Solutions TP4 - Rugosité - Frettage

David Trif

20 mars 2012

Exercice 1

A partir de la courbe d'Abbot, on calcule R_p et k_v.
La profondeur moyenne de rugosité :

$$R_p = \frac{1}{L}\int_0^L ydx \Rightarrow R_p \cdot L = \underbrace{\int_0^L ydx}_{aire\ vide}\ ^{1} \tag{1}$$

Courbe d'Abbot [2] :

$$A + B = R_t \cdot 1 \tag{2}$$

$$\Rightarrow L \cdot R_t = L \cdot A + L \cdot B \tag{3}$$

$L_e \rightarrow$ longueur totale située à l'intérieur de la matière.

$$\Rightarrow B = \int_0^{R_t} \frac{L_e}{L} dy\ ^{3} \Rightarrow L \cdot B = \int_0^{R_t} L_e dy \tag{4}$$

$$L \cdot B \rightarrow \text{surface dans la matière}\ ^{4} \tag{5}$$

$$L \cdot R_t = L \cdot A + L \cdot B \Rightarrow L \cdot A \rightarrow \text{aire vide} \tag{6}$$

$$\Rightarrow L \cdot A = L \cdot R_p \Rightarrow R_p = A \tag{7}$$

Le coefficient de plénitude :

$$k_v = 1 - \frac{R_p}{R_t} = 1 - \frac{A}{A+B} = \frac{B}{A+B} \tag{8}$$

---

1. Figure 1
2. Figure 2
3. Figure 2
4. Figure 1

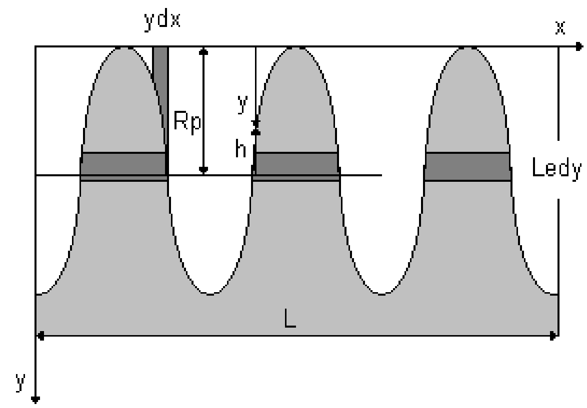

FIGURE 1 – Définitions L, L_e, R_p et h

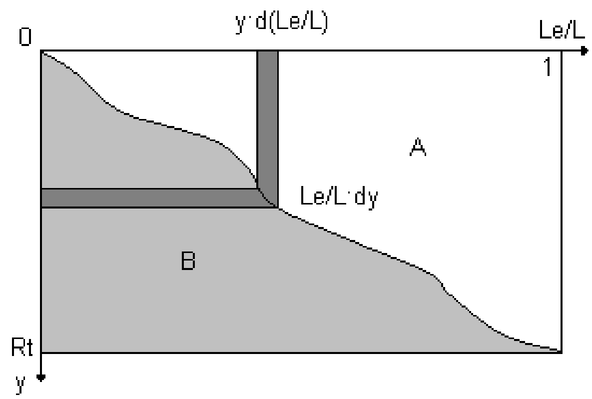

FIGURE 2 – Courbe d'Abbot

Exercice 2

La propfondeur moyenne de rugosité :

$$R_p = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L y dy \tag{9}$$

La rugosité moyenne arithmétique :

$$R_a = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |h| dx \tag{10}$$

La rugosité moyenne quadratique :

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \cdot \int h^2 dx} \tag{11}$$

Le coefficient de plénitude :

$$k_v = 1 - \frac{R_p}{R_t};\ \text{avec } R_t \rightarrow \text{rugosité totale} \tag{12}$$

La fonction $z(x)$ est approximée par [5] :

$$z(x) \approx z(0) + x \cdot \underbrace{z'(0)}_{0} + \frac{x^2}{2} \cdot \underbrace{z''(0)}_{\frac{1}{r_\epsilon}} \tag{13}$$

$$\Rightarrow z(x) \approx \frac{x^2}{2r_\epsilon} \tag{14}$$

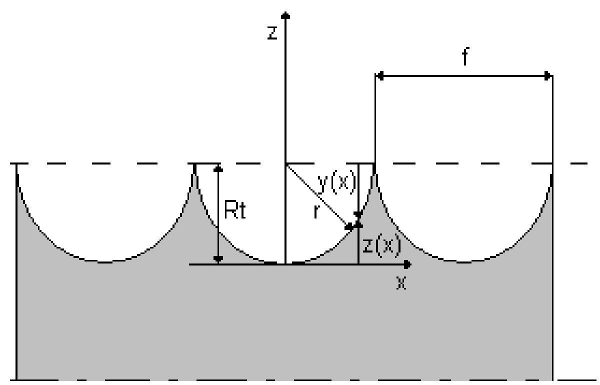

Figure 3 – Rugosité - operation de tournage

La rugosité totale :

$$R_t = z\left(\frac{f}{2}\right) = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \tag{15}$$

Dans la figure 3 :

$$y = R_t - z \tag{16}$$

$$\Rightarrow R_p = \frac{2}{f} \cdot \int_0^{\frac{f}{2}} y dx = \frac{2}{f} \cdot \int_0^{\frac{f}{2}} \left(R_t - \frac{x^2}{2r_\epsilon}\right) dx = \frac{2}{f} \cdot \int_0^{\frac{f}{2}} \left(\frac{f^2}{8r_\epsilon} - \frac{x^2}{2r_\epsilon}\right) dx \tag{17}$$

$$R_p = \frac{f^2}{12r_\epsilon} \tag{18}$$

5. Figure 3

$$k_v = 1 - \frac{R_p}{R_t} = 1 - \frac{\frac{f^2}{12r_\epsilon}}{\frac{f^2}{8r_\epsilon}} = \frac{1}{3} \tag{19}$$

$$R_a = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |h| dx \tag{20}$$

$$h = R_p - y\,^6 = R_p - (R_t - z) = z - (R_t - R_p) = z - \left(\frac{f^2}{8r_\epsilon} - \frac{f^2}{12r_\epsilon}\right) = z - \frac{f^2}{24r_\epsilon} \tag{21}$$

$$h = \begin{cases} h;\ si\ h \geq 0 \\ -h;\ si\ h < 0 \end{cases}$$

$$h < 0 \Rightarrow z < \frac{f^2}{24r_\epsilon} \rightarrow \frac{x^2}{2r_\epsilon} < \frac{f^2}{24r_\epsilon} \Rightarrow x < \frac{f}{\sqrt{12}} \tag{22}$$

La rugosité arithmétique est donc :

$$R_a = \frac{2}{f} \cdot \int_0^{\frac{f}{\sqrt{12}}} \left(\frac{f^2}{24r_\epsilon} - z\right) dx + \frac{2}{f} \cdot \int_{\frac{f}{\sqrt{12}}}^{\frac{f}{2}} \left(z - \frac{f^2}{24r_\epsilon}\right) dx \tag{23}$$

$$\Rightarrow R_a = \frac{2}{f} \cdot \left(\frac{f^2}{24r_\epsilon} \cdot x\Big|_0^{\frac{f}{\sqrt{12}}} - \frac{x^3}{6r_\epsilon}\Big|_{\frac{f}{\sqrt{12}}}^{\frac{f}{2}} \right) = 0,032 \frac{f^2}{r_\epsilon} \tag{24}$$

La rugosité moyenne quadratique :

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \cdot \int h^2 dx} \Rightarrow R_q^2 = \frac{2}{f} \int_0^{\frac{f}{2}} \left(z - \frac{f^2}{24r_\epsilon}\right)^2 dx \tag{25}$$

$$R_q^2 = \frac{2}{f} \int_0^{\frac{f}{2}} \left(\frac{x^2}{2r_\epsilon} - \frac{f^2}{24r_\epsilon}\right)^2 dx = \frac{4}{2880} \cdot \frac{f^4}{r_\epsilon^2} \tag{26}$$

$$\Rightarrow R_q = 0,03726 \frac{f^2}{r_\epsilon} \tag{27}$$

Exercice 3

On cherche l'ajustement ISO convenable, avec un alésage normal.
Les coefficients C_a (arbre) et C_m (moyeu) :

$$C_a = \frac{1}{E_a}\left(\frac{1 + Q_a^2}{1 - Q_a^2} - \nu_a\right);\ \text{avec } Q_a = \frac{d_{int}}{d_{ext}} = 0 \tag{28}$$

$$C_a = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5\ N/mm^2}(1 - 0,3) = 3,33 \cdot 10^{-6}\ MPa^{-1} \tag{29}$$

6. Figure 1

$$C_m = \frac{1}{E_m}\left(\frac{1+Q_m^2}{1-Q_m^2}+\nu_m\right);\ \text{avec } Q_m = \frac{d_{int}}{d_{ext}} = \frac{100}{180} = 0,56 \tag{30}$$

$$C_m = \frac{1}{2,1\cdot 10^5\ N/mm^2}\left(\frac{1+0,56^2}{1-0,56^2}+0,3\right) = 10,56\cdot 10^{-6}\ MPa^{-1} \tag{31}$$

Interférence requise :

$$\delta_m^{requis} = \delta(p_{requise}) + 2(R_{pa}+R_{pm}) \tag{32}$$

$$\frac{\delta(p_{requise})}{d} = (C_a + C_m)\cdot p_{requise} \tag{33}$$

$$p_{req} = \frac{1}{\mu}\sqrt{\tau_\theta^2+\tau_a^2};\ \text{avec } \tau_\theta\,^{7} = \frac{M_t}{\pi\frac{d^2}{2}l}\ \text{et } \tau_a\,^{8} = \frac{F_a}{\pi d l} \tag{34}$$

Puissance transmise $\mathcal{P}$=400 kW, à une fréquence de rotation N=1000 tr/min.

$$\mathcal{P} = M_t\cdot\omega \Rightarrow M_t = \frac{\mathcal{P}}{2\pi N} = \frac{400\cdot 10^3\cdot 60}{2\pi 1000} = 3,82\cdot 10^6\ Nmm \tag{35}$$

$$F_a = 0 \Rightarrow \tau_a = 0 \tag{36}$$

$$\Rightarrow p_{req} = \frac{1}{0,08}\cdot\frac{3,82\cdot 10^6\ Nmm}{\pi\cdot\frac{100^2}{2}\ mm^2\cdot 200\ mm} = 15,2\ MPa \tag{37}$$

On suppose que l'ensemble tourne à grande vitesse. La corection de pression :

$$\Delta p = \frac{3+\nu}{32}\rho\omega^2 d^2\left(\frac{1}{Q_m^2}-1\right) \tag{38}$$

$$\Delta p = \frac{3+0,3}{32}\cdot 7,85\cdot 10^3\frac{kg}{m^3}\left(2\pi\frac{1000\ tr/min}{60}\right)^2\cdot 0,1^2\ m^2\cdot\left(\frac{1}{0,56^2}-1\right) \tag{39}$$

$$\Delta p = 194297\ \frac{kg}{m\cdot s^2} = 194297\ \frac{N}{m^2} = 0,194\ MPa \tag{40}$$

$$\Rightarrow p_{requise}^{corr} = p_{req} + \Delta p = 15,2 + 0,194 = 15,4\ MPa \tag{41}$$

$$\delta(p_{requise}^{corr}) = (C_a + C_m)\cdot p_{requise}\cdot d\ mm \tag{42}$$

$$\Rightarrow \delta_{m,corr}^{requis} = \delta(p_{requise}^{corr}) + 2(R_{pa}+R_{pm}) \tag{43}$$

$$\delta_{m,corr}^{requis} = (3,33+10,54)\cdot 10^{-6}\ MPa^{-1}\cdot 15,4\ MPa\cdot 100 + 2(0,004+0,003)\ (\text{mm}) \tag{44}$$

$$\delta_{m,corr}^{requis} = 35,35\ \mu m \tag{45}$$

Interférence maximale :

$$\frac{\delta_{adm}}{d} = (C_a + C_m)\cdot p_{adm} \tag{46}$$

7. Contrainte azimutale
8. Contrainte axiale

$$p_{adm} = \frac{1-Q_m^2}{2} \cdot \frac{R_e}{s} \approx \frac{1-Q_m^2}{2} \cdot \frac{R_{0,2}}{s} = \frac{1-0,56^2}{2} \cdot \frac{290}{1,25} = 79,62\ MPa \quad (47)$$

$$\Rightarrow \delta_{adm} = (3,33 + 10,54) \cdot 10^{-6} \cdot 79,62 \cdot 100 = 110\ \mu m \quad (48)$$

Choix de l'ajustement.
Le degré de tolérance pour le moyeu n et pour l'arbre $n-1$:

$$IT_n - IT_{n-1} \leq \delta_{adm} - \delta_{req} \Rightarrow IT_n - IT_{n-1} \leq 110 - 36 = 74\ \mu m \quad (49)$$

La qualité pour l'alésage sera n=8,7 ou 6 [9] :

n	IT_n	IT_{n-1}	IT_n+IT_{n-1}
8	54	35	89 → non
7	35	22	57 → ok
6	22	15	37

On choisi donc le degré de tolérance n=7.
L'interférence i :

$$i = d - D \text{ (d} \rightarrow \text{diamètre arbre ; D} \rightarrow \text{diamètre alésage)} \quad (50)$$ [10]

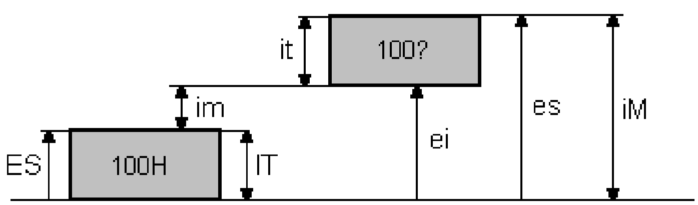

FIGURE 4 – Ajustement serré

$$\begin{cases} i_m = ei_{n-1} - ES_n = ei_{n-1} - (IT_n + \underbrace{EI_n}_{0}) = ei_{n-1} - IT_n > \delta_{req} \\ i_M = es_{n-1} - EI_n = ei_{n-1} + it_{n-1} \leq \delta_{adm} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} ei_{n-1} - IT_n > \delta_{req} \\ ei_{n-1} + it_{n-1} \leq \delta_{adm} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} ei_{n-1} > 35 + 35 = 70 \\ ei_{n-1} \leq 110 - 22 = 88 \end{cases}$$

L'arbre qui satisfait la condition précédente est du type $s6$ [11].
L'ajustement choisi : $100H7s6$.

9. Annexe T2
10. Figure 4
11. Annexe T4

Exercice 4

Arbe et moyeu du type $\phi 100t6$ et $\phi 100H7$ respectivement.

$$IT_7(\phi 100) = 35\ \mu m \tag{51}$$

$$\Rightarrow \text{Moyeu : } 100_{0}^{0,035}\ mm \tag{52}$$

$$it_6 = 22\ \mu m \tag{53}$$

$$ei(t) = 91 \Rightarrow \text{Arbre : } 100_{0,091}^{0,113}\ mm \tag{54}$$

L'interférence requise réele :

$$\delta_{req,reel}{}^{12} = ei_6 - ES_7 = 91 - 35 = 56\ \mu m \tag{55}$$

$$\delta_{req,reel} = \delta_{req} + 2(R_{pa} + R_{pm}) \tag{56}$$

$$\delta_{req} = 56 - 2(3+4) = 42\ \mu m \tag{57}$$

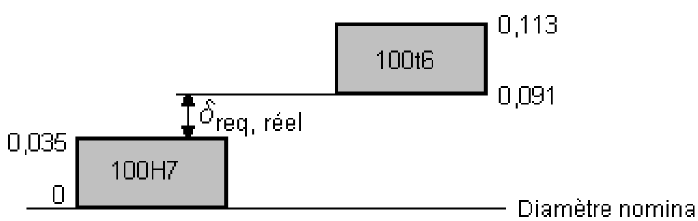

Figure 5 – $H7$ - $t6$

La pression requise :

$$\delta_{req} = d(C_a + C_m)p_{req} \Rightarrow p_{req} = \frac{\delta req}{d(C_a + C_m)} \tag{58}$$

Les coefficients Q_a et Q_m :

$$Q_a = \frac{d_{int}}{d_{ext}} = 0;\ Q_m = \frac{d_{int}}{d_{ext}} = \frac{100}{180} = 0,56 \tag{59}$$

Calcul des coefficients C_a et C_m :

$$C_a = \frac{1}{E_a}\left(\frac{1+Q_a^2}{1-Q_a^2} - \nu_a\right) \tag{60}$$

$$\Rightarrow C_a = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5\ N/mm^2}(1 - 0,3) = 3,33 \cdot 10^{-6}\ MPa^{-1} \tag{61}$$

12. Figure 5

$$C_m = \frac{1}{E_m}\left(\frac{1+Q_m^2}{1-Q_m^2}+\nu_m\right) \tag{62}$$

$$\Rightarrow C_m = \frac{1}{1,05\cdot 10^5\ N/mm^2}\left(\frac{1+0,56^2}{1-0,56^2}+0,25\right) = 20,6\cdot 10^{-6}\ MPa^{-1} \tag{63}$$

$$p_{req} = \frac{\delta req}{d(C_a+C_m)} = \frac{42\cdot 10^{-3}\ mm}{100\ mm\cdot(3,33+20,6)\cdot 10^{-6}\ MPa^{-1}} \tag{64}$$

$$\Rightarrow p_{req} = 17,55\ MPa \tag{65}$$

Le couple transmis :

$$C_f = \underbrace{\underbrace{\underbrace{p_{req}\cdot\pi\cdot d\cdot l}_{effort\ norm.}\cdot\mu}_{effort\ tang.}\cdot\frac{d}{2}}_{couple} \tag{66}$$

$$C_f = 17,55\ MPa\cdot\pi\cdot 100\ mm\cdot 140\ mm\cdot 0,1\cdot\frac{100\ mm}{2} \tag{67}$$

$$\Rightarrow C_f = 3,85\cdot 10^6\ Nmm = 3,85\cdot 10^3\ Nm \tag{68}$$

Exercice 5

La formule des arbres de manège :

$$\frac{d}{120\ mm} = \sqrt[4]{\frac{\mathcal{P}/ch}{N/(tr/min)}} \tag{69}$$

$$\Rightarrow \frac{\mathcal{P}}{N} = \left(\frac{d}{120}\right)^4 = \left(\frac{82}{120}\right)^4 = 0,218 \tag{70}$$

Le couple transmis (on suppose la puissance en ch et la fréquence de rotation en rot/min) :

$$C = \frac{\mathcal{P}}{\omega} = \frac{\mathcal{P}}{2\pi N} = \frac{\mathcal{P}\cdot 736}{2\pi N/60} = \frac{736\cdot 60}{2\pi}\cdot\underbrace{\frac{\mathcal{P}}{N}}_{0,218} \tag{71}$$

$$C = 1533,2\ Nm \tag{72}$$

Pour pouvoir transmettre ce couple, l'assemblage doit supporter une pression requise :

$$p_{req}\cdot\pi\cdot d\cdot l\cdot\mu\cdot\frac{d}{2} = C \tag{73}$$

$$\Rightarrow p_{req} = \frac{C}{\pi \cdot d \cdot l \cdot \mu \cdot \frac{d}{2}} = \frac{1533,2 \cdot 2}{\pi \cdot 0,082 \cdot 0,7 \cdot 0,082 \cdot 0,09 \cdot 0,082} \tag{74}$$

$$\Rightarrow p_{req} = 2,83 \cdot 10^7 \ Pa = 28,3 \ MPa \tag{75}$$

Interférence requise :

$$\delta^0_{req} = d(C_a + C_m)p_{req} \tag{76}$$

$$Q_a = 0; \ Q_m = \frac{r_i}{r_e} = \frac{1}{\rho_e} = \frac{1}{3} \tag{77}$$

$$C_a = \frac{1}{E_a}\left(\frac{1+Q_a^2}{1-Q_a^2} - \nu_a\right) = 3,33 \cdot 10^{-6} \ MPa^{-1} \tag{78}$$

$$C_m = \frac{1}{E_m}\left(\frac{1+Q_m^2}{1-Q_m^2} + \nu_m\right) = \frac{1}{210000 \ MPa}\left(\frac{1+0,33^2}{1-0,33^2} + 0,3\right) \tag{79}$$

$$C_m = 7,37 \cdot 10^{-6} \ MPa^{-1} \tag{80}$$

$$\Rightarrow \delta^0_{req} = 82 \ mm \cdot (3,33 + 7,37) \cdot 10^{-6} \ MPa \cdot 28,3 \ MPa \tag{81}$$

$$\delta^0_{req} = 0,0248 \ mm = 24,8 \ \mu m \tag{82}$$

$$\delta_{req} = \delta^0_{req} + 2(R_{pa} + R_{pm}) \text{ (on doit tenir compte des rugosités)} \tag{83}$$

$$\Rightarrow \delta_{req} = 24,8 + 2(3+3) = 36,8 \ \mu m \tag{84}$$

Interférence admissible :

$$\frac{\delta_{adm}}{d} = (C_a + C_m) \cdot p_{adm} \tag{85}$$

$$p_{adm} = \frac{1-Q_m^2}{2} \cdot \frac{R_e}{s} = \frac{1-0,33^2}{2} \cdot \frac{540}{1,25} = 192 \ MPa \tag{86}$$

$$\Rightarrow \delta_{adm} = d \cdot (C_a + C_m) \cdot p_{adm} = 82 \ mm \cdot (3,33+7,37) \cdot 10^{-6} \ MPa \cdot 192 \ MPa \tag{87}$$

$$\delta_{adm} = 0,168 \ mm = 168 \ \mu m \tag{88}$$

Pour trouver l'ajustement qui convient, on va effectuer des essais successifs. Dans le domaine des constructions mécaniques, on préfère travailler avec des qualités n=8, 7 ou 6 pour l'alésage normal.

$$IT_n - IT_{n-1}\,^{13} \leq \delta_{adm} - \delta_{req} \tag{89}$$

$$\Rightarrow IT_n - IT_{n-1} \leq 168 - 36,8 \approx 131 \ \mu m \tag{90}$$

n	IT_n $(T2)$	IT_{n-1}	IT_n+IT_{n-1}
8	54	35	89 → ok
7	35	22	57 → ok
6	22	15	37

13. IT_n → interval de tolerance, avec une qualité n

Le degré de tolérance n=8.

$$i = d - D \text{ (d} \rightarrow \text{diamètre arbre ; D} \rightarrow \text{diamètre alésage)} \tag{91}$$

$$\begin{cases} i_m = ei_{n-1} - ES_n = ei_{n-1} - (IT_n + \underbrace{EI_n}_{0}) = ei_{n-1} - IT_n > \delta_{req} \\ i_M = es_{n-1} - EI_n = ei_{n-1} + it_{n-1} \leq \delta_{adm} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} ei_{n-1} - IT_n > \delta_{req} \\ ei_{n-1} + it_{n-1} \leq \delta_{adm} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} ei_{n-1} > 36,8 + 54 = 90,8 \\ ei_{n-1} \leq 168 - 35 = 133 \end{cases}$$

L'arbre qui satisfait la condition précédente est du type $t7$ [14].
L'ajustement choisi : $82H8t7$.

Exercice 6

Le couple ce frottement :

$$C_f = \mu \cdot F \cdot \frac{d}{2} \tag{92}$$

$$\Rightarrow C_f = 0,04 \cdot 2600\ kg \cdot 9,81\ m/s^2 \cdot \frac{0,1\ m}{2} = 51,012\ Nm \tag{93}$$

Puisssance totale dissipée :

$$\mathcal{P}_{diss,tot} = C_f \cdot \omega = C_f \cdot 2\pi \cdot N \tag{94}$$

$$\Rightarrow \mathcal{P}_{diss,tot} = 51,012\ Nm \cdot 500\ tr/min \cdot \frac{2\pi}{60} = 2,67\ kW \tag{95}$$

La puissance unitaire (on suppose que la pression est exercée sur toute la circonférence) :

$$\mathcal{P}_{unit} = \mu \cdot p_{diam} \cdot v \left(\text{unité de mesure : } \frac{W}{m^2}\right) \tag{96}$$

$$p_{diam} = \frac{F}{dL} = \frac{2600\ kg \cdot 9,81\ m/s^2}{100\ mm \cdot 150\ mm} = 1,7\ MPa \tag{97}$$

$$v = \omega \cdot R = 2\pi N \cdot \frac{d}{2} = \frac{\pi N d}{60} = 2,61\ m/s \tag{98}$$

$$\Rightarrow \mathcal{P}_{unit} = 0,04 \cdot 2,61\ m/s \cdot 1,7 \cdot 10^6\ Pa = 1,77 \cdot 10^5\ \frac{W}{m^2} \tag{99}$$

14. Annexe T4

TOLERANCES FONDAMENTALES (IT)

QUALITE	DIMENSIONS NOMINALES (mm) . TOLERANCES (μm)												
	>1 à 3	>3 à 6	>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
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	52	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	290	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	81	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
17	-	-	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	5700	6300
18	-	-	-	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200	8100	8900	9700

Sources: ISO/R286 (1962), DIN 7152 (1965), NBN 101 à 103, AFNOR NFE 02-000

ECARTS FONDAMENTAUX DES ARBRES (a à k)

dimens. nomin. mm		ECARTS SUPERIEURS es (µm)											EC. INF. ei			
		types											types			
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j		k	
		Toutes qualités											qualités			
>	≤												5-6	7	4-7	01-3 8-16
-	1	----	----	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	00	0
1	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	00	0
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	1	0
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	1	0
10	14	-290	-150	-95	---	-50	-32	---	-16	--	-6	0	-3	-6	1	0
14	18															
18	24	-300	-160	-110	---	-65	-40	---	-20	--	-7	0	-4	-8	2	0
24	30															
30	40	-310	-170	-120	---	-80	-50	---	-25	--	-9	0	-5	-10	2	0
40	50	-320	-180	-130												
50	65	-340	-190	-140	---	-100	-60	---	-30	--	-10	0	-7	-12	2	0
65	80	-360	-200	-150												
80	100	-380	-220	-170	---	-120	-72	---	-36	--	-12	0	-9	-15	3	0
100	120	-410	-240	-180												
120	140	-460	-260	-200												
140	160	-520	-280	-210	---	-145	-85	---	-43	--	-14	0	-11	-18	3	0
160	180	-580	-310	-230												
180	200	-660	-340	-240												
200	225	-740	-380	-260	---	-170	-100	---	-50	--	-15	0	-13	-21	4	0
225	250	-820	-420	-280												
250	280	-920	-480	-300	---	-190	-110	---	-56	--	-17	0	-16	-26	4	0
280	315	-1050	-540	-330												
315	355	-1200	-600	-360	---	-210	-125	---	-62	--	-18	0	-18	-28	4	0
355	400	-1350	-680	-400												
400	450	-1500	-760	-440	---	-230	-135	---	-68	--	-20	0	-20	-32	5	0
450	500	-1650	-840	-480												

TYPE js ("j symétrique") : es = IT/2 , ei = - IT/2

Exemple: 100 a9 : es = -380 µm

ei = es - IT9 = - 380 - 87 = - 467 µm

donc 100 a9 = $100^{-0,380}_{-0,467}$

ECARTS FONDAMENTAUX DES ARBRES - types m à zc

Dimens. nomin. mm		ECARTS INFERIEURS ei (μm)													
		TYPES													
		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
>	⩽	Toutes qualités													
-	1	2	4	6	10	14	--	18	--	20	--	26	32	40	60
1	3	2	4	6	10	14	--	18	--	20	--	26	32	40	60
3	6	4	8	12	15	19	--	23	--	28	--	35	42	50	80
6	10	6	10	15	19	23	--	28	--	34	--	42	52	67	97
10	14	7	12	18	23	28	--	33	--	40	--	50	64	90	130
14	18								39	45	--	60	77	108	150
18	24	8	15	22	28	35	--	41	47	54	63	73	98	136	188
24	30						41	48	55	64	75	88	118	160	218
30	40	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
40	50						54	70	81	97	114	136	180	242	325
50	65	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405
65	80				43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
80	100	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585
100	120				54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690
120	140	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
140	160				65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
160	180				68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000
180	200	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150
200	225				80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
225	250				84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350
250	280	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550
280	315				98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
315	355	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
355	400				114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
400	450	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1100	1450	1850	2400
450	500				132	252	360	540	660	820	1000	1250	1600	2100	2600

Exemple : 100 u6 : ei = 124 μm
es = ei + IT6 = 124 + 22 = 146 μm

donc 100 u6 = $100^{+0,146}_{+0,124}$

ECARTS FONDAMENTAUX DES ALESAGES

Tous écarts sauf les suivants	Règle générale Les limites de l'alésage sont exactement symétriques par rapport à la ligne-zéro de celles des arbres de même symbole: $ES_n = -ei_n$, $EI_n = -es_n$
N9 et qualités moins fines, pour $d > 3mm$	$ES = 0$
Alésages serrants J à N, qual 8 et + fines P à ZC, qual. 7 et + fines	Règle spéciale $ES_n = -ei_{n-1} + \Delta$ avec $\Delta = IT_n - IT_{n-1}$ (Règle prévue pour que, dans les qualités fines envisagées, deux ajustements homologues tels que H7/p6 et P7/h6 soient exactement équivalents.) Exception : M6: $ES = -9$ pour $250 < d \leq 315$

TABLE DE LA CORRECTION Δ (μm)

Dimens. nominale mm		QUALITE					
>	≤	3	4	5	6	7	8
1	3	0	0	0	0	0	0
3	6	1	1,5	1	3	4	6
6	10	1	1,5	2	3	6	7
10	18	1	2	3	3	7	9
18	30	1,5	2	3	4	8	12
30	50	1,5	3	4	5	9	14
50	80	2	3	5	6	11	16
80	120	2	4	5	7	13	19
120	180	3	4	6	7	15	23
180	250	3	4	6	9	17	26
250	315	4	4	7	9	20	29
315	500	5	5	7	13	23	34

Exemples a) 20 P7 :

pour p6, $ei = 22$, donc

$$-ei = -22$$
$$= \quad 8$$
$$ES = -14$$

$EI = ES - IT7 = -14 - 21 = -35 \mu m$

donc $20\ P7 = 20^{-0,014}_{-0,035}$

b) On cherche un alésage de qualité 7 $\varnothing = 100$ mm, donnant un jeu moyen de $44 \mu m$ avec un arbre normal (h6)

arbre : 100 h6 $es = 0$

$ei = es - IT6 =$

$= 0 - 22 = -22 \mu m$

écart moyen arbre: $-11 \mu m$

écart moyen alésage : $-11 + 44 = 33 \mu m$

$IT7 = 35 \mu m$

écart max : $33 + \frac{1}{2} . 35 = 50,5 \mu m$

inf : $33 - \frac{1}{2} . 35 = 15,5 \mu m = EI = -es_7$ $es = -15,5 \mu$

g 7 : $-12 = es$, soit jeu moyen $41 \mu m$, acceptable

solution adoptée : alésage 100 G7 soit

$100^{+0,047}_{+0,012}$ jeu min: $12 - 0 = 12 \mu m$

jeu max: $47 + 22 = 69 \mu m$

moy: $40,5 \mu m$