

Résumé Semaine 6

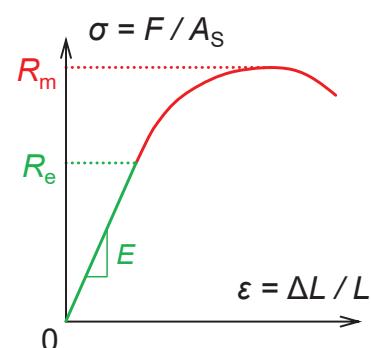
Tolérancement dimensionnel III, Assemblages boulonnés I

Dr. S. Soubielle

Comportement mécanique des solides

• Loi de déformation des matériaux

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



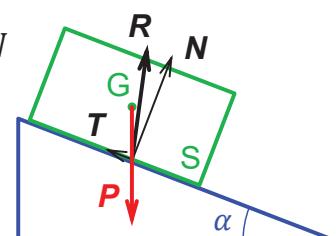
• Contact frottant entre solides

– Défini par les lois de Coulomb

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

– Caractérise le frottement sec

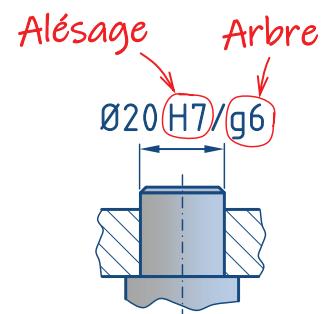
- Valable si pas de phénomènes visqueux
- Largement utilisé en construction méca. pour prédire les forces



Fonctions d'assemblage et tolérances

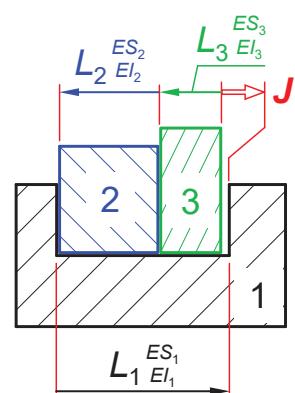
Fonctions d'assemblage

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



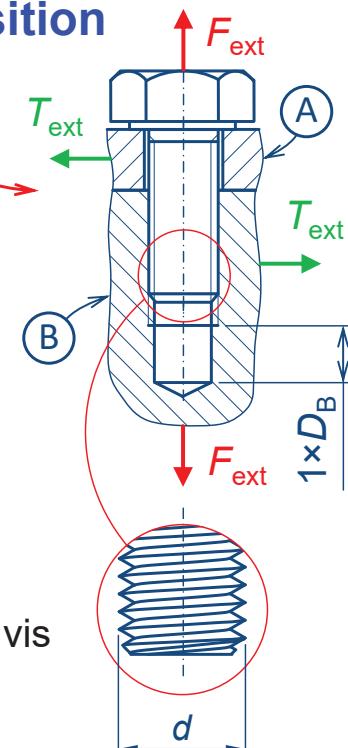
Chaîne de cotes

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

Assemblages boulonnés I

Fonction du filetage = maintien en position

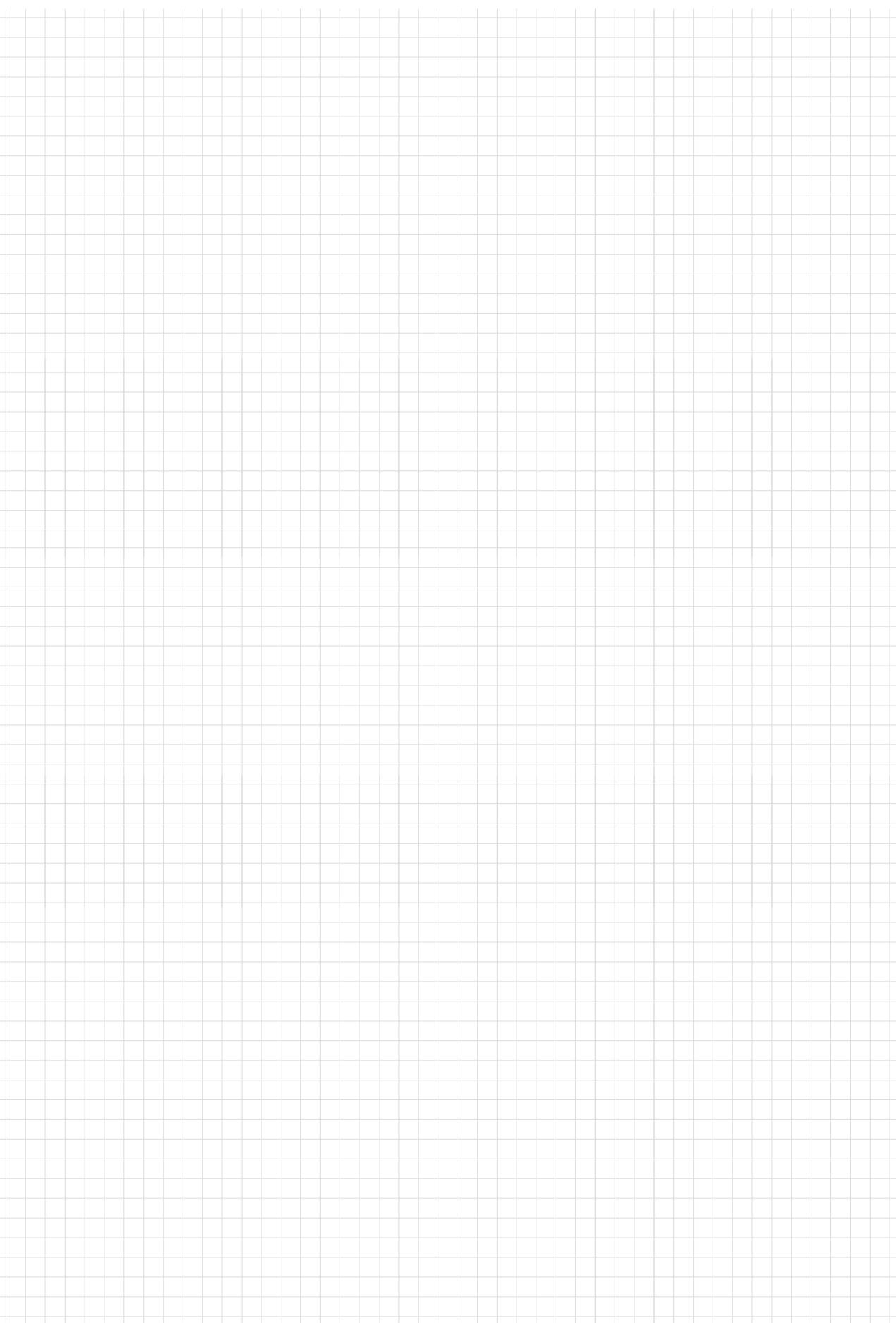
- Serrage → force d'appui N
 - Filetage hélicoïdal « autobloquant »
 - Contraintes → Traction dans la vis
 → Compression dans les pièces
- Valable si F_{ext} (axiale) ou T_{ext} (transverse)



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



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)

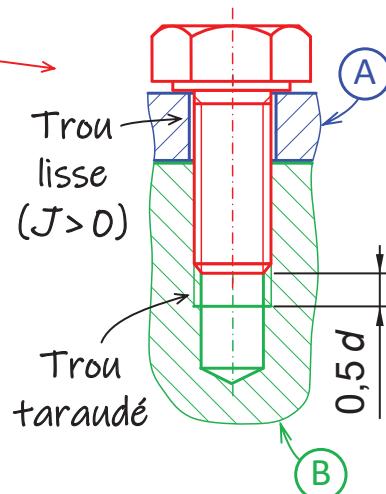
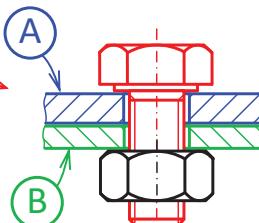
Architecture de boulonnage

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

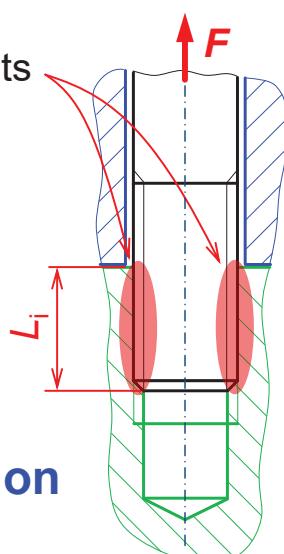
– Si L_i trop faible → risque d'arrachage des filets

– $(L_i)_{\min}$ 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 → $L_i = 2 \times d$



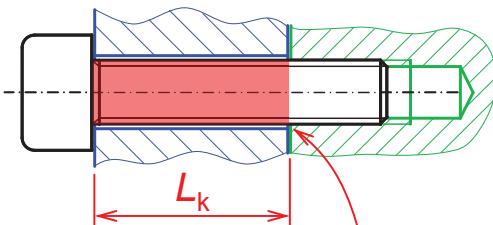
Sécurisation des assemblages boulonnés

• 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

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



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

2. Emploi d'une rondelle-frein ↓



3. Collage au frein-filet (Loctite ®)



5

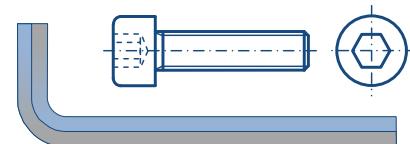
• Protection contre le matage sous la tête de vis

- Par l'emploi d'une rondelle plate

Vis normalisées principales

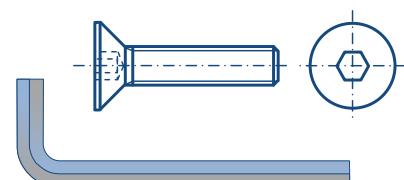
• Vis à tête cylindrique et six pans creux – ISO 4762

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



• Vis à tête conique 6 pc – ISO 10642

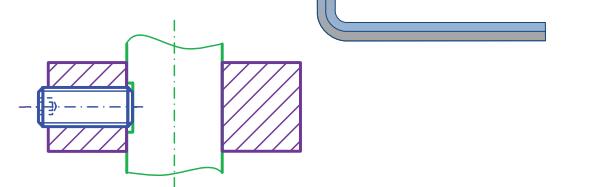
- Entièrement filetée uniquement
- Embase conique → fonction de centrage
- Serrage → clé Allen (« inbus » en CH)



• Vis sans tête six pans creux – ISO 4026

- Vis de pression

⚠ – Empreinte / clé de petite taille



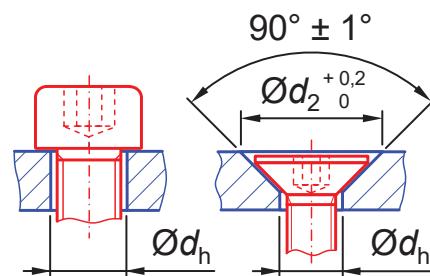
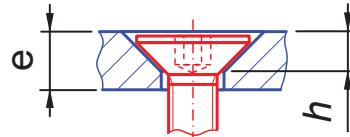
Trous de passage & fraisure

- **Diamètre du trou lisse**
 - Il faut du jeu radial ($J > 0$) avec la vis
→ $\emptyset d_h$ (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

→ $\emptyset d_2$ (norme DIN 74)

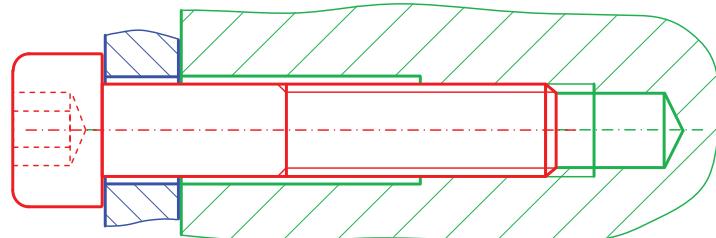
→ Toujours garder $e > h$



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 × 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 » (acières)
- $R_m = 100 \times XX \text{ [MPa]}$
- $R_e = 10 \times XX \times Y \text{ [MPa]}$
- Classes de qualité usuelles

Classe de qualité	8.8	10.9	12.9
$R_e \text{ [MPa]}$	640	900	1080
$R_m \text{ [Mpa]}$	800	1000	1200

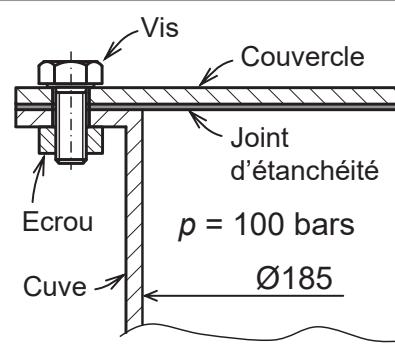


Résistance de la vis (2/2)



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

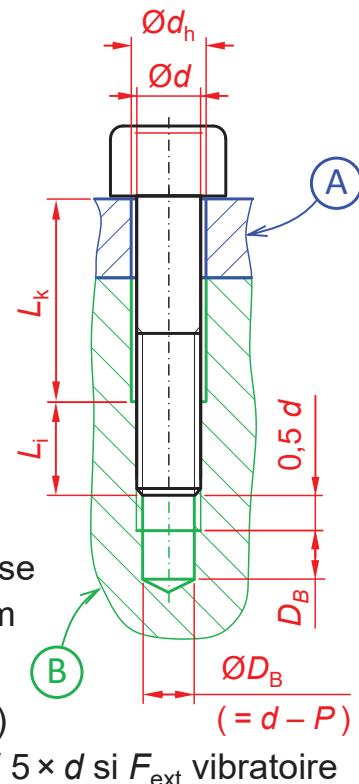
Règles de construction (synthèse)

• 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 $k_{vis} (= A_s \cdot E / L_k)$
 - $= 1 \times d$ 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

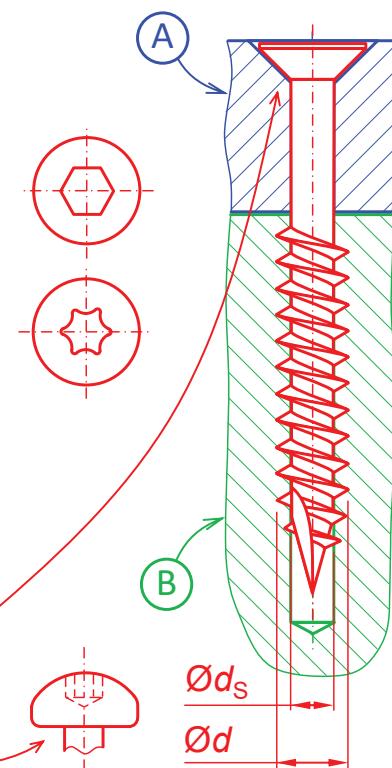
– Empreinte de clé

→ 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



Solutions d'assemblage statique

Interfaces usuelles &
Composants mécaniques normalisés

Dr. S. Soubielle



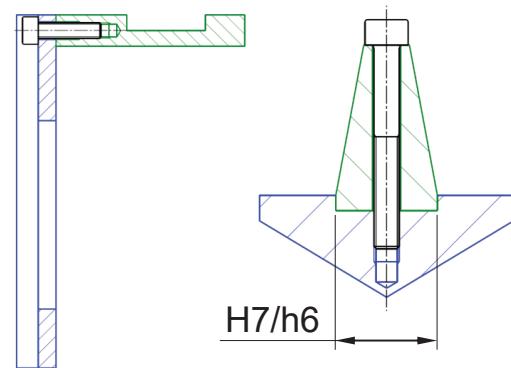
Dans ce cours, nous allons...

- ... **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 ?

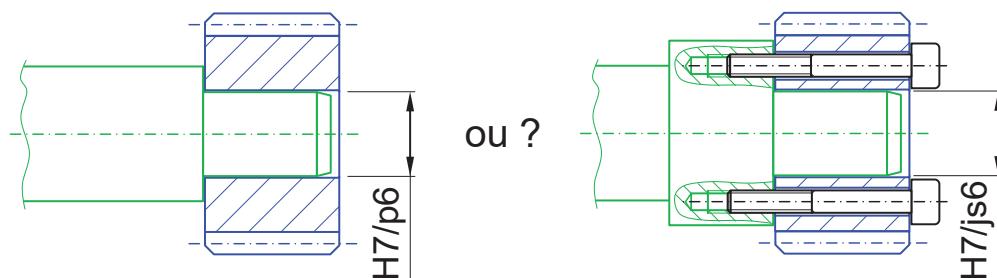
• Fabrication

- 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 ?



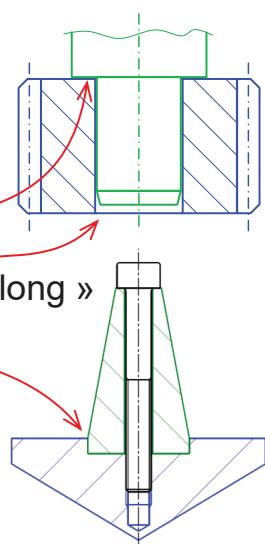
Assemblage statique : solutions usuelles

• 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)



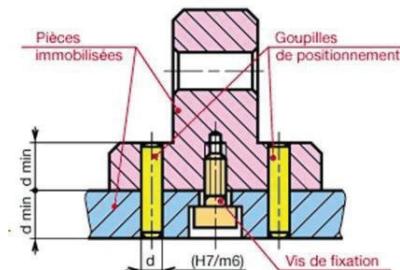
• Fonctions techniques

– Mise en position plan sur plan

- Ajustement incertain sur le support / avec jeu sur la 2^{ème} pièce

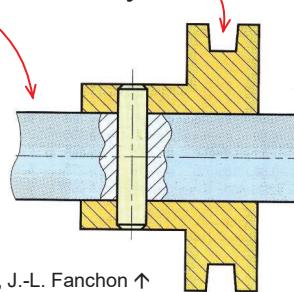


- En général combiné à un AB



– 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 industrielles, J.-L. Fanchon ↑

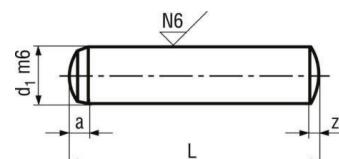
Goupilles (2/3)



• Goupille cylindrique ISO 8734

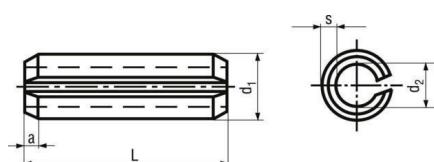
- Acier haute résistance trempé + rectifié
- Finition sur le Ø → h6 ou m6 / Ra 0,8
- Tolérances de montage (pour métaux, avec Ra 1,6 dans le trou)

	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 → « légère » ISO 13337
 - Fortes charges → « 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)

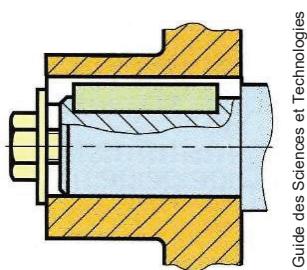
- **Forme de base**

Dimensions $b \times h \times L$

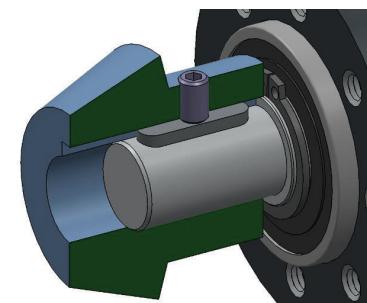


- **Fonction technique**

= transmission de couple

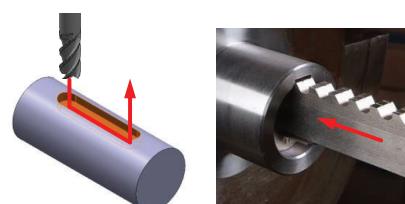


© Guide des Sciences et Technologies Industrielles, J.-L. Fanchon



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

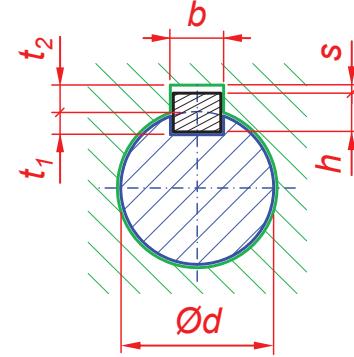
- Rainure oblongue dans l'arbre (fraisage)
- Rainure débouchante dans l'alésage



Clavettes parallèles DIN 6885-A (2/4)

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

Diamètre de l'arbre <i>d</i> au-dessus de	jusqu'à	Clavette		Plage de longueurs <i>L</i>	Profondeur de la rainure			
		<i>b</i>	<i>h</i>		Arbre	Moyeu	Ecarts	<i>t₂</i> ²⁾
6	8	2 h9	2 h9	6 ... 20	1,2			1
8	10	3 h9	3 h9	6 ... 36	1,8			1,4
10	12	4 h9	4 h9	8 ... 45	2,5	+0,1	0	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
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)

- Écarts limites dans la longueur →

Longueur de la clavette		6 ... 28	32 ... 80	90 ... 320
Écarts 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)

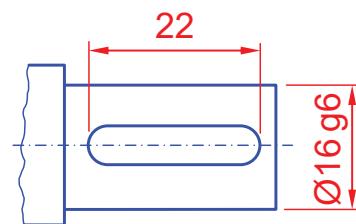


Clavettes parallèles DIN 6885-A (4/4)

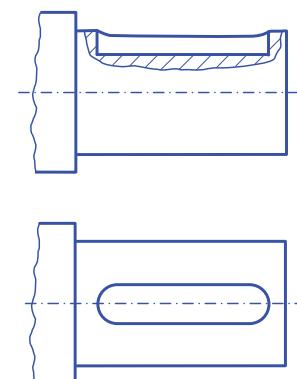


Exercice d'application

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)

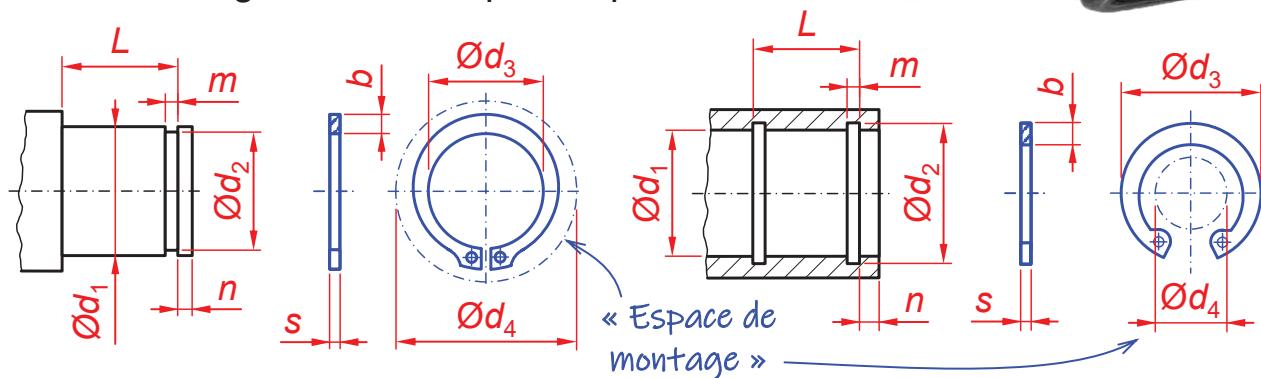
Variantes de forme

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



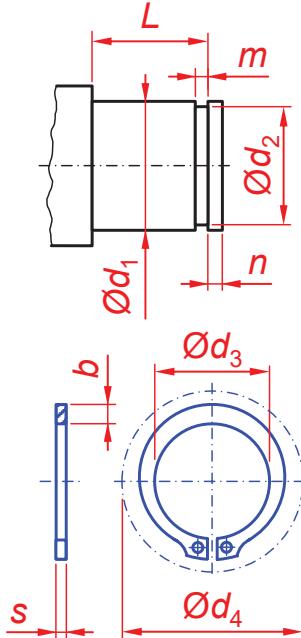
Fonction technique et montage

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



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

Pour arbres (en mm) →

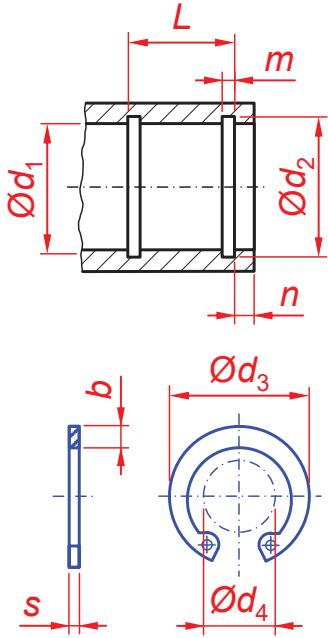


© Extrait de Normes 2022, Tableau 315/1 →

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

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

Pour alésages (en mm) →



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

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

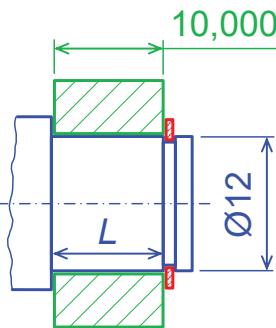
Anneaux élastiques (« circlips ») (4/4)



Exercice d'application

L'anneau ci-contre d'ép. 10,000 mm doit être monté sur un arbre Ø12 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?

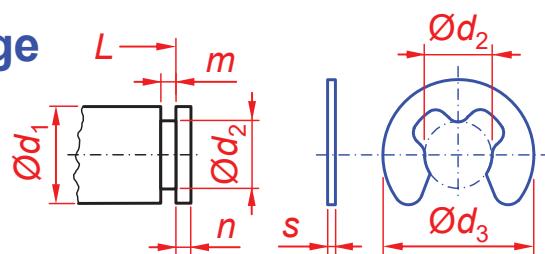


Segment d'arrêt DIN 6799



Fonction technique et montage

- Fonction technique = arrêt axial
- Montage radial (sur arbre), sans besoin de pince spéciale
- Valable dès arbre de Ø1



Dimensions normales (en mm) →

Diamètre de l'arbre de	Dimensions du segment			Dimensions de la rainure			Limite de charge F_N de la rainure					
	d_1	à	d_2 Cote nominale	d_3 monté	s	d_2 Ecart	m ²⁾ Ecart	n min.	kN	pour d_1		
1 1,4 2	1,4 2 2,5		0,8 1,2 1,5	2,25 3,25 4,25	0,2 0,3 0,4	0,8 1,2 1,5	0/-0,04 (h11) -0,06 (h11)	0,24 0,34 0,44 0 0,54 0,64	+0,04 0	0,4 0,6 0,8	0,03 0,04 0,07	1,2 1,5 2
2,5 3	3 4		1,9 2,3	4,8 6,3	0,5 0,6	1,9 2,3				1 1	0,1 0,15	2,5 3
4 5	5 7		3,2 4	7,3 9,3	0,6 0,7	3,2 4	0 -0,075 (h11)	0,64 0,74	+0,05 0	1 1,2	0,22 0,25	4 5
6 7 8	8 9 11		5 6 7	11,3 12,3 14,3	0,7 0,7 0,9	5 6 7	0,74 0,74 0,94			1,2 1,2 1,5	0,9 1,1 1,25	7 8 9
9 10	12 14		8 9	16,3 18,8	1 1,1	8 9	0 -0,09 (h11)	1,05 1,15		1,8 2	1,42 1,6	10 11
11 13 16	15 18 24		10 12 15	20,4 23,4 29,4	1,2 1,3 1,5	10 12 15	1,25 1,35 1,55		+0,08 0	2 2,5 3	1,7 3,1 7	12 15 20
20 25 35	31 38 42		19 24 30	37,6 44,6 52,6	1,75 2 2,5	19 24 30	1,8 2,05 2,55			3,5 4 4,5	10 13 16,5	25 30 36