

CHAPITRE 3

Ajustements normalisés

Ajustements normalisés

Introduction

S'il faut fabriquer une série d'objets identiques, il est impossible à une même forme d'avoir toujours exactement la même dimension d'un objet à l'autre.

Une cote imposée sera plus facile à réaliser si elle peut varier entre deux valeurs limites: une cote maximale et une cote minimale. La différence entre les deux s'appelle la tolérance, ou intervalle de tolérance.

Plus la précision exigée est grande, plus l'intervalle de tolérance doit être petit.

Définitions

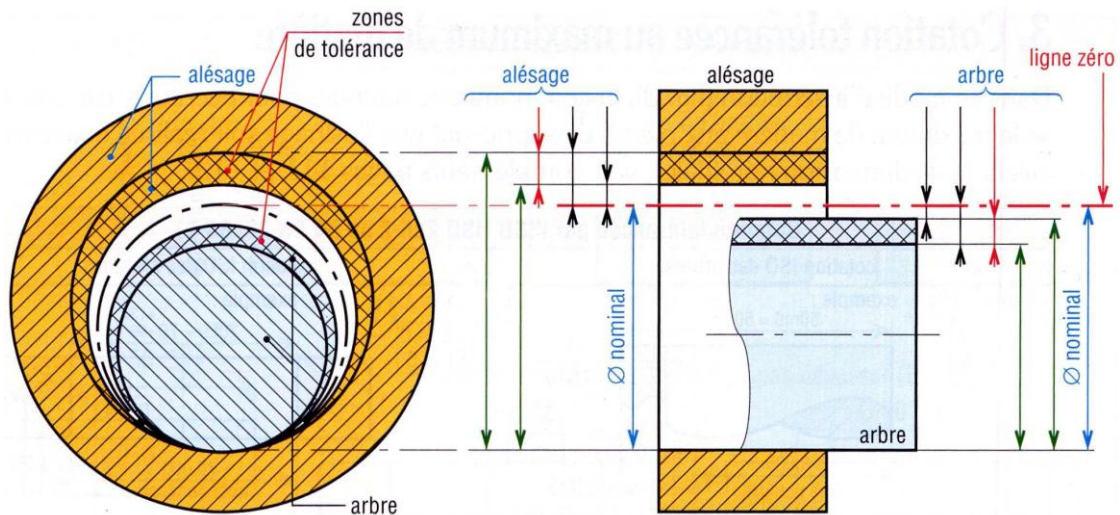
Cote nominale : Dimension ou cote qui sert de référence pour l'identification et l'inscription sur les dessins

Ecart supérieur : Egal à la différence entre la cote maxi et la cote nominale $ES = C_{max} - C_{nom}$

Ecart inférieur : Egal à la différence entre la cote mini et la cote nominale $EI = C_{mini} - C_{nom}$

Notion d'arbre : Désigne une pièce contenue (minuscule)

Notion d'alésage : Désigne une pièce contenant (majuscule)



Alésage

Ecart supérieur $ES = C_{maxi} - C_{nom}$

Ecart inférieur $EI = C_{mini} - C_{nom}$

Arbre

Ecart supérieur $es = c_{maxi} - c_{nom}$

Ecart inférieur $ei = c_{mini} - c_{nom}$

Les ajustements sont des catégories de dimensions normalisées utilisées pour les assemblages de deux pièces prismatiques ou cylindriques. On trouve :

- les ajustements avec jeu
- les ajustements avec serrage
- les ajustements incertains (jeu ou serrage)

Ajustement avec jeu (glissant)

La cote effective de l'alésage est toujours supérieure à la cote effective de l'arbre. Les IT ne se chevauchent pas.

$$\text{Jeu max} = A_{\text{maxi}} - a_{\text{mini}}$$

$$\text{Jeu mini} = A_{\text{mini}} - a_{\text{maxi}}$$

$$IT_{\text{jeu}} = IT_A + IT_a$$

Ajustement avec serrage

La cote effective de l'arbre est toujours supérieure à la cote effective de l'alésage. Les IT ne se chevauchent pas.

$$\text{Serrage max} = A_{\text{mini}} - a_{\text{maxi}}$$

$$\text{Serrage mini} = A_{\text{maxi}} - a_{\text{mini}}$$

$$IT_{\text{serrage}} = IT_A + IT_a$$

Ajustement incertain

L'ajustement obtenu sera soit avec jeu, soit avec serrage. Les IT se chevauchent.

$$\text{Serrage max} = A_{\text{mini}} - a_{\text{maxi}}$$

$$\text{Jeu max} = A_{\text{maxi}} - a_{\text{mini}}$$

Exemples

H7 g6 : ajustement glissant, avec une très bonne précision de guidage.

H7 m6 : ajustement théoriquement incertain, mais qui, en pratique, se révélera modérément serré (se monte au maillet).

H7 p6 : ajustement suffisamment serré pour transmettre des efforts (se monte à la presse).

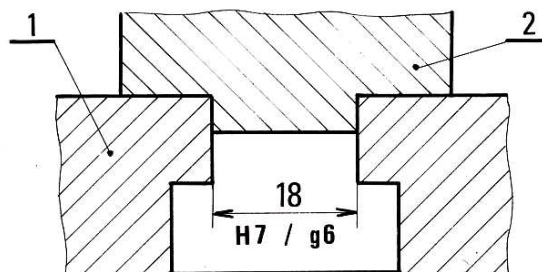
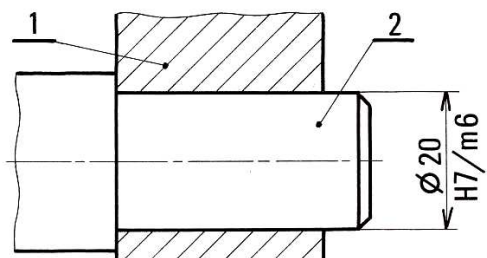
Choix de l'ajustement

Le choix dépend de la liaison à réaliser et de la précision exigée pour le guidage. Les spécifications doivent être suffisantes mais non surabondantes. Une trop grande précision est inutile et chère.

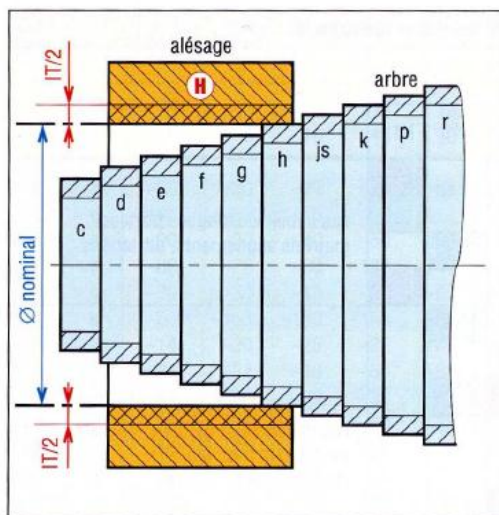
Y a-t-il jeu ou serrage ? Les pièces sont-elles mobiles ou immobiles ? S'agit-il d'un positionnement ou d'un centrage ? La liaison doit-elle transmettre des efforts ? ...

Application

Soient les ajustements des pièces (voir figures)



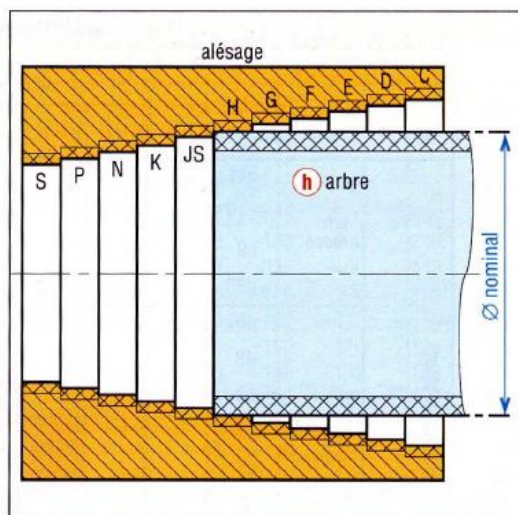
Donner la nature de l'ajustement (avec jeu, avec serrage ou incertain)



Tolérance h : C^-

Tolérance g : $C^=$

Tolérance r : C^+



Tolérance H : C^+

Tolérance G : C^+

Tolérance R : $C^=$

COTES TOLÉRANCÉES			IMAGES A RETENIR	LES AJUSTEMENTS		
A	IT à cheval sur la ligne zéro			D	Ajustement avec jeu (non chevauchement IT)	
B	IT au-dessus de la ligne zéro			E	Ajustement avec serrage (non chevauchement IT)	
C	IT au-dessous de la ligne zéro			F	Ajustement incertain (chevauchement IT)	

Exemple

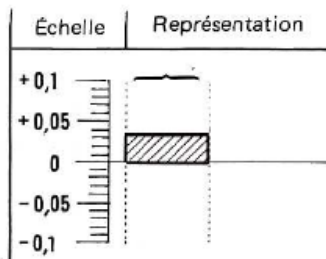
AJUSTEMENT : 85 H7/m6

ALÉSAGE : 85 H7

Écart sup.(ES) = + 0,035

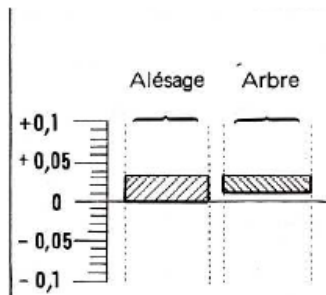
Écart inf.(EI) = 0

- Représenter l'IT.



AJUSTEMENT :

- Représenter les IT.
- Les IT se chevauchent-ils ?
☐ OUI (oui ou non)
- De quel type d'ajustement s'agit-il ?
(avec jeu, avec serrage, incertain)
- ☐ Incertain

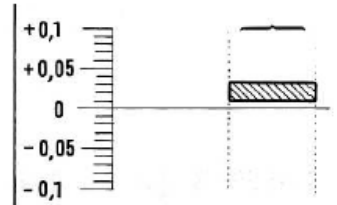


ARBRE : 85 m6

Écart sup.(es) = + 0,035

Écart inf.(ei) = + 0,013

- Représenter l'IT.



Principaux écarts en micromètres

Alésages	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
D 10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190	+ 440 + 210	+ 480 + 230
F 7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56	+ 119 + 62	+ 121 + 68
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0
H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0	+ 400 0
H 12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0	+ 570 0	+ 630 0
H 13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0	+ 890 0	+ 970 0
J 7	+ 4 - 6	+ 6 - 6	+ 8 - 7	+ 10 - 8	+ 12 - 9	+ 14 - 11	+ 18 - 12	+ 22 - 13	+ 26 - 14	+ 30 - 16	+ 36 - 16	+ 39 - 18	+ 43 - 20
K 6	0 - 6	+ 2 - 6	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 2 - 11	+ 3 - 13	+ 4 - 15	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 - 24	+ 5 - 27	+ 7 - 29	+ 8 - 32
K 7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 - 12	+ 6 - 15	+ 7 - 18	+ 9 - 21	+ 10 - 25	+ 12 - 28	+ 13 - 33	+ 16 - 36	+ 17 - 40	+ 18 - 45
M 7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
N 7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66	- 16 - 73	- 17 - 80
N 9	- 4 - 29	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
P 6	- 6 - 12	- 9 - 17	- 12 - 21	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	- 36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79	- 51 - 87	- 55 - 95
P 7	- 6 - 16	- 8 - 20	- 9 - 24	- 11 - 29	- 14 - 35	- 17 - 42	- 21 - 51	- 24 - 59	- 28 - 68	- 33 - 79	- 36 - 88	- 41 - 98	- 45 - 108
P 9	- 9 - 31	- 12 - 42	- 15 - 51	- 18 - 61	- 22 - 74	- 26 - 88	- 32 - 106	- 37 - 124	- 43 - 143	- 50 - 165	- 56 - 186	- 62 - 202	- 68 - 223

Arbres	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
11	- 270 - 330	- 270 - 345	- 280 - 370	- 290 - 400	- 300 - 430	- 320 - 470	- 360 - 530	- 410 - 600	- 580 - 710	- 820 - 950	- 1 050 - 1 240	- 1 350 - 1 560	- 1 650 - 1 900
c 11	- 60 - 120	- 70 - 145	- 80 - 170	- 95 - 205	- 110 - 240	- 130 - 280	- 150 - 330	- 180 - 390	- 230 - 450	- 280 - 530	- 330 - 620	- 400 - 720	- 480 - 840
d 9	- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 75	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 190 - 320	- 210 - 350	- 230 - 385
d 10	- 20 - 60	- 30 - 78	- 40 - 98	- 50 - 120	- 65 - 149	- 80 - 180	- 100 - 220	- 120 - 250	- 145 - 305	- 170 - 355	- 190 - 400	- 210 - 440	- 230 - 480
d 11	- 20 - 80	- 30 - 105	- 40 - 130	- 50 - 160	- 65 - 195	- 80 - 240	- 100 - 290	- 120 - 340	- 145 - 395	- 170 - 460	- 190 - 510	- 210 - 570	- 230 - 630
e 7	- 14 - 24	- 20 - 32	- 25 - 40	- 32 - 50	- 40 - 61	- 50 - 75	- 60 - 90	- 72 - 107	- 85 - 125	- 100 - 146	- 110 - 162	- 125 - 182	- 135 - 198
e 8	- 14 - 28	- 20 - 38	- 25 - 47	- 32 - 59	- 40 - 73	- 50 - 89	- 60 - 106	- 72 - 126	- 85 - 148	- 100 - 172	- 110 - 191	- 125 - 214	- 135 - 232
e 9	- 14 - 39	- 20 - 50	- 25 - 61	- 32 - 75	- 40 - 92	- 50 - 112	- 60 - 134	- 72 - 159	- 85 - 185	- 100 - 215	- 110 - 240	- 125 - 265	- 135 - 290
f 6	- 6 - 12	- 10 - 18	- 13 - 22	- 16 - 27	- 20 - 33	- 25 - 41	- 30 - 49	- 36 - 58	- 43 - 68	- 50 - 79	- 56 - 88	- 62 - 98	- 68 - 108
f 7	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 56 - 106	- 62 - 119	- 68 - 131
f 8	- 6 - 20	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 64	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 106	- 50 - 122	- 56 - 137	- 62 - 151	- 68 - 165
g 5	- 2 - 6	- 4 - 9	- 5 - 11	- 6 - 14	- 7 - 16	- 9 - 20	- 10 - 23	- 12 - 27	- 14 - 32	- 15 - 35	- 17 - 40	- 18 - 43	- 20 - 47
g 6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 15 - 44	- 17 - 49	- 18 - 54	- 20 - 60
h 5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 23	0 - 25	0 - 27
h 6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 32	0 - 36	0 - 40
h 7	0 - 10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63

h8	0 - 14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 46	0 - 54	0 - 63	0 - 72	0 - 81	0 - 89	0 - 97
h9	0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
h10	0 - 40	0 - 48	0 - 58	0 - 70	0 - 84	0 - 100	0 - 120	0 - 140	0 - 160	0 - 185	0 - 210	0 - 230	0 - 250
h11	0 - 60	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	0 - 320	0 - 360	0 - 400
h13	0 - 140	0 - 180	0 - 220	0 - 270	0 - 330	0 - 390	0 - 460	0 - 540	0 - 630	0 - 720	0 - 810	0 - 890	0 - 970
j6	+ 4 - 2	+ 6 - 2	+ 7 - 2	+ 8 - 3	+ 9 - 4	+ 11 - 5	+ 12 - 7	+ 13 - 9	+ 14 - 11	+ 16 - 13	+ 16 - 16	+ 18 - 18	+ 20 - 20
js5	± 2	± 2,5	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 7,5	± 9	± 10	± 11,5	± 12,5	± 13,5
js6	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 8	± 9,5	± 11	± 12,5	± 14,5	± 16	± 18	± 20
js9	± 12	± 15	± 18	± 21	± 26	± 31	± 37	± 43	± 50	± 57	± 65	± 70	± 77
js11	± 30	± 37	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180	± 200
k5	+ 4 0	+ 6 + 1	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4	+ 29 + 4	+ 32 + 5
k6	+ 6 0	+ 9 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 36 + 4	+ 40 + 4	+ 45 + 5
m5	+ 6 + 2	+ 9 + 4	+ 12 + 6	+ 15 + 7	+ 17 + 8	+ 20 + 9	+ 24 + 11	+ 28 + 13	+ 33 + 15	+ 37 + 17	+ 43 + 20	+ 46 + 21	+ 50 + 23
m6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 57 + 21	+ 63 + 23
n6	+ 10 + 4	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17	+ 39 + 20	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 66 + 34	+ 73 + 37	+ 80 + 40
p6	+ 12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56	+ 98 + 62	+ 108 + 68

98*/

Qualité de la tolérance

Plus le chiffre est faible, la qualité est meilleure, mais le prix augmente d'une façon exponentielle.

Quelques ordres de grandeur :

	Classe de qualité	Tolérance sur une dimension de 40 mm
Usinage d'ébauche	11 à 13	0,2 à 0,5 mm
Usinage de finition	7 ou 8	0,025 à 0,04 mm
Rectification	5 ou 6	0,01 à 0,016 mm
Rodage	4	quelques microns...

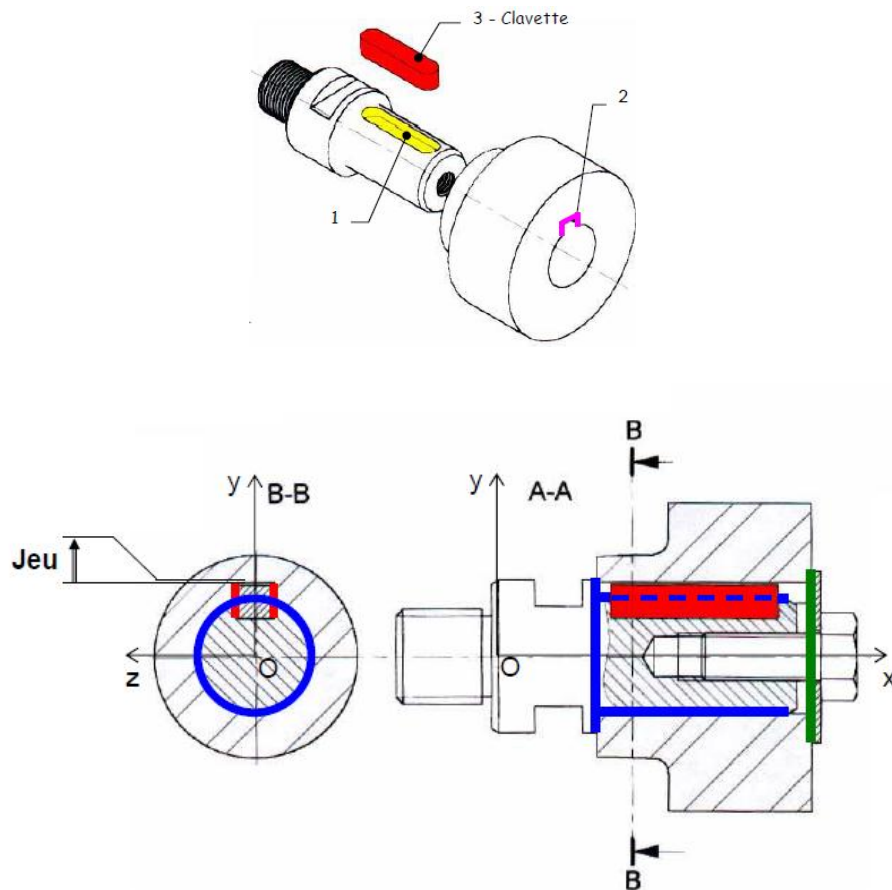
Éléments d'obstacles

Clavette

Une clavette est une pièce qui a pour fonction de lier en rotation deux pièces (liaison de moyeux). implantée par moitié environ dans un arbre et dans un moyeu pour l'autre moitié.

Un clavetage se réalise entre un arbre (1) et un moyeu (2) s'assemblant par l'intermédiaire de formes cylindriques ou coniques.

1. Rainure de clavette dans l'arbre
2. Rainure de clavette dans le moyeu
3. Clavette



Il existe plusieurs types de clavettes :

Clavettes parallèles

Elles sont utilisées lorsque le diamètre d de l'arbre est proche de la longueur l de la clavette ($l < 1,5d$).

Il existe trois formes de clavettes parallèles

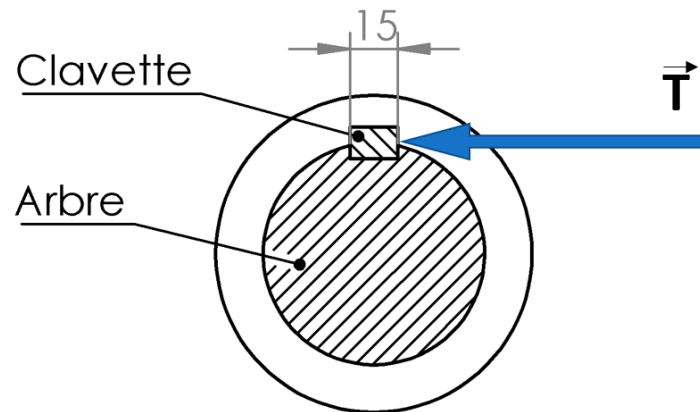
Clavette parallèle forme A	Clavette parallèle forme B	Clavette parallèle forme C	Clavette disque

Calcul :

- 1) La précision dépend de l'ajustement de l'assemblage cylindrique et de l'ajustement de la clavette
- 2) Les dimensions de la clavette doivent être déterminées en fonction de sa sollicitation (cisaillement + matage)

Exemple

Une clavette de longueur de 85 mm reçoit un effort tangentiel de 12 000 N, qui la sollicite au cisaillement.



Déterminer la contrainte tangentielle (contrainte de cisaillement) supportée par la clavette.

1) Détermination de la section sollicitée au cisaillement : $S = 85 \times 15 = 1275 \text{ mm}^2$

2) Détermination de la contrainte tangentielle :

$$\tau = T/S$$

S : la section sollicitée au cisaillement = 1275 mm^2 ;

T : effort tangentiel (tranchant) = 12 000 N ;

$$\tau = \frac{12000}{1275} = 9,41 \text{ MPa}$$

Donc, on a la contrainte tangentielle :

La contrainte tangentielle supportée par la clavette est de 9,41 MPa

Dimensionnement d'une clavette

a) Dimensionnement au cisaillement

La surface cisillée A_{cis} de la clavette est égale à : $A_{cis} = a l$

En appelant V l'effort tranchant s'exerçant sur celle-ci, on trouve :

$$\tau_{moyen} = \frac{V}{A_{cis}} = \frac{V}{a l}$$

On remarque que :

$$V \frac{d}{2} = M_t \Rightarrow V = \frac{2 M_t}{d}$$

d : le diamètre de l'arbre (mm)

M_t : le moment de torsion (Nmm)

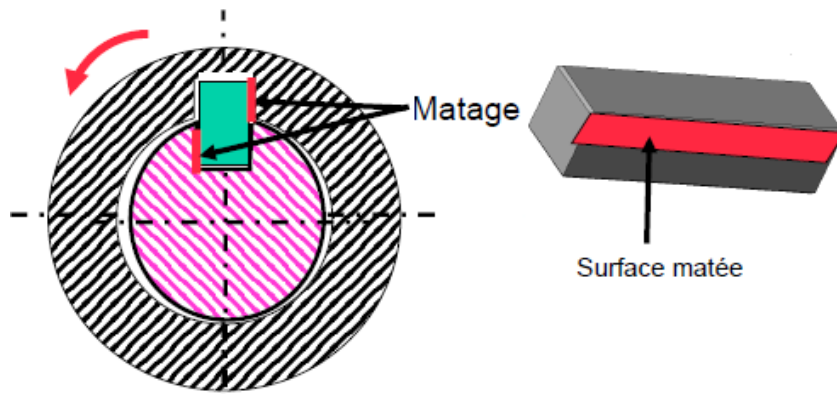
On aura

$$\tau_{moyen} = \frac{2 M_t}{a l d} \leq \tau_{adm cis}$$

$$l \geq \frac{2 M_t}{a d \tau_{adm cis}}$$

l est la longueur de la clavette en mm

b) Dimensionnement au matage



La pression admissible de matage doit être beaucoup plus faible.

En effet, il faut que l'on puisse facilement monter et démonter l'assemblage. Aucune déformation n'est permise.

En pratique, pour le calcul d'une clavette, c'est la condition de non matage qui sera excellente par rapport à la condition au cisaillement.

Pour assurer la condition de non matage il faut :

$$\frac{V}{\frac{b}{2} l} \leq p_{adm mat} \quad \text{et} \quad V = \frac{2 M_t}{d}$$

$$l \geq \frac{4 M_t}{b d p_{adm mat}}$$

$p_{adm mat}$: pression admissible de matage N/mm^2

b : hauteur de la clavette en mm.

Les longueurs des clavettes sont uniformisées dans l'industrie et toujours un multiple de 5mm.

Application

Une poulie transmet à un arbre de 80 mm de diamètre un couple moteur de 1200 Nm.

Si nous considérons un coefficient de sécurité de 5 et un clavetage fixe utilisé dans de très mauvaises conditions, déterminez le dimensionnement de la clavette à utiliser.

(Acier spécial à clavettes : $R_m = 1000 N/mm^2$ et $R_e = 850 N/mm^2$).

Solution

Clavette normalisée pour un diamètre 80 mm $a = 22$ mm et $b = 14$ mm.

Calcul au cisaillement

$$\tau_{adm\ cis} = 0.8 \frac{R_e}{S} = 0.8 \times \frac{850}{5} = 136 \text{ N/mm}^2$$

$$l \geq \frac{2 M_t}{a d \tau_{adm\ cis}} = \frac{2 \times 1200 \cdot 10^3}{22 \times 80 \times 136} = 10 \text{ mm}$$

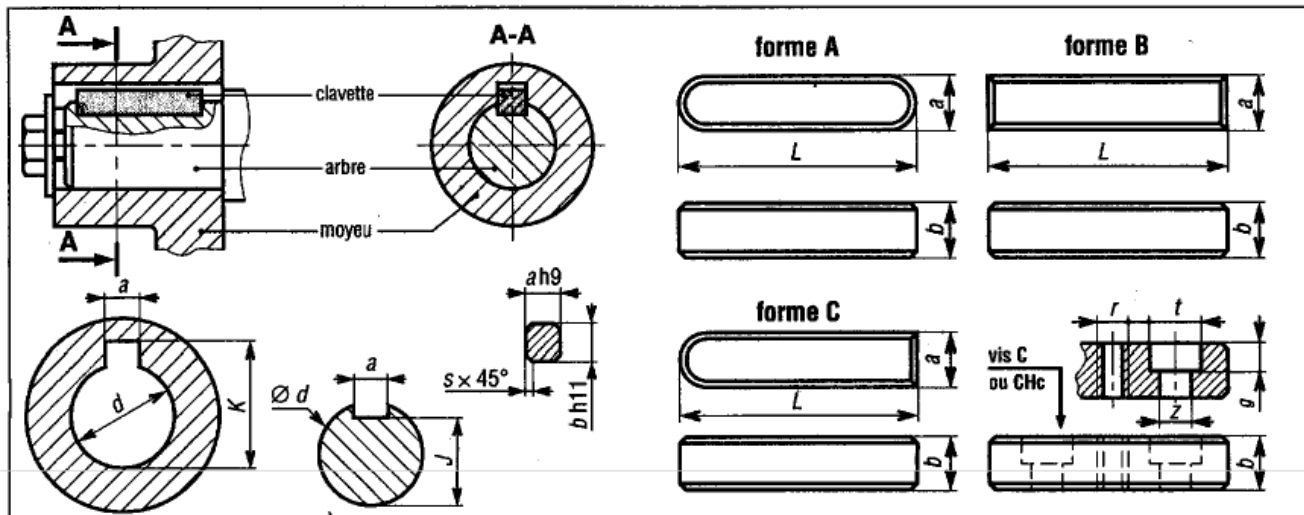
Calcul au matage

$$p_{adm\ mat} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$l \geq \frac{4 M_t}{b d p_{adm\ mat}} = \frac{4 \times 1200 \cdot 10^3}{14 \times 80 \times 40} = 107 \text{ mm}$$

Longueur choisie : 110 mm

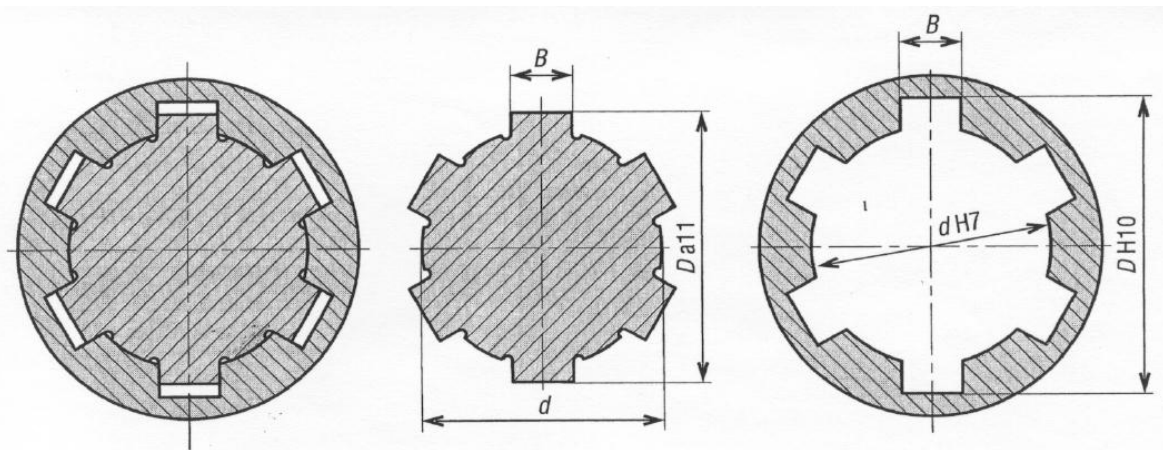
Ajustement des clavettes



Montage	Libre	normal	serré
a_{arbre}	H9	N9	P9
a_{moyeu}	D10	Js9	P9
a_{clavette}	h9	h9	h9

Cannelures

Les cannelures sont des rainures taillées dans l'arbre ou dans le moyeu. Elles permettent de transmettre des couples importants, l'une mâle (l'arbre), l'autre femelle (le moyeu) ; dans certains cas, le moyeu peut coulisser sur l'arbre.



Calcul de dimensionnement

La surface portante équivalente A par unité de longueur (75% de la surface portante théorique)

$$A = \frac{3}{4} \cdot n \cdot h$$

Couple transmissible

$$C = \frac{pALD_m}{2}$$

Condition de non matage

$$p = \frac{2C}{ALD_m} \leq p_{adm}$$

Détermination de la longueur des cannelures

$$L \geq \frac{8C}{3nhD_m p_{adm}}$$

n : nombre de cannelures

h : hauteur d'une cannelure

C : couple à transmettre

p : pression de contact

L : longueur des cannelures

Dm : diamètre moyen : $(D+d)/2$