

## Assemblages arbre-moyeu

- Exemple de calcul : alésage normal

Arbre plein ;  $d_i=25$  mm ; frette  $d=80$  mm ; acier  $E=217000$  Mpa ;  $\nu=0.3$  ;  $R_e=300$  Mpa ;  $f=0.2$

Longueur de frette  $L = 40$  mm

$R_a=1.6$  (Habituellement 1.6 .. 3.2 )

Couple à transmettre : 100 N.m, variable ( $s=1.8$ ), pas de flexion

- Quels sont les écarts et la qualité de l'ajustement arbre-moyeu nécessaire ?  
Donner la forme normalisée ISO de l'ajustement ( $\phi 25A_{xby}$ )
- Calculer les efforts d'assemblage à la presse ( $s'=1.4$ )
- Calculer l'écart de température (pour un assemblage par dilatation thermique) et proposer un mode opératoire ( $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$ )

## Assemblages arbre-moyeu

- Exemple de calcul : alésage normal

$$p_{min} = \frac{2C_f}{fL\pi d_i^2} s = 22.918 \text{ MPa}$$

$$\delta d_i = p \frac{d_i}{E} \left( \frac{d_i^2 + d_e^2}{d_e^2 - d_i^2} + 1 \right) = 5.85 \mu\text{m}$$

$$\delta d_i^{\min} = \delta d_i + 2(R_a^e + R_a^i) = 12.252 \mu\text{m}$$

- Valeurs limite de pression :

$$p_{\max}^1 = R \frac{r_e^2 - r_i^2}{2r_e^2} = 135.35 \text{ MPa}$$

$$p_{\max}^2 = p_{\max}^3 = (R - \sigma_{\text{axiale}}) = 300 \text{ MPa}$$

On prend donc

$$p_{\max} = 135.35 \text{ MPa}$$

d'où

$$\delta d_i^{\max} = (\delta d_i^{\min} - 2(R_a^e + R_a^i)) \frac{p_{\max}}{p_{min}} = 34.562 \mu\text{m}$$

## Assemblages arbre-moyeu

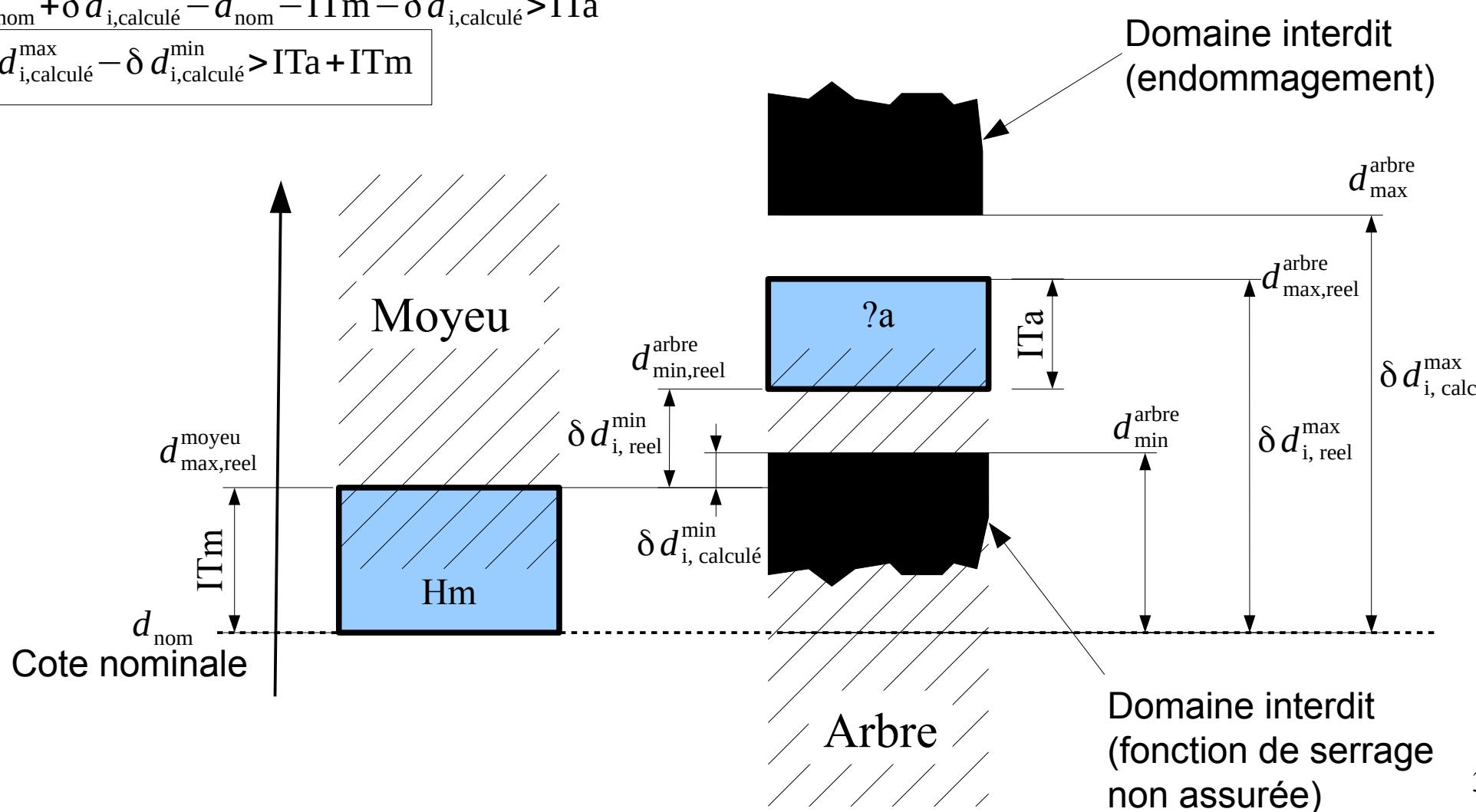
$$d_{\text{arbre}}^{\text{max}} = d_{\text{nom}} + \delta d_{i, \text{calculé}}^{\text{max}}$$

$$d_{\text{arbre}}^{\text{min}} = d_{\text{nom}} + \text{ITm} + \delta d_{i, \text{calculé}}^{\text{min}}$$

$$d_{\text{max}}^{\text{arbre}} - d_{\text{min}}^{\text{arbre}} > \text{ITA}$$

$$d_{\text{nom}} + \delta d_{i, \text{calculé}}^{\text{max}} - d_{\text{nom}} - \text{ITm} - \delta d_{i, \text{calculé}}^{\text{min}} > \text{ITA}$$

$$\delta d_{i, \text{calculé}}^{\text{max}} - \delta d_{i, \text{calculé}}^{\text{min}} > \text{ITA} + \text{ITm}$$



## Assemblages arbre-moyeu

- Choix de l'ajustement pour  $\delta d_i^{\min} = 12.252 \mu\text{m}$   $\delta d_i^{\max} = 34.562 \mu\text{m}$

$$IT^{\text{arbre}} + IT^{\text{moyeu}} = (\delta d_i^{\max} - \delta d_i^{\min}) = (34.562 - 12.252) \approx 23 \rightarrow Q^{\text{arbre}} = 5; Q^{\text{moyeu}} = 6$$

25 mm →

piliers de dimensions en mm	qualités																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*
≤3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
> 3 à 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
> 6 à 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
> 10 à 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
> 18 à 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
> 30 à 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
> 50 à 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
> 80 à 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
> 120 à 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
> 180 à 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
> 250 à 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
> 315 à 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
> 400 à 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
tolérances fondamentales en microns																		
* les qualités 14, 15, 16 ne sont prévues qu'au-delà de 1 mm																		

## Assemblages arbre-moyeu

- Choix de l'ajustement pour  $\delta d_i^{\min} = 12.252 \mu\text{m}$   $\delta d_i^{\max} = 34.562 \mu\text{m}$

Alésage normal  $\rightarrow d^{\text{moyeu}} = 25\text{H6}$   $d_{\text{min,reel}}^{\text{moyeu}} = 25$   $d_{\text{max,reel}}^{\text{moyeu}} = 25^{+13\mu\text{m}}$

Arbre  $d_{\text{max,reel}}^{\text{arbre}} < 25^{+34.562\mu\text{m}}$   $d_{\text{min,reel}}^{\text{arbre}} > 25^{+(13+12.252 \approx 26)\mu\text{m}}$

Symbole	Ecart fondamental		Ecart supérieur es												Ecart inférieur ei																																							
	Lettre	a*	b*	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j		k		m		n		p		r		s		t		u		v		x		y		z		za		zb		zc										
														Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités		Toutes qualités																		
Ecart fondamental en microns	* <= 3		270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2		-4		-6		0		+2		+4		+6		+10		+14		--		+18		--		+20		--		+26		+32		+40		+60						
	> 3 à 6		270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2		-4		--		+1		0		+4		+8		+12		+15		+19		--		+23		--		+28		--		+34		--		+42		+52		+67		
	> 6 à 10		280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2		-5		--		+1		0		+6		+10		+15		+19		--		+28		--		+34		--		+42		+52		+67								
	> 10 à 14		290	-150	-95	--	-50	-32	--	-16	--	-6	0	-3		> 7		--		+1		0		+7		+12		+18		+23		--		+33		--		+40		--		+50		+64		+90		+130						
	> 14 à 18		290	-150	-95	--	-50	-32	--	-16	--	-6	0	-4		> 8		--		+2		0		+8		+15		+22		+28		+35		+39		+45		--		+60		+77		+108		+150								
	> 24 à 30		300	-160	-110	--	-65	-40	--	-20	--	-7	0	-4		> 7		--		+8		+15		+22		+28		+35		+41		+47		+54		+63		+73		+98		+136		+188										
	> 30 à 40		310	-170	-120	--	-80	-50	--	-25	--	-9	0	-5		> 6		--		+2		0		+9		+17		+26		+34		+43		+48		+60		+68		+80		+94		+112		+148		+200		+274				
	> 40 à 50		320	-180	-130	--	-80	-50	--	-25	--	-9	0	-5		> 7		--		+2		0		+9		+17		+26		+34		+54		+70		+81		+97		+114		+136		+180		+242		+325						
	> 50 à 65		340	-190	-140	--	-100	-60	--	-30	--	-10	0	-7		> 8		--		+2		0		+11		+20		+32		+41		+53		+66		+87		+102		+122		+144		+172		+226		+300		+405				
	> 65 à 80		360	-200	-150	--	-100	-60	--	-30	--	-10	0	-7		> 9		--		+2		0		+11		+20		+32		+43		+63		+75		+102		+120		+146		+174		+210		+274		+360		+480				
	> 80 à 100		380	-220	-170	--	-120	-72	--	-36	--	-12	0	-9		> 10		--		+3		0		+13		+23		+37		+51		+71		+91		+124		+146		+178		+214		+258		+335		+445		+585				
	> 100 à 120		410	-240	-180	--	-170	-100	--	-50	--	-15	0	-11		> 11		--		+3		0		+15		+27		+43		+65		+100		+134		+190		+228		+280		+340		+415		+535		+700		+900				
	> 120 à 140		460	-2																																																		

## Assemblages arbre-moyeu

- Améliorons la qualité : décalage d'un cran vers la gauche

$$\rightarrow Q^{\text{arbre}} = 4; Q^{\text{moyeu}} = 5$$

25 mm →

piliers de dimensions en mm	qualités																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*
≤3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
> 3 à 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
> 6 à 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
> 10 à 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
> 18 à 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
> 30 à 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
> 50 à 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
> 80 à 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
> 120 à 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
> 180 à 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
> 250 à 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
> 315 à 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
> 400 à 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
tolérances fondamentales en microns																		
* les qualités 14, 15, 16 ne sont prévues qu'au-delà de 1 mm																		

## Assemblages arbre-moyeu

- Choix de l'ajustement pour  $\delta d_i^{\min} = 12.252 \mu\text{m}$   $\delta d_i^{\max} = 34.562 \mu\text{m}$

Alésage normal  $\rightarrow d^{\text{moyeu}} = 25\text{H5}$   $d_{\text{min,reel}}^{\text{moyeu}} = 25$   $d_{\text{max,reel}}^{\text{moyeu}} = 25^{+9 \mu\text{m}}$

Arbre  $d_{\text{max,reel}}^{\text{arbre}} < 25^{+34.562 \mu\text{m}}$   $d_{\text{min,reel}}^{\text{arbre}} > 25^{+(9+12.252 \approx 22) \mu\text{m}}$

Ecart fondamental		Ecart supérieur es												Ecart inférieur ei																		
Symbole	Lettre	a*	b*	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc			
	Qualité	Toutes qualités												5 et 6	7	8	4 à 7	< 3 > 7	Toutes qualités													
Ecart fondamental en micromètres	* <= 3	270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	Ecart limites = +/- IT / 2	-2	-4	-6	0	+2	+4	+6	+10	+14	--	+18	--	+20	--	+26	+32	+40	+60	
	> 3 à 6	270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	--	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	--	+23	--	+28	--	+35	+42	+50	+80
	> 6 à 10	280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	--	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	--	+28	--	+34	--	+42	+52	+67	+97
	> 10 à 14	290	-150	-95	--	-50	-32	--	-16	--	-6	0		-3	-6	--	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	--	+33	--	+40	--	+50	+64	+90	+130
	> 14 à 18	290	-150	-95	--	-50	-32	--	-16	--	-6	0		-4	-8	--	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	--	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
	> 18 à 24	300	-160	-110	--	-65	-40	--	-20	--	-7	0		-5	-10	--	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218	
	> 24 à 30	300	-160	-110	--	-65	-40	--	-20	--	-7	0		-7	-12	--	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
	> 30 à 40	310	-170	-120	--	-80	-50	--	-25	--	-9	0		-9	-15	--	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
	> 40 à 50	320	-180	-130	--	-80	-50	--	-25	--	-9	0		-11	-18	--	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
	> 50 à 65	340	-190	-140	--	-100	-60	--	-30	--	-10	0		-13	-21	--	+4	0	+17	+31	+50	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
	> 65 à 80	360	-200	-150	--	-100	-60	--	-30	--	-10	0		-16	-26	--	+4	0	+20	+34	+56	+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
	> 80 à 100	380	-220	-170	--	-120	-72	--	-36	--	-12	0		-18	-28	--	+4	0	+21	+37	+62	+94	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
	> 100 à 120	410	-240	-180	--	-120	-72	--	-36	--	-12	0		-20	-32	--	+5	0	+23	+40	+68	+108	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
	> 120 à 140	460	-260	-200	--	-145	-85	--	-43	--	-14	0		-22	-34	--	+6	0	+25	+43	+70	+114	+136	+180	+242	+325	+445	+585	+720	+960	+1250	
	> 140 à 160	520	-280	-210	--	-145	-85	--	-43	--	-14	0		-24	-36	--	+8	0	+27	+46	+81	+144	+172	+226	+300	+405	+500	+600	+780	+960	+1250	
	> 160 à 180	580	-310	-230	--	-190	-110	--	-56	--	-17	0		-26	-38	--	+10	0	+29	+50	+97	+174	+210	+274	+360	+480	+600	+780	+960	+1250		
	> 180 à 200	660	-340	-240	--	-170	-100	--	-50	--	-15	0		-28	-40	--	+12	0	+31	+51	+104	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690	+860	+1250		
	> 200 à 225	740	-380	-260	--	-170	-100	--	-50	--	-15	0		-30	-42	--	+14	0	+33	+53	+106	+176	+214	+254	+314	+404	+534	+694	+864	+1254		
	> 225 à 250	820	-420	-280	--	-190	-110	--	-56	--	-17	0		-32	-44	--	+16	0	+35	+55	+108	+178	+216	+256	+316	+406	+536	+696	+866	+1256		
	> 250 à 280	920	-480	-300	--	-190	-110	--	-56	--	-17	0		-34	-46	--	+18	0	+37	+57	+110	+180	+218	+258	+318	+408	+538	+698	+868	+1258		
	> 280 à 315	1050	-540	-330	--	-210	-125	--	-62	--	-18	0		-36	-48	--	+20	0	+39	+59	+112	+182	+218	+258	+318	+408	+538	+698	+868	+1258		
	> 315 à 355	1200	-600	-360	--	-210	-135	--	-68	--	-20	0		-38	-50	--	+22	0	+41	+61	+114	+184	+224	+264	+324	+414	+544	+704	+874	+1044	+1254	
	> 355 à 400	1350	-680	-400	--	-230	-135	--	-68	--	-20	0		-40	-52	--	+24	0	+43	+63	+116	+186	+226	+266	+326	+416	+546	+706	+876	+1046	+1256	
	> 400 à 450	1500	-760	-440	--	-230	-135	--	-68	--	-20	0		-42	-54	--	+26	0	+45	+65	+118	+188	+228	+268	+328	+418	+548	+708	+878	+1048	+1258	
	> 450 à 500	1650	-840	-480	--	-230	-135	--	-68	--	-20	0		-44	-56	--	+28	0	+47	+67	+120	+190	+230	+270	+330	+420	+550	+710	+880	+1050	+1250	

\* les arbres a et b ne sont prévus qu'au-delà de 1mm.

\*\* pour js des qualités 7 à 11, arrondir la valeur de IT en microns, si elle est impaire, à la valeur paire immédiatement inférieure

- Il faut encore vérifier  $d_{\text{max,reel}}^{\text{arbre}} < 25^{+34.562 \mu\text{m}}$

$Q^{\text{arbre}} = 4 \rightarrow IT_a = 6$   $d_{\text{max,reel}}^{\text{arbre}} = 25^{+(6+22=28) \mu\text{m}}$  ... ça marche ! L'ajustement est donc  $\varnothing 25\text{H5p4}$

## Assemblages arbre-moyeu

- Choix de l'ajustement pour  $\delta d_i^{\min} = 12.252 \mu\text{m}$     $\delta d_i^{\max} = 34.562 \mu\text{m}$ 

$$d_{\text{max}}^{\text{arbre}} < d_{\text{nom}} + \delta d_i^{\max} = 25^{+34.562 \mu\text{m}}$$

$$d_{\text{min}}^{\text{arbre}} > d_{\text{nom}} + IT^{\text{moyeu}} + \delta d_i^{\min} = 25 + IT^{\text{moyeu}} + 12.252 \mu\text{m}$$

$$IT^{\text{arbre}} + IT^{\text{moyeu}} = (\delta d_i^{\max} - \delta d_i^{\min}) = (34.562 - 12.252) \approx 23 \rightarrow Q^{\text{arbre}} = Q^{\text{moyeu}} - 1 = 6 \quad (5)$$

Alésage normal  $\rightarrow d^{\text{moyeu}} = 25\text{H}5$     $d_{\text{min}}^{\text{moyeu}} = 25$     $d_{\text{max}}^{\text{moyeu}} = 25^{+9 \mu\text{m}}$

Arbre :  $d_{\text{max}}^{\text{arbre}} < 25^{+34.562 \mu\text{m}}$     $d_{\text{min}}^{\text{arbre}} > 25^{+(9+12.252 \approx 22) \mu\text{m}}$     $\rightarrow$  ajustement « p »

Arbre  $\rightarrow d^{\text{arbre}} = 25\text{p}4$     $d_{\text{min}}^{\text{arbre}} = 25^{+22 \mu\text{m}}$     $d_{\text{max}}^{\text{arbre}} = 25^{+28 \mu\text{m}}$
- L'ajustement est donc 25H5p4. La mise en place doit se faire à la presse, ou par dilatation, mais est-ce possible ?  $\rightarrow$  cf slides suivants
- L'ajustement de l'arbre est en général un peu plus précis à cause du mode de calcul qui suppose de prendre les valeurs d'ajustement dans des tables.
- On constate que  $\delta d_i^{\max} \approx \frac{di}{1000}$  : c'est souvent utilisé comme valeur « à la louche » pour la limite de fretage, pour des aciers de construction mécanique habituels. Si on s'en écarte significativement, il faut vérifier les calculs par deux fois !

## Assemblages arbre-moyeu

- Mise en place de la frette à la presse :

$$p^{\text{reel,max}} = \frac{\delta d_i^{\text{reel,max}}}{d_i} \frac{E_e E_i}{E_i \left( \frac{d_i^2 + d_e^2}{d_e^2 - d_i^2} + \nu_e \right) + E_e \left( \frac{d_i^2 + d_0^2}{d_i^2 - d_0^2} - \nu_i \right)}$$

$$d_{\text{max}}^{\text{arbre}} = 25^{+28 \mu \text{m}}$$

$$F^{\text{presse, mini}} = \pi d_i p^{\text{reel,max}} L f s' \quad s' = 1.4$$

$$p^{\text{reel,max}} = 110 \text{ MPa}$$

$$F^{\text{presse, mini}} \approx 97000 \text{ N}$$

## Assemblages arbre-moyeu

$$\Delta T = \frac{\delta d_i^{\text{reel,max}} + J_0}{\alpha d_i}$$

$$T_{\text{frette}} = \frac{\delta d_i^{\text{reel,max}} + J_0}{\alpha d_i} + 25^\circ C$$

$J_0$  = jeu moyen Hxhy  
ou Hxgy  $d_i > 40$  mm

- Ici on a, on a H5p4 d'où  $x=5, y=4 \rightarrow J_0$  correspond au jeu dans H5h4  
 $\rightarrow J_0 = 7.5 \mu m$

Au final :

$$\Delta T = 129^\circ C$$

$$T_{\text{frette}} = 154^\circ C$$

On peut :

- Chauffer au chalumeau ou par induction (arbre à température ambiante)
- Chauffer au bain d'huile (idem)
- Chauffer dans l'eau bouillante et refroidir l'arbre à la glace carbonique jusqu'à  $-30^\circ C$
- Refroidir l'arbre à l'azote liquide (moyeu à température ambiante)