

5. TOLERANCES DIMENSIONNELLES ET AJUSTEMENTS

5.1. Généralités sur le contrôle dimensionnel et l'interchangeabilité.

5.1.1. Le contrôle dimensionnel

Mesurer une grandeur c'est la comparer à une autre de même espèce prise comme unité, une mesure n'est jamais exacte, elle est toujours établit par comparaison avec une autre dite étalon de mesure.

On peut mesurer un temps, une résistance, une masse, une longueur etc. ,

Le contrôle dimensionnel s'applique en particulier en construction mécanique et le mesurage se rapporte généralement à celui des dimensions linéaires (le mètre et ses sous multiples) et angulaires (le degré et ses sous multiples) des pièces mécaniques.

L'impossibilité de précision des procédés d'usinage fait qu'une pièce ne peut être réalisée de façon rigoureusement conforme aux dimensions fixées au préalable. Le contrôle nous permet de s'assurer que les dimensions des valeurs réelles sont comprises entre deux limites dites : la cote maximum et la cote minimum (fig.13).

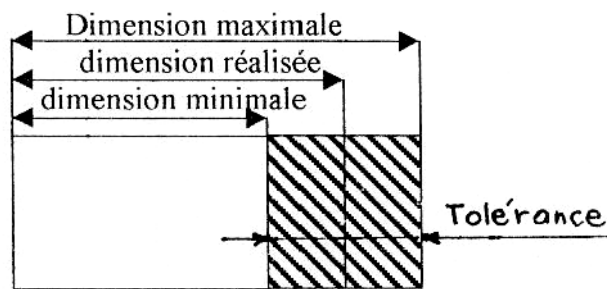


fig.13)

Donc il faut, par un contrôle, s'assurer que la cote réelle se situe entre les deux limites définies par la tolérance.

Unités de longueur :

L'utilisation du millimètre (mm) et du micron (μ) pour l'écriture des cotes permet de résoudre tous les problèmes usuels en utilisant toujours des nombres entiers.

Exemples :

$$30,015 \text{ mm} = 30 \text{ mm} + 15 \mu \text{ s'écrit : } 30^{+15}$$

$$17,965 \text{ mm} = 18 \text{ mm} - 35 \mu \text{ s'écrit : } 18^{-35}$$

Grandeurs de multiple diamètre	Terminologie	Symbole
10^{12}	Tétramètre	Tm
10^9	Gigamètre	Gm
10^6	Mégamètre	Mm
10^4	Myriamètre	Mam
10^3	Kilomètre	Km
10^2	Hectomètre	Hm
10^1	Décamètre	Dac
10^0	Mètre	M
10^{-1}	Décimètre	dm
10^{-2}	Centimètre	cm
10^{-3}	Millimètre	mm
10^{-6}	Micron	μ
10^{-9}	Nanomètre	nm
10^{-10}	Angström	Å
10^{-12}	Picamètre	Pm

Unités de longueur

1 yard = 3 Foot = 36 Inch = 0,9144 m

Unités d'angle

1 Tour (tr) = 360°

1 \perp (d) = 90°

Décidegré (dd) = $0,1^\circ$

Centidegré = $0,01^\circ$

Millidegré (md) = $0,001^\circ$

Minute d'angle = $90^\circ/5400 = 1/60^\circ$

Seconde d'angle = $90^\circ/324000 = 1/3600^\circ$

Grade (gr) = $90^\circ/100$

Radian (rd) = $180^\circ/\pi$

5 1.2. L'interchangeabilité

L'interchangeabilité est la possibilité de prendre au hasard dans un lot de pièces semblables, une pièce quelconque, sans avoir besoin d'aucun travail d'ajustage pour assurer son montage et son bon fonctionnement dans un assemblage donné et dans les conditions de fonctionnement exigées (avec les conditions de jeu et de serrage voulu).

L'exemple classique d'un assemblage est celui d'un arbre avec alésage (fig. 14), le terme général arbre désigne tous les contenus (tenons, coulisseaux, clavettes, ...) et le terme général alésage désigne tous les contenants (mortaises, glissières, rainures etc.)

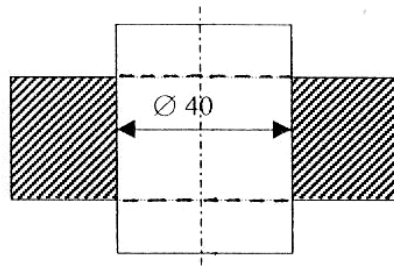


fig.14

Pour réaliser un tel assemblage, la cote $\varnothing 40$ indiquée sur le dessin est insuffisante, car elle ne nous renseigne pas sur la façon dont on doit effectuer l'assemblage (avec jeu, juste ou avec serrage), même si le dessin comporte l'une des indications suivantes : glissant, tournant ou bloqué. Il faudra pour réaliser l'assemblage, faire des retouches afin d'obtenir l'ajustement désiré, mais ceci n'est valable que dans une production unitaire

Par contre si l'on a toute une série d'assemblages identiques à réaliser (par différents ouvriers et différentes machines), il est impossible de contrôler chaque arbre et chaque alésage. Pour arriver au résultat désiré, il a été nécessaire de donner à l'ouvrier une marge d'usinage qu'on appelle tolérance de fabrication et dans laquelle on a du tenir compte de la cote de toutes les pièces afin d'obtenir l'ajustement désiré.

Donc assurer l'interchangeabilité des éléments d'un assemblage suppose qu'on les produit en série et qu'on les accouplera sans les choisir, c'est à dire n'importe quelle pièce de l'une des deux séries, réalise l'ajustement désiré avec l'une quelconque de l'autre série. Donc une pièce sera jugée bonne si sa cote réelle est comprise entre une cote limite supérieure et une cote limite inférieure. La différence entre ces deux cotes constituant la tolérance.

Par exemple, pour l'arbre, la cote peut être comprise entre 39,8 et 40,1 mm pour être acceptable, la tolérance laissée au fabricant est de :

$$40,1 - 39,8 = 0,3 \text{ mm} = 300 \mu$$

Dans l'industrie, on distingue deux types d'interchangeabilité :

- L'interchangeabilité complète.
- L'interchangeabilité limitée

a. L'interchangeabilité complète

C'est elle qui assure le montage d'une machine sans choisir ou sélectionner les pièces à assembler et sans leur retouche (réusinage), elle est préférée, mais dans ce cas les pièces coûtent plus chères que dans l'interchangeabilité limitée.

b. L'interchangeabilité limitée

Elle consiste à choisir parmi le lot de pièces usinées celles qui conviennent au montage de l'assemblage.. Autrement dit, les pièces qui ne répondent pas aux exigences sont réusinées de nouveau. Parfois on utilise les pièces réglables.

L'interchangeabilité est assez largement employée dans l'industrie car elle permet :

- d'obtenir des pièces comparables et admissibles avec de larges tolérances qui ne nécessitent pas de l'outillage spécial.
- de donner un grand avantage pendant l'exploitation des machines en utilisant des pièces de rechange presque standardisées, ce qui diminue considérablement les coûts de services et de prestations techniques ;
- de diviser le travail entre les différents ateliers et même entre les différentes usines ce qui provoque à la fabrication en série des pièces d'où l'extension de l'automatisation et la mécanisation de la fabrication, ce qui augmente la productivité, améliore la qualité et diminue les coûts de revient ;
- de favoriser la standardisation et l'unification des pièces et mécanismes. Le niveau d'exigences en qualité et état de surface sera meilleur

5.1.3. Tolérances et ajustements

5.1.3.1. Notions de dimensions et cote tolérancées

La figure 15 représente l'exemple d'un assemblage cylindrique d'un arbre avec alésage dit ajustement en indiquant toutes les cotes possibles.

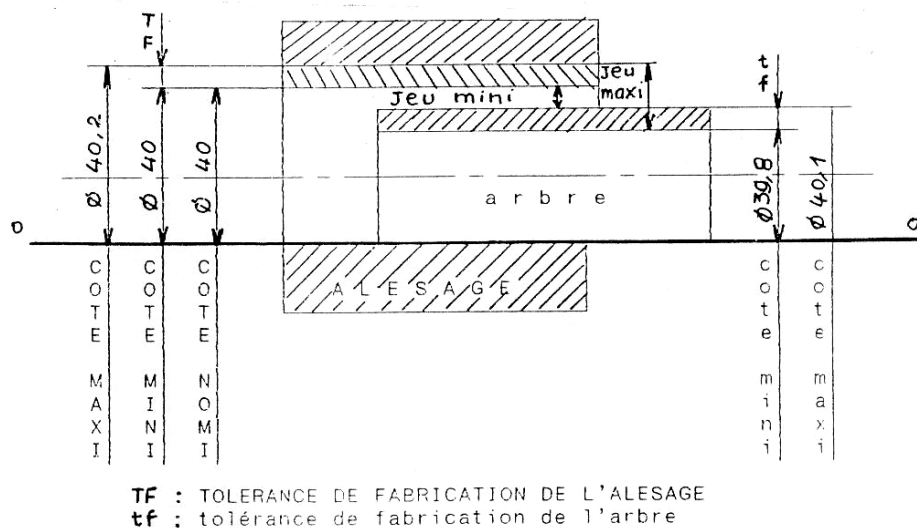


fig.15

5.1.3.2. Types de cotes

on distingue 3 types de cotes.

a. Cote nominale :

C'est la cote souhaitée ou celle de calcul par rapport à laquelle sont définies les cotes limites. Elle doit être la même pour l'arbre et l'alésage ou encore c'est la dimension par référence à laquelle sont définies les dimensions limites.

b. Cotes limites :

Dans la pratique il est quasiment impossible d'usiner une pièce exactement à sa cote nominale par suite des incertitudes dans la fabrication (régime de coupe, incertitudes,...), c'est pourquoi on fixe les cotes limites admissibles pour une précision donnée.

Ce sont les deux cotes extrêmes acceptables dites cotes maxi et cote mini, entre lesquelles doit se trouver la cote effective (ou réelle) pour que la pièce soit relativement précise et interchangeable (remplaçable), Cette précision ou marge d'usinage est appelée tolérance de fabrication.

Supposons un cas de figure où la valeur nominale étant de 40 mm et les valeurs limites sont les suivantes :

- Cote maxi de l'arbre $C_{max} = 40,10$
- Cote mini de l'arbre $C_{min} = 39,80$
- Cote maxi de l'alésage : $C_{max} = 40,20$
- Cote mini de l'alésage : $C_{min} = 40,00$

c. Cote effective ou cote réelle :

C'est la cote d'exécution ou la cote réelle (de la pièce mesurée avec précision tolérable c'est à dire telle qu'elle est réalisée. Dans ce cas la cote effective mesurée (C_e) doit être comprise entre les deux valeurs extrêmes C_{max} et C_{min} .

$$C_{min} \leq C_e \leq C_{max}$$

- Pour l'arbre : $39,80 \leq C_e \leq 40,10$
- Pour l'alésage : $40,00 \leq C_e \leq 40,20$

5.1.3.3. Ecart d'un arbre

L'écart est la différence algébrique entre les cotes effectives maxi, mini et la cote nominale. On distingue 3 types d'écarts :

a. Ecart effectif :

$$\begin{aligned} \text{écart effectif} &= \text{cote effective} - \text{cote nominale} \\ ee &= C_e - C_n \\ ee &= 39,9 - 40 = - 0,1 \end{aligned}$$

b. Ecart supérieur :

$$\begin{aligned} \text{écart supérieur} &= \text{cote maxi} - \text{cote nominale} \\ es &= C_{max} - C_n \\ es &= 40,1 - 40 = + 0,1 \end{aligned}$$

c. Ecart inférieur :

écart inférieur = cote mini - cote nominale

$$e_i = C_{\min} - C_n$$

$$e_i = 39,8 - 40 = -0,2$$

Les écarts sont indiqués sur le dessin en mm, tandis que sur les tableaux des tolérances ils sont donnés en microns.

5.1.3.4. Tolérance d'un arbre

La différence entre les écarts supérieur et inférieur est la valeur la plus importante, appelée tolérance de fabrication ou intervalle de tolérance désignée par i_t ; elle est une valeur absolue.

$$\left[\begin{array}{c} \text{Intervalle de} \\ \text{tolérance} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{écart} \\ \text{supérieur} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{écart} \\ \text{inférieur} \end{array} \right]$$

$$i_t = e_s - e_i$$

$$i_t = (C_{\max} - C_{\min}) - (C_{\min} - C_n) = C_{\max} - C_{\min}$$

$$\text{Donc : } i_t - C_{\max} - C_{\min} = e_s - e_i$$

5.1.3.5. Ecart et tolérances d'un alésage

Nous utilisons exactement les mêmes considérations d'un arbre pour les alésages sauf que les désignations en minuscule des arbres deviennent des majuscules pour les alésages.

- Ecart effectif : EE
- Ecart supérieur : ES
- Ecart inférieur : EI
- Intervalle de tolérance : IT

$$IT = ES - EI = C_{\max} - C_{\min} = ES - EI$$

5.1.3.6. Cotes tolérancées

On distingue une cote tolérancée en indiquant le diamètre nominale et les deux écarts supérieur et inférieur de la façon suivante :

Exemples :

$$1. \text{ Arbre } \varnothing 40 \begin{array}{l} +0,01 \\ -0,02 \end{array}$$

$$40 \text{ mm} = \text{diamètre nominal} ; +0,01 \text{ mm} = e_s ; -0,02 \text{ mm} = e_i$$

2. Alésage $\varnothing 50^{+0,02}_{-0,02}$

50 mm = diamètre nominal ; + 0,02 mm = ES ; - 0,02 mm = EI

3. Arbre $\varnothing 30^{+0,03}$

30 mm = diamètre nominal ; + 0,03 mm = es ; - 0,00 mm = ei

4. Alésage $\varnothing 60^{-0,03}$

60 mm = diamètre nominal ; + 0,00 mm = ES ; - 0,03 mm = EI

5.1.3.7. Ajustements

Un ajustement est l'assemblage de deux pièces de même cote nominale au moyen d'une liaison qui permet ou non le mouvement relatif de l'une par rapport à l'autre.

L'exemple le plus courant est celui de l'ajustement d'un arbre avec un alésage qui est l'exemple type d'un ajustement cylindrique (fig.16).

ARBRE + ALESAGE = AJUSTEMENT CYLINDRIQUE[

Pour qu'il y ait ajustement, il faut que l'une des pièces pénètre dans l'autre.

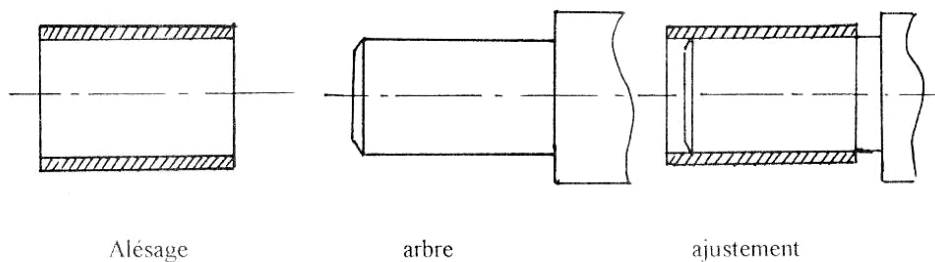


fig.16

5.1.3.8. Zones de tolérances

Les tolérances de fabrication d'un arbre et d'un alésage peuvent être représentées schématiquement au moyen de petits rectangles appelés zones de tolérance sans représentation des pièces.

La zone de tolérance est celle comprise entre deux lignes représentant l'écart supérieur et l'écart inférieur. Elle est définie par sa position par rapport à la ligne 0 qui est le référence de la cote nominale (fig.17).

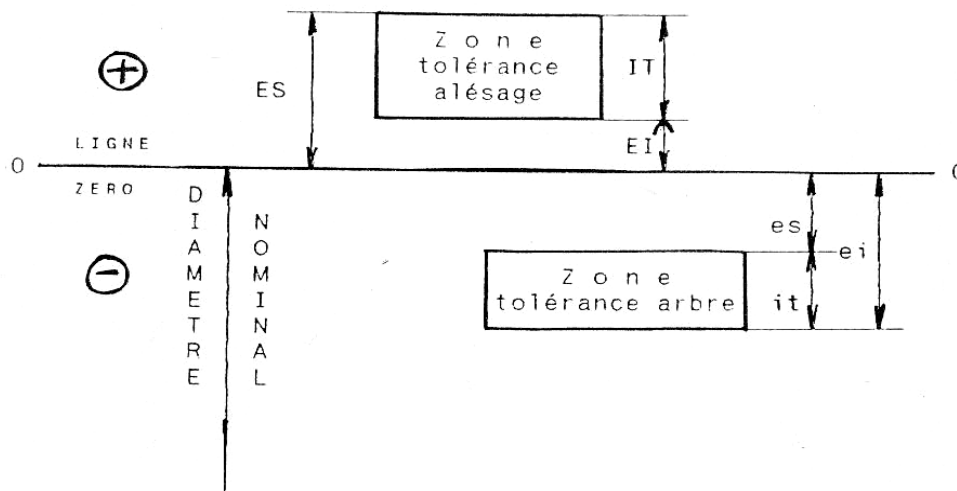


fig.17

La ligne zéro est la ligne à partir de laquelle sont représentés les écarts. Les écarts positifs sont au dessus et les écarts négatifs sont au dessous de cette ligne.

La ligne zéro est la ligne d'écart nul et correspond à la cote nominale.

IT et it peuvent se situer soit dans la partie positive, soit dans la partie négative, soit à cheval par rapport à la ligne zéro.

Types d'ajustements :

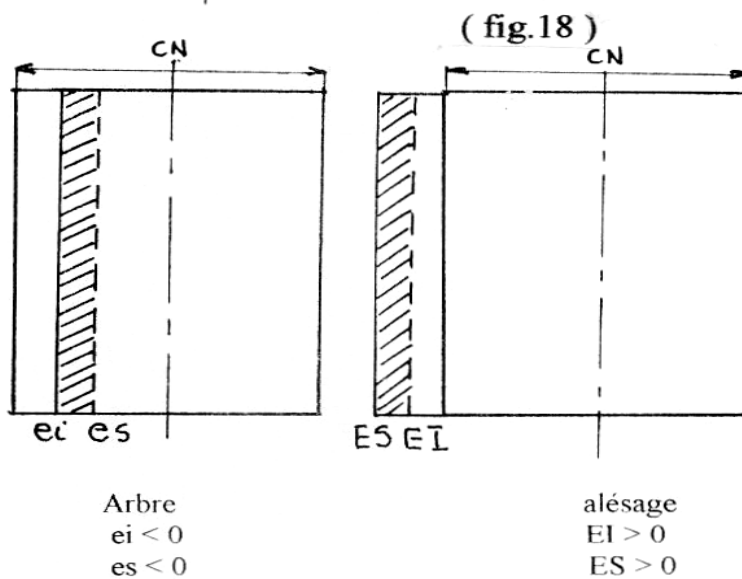
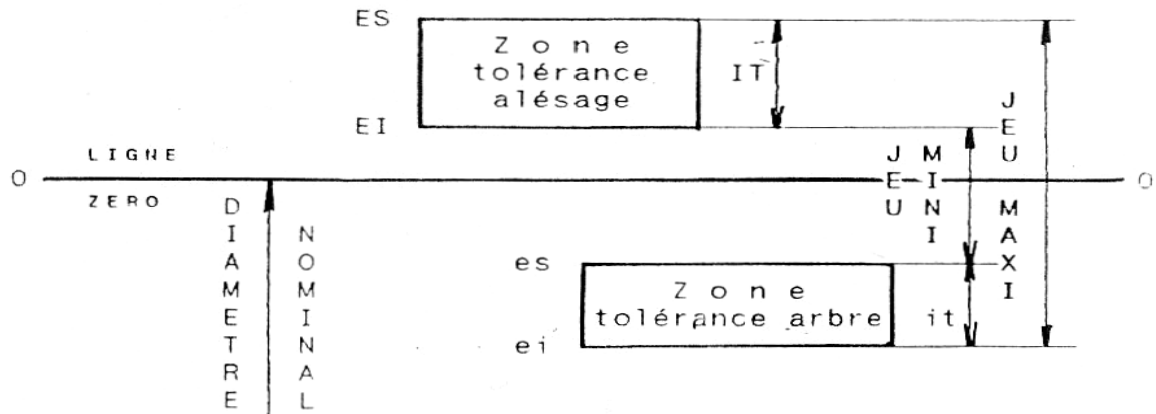
Le type d'ajustement est déterminé par les positions relatives des zones de tolérance des pièces à assembler. Si la différence entre la cote effective de l'alésage et celle de l'arbre est :

- positive ($C_{eff\ alé} - C_{eff\ arb} > 0$) est dit avec jeu ;
- au contraire si la différence est négative ($C_{eff\ alé} - C_{eff\ arb} < 0$) nous avons le serrage.

Il existe trois types d'ajustement dont le choix est déterminé par des impératifs de construction :

- Ajustement avec jeu garanti (s'ils pénètrent librement).
- Ajustement avec serrage garanti (s'il faut recourir à un procédé dynamique, mécanique ou thermique pour assembler les deux éléments).
- Ajustement incertain ($C_{eff\ arb} > C_{eff\ alé}$ ou $C_{eff\ arb} < C_{eff\ alé}$).

1. Ajustement avec jeu garanti



(fig.19)

L'intervalle de tolérance de l'arbre (it) est toujours positif quelque soit sa position par rapport à la cote nominale.

Pour cet ajustement (fig. 18 et 19) toute la zone de tolérance se trouve au dessus de celle de l'arbre et la cote effective de l'alésage est toujours supérieure à celle de l'arbre, c'est pourquoi l'arbre pénètre librement et sans résistance dans l'alésage

$$\text{Jeu maxi} = C_{\text{max}} (\text{alésage}) - C_{\text{min}} (\text{arbre}) = (C_n + ES) - (C_n + ei) = ES - ei$$

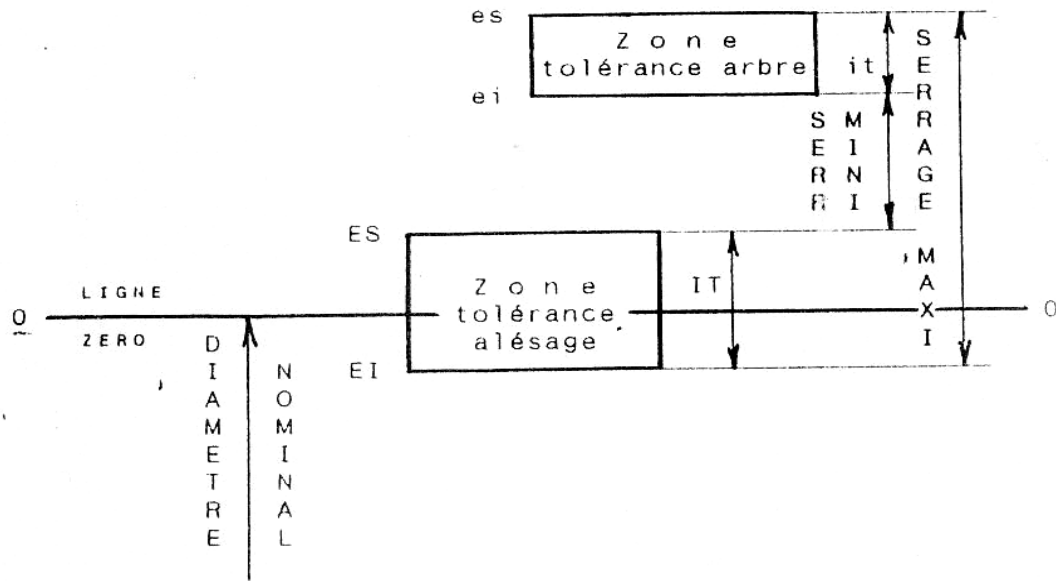
$$\text{Jeu mini} = C_{\text{min}} (\text{alésage}) - C_{\text{max}} (\text{arbre}) = (C_n + EI) - (C_n + es) = EI - es$$

$$\text{Jeu mini} \leq \text{Jeu réel} \leq \text{Jeu maxi}$$

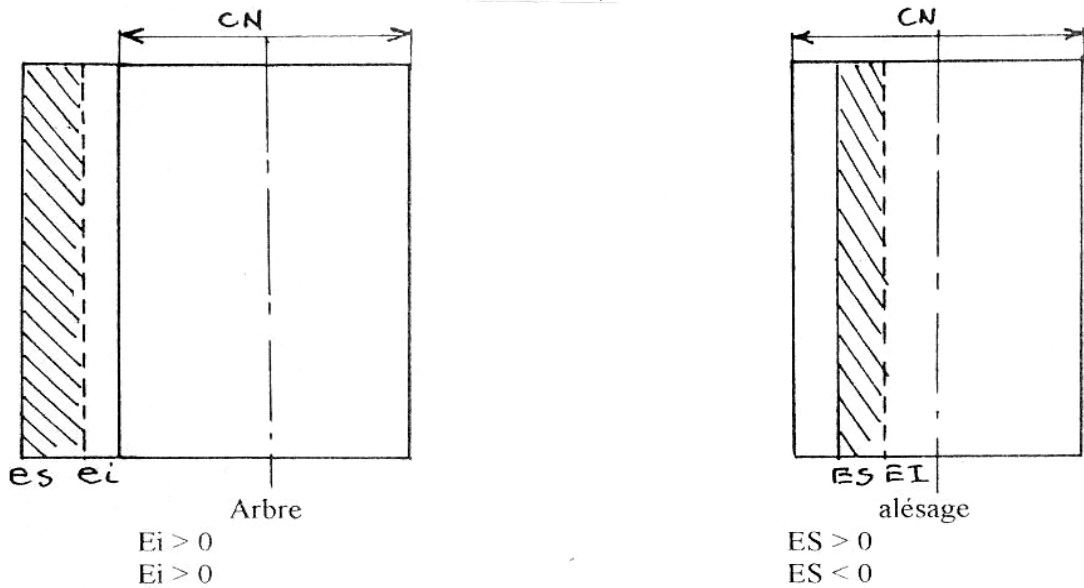
Le jeu désiré ne peut pas être assuré parfaitement exact par suite de l'imprécision de l'exécution des pièces à assembler c'est pourquoi il existe la notion de tolérance d'ajustement (TA) pour n'importe quel type d'ajustement.

$$TA = IT + it \text{ dans ce cas } TA = \text{Jeu maxi} - \text{Jeu mini}$$

2. Ajustement avec serrage garanti



(fig.20)



(fig.21)

Dans ce cas toute la zone de tolérance de l'alésage se trouve au dessous de celle de l'arbre (fig. 20 et 21). La cote réelle de l'alésage est inférieure à celle de l'arbre, c'est pourquoi pour effectuer un assemblage de ce type, il faut employer un procédé mécanique ou thermique ou une combinaison des deux.

Par exemple il faut presser l'arbre dans l'alésage à l'aide d'efforts mécaniques ou hydrauliques. On peut aussi chauffer la pièce femelle alors son diamètre grandi et l'arbre pénètre librement dans l'alésage. Après le refroidissement dans l'azote liquide on obtient l'ajustement désiré.

$$\text{Serrage maxi} = C_{\text{max}} (\text{arbre}) - C_{\text{min}} (\text{alésage}) = (C_n + e_s) - (C_n + E_I) = e_s - E_I$$

$$\text{Serrage min} = C_{\text{min}} (\text{arbre}) - C_{\text{max}} (\text{alésage}) = (C_n + e_i) - (C_n + E_S) = e_i - E_S$$

$$\text{Serrage min} \leq \text{Serrage réel} \leq \text{Serrage maxi}$$

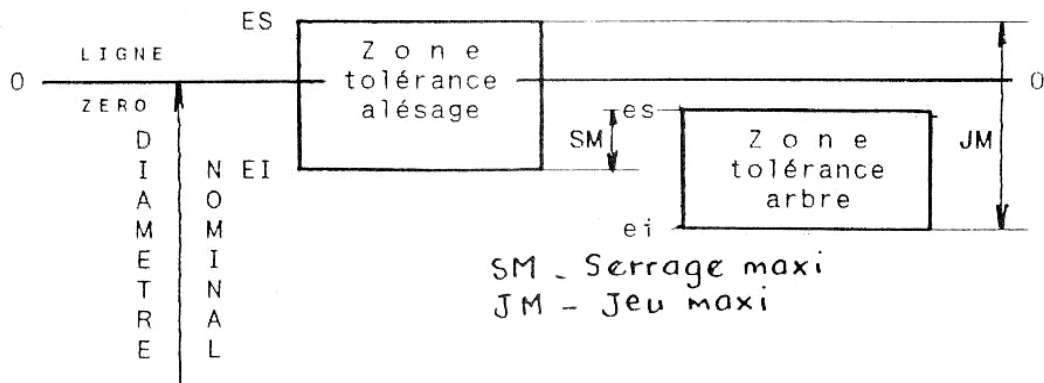
$$TA = IT + it = (E_S - E_I) + (e_s - e_i) = \text{Serrage maxi} - \text{Serrage min}$$

Exemple :

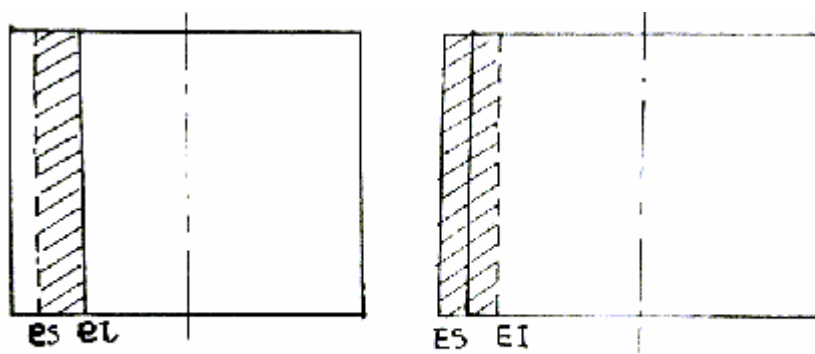
Alésage $\varnothing 30 \begin{matrix} +0,02 \\ +0,01 \end{matrix}$

Arbre $\varnothing 30 \begin{matrix} +0,04 \\ +0,03 \end{matrix}$

3. Ajustement incertain



(fig.22)



(fig.23)

Pour l'ajustement incertain, (fig. 22 et 23), la zone de la tolérance de l'arbre couvre partiellement celle de l'alésage.

La cote réelle de l'arbre peut être supérieure ou inférieure à celle de l'alésage. Il y a dans ce cas tantôt un jeu, tantôt un serrage, c'est pourquoi cet ajustement porte le nom d'ajustement incertain.

$$\text{Serrage maxi} = es - EI$$

$$\text{Jeu maxi} = ES - ei$$

$$TA = IT + it = (ES - EI) + (es - ei) = (ES - ei) + (es - EI) = \text{Serrage maxi} - \text{Jeu maxi}$$

Exemple:

Alésage $\varnothing 60^{+0,05}$

Arbre $\varnothing 60^{+0,03}_{-0,01}$

$$\text{Serrage maxi} = es - EI = 0,03 - 0 = 0,03 \text{ mm}$$

$$\text{Jeu maxi} = ES - ei = 0,05 - (-0,01) = 0,06 \text{ mm}$$

$$TA = \text{Serrage maxi} - \text{Jeu maxi} = 0,03 - 0,06 = -0,03 \text{ mm}$$

5.1.3.9. Système de tolérance et ajustement pour les assemblage cylindriques

a. Principes du système ISO :

les buts du système ISO visent à :

- Limiter le nombre d'ajustements caractéristiques et courants.
- Assurer la fabrication de pièces interchangeables.
- Assurer l'échange technique et la standardisation.

Les principes du système ISO sont énumérés ci-dessous :

- a. Pour réduire au maximum le nombre de cotes nominales utilisées, on a normalisé une série de dimensions nominales parmi lesquelles il faudrait choisir de préférence les dimensions susceptibles de donner l'ajustement désiré.

Il existe trois rangs ou séries: R10, R20 et R40.

- R10 : les dimensions changent avec la progression géométrique de raison $\sqrt[10]{10} = 1,25$: 1 - 1,25 - 1,5 - 2,0 - ... - 315 - 400 - 500
- R20 : les dimensions changent avec la progression géométrique de raison $\sqrt[20]{10} = 1,12$: 1 - 1,12 - 1,25 - 1,4 - ... - 400 - 450 - 500
- R40 : les dimensions changent avec la progression géométrique de raison $\sqrt[40]{10} = 1,06$: 10 - 11,5 - 12,5 - ... - 400 - 420 - 450 - 480 - 500

- b. Pour chaque dimension nominale, on a prévu toute une gamme de tolérances parmi lesquelles on choisit celles qui conviennent à la construction envisagée. Ces tolérances sont exprimées en micron.
- c. Pour chaque dimension tolérancée, dans les tableaux, on peut choisir d'abord la valeur de la tolérance et puis, la position de celle-ci par rapport à la ligne zéro (cote nominale d'écart nul).

Les caractéristiques dimensionnelles des ajustements sont fixées dans les tableaux d'écart. Ces derniers sont déterminés d'après plusieurs expériences et calculs théoriques. Parmi les 75 comités techniques du système ISO, il existe un spécialement chargé des ajustements cylindriques. Le système ISO s'intéresse uniquement aux dimensions nominales comprises entre 1 et 500 mm. Toutes les dimensions dans le système ISO sont mesurées à la température de 20°C avec des instruments de mesure étalonnés à la même température.

Pour les autres dimensions inférieures à 1 et supérieures à 500 mm, chaque pays établit ses propres normes en fonction de ses conditions technologiques et de son expérience.

5.1.3.10. Qualité d'ajustement

Dans chaque machine, il existe des pièces de précision qui nécessitent des exigences techniques d'où un soin particulier dans la fabrication. Pour définir ou connaître la précision d'une pièce, le système ISO a établi 18 qualités :

0,1 - 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - ... - 16

Chaque qualité est désignée par un nombre dont le numéro de qualité le plus élevé correspond à la tolérance la plus grande donc à la précision la plus faible.

Exemple :

Soit un arbre de diamètre 40 mm dont :

- la qualité 5 donne $IT = 0,011$ mm
- la qualité 8 donne $IT = 0,025$ mm
- la qualité 11 donne $IT = 0,160$ mm

La qualité 5 requiert la tolérance de fabrication la plus faible donc c'est elle qui donne le plus de précision des cotes.

La qualité définit la valeur de la tolérance donc la méthode de fabrication appropriée (usinage, régime de coupe, outils de coupe et instruments de mesure adaptés). En effet tout ceci influe sur le prix de revient qui augmente lorsqu'on réduit la tolérance.

Si l'intervalle de tolérance diminue la précision augmente. A titre d'exemple, si la tolérance d'un arbre de diamètre 40 mm diminue de 2 fois, le prix de revient augmente de 2,8 fois. C'est pourquoi les exigences à la précision doivent être toujours bien fondées et justifiées par les calculs ou par l'expérience.

DIMENSIONS NOMINALES NORMALISEES (en mm)

de 1 à 10 mm				de 10 à 100 mm						de 100 à 500 mm					
R		Ra		R			Ra			R			Ra		
R10	R20	Ra10	Ra20	R10	R20	R40	Ra10	Ra20	Ra40	R10	R20	R40	Ra10	Ra20	Ra40
1,00	1,00	1	1	10,0	10	10	10	10		100	100	100	100	100	100
	1,12		1,1		11,2	11,2		11			112	112		110	110
												118			120
1,25	1,25	1,2	1,2	12,5	12,5	12,5	12	12	12	125	125	125	125	125	125
						13,2			13			132			130
	1,40		1,4		14,0	14,0		14	14		140	140		140	140
						15,0			15			150			150
1,60	1,60	1,6	1,6	16,0	16,0	16,0	16	16	16	160	160	160	160	160	160
						17,0			17			170			170
	1,80		1,8		18,0	18,0		18	18		180	180		180	180
						19,0			19			190			190
2,00	2,00	2	2	20,0	20,0	20,0	20	20	20	200	200	200	200	200	200
						21,2			21			212			210
	2,24		2,2		22,4	22,4		22	22		224	224		220	220
						23,6			24			236			240
2,50	2,50	2,5	2,5	25,0	25,0	25,0	25	25	25	250	250	250	250	250	250
						26,5			26			265			260
	2,80		2,8		28,0	28,0		28	28		280	280		280	280
						30,0			30			300			300
3,15	3,15	3	3	31,5	31,5	31,5	32	32	32	315	315	315	320	320	320
						33,5			34			335			340
	3,55		3,5		35,5	35,5		36	36		355	355		360	360
						37,5			38			375			380
4,00	4,00	4	4	40,0	40,0	40,0	40	40	40	400	400	400	400	400	400
						42,5			42			425			420
	4,50		4,5		45,0	45,0		45	45		450	450		450	450
						47,5			48			475			480
5,00	5,00	5	5	50,0	50,0	50,0	50	50	50	500	500	500	500	500	500
						53,0			53			530			530
	5,60		5,5		56,0	56,0		56	56			560			560
						60,0			60			600			600
6,30	6,30	6	6	63,0	63,0	63,0	63	63	63			630			630
						67,0			67			670			670
	7,10		7		71,0	71,0		71	71			710			710
						75,0			75			750			750
8,00	8,00	8	8	80,0	80,0	80,0	80	80	80			800			800
						85,0			85			850			850
	9,00		9		90,0	90,0		90	90			900			900
						95,0			95			950			950
10,00	10,00	10	10	100,0	100,0	100,0	100	100	100			1000			1000

R : dimensions nominales principales

Ra : dimensions nominales auxiliaires

Les qualités les plus courantes sont :

- de 4 à 11 pour les arbres
- de 5 à 12 pour les alésages
- de 12 à 16 pour les cotes isolées et non ajustées.

En général les qualités de tolérance sont adoptées comme suit

- 01, 0, 1 : pour les cales étalons de grandes précision.
- 2, 3, 4 : pour les calibres et instruments de mesure.
- 5, 6, 7 : pour la mécanique précise (aviation).
- 8, 9, 10, 11 : pour la mécanique courante.

Indices de qualité :

Il est à noter que dans chaque qualité les dimensions différentes possèdent le même précision relative qui est définie un coefficient appelé indice de qualité.

On sait que les erreurs ou imprécisions de fabrication croissent avec l'augmentation de la dimension à usiner. C'est pourquoi la tolérance de fabrication augmente aussi avec la cote nominale. Donc la tolérance de fabrication dépend de la qualité et du diamètre à usiner.

La tolérance est égale au produit de la valeur de l'unité de tolérance pour la dimension nominale par un coefficient propre à chaque qualité appelé indice de qualité.

$$IT (it) = (0,45 \times D^{1/3} + 0,001 \times D) \times K \text{ [en microns]}$$

- D : diamètre nominal de la pièce à usiner en mm compris entre 1 et 500 mm.
- $(0,45 \times D^{1/3} + 0,001 \times D)$: unité de tolérance qui exprime seulement la fonction de la tolérance de la dimension à usiner.
- K : indice de qualité.

L'indice de qualité est lié directement à la qualité qui se caractérise par cet indice qui change d'après la progression géométrique de raison : $10^{1/5} = 1,6$.

Les indices de qualité les plus couramment utilisés sont donnés dans ce tableau :

Qualité	5	6	7	8	9	10	11
Indice de qualité	7	10	16	25	40	64	100

Exemples :

1. Pour un alésage de diamètre 40 mm et de qualité 7 (K = 16)
 $it = (0,45 \times 40^{1/3} + 0,001 \times 40) \times 16 = 1,58 \times 16 = 25,28$ microns
Les tableaux donnent $it = 25$ microns.

2. Pour un alésage de diamètre 40 mm et de qualité 11 (K = 100)
 $it = (0,45 \times 40^{1/3} + 0,001 \times 40) \times 100 = 1,58 \times 100 = 158$ microns
Les tableaux donnent $it = 160$ microns

Pour les dimensions nominales au dessus de 500 mm, on préconise une autre formule:

$$IT(it) = (0,004 \times D + 2,1) \times K$$

5.1.3.11. Paliers de diamètre

Pour les diamètres de 1 à 500 mm, on a normalisé 120 cotes nominales. Afin de simplifier les tableaux de tolérances, le système ISO a établi 13 paliers de diamètres:

1 à 3, 3 à 6, 6 à 10, 10 à 15, ... ,315 à 400, 400 à 500

La limite supérieure est incluse alors que la limite inférieure est exclue. Ce qui veut dire que la cote 6 par exemple, il faut chercher la tolérance dans le palier 3 à 6.

La tolérance est déterminée pour chaque palier, et à l'intérieur de tout palier elle demeure constante. Pour calculer la tolérance de fabrication dans un palier, on considère le diamètre moyen de ce palier :

$$D = (D1 \times D2)^{1/2}$$

- D : le diamètre moyen
- D1 et D2 : les diamètres extrêmes du palier.

TOLERANCES FONDAMENTALES (en microns).

QUALITES	PALIERS DE DIAMETRES (en mm)												
	≤ 3	> 3 < 6	> 6 < 10	> 10 < 18	> 18 < 30	> 30 < 50	> 50 < 80	> 80 < 120	> 120 < 180	> 180 < 250	> 250 < 315	> 315 < 400	> 400 < 500
01	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1,2	2	2,5	3	4
0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6
1	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
9	25	30	36	43	54	62	74	87	100	115	130	140	155
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	270	320	360	400
12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000

Exemple :

Pour un arbre de diamètre 40 nom et de qualité 7 donc (K = 16).

Comme ce diamètre se trouve dans le palier 30 à 10 mm son diamètre moyen est de :

$$D = (30 \times 50)^{1/2}$$

$$It = [0,45 \times (30 \times 50)^{1/6} + 0,001 \times (30 \times 50)^{1/2}] \times 16 = 25 \text{ microns}$$

Position des tolérances :

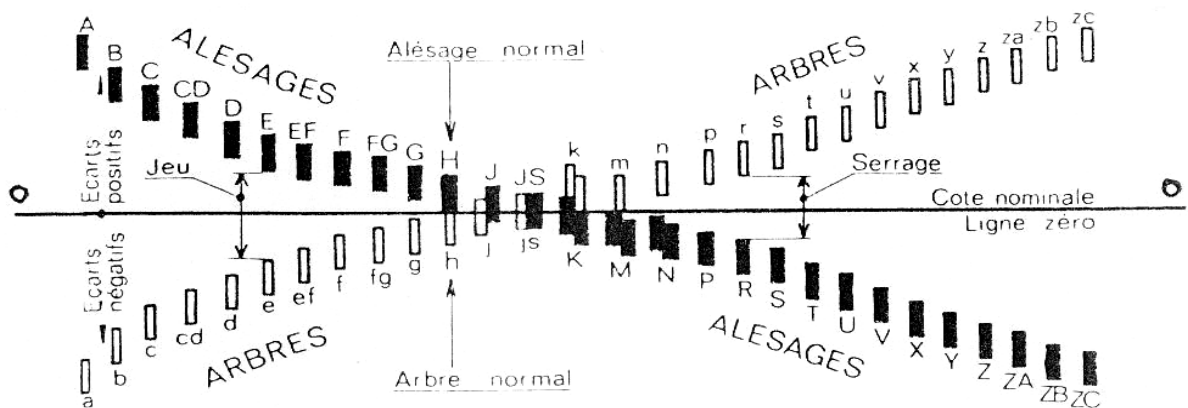
La tolérance des dimensions est caractérisée d'abord par une grandeur absolue puis par sa position relative par rapport à la ligne zéro ou la cote nominale.

Dans le système ISO, la position des tolérances est représentée par une lettre majuscule (parfois deux) pour les alésages et une ou deux lettres minuscules pour les arbres.

Les différentes positions des tolérances de l'alésage en nombre de 29 donnent des écarts positifs puis négatifs au fur et à mesure que l'on avance dans l'alphabet , tandis que pour les arbres c'est le contraire, (fig. 24)

ALESAGES : A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, J, JS, K, M, N, O, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC.

Arbres : a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, j, js, k, m, n, o, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc.



(fig.24)

Position des alésages :

A à G : les zones de tolérance se trouvent au dessus de la ligne zéro. Tous les écarts sont positifs et les cotes réelles sont supérieures à la cote nominale.

H : alésage normal dont la cote mini est égale à la cote nominale tel que $ES > 0$ et $EI=0$.

JS : à cheval sur la ligne zéro tel que $| ES | = | EI |$

J : à cheval sur la ligne zéro tel que $| ES | < | EI |$

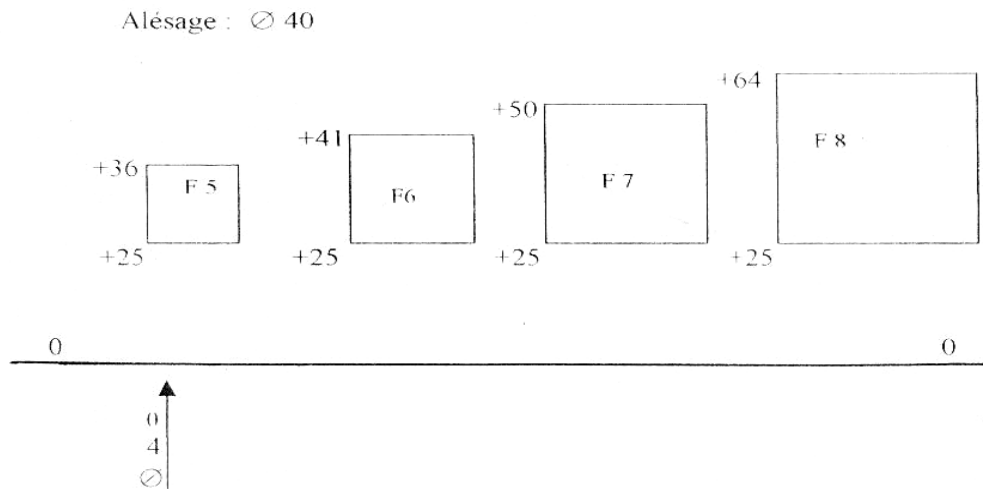
ECARTS DES ALESAGES (en microns)

ALESAGE	PALIERS DE DIAMETRES (en mm)												
	> 0 < 3	> 3 < 6	> 6 < 10	> 10 < 18	> 18 < 30	> 30 < 50	> 50 < 80	> 80 < 120	> 120 < 180	> 180 < 250	> 250 < 315	> 315 < 400	> 400 < 500
D10	+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
F7	+16 +8	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 +30	+71 +36	+83 +43	+96 +50	+108 +56	+119 +62	+131 +88
G6	+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
H6	+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
H7	+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
H8	+14 0	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+40 0	+48 0	+57 0	+67 0	+77 0	+88 0	+100 0	+115 0
H9	+25 0	+30 0	+38 0	+45 0	+52 0	+62 0	+74 0	+87 0	+100 0	+115 0	+130 0	+145 0	+160 0
H10	+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
H12	+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
J7	+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
K6	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
M7	-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
N9	-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
P6	-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
P9	-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

ECARTS DES ARBRES (en microns)

arbre	PALIERS DE DIAMETRES (en mm)												
	< 0 ≤ 3	> 3 < 6	> 6 < 10	> 10 < 18	> 18 < 30	> 30 < 50	> 50 < 80	> 80 < 120	> 120 < 180	> 180 < 250	> 250 < 315	> 315 < 400	> 400 < 500
d9	-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
d11	-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
e7	-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
e9	-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
f6	-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
f7	-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
g5	-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
g6	-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
h5	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
h6	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
h7	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
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
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
m6	+8 +12	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21	+63 +23
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

Exemple :



(fig.25)

5.1.3.12. Inscription des tolérances

Chaque dimension à usiner doit présenter sa valeur nominale (cote nominale) suivie du symbole de tolérance soit de la valeur numérique des deux écarts.

Exemple :

$\varnothing 45 f7$ ou arbre $\varnothing 45 \begin{matrix} -0,025 \\ +0,060 \end{matrix}$

La première désignation des tolérances est utilisée généralement pour la fabrication en séries où le contrôle des pièces usinées s'effectue par des calibres limites (calibres tolérancés).

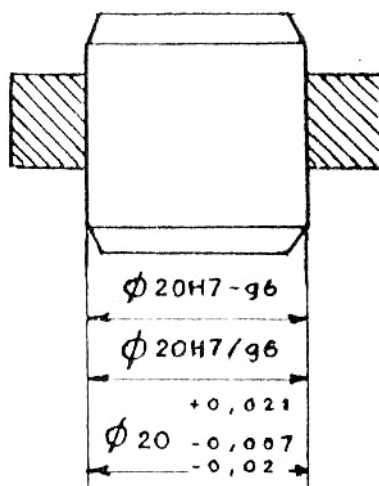
La seconde est mieux utilisée dans la production unitaire ou le contrôle s'effectue par les instruments universels de mesures.

Cotation des ajustements :

20 H7 - g6

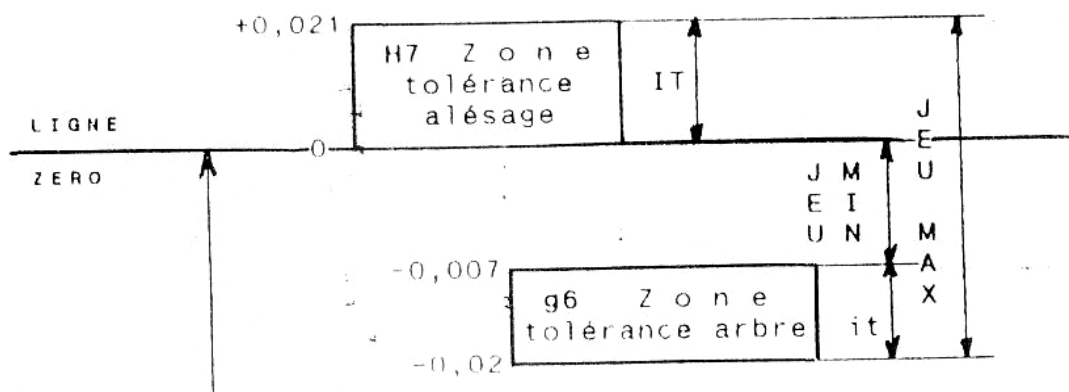
- Ajustement dit à alésage (H) avec serrage garanti
- Cote nominale 20 mm
- H : position de tolérance de l'alésage (alésage normale)
- 7 : qualité de l'alésage
- g : position de tolérance de l'arbre
- 6 : qualité de l'arbre

La représentation en dessin (fig. 26), montre les différentes possibilités de cotation d'un ajustement cylindrique.



(fig.26)

Le sens de cette cotation est donné par le schéma des zones de tolérances dans la figure 27 ci-dessous :



(fig.27)

5.1.3.13. Facteurs de choix des tolérances et ajustements

Les dimensions des tolérances des assemblages et pièces ne sont pas choisies au hasard, elles font l'objet d'une étude approfondie et d'un calcul rigoureux car elles ont une très grande influence sur la fabrication des pièces, le fonctionnement, la durée de vie et le prix de revient.

Outre la précision inscrite parmi les exigences techniques, qui est absolument nécessaire pour le bon fonctionnement d'un assemblage, l'état de surface influe considérablement aussi sur la qualité de l'ajustement Il y a donc une dépendance étroite entre la précision et la rugosité

Une tolérance très faible perd de sa valeur si la rugosité dépasse la tolérance voulue. C'est pourquoi les signes de façonnage et les qualités d'ajustement doivent être comparables. Une haute précision existe une faible rugosité et inversement.

Méthode du choix de l'ajustement :

les jeux limites (ou serrages limites) étant connus, il faudrait déterminer les dimensions normalisées de l'arbre et de l'alésage qui doivent former l'ajustement demandé.

Données :

- Cote nominale (Cn)
- s'il s'agit d'un jeu garanti
 - jeu maxi (Jmax)
 - jeu mini(Jmin)
- s'il s'agit d'un serrage garanti
 - serrage maxi (Smax)
 - serrage mini (Smin)
- si l'ajustement est incertain
 - jeu maxi (Jmax)
 - serrage maxi (Smax)

Les phases successives pour permettre la détermination d'un ajustement se résume en cinq étapes comme suit :

Etape 1 :

D'après les tableaux des tolérances, on calcule la tolérance totale de l'ajustement TA en utilisant la formule :

- s'il s'agit d'un jeu : $TA = J_{max} - J_{min}$
- s'il s'agit d'un serrage : $TA = S_{max} - S_{min}$
- si l'ajustement est incertain : $TA = S_{max} - J_{max}$

Etape 2 :

Partager la valeur de la tolérance TA entre l'alésage et l'arbre de telle façon que la somme des intervalles de tolérance de l'arbre et de l'alésage soit inférieure ou au plus égale à TA tel que :

$$IT + it < TA$$

Généralement on adopte la valeur de tolérance de l'alésage supérieure à celle de l'arbre ($IT > it$). Si l'alésage est d'une certaine qualité X, la qualité correspondante à l'arbre devrait être de (X - 1) ou (X - 2). L'arbre doit être plus précis parce qu'il est relativement plus facile à usiner qu'un alésage.

Etape 3 :

Choisir la position de tolérance pour l'alésage d'après la valeur reçue de son intervalle de tolérance IT. Pratiquement on adopte généralement l'alésage normal H de telle façon que $ES = IT$ et $EI = 0$.

Etape 4 :

Après avoir choisi l'alésage, on détermine l'arbre correspondant en calculant ses écarts es et ei :

- sil s'agit d'un jeu :

On sait que $es = -J_{min}$

Et puisque $it = es - ei$

On calcule $ei = es - it = -J_{min} - it$

- s'il s'agit d'un serrage :

On sait que $es = S_{max}$

Et puisque : $it = es - ei$

Ou calcule $ei = es - it = S_{max} - it$

- sil s'agit d'un ajustement incertain

On sait que : $es = S_{max}$

Et puisque $it = es - ei$

On calcule $ei = es - it = S_{max} - it$

Etape 5 :

Chercher dans les tableaux l'arbre normalisé qui se rapproche le plus de l'arbre déterminé ci-dessus et vérifier bien sil satisfait les conditions

- des jeux :

$$ES - ei \leq J_{max}$$

$$EI - es \geq J_{min}$$

- des serrages :

$$es - EI \leq S_{max}$$

$$ei - ES \geq S_{min}$$

- du jeu et serrage (ajustement incertain) :

$$ES - ei \leq J_{max}$$

$$EI - es \geq S_{max}$$

Si au moins l'une des deux conditions pour le type d'ajustement en question n'est pas satisfaite, on recommence la procédure en repartageant la tolérance d'ajustement totale TA entre l'alésage et l'arbre d'une autre façon. dans d'autres proportions et l'on revivifie les conditions jusqu'à ce qu'elles soient satisfaites.

Exemple :

Données :

- cote nominale $\varnothing 70$
- jeu maxi : $J_{\max} = 130$ microns
- jeu mini : $J_{\min} = 50$ microns

1. $TA = J_{\max} - J_{\min} = 130 - 50 = 80$ microns

2. Il faut que $IT + it < 80$

D'après les tableaux, on choisit :

- l'arbre de qualité 7 dont $it = 30 \mu$
- l'alésage de qualité 8 dont $IT = 80 \mu$

3. Si l'on adopte pour un ajustement du type à alésage normal H, on a l'alésage : 70 H7

$ES = IT = 46$ et $EI = 0$

4. On détermine l'arbre correspondant :

$es = -J_{\min} = -50 \mu$

$ei = es - it = -50 - 30 = -80 \mu$

On a donc l'arbre :

$\varnothing 70 \begin{matrix} -0,05 \\ +0,08 \end{matrix}$ ou $\varnothing 70 e7$

5. D'après les tableaux les diamètres normalisés et proches de l'arbre obtenu :

$\varnothing 70 \begin{matrix} -0,005 \\ -0,008 \end{matrix}$ sont :

a. $\varnothing 70 \begin{matrix} -0,06 \\ -0,09 \end{matrix}$ ou $\varnothing 70 e7$

b. $\varnothing 70 \begin{matrix} -0,03 \\ +0,06 \end{matrix}$ ou $\varnothing 70 f7$

Vérifions la première condition de jeu pour les deux dimensions

$ES - ei \leq \text{Jeu maxi}$

a. $46 - (-90) = 136 > 130 \mu$: ne convient pas

b. $46 - (-60) = 106 < 130 \mu$: convient

Vérifions la deuxième condition de jeu pour seulement le deuxième arbre

$EI - es \geq \text{Jeu min}$

b. $0 - (-30) = 30 < 50 \mu$: ne convient pas

En conclusion les deux arbres ne conviennent pas à notre partage de la tolérance d'ajustement.

De ce fait, il y a lieu de refaire un deuxième essai en recommençant le choix de partager la tolérance TA d'une autre façon telle que exposé ci-après :

1. $TA = J_{max} - J_{min} = 130 - 50 = 80$ microns

2. Il faut que : $IT + it < 80 \mu$

D'après les tableaux, on obtient :

- l'arbre de qualité 7 dont $it = 30 \mu$

- l'alésage de qualité 7 dont $IT = 30 \mu$

3. Si l'on adopte pour un ajustement du type à alésage normal H, on a l'alésage 70 H7 tel que : $ES = IT = 30$ et $EI = 0$

4. On détermine l'arbre correspondant

$$es = - J_{min} = - 50 \mu$$

$$ei = es - it = -50 - 30 = -80 \mu$$

on a donc l'arbre :

$$\text{Ø } 70 \begin{matrix} -0,05 \\ -0,08 \end{matrix} \text{ ou } \text{Ø } 70 \text{ e7}$$

5. D'après les tableaux les diamètres normalisés et proches de l'arbre obtenu

$$\text{Ø } 70 \begin{matrix} -0,05 \\ -0,08 \end{matrix}$$

a. $\text{Ø } 70 \begin{matrix} -0,06 \\ +0,09 \end{matrix}$ ou $\text{Ø } 70 \text{ e7}$

b. $\text{Ø } 70 \begin{matrix} -0,03 \\ +0,06 \end{matrix}$ ou $\text{Ø } 70 \text{ f7}$

Vérifions la première condition de jeu pour les deux arbres

$$ES - ei \leq \text{Jeu maxi}$$

a. $30 - (-90) = 120 < 130 \mu$: convient

b. $30 - (-60) = 90 < 130 \mu$: convient

Vérifions la deuxième condition de jeu pour les deux arbres :

$$EI - es \geq \text{Jeu min}$$

a. $0 - (-60) = 60 > 50 \mu$: convient

b. $0 - (-30) = 30 < 50 \mu$: ne convient pas

En conclusion parmi les deux arbres seul le premier $\text{Ø } 70 \text{ e7}$ convient à notre ajustement du fait qu'il satisfait les deux conditions de jeu.

Ainsi l'ajustement recherché est : $\text{Ø}70 \text{ H7 e7}$

5.1.3.14. Ajustements recommandés

Nous donnons quelques exemples sur l'utilisation des ajustements et le choix des tolérances en fonction de l'ajustement en précisant les qualités les plus couramment utilisées.

Nous signalons que tous les ajustements usuels recommandés sont du type système à alésage normal H.

Ajustement pour pièces mobiles :

a. Ajustement libre : H11 d11 pour les pièces dont le fonctionnement nécessite un grand jeu.

b. Ajustement tournant H8 e8, H9 e9, H8 f7 pour pièces tournantes ou glissantes en assurant un bon graissage tel que le guidage sur grande longueur avec rotation.

c. Ajustement glissant H7 g6 pour pièces avec guidage précis ayant des mouvements de faibles amplitudes tel que le guidage sur de petites longueurs en translation.

Dans ces trois types d'ajustements, le montage des pièces, leur graissage et le démontage sont faciles.

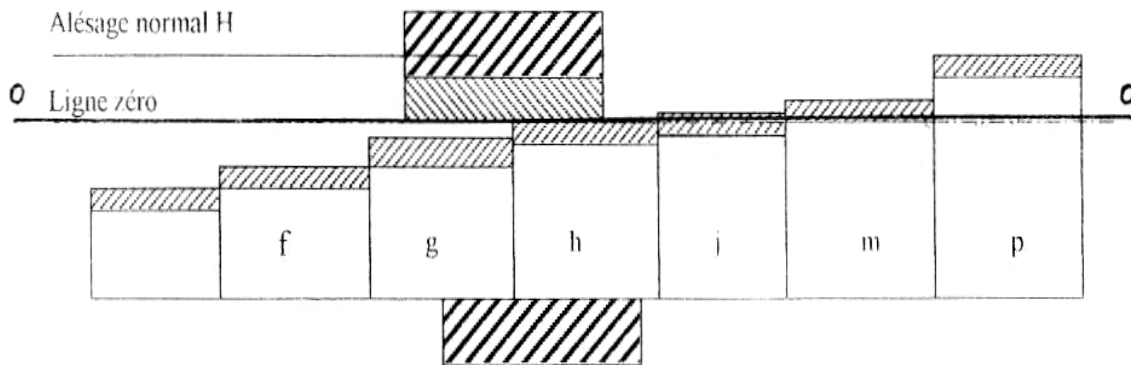
Ajustements pour pièces fixes :

a. Ajustement juste glissant H6 h5, H7 h6, H8 h7, H9 h8, H6 js5 dont le montage est possible à la main.

b. Ajustement bloqué H6 k5 et H7 m6 dont le montage s'effectue au maillet.

Les deux types d'ajustements ne permettent pas la transmission d'efforts tel que l'emmanchement des roulements et des roues clavetées. Le graissage étant impossible mais le démontage peut se faire sans détériorer les pièces.

c. Ajustement pressé H7 p6, H8 s7 et H8 u7 ; ce type d'ajustement transmet des efforts et ne se graisse pas. Il est indémontable parce que son montage se fait à la presse.



Le même alésage H donne du jeu avec les arbres e, f, g, h du jeu ou du serrage avec les arbres j et m, du serrage avec l'arbre p.

(fig.28)

5.2. Principales méthodes de réalisation des ajustements avec serrage

Un ajustement avec serrage est toujours obtenu avec un arbre de cote réelle supérieure à celle de l'alésage

$$C \text{ réelle (arbre)} > C \text{ réelle (alésage)}$$

Le montage de l'arbre et de l'alésage se fait le plus souvent par :

- emmanchement forcé à froid,
- dilatation de l'alésage,
- contraction de l'arbre.

5.2.1. Emmanchement forcé à froid

a. au maillet ou au marteau :

Dans ce cas le serrage doit être faible et la surface de contact de faible étendue. Les chocs par coups de maillet ou de marteau sont suffisants pour vaincre l'effort de frottement provoqué par le serrage et permettre le glissement de l'arbre dans l'alésage en lui assurant assez d'adhérence pour qu'il reste solidaire du bâti. Exemple : H7/p6.

b. Emmanchement à la presse :

Lorsque l'emmanchement au marteau est impossible on a recours à la presse dont la pression peut atteindre plusieurs tonnes. Cette méthode est destinée pour l'emmanchement des pièces de grandes dimensions avec un fort serrage. Exemple : 120 H7/p6.

5.2.2. Emmanchement par dilatation de l'alésage

Si l'alésage est chauffé jusqu'à une température de 400 °c, il se dilate dans de grandes proportions et son emmanchement se fait alors avec jeu. Le serrage est obtenu après contraction de l'alésage au refroidissement. Cette opération porte le nom de frettage à chaud. Mais il est nécessaire de calculer le diamètre d'alésage de la frette tel que la limite élastique des métaux ne soit pas dépassée.

Dilatation ou contraction de quelques métaux :

- Acier : 12 μ par mètre et par degré.
- Laiton : 18 μ par mètre et par degré.
- Alliage d' Al : 23 μ par mètre et par degré.
- Alliage de Mg : 25 μ par mètre et par degré.

5.2.3. Emmanchement par contraction de l'arbre

Dans ce cas on réduit le diamètre de la pièce mâle (arbre) par refroidissement en le plongeant dans de l'azote liquide, ainsi est réalisé le chemisage de certains moteurs. La chemise refroidie à -190°C glisse facilement dans le cylindre. Le serrage est obtenu lorsque l'ensemble est revenu à la température ambiante.