6	73 75			56,2 58
75 80	3		6,6 7	79,5 85,5	58,6 62,1	78 83,5		5,3	60 74,6
85 90			7,2 7,6	90,5 95,5	66,9 71,9	88,5 93,5	+0,35 0 (H12)	3,15	79,5 84
95 100			8,1 8,4	100,5 105,5	76,5 80,6	98,5 103,5			88,6 93,1
110 115	4		9 9,3	117 122	88,2 93	114 119	+0,54 0 (H13)	4,15	117 122
120 125			9,7 10	127 132	96,9 101,9	124 129		6	127 132
130 140			10,2 10,7	137 147	106,9 116,5	134 144	+0,63 0 (H13)		138 148
145 150			10,9 11,2	152 158	121 124,8	149 155		7,5	153 191

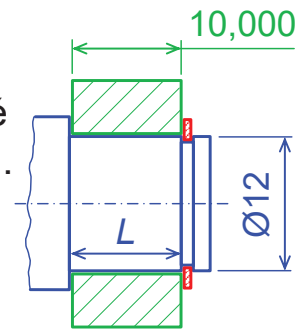
Anneaux élastiques (« circlips ») (4/4)



Exercice d'application

L'anneau ci-contre d'ép. 10,000 mm doit être monté sur un arbre $\varnothing 12$ avec un jeu axial max. de 0,1 mm.

Quelle valeur de cote « L » (valeur nominale + intervalle de tolérance) doit-on spécifier sur le plan de fabrication de l'arbre?

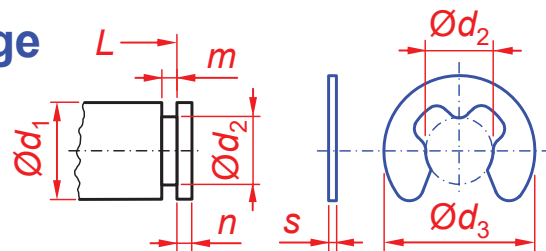


Segment d'arrêt DIN 6799



Fonction technique et montage

- Fonction technique = arrêt axial
- Montage radial (sur arbre), sans besoin de pince spéciale
- Valable dès arbre de $\varnothing 1$



Dimensions normales (en mm) →

Diamètre de l'arbre		Dimensions du segment				Dimensions de la rainure				Limite de charge F_N de la rainure	
de	à	d_2 Cote nominale	d_3 monté	s	d_2 Ecart	m^2 Ecart	n min.	kN	pour d_1		
1	1,4	0,8	2,25	0,2	0,8	0/-0,04 (h11)	0,24	0,4	0,03	1,2	
1,4	2	1,2	3,25	0,3	1,2	0,34	0,6	0,6	0,04	1,5	
2	2,5	1,5	4,25	0,4	1,5	0,44	0,8	0,8	0,07	2	
2,5	3	1,9	4,8	0,5	1,9	-0,06 (h11)	0,54	1	0,1	2,5	
3	4	2,3	6,3	0,6	2,3	0,64	1	1	0,15	3	
4	5	3,2	7,3	0,6	3,2	0,74	1,2	1,2	0,22	4	
5	7	4	9,3	0,7	4	-0,075 (h11)	0,74	1,2	0,25	5	
6	8	5	11,3	0,7	5	0,74	1,2	1,2	0,9	7	
7	9	6	12,3	0,7	6	0,94	1,5	1,1	1,1	8	
8	11	7	14,3	0,9	7	1,05	1,5	1,25	1,25	9	
9	12	8	16,3	1	8	1,15	1,8	1,42	1,42	10	
10	14	9	18,8	1,1	9	-0,09 (h11)	2	1,6	1,6	11	
11	15	10	20,4	1,2	10	1,25	2	1,7	1,7	12	
13	18	12	23,4	1,3	12	1,35	2,5	3,1	3,1	15	
16	24	15	29,4	1,5	15	-0,11 (h11)	3	7	7	20	
20	31	19	37,6	1,75	19	1,8	3,5	10	10	25	
25	38	24	44,6	2	24	2,05	4	13	13	30	
35	42	30	52,6	2,5	30	-0,13 (h11)	4,5	16,5	16,5	36	