

# LA COTATION FONCTIONNELLE

14 octobre 2004

# 1 Présentation générale

Un système mécanique est réalisé par un ensemble de pièces mises en relation (en contact) les unes avec les autres. Or, pour que ce système remplisse les fonctions pour lesquelles il a été créé, il faut que certaines conditions fonctionnelles soient assurées (par exemple : jeu, serrage, réserve de filetage, dépassement ...). La cotation fonctionnelle permet la recherche des différentes cotes à respecter pour le bon fonctionnement d'un mécanisme. Les cotes obtenues par la cotation fonctionnelle sont appelés *cotes fonctionnelles*.

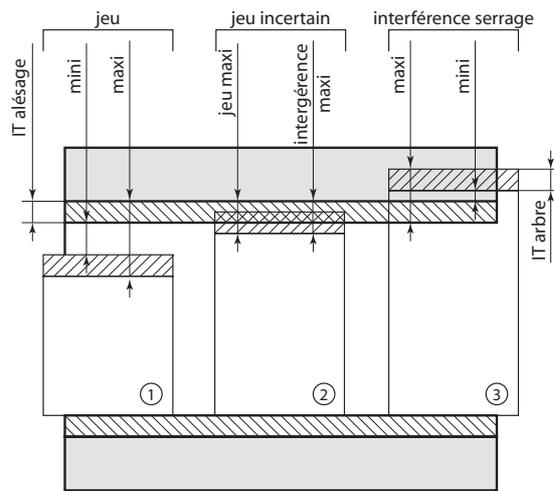


Figure 1: Ajustements avec jeu, jeu incertain et serrage

## 2 Chaîne de cotes

### 2.1 La cote condition

La cote condition  $\vec{J}$  est un vecteur qui exprime une exigence fonctionnelle. Cette cote fonctionnelle doit être respectée pour obtenir le fonctionnement recherché du système. Par convention, cette cote est représentée par un vecteur à double trait.

Le sens positif est donné par le sens du vecteur  $\vec{J}$ .

Les deux éléments qui limitent une cote condition sont appelées *surfaces terminales*.

Les surfaces de contact entre les pièces sont appelées *surfaces de liaison*.

Remarques : Dans le cas d'une cote condition positive, on parle de jeu, dans le cas contraire (cote condition négative), on parle de serrage.

Par convention, une cote condition horizontale sera dirigée de gauche à droite, et une cote condition verticale sera dirigée de bas en haut.

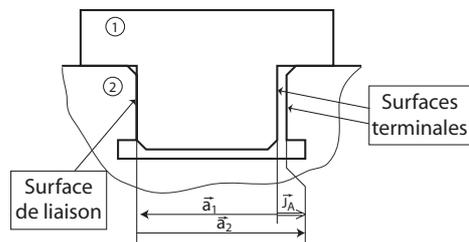


Figure 2: Repérage des différents éléments de la cotation fonctionnelle

## 2.2 Établissement d'une chaîne de cotes

### 2.2.1 Définition

Une chaîne de cotes est un ensemble de cotes, disposés bout à bout, nécessaires et suffisantes au respect de la cote condition.

### 2.2.2 Règles à respecter

Pour la bonne réalisation d'une chaîne de cotes, plusieurs règles sont à respecter:

1. **la chaîne de cotes débute à l'origine du vecteur cote condition et se termine à son extrémité,**
2. **chaque cote de la chaîne commence et se termine sur la même pièce,** le problème initial de la cotation fonctionnelle étant de coter les différentes pièces du mécanisme,
3. **il ne peut y avoir qu'une seule cote par pièce dans une même chaîne de cotes.** La chaîne de cotes doit être la plus courte possible afin de faire intervenir le moins de cotes possibles (en effet, le nombre de cotes influent directement sur le prix de la pièce). Si deux cotes de la même chaîne appartiennent à la même pièce, c'est qu'il existe une chaîne de cotes encore plus courte réalisant le même vecteur condition.
4. **la passage d'une cote de la chaîne à la suivante se fait par la surface d'appui entre les deux pièces.**

### 2.2.3 Méthode

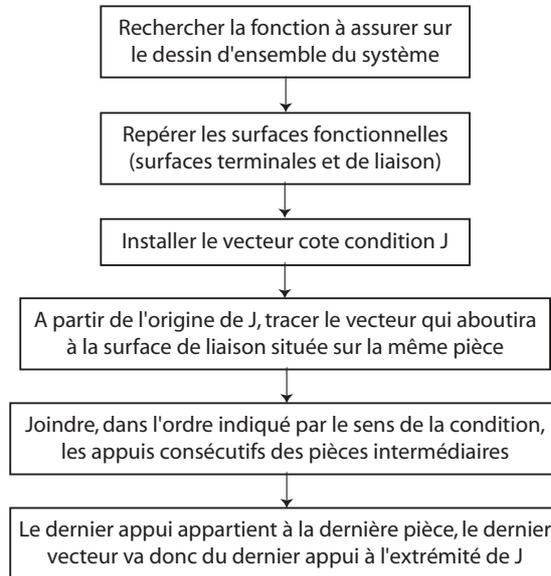


Figure 3: Méthode pour l'établissement d'une chaîne de cotes

Si on prend l'exemple du tournevis à cliquet, deux conditions (entres autres) pour que l'on puisse changer le sens du cliquet sont :

- la cote condition (ou le jeu)  $J_A$  évite que le bouton 3 soit en contact avec l'insert 2 ce qui l'empêcherait de tourner,
- la cote condition  $J_B$  évite aussi que le bouton 3 soit en contact avec l'insert 2.

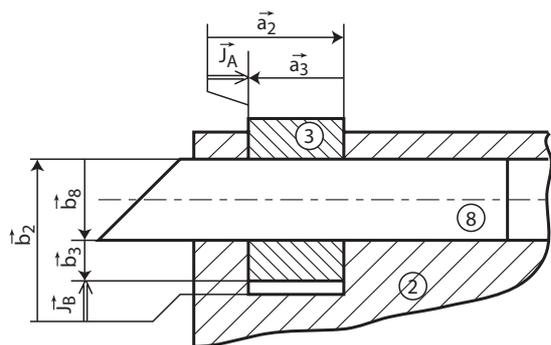


Figure 4: Cotation fonctionnelle partielle du tournevis à cliquet

Ces deux cotes conditions amènent les deux relations vectorielles suivantes:

$$\begin{aligned}\vec{J}_A &= \vec{a}_2 - \vec{a}_3 \\ \vec{J}_B &= \vec{b}_2 - \vec{b}_8 - \vec{b}_3\end{aligned}$$

#### 2.2.4 Calculs

La chaîne de cotes aboutit à une relation vectorielle. Par projection de cette relation vectorielle, on obtient la relation suivante :

$$J = (A_{i+1} + \dots + A_n) - (A_1 + A_2 + \dots + A_i)$$

Dans l'exemple du tournevis, nous avons donc:

$$\begin{aligned}J_A &= a_2 - a_3 \\ J_B &= b_2 - b_8 - b_3\end{aligned}$$

**Jeu maximal** : le jeu  $J$  est maximal si les dimensions des vecteurs de sens positif sont maximales et si les dimensions des vecteurs de sens négatifs sont minimales. Ainsi, le jeu maximal  $J_{maxi}$  s'exprime par la relation :

$$\begin{aligned}J_{maxi} &= (A_{i+1} + \dots + A_n)_{maxi} - (A_1 + A_2 + \dots + A_i)_{mini} \\ &= (A_{i+1_{maxi}} + \dots + A_{n_{maxi}}) - (A_{1_{mini}} + \dots + A_{i_{mini}})\end{aligned}$$

Pour les jeux  $J_A$  et  $J_B$  de notre exemple, nous avons :

$$\begin{aligned}J_{A_{maxi}} &= a_{2_{maxi}} - a_{3_{mini}} \\ J_{B_{maxi}} &= b_{2_{maxi}} - b_{8_{mini}} - b_{3_{mini}}\end{aligned}$$

**Jeu minimal** : le jeu  $J$  est minimal si les dimensions des vecteurs de sens positif sont minimales et si les dimensions des vecteurs de sens négatifs sont maximales. Ainsi, le jeu minimal  $J_{mini}$  s'exprime par la relation :

$$\begin{aligned}J_{mini} &= (A_{i+1} + \dots + A_n)_{mini} - (A_1 + A_2 + \dots + A_i)_{maxi} \\ &= (A_{i+1_{mini}} + \dots + A_{n_{mini}}) - (A_{1_{maxi}} + \dots + A_{i_{maxi}})\end{aligned}$$

Pour les jeux  $J_A$  et  $J_B$  de notre exemple, nous avons :

$$\begin{aligned}J_{A_{mini}} &= a_{2_{mini}} - a_{3_{maxi}} \\ J_{B_{mini}} &= b_{2_{mini}} - b_{8_{maxi}} - b_{3_{maxi}}\end{aligned}$$

**Intervalle de tolérance** : La différence entre le jeu maximal et le jeu minimal conduit à la relation sur les intervalles de tolérance :

$$\begin{aligned}IT_j &= J_{maxi} - J_{mini} \\ &= IT_{a_1} + IT_{a_2} + \dots + IT_{a_i} + \dots + IT_{a_n}\end{aligned}$$

⇒ L'intervalle de tolérance de la cote condition est égale à la somme des intervalles de tolérance de chaque maillon de la chaîne de cotes associée à cette cote condition.

Cette propriété impose de choisir pour les cotes conditions des intervalles de tolérances les plus larges possibles afin de réduire le coût des pièces entrant dans la constitution de la chaîne.

## 3 Ajustements

### 3.1 Introduction

Comme nous venons de le voir, certains assemblages nécessitent un jeu ou un serrage. Dans le cas de deux pièces prismatiques ou cylindriques, les ajustements sont des outils normalisés permettant d'indiquer clairement les différentes cotes dimensionnelles des deux pièces.

On peut déjà citer quelques exemples de montage:

- montage avec jeu :  $\phi 50H8f7$
- montage avec jeu incertain :  $\phi 65H7k6$
- montage avec serrage :  $\phi 80H7p6$

### 3.2 Désignation normalisée

Dans les exemples précédents, l'écriture des ajustements est rigoureuse. C'est la norme NF EN 20286-1 ISO 286-1 qui impose cette écriture.

Si on prend l'exemple  $60E8f7$ , 60 représente la cote nominale, E8 correspond à l'alésage (la lettre majuscule représente l'écart et le chiffre la tolérance ou l'intervalle de tolérance) et f7 correspond à l'arbre (la lettre minuscule représente l'écart et le chiffre l'intervalle de tolérance).

Le *diamètre nominal* ou *cote nominale* sert de référence pour positionner les intervalles de tolérances (IT) et les écarts supérieurs (es) et inférieurs (ei) à la fois pour l'arbre et pour l'alésage.

Les *écarts* sont représentés par des lettres majuscules pour les alésages et minuscules pour les arbres. Ils définissent l'écart entre la dimension nominale et l'intervalle de tolérance choisi. Pour une même lettre, les écarts augmentent avec le diamètre (ceci est valable pour les alésages comme pour les arbres). Les écarts nuls correspondent aux lettres H et h.

Les *qualités* correspondent aux chiffres donnés après les lettres. Ils précisent l'intervalle de tolérance choisi.

### 3.3 Système d'alésage normal H et d'arbre normal h

#### 3.3.1 Alésage normal H

Ce système est le plus simple à mettre en œuvre. Il consiste à prendre un alésage avec un ajustement H et de jouer sur l'ajustement de l'arbre pour obtenir l'ajustement désirée entre l'arbre et l'alésage. Comme l'ajustement H correspond à un écart inférieur nul, un ajustement de l'arbre compris entre les lettres h et p correspondra à un jeu incertain (exple :  $65H7k6$ ), tandis qu'à partir de p et au dessus (jusque z), l'ajustement sera serré (exple :  $80H7p6$ ) et en dessous de h, il sera avec jeu (exple :  $50H9e9$ ).

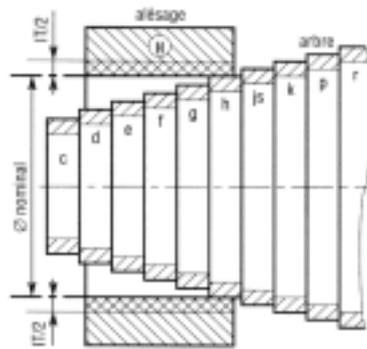


Figure 5: Système de l'alésage normal H (source : *guide des sciences et technologies industrielles*)

### 3.3.2 Arbre normal h

Dans ce système, ce n'est plus l'alésage H qui est pris comme base, mais l'arbre h. Ainsi, pour des alésages au dessous de H, les ajustements seront avec jeu, entre H et P, le jeu sera incertain et au dessus de P, il y aura serrage entre les deux pièces.

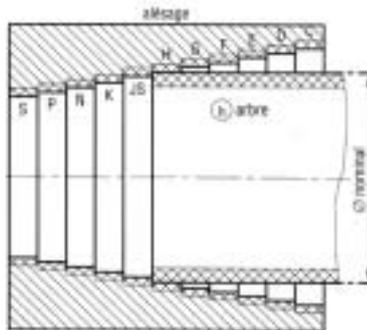


Figure 6: Système de l'arbre normal h (source : *guide des sciences et technologies industrielles*)

### 3.3.3 Remarques

L'alésage normal H est caractérisé par un écart inférieur, EI, nul et l'arbre normal h, par un écart supérieur, es, nul. Ainsi, la cote minimale de l'alésage est égale à la cote nominale de l'alésage, et la cote maximale de l'arbre est égale à la cote nominale de l'arbre.

### 3.4 Etude du tournevis à cliquet

Si l'on regarde sur le dessin de définition de l'insert 2 du tournevis à cliquet, deux ajustements sont donnés : le premier est donné pour l'alésage dans lequel la tige 5 doit passer, et le deuxième est donné pour l'alésage dans lequel le cliquet 8 doit se loger. Analysons ces deux ajustements

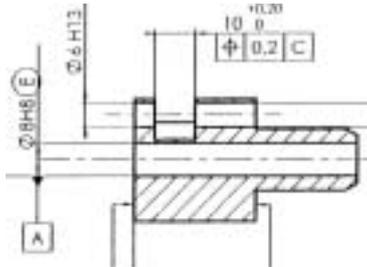


Figure 7: Ajustements présents sur le dessin de définition de l'insert

- $\phi 8H8$  (laissons de côté, pour le moment, le critère de l'enveloppe) : le premier 8 correspond au diamètre nominal de l'alésage. En effet, il s'agit d'un alésage car la lettre donnée ensuite est une majuscule. Le H est l'écart qui, associée au 8, donne pour écart supérieur,  $ES = +22 \mu m$ , et pour écart inférieur,  $EI = 0 \mu m$ . On retrouve donc un intervalle de tolérance de  $22 \mu m$ . Au final, le diamètre maximal de l'alésage est  $\phi_{maxi} = 8,022 mm$  et le diamètre minimal est  $\phi_{mini} = 8,000 mm$ .
- $\phi 6H13$  : le 6 correspond au diamètre nominal de l'alésage. Il s'agit, ici encore, d'un alésage car la lettre donnée ensuite est une majuscule. Le H est l'écart qui, associée au 13, donne pour écart supérieur,  $ES = +180 \mu m$ , et pour écart inférieur,  $EI = 0 \mu m$ . On retrouve donc un intervalle de tolérance de  $180 \mu m$ . Au final, le diamètre maximal de l'alésage est  $\phi_{maxi} = 6,180 mm$  et le diamètre minimal est  $\phi_{mini} = 6,000 mm$ .

#### Bibliographie

"Guide des Sciences et Technologie Industrielles", Jean-Louis FANCHON, Edition Afnor-Nathan.

"Guide du Dessinateur Industriel", A. CHEVALIER, Edition Hachette Technique.

Extraits de tolérances ISO pour alésage (en microns : 1 $\mu\text{m}$ = 0,001 mm)														
		dimensions nominales (en mm)												
au-delà de à (inclus)		1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	
		3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	
D10	ES	+80	+78	+88	+120	+148	+180	+220	+260	+305	+355	+400	+440	+480
	EI	+20	+30	+40	+50	+65	+80	+100	+120	+145	+170	+190	+210	+230
E9	ES	+39	+50	+61	+75	+92	+112	+134	+158	+185	+215	+240	+265	+290
	EI	+14	+20	+25	+32	+40	+50	+60	+72	+85	+100	+110	+125	+135
F8	ES	+20	+28	+35	+43	+53	+64	+76	+90	+106	+122	+137	+151	+165
	EI	+6	+10	+13	+16	+20	+25	+30	+36	+43	+50	+56	+62	+68
G7	ES	+12	+16	+20	+24	+28	+34	+40	+47	+54	+61	+69	+75	+83
	EI	+2	+4	+5	+6	+7	+9	+10	+12	+14	+15	+17	+18	+20
H8	ES	+6	+8	+9	+11	+13	+16	+19	+22	+25	+29	+32	+36	+40
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H7	ES	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H8	ES	+14	+18	+22	+27	+33	+39	+46	+54	+63	+72	+81	+89	+97
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H9	ES	+25	+30	+36	+43	+52	+62	+74	+87	+100	+115	+130	+140	+155
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H10	ES	+40	+48	+58	+70	+84	+100	+120	+140	+160	+185	+210	+230	+250
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H11	ES	+60	+75	+90	+110	+130	+160	+190	+220	+250	+290	+320	+360	+400
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H12	ES	100	+120	+150	+180	+210	+250	+300	+350	+400	+460	+520	+570	+630
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H13	ES	140	+180	+220	+270	+330	+390	+460	+540	+630	+720	+810	+890	+970
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J7	ES	+4	+6	+8	+10	+12	+14	+18	+22	+26	+30	+36	+39	+43
	EI	-6	-6	-7	-8	-9	-11	-12	-13	-14	-16	-16	-18	-20
JS13	±E	+70	+90	+110	+135	+165	+195	+230	+270	+315	+360	+405	+445	+485
	±E	+0	+2	+2	+2	+2	+3	+4	+4	+4	+5	+5	+7	+8
K6	ES	+0	+2	+2	+2	+2	+3	+4	+4	+4	+5	+5	+7	+8
	EI	-6	-6	-7	-8	-11	-13	-15	-18	-21	-24	-27	-29	-32
K7	ES	0	+3	+5	+6	+6	+7	+9	+10	+12	+13	+16	+17	+18
	EI	-10	-9	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-28	-33	-36	-40	-45
M7	ES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EI	-12	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-46	-52	-57	-63
N7	ES	-4	-4	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-12	-14	-14	-16	-17
	EI	-14	-16	-19	-23	-28	-33	-39	-45	-52	-60	-66	-73	-80
P7	ES	-6	-8	-9	-11	-14	-17	-21	-24	-28	-33	-38	-41	-45
	EI	-16	-20	-24	-29	-35	-42	-51	-59	-68	-79	-88	-98	-108

Figure 8: Extrait de tolérances ISO pour alésage (source : *guide des sciences et technologies industrielles*)

Extraits de tolérances ISO pour arbres (en microns : 1 µm = 0,001 mm)														
dimensions nominales (en mm) NF EN 20286-2, ISO 286-2														
au-delà de		1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
à (inclus)		3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
d9	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-210	-230
	ei	-45	-60	-76	-93	-117	-142	-174	-207	-245	-285	-320	-350	-385
d10	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-210	-230
	ei	-60	-78	-98	-120	-149	-180	-220	-260	-305	-355	-400	-440	-480
d11	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-210	-230
	ei	-80	-105	-130	-160	-195	-240	-290	-340	-395	-460	-510	-570	-630
e7	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-125	-135
	ei	-24	-32	-40	-50	-61	-75	-90	-107	-125	-146	-162	-182	-198
e8	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-125	-135
	ei	-28	-38	-47	-59	-73	-89	-106	-126	-148	-172	-191	-214	-232
e9	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-125	-135
	ei	-39	-50	-61	-75	-92	-112	-134	-159	-185	-215	-240	-265	-290
f6	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-62	-68
	ei	-12	-18	-22	-27	-33	-41	-49	-58	-68	-79	-88	-98	-108
f7	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-62	-68
	ei	-16	-22	-28	-34	-41	-50	-60	-71	-83	-96	-108	-119	-131
f8	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-62	-68
	ei	-20	-28	-35	-43	-53	-64	-76	-90	-106	-122	-137	-151	-165
g5	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-18	-20
	ei	-6	-9	-11	-14	-16	-20	-23	-27	-32	-35	-40	-43	-47
g6	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-18	-20
	ei	-8	-12	-14	-17	-20	-25	-29	-34	-39	-44	-49	-54	-60
h5	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-4	-5	-6	-8	-9	-11	-13	-15	-18	-20	-23	-25	-27
h6	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-6	-8	-9	-11	-13	-16	-19	-22	-25	-29	-32	-36	-40
h7	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-46	-52	-57	-63
h8	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-14	-18	-22	-27	-33	-39	-46	-54	-63	-72	-81	-89	-97
h9	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-25	-30	-36	-43	-52	-62	-74	-87	-100	-115	-130	-140	-155
h10	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-40	-48	-58	-70	-84	-100	-120	-140	-165	-190	-220	-250	-290
h11	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-60	-75	-90	-110	-130	-160	-190	-220	-250	-290	-320	-360	-400
h13	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-140	-180	-220	-270	-330	-390	-460	-540	-630	-720	-810	-890	-970
j6	es	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+12	+13	+14	+16	+16	+18	+20
	ei	-2	-2	-2	-3	-4	-5	-7	-9	-11	-13	-16	-18	-20
j7	es	+6	+8	+10	+12	+13	+15	+18	+20	+22	+25	+26	+29	+31
	ei	-4	-4	-5	-6	-8	-10	-12	-15	-18	-21	-26	-28	-32
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
js7		±5	±6	±7,5	±9	±10,5	±12,5	±15	±17,5	±20	±23	±26	±28,5	±31,5
js9		±12,5	±15	±18	±21,5	±26	±31	±37	±43,5	±50	±57,5	±65	±70	±77,5
js11		±30	±37,5	±45	±55	±65	±80	±95	±110	±125	±145	±160	±180	±200
js13		±70	±90	±110	±135	±165	±195	±230	±270	±315	±360	±405	±445	±485
k5	es	+4	+6	+7	+9	+11	+13	+15	+18	+21	+24	+27	+29	+32
	ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+4	+5
k6	es	+6	+9	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+28	+33	+36	+40	+45
	ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+4	+5
m6	es	+8	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63
	ei	+2	+4	+6	+7	+9	+9	+11	+13	+15	+17	+20	+21	+23
m7	es	+12	+16	+21	+25	+29	+34	+41	+48	+55	+63	+72	+78	+86
	ei	+2	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+13	+15	+17	+20	+21	+23
n5	es	+8	+13	+16	+20	+24	+28	+33	+38	+45	+51	+57	+62	+67
	ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27	+31	+34	+37	+40
n6	es	10	+16	+19	+23	+28	+33	+39	+45	+52	+60	+66	+73	+80
	ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27	+31	+34	+37	+40
p6	es	+12	+20	+24	+29	+35	+42	+51	+59	+68	+79	+88	+98	+108
	ei	+6	+12	+15	+18	+22	+26	+32	+37	+43	+50	+56	+62	+68

Figure 9: Extrait de tolérances ISO pour arbres (source : guide des sciences et technologies industrielles)