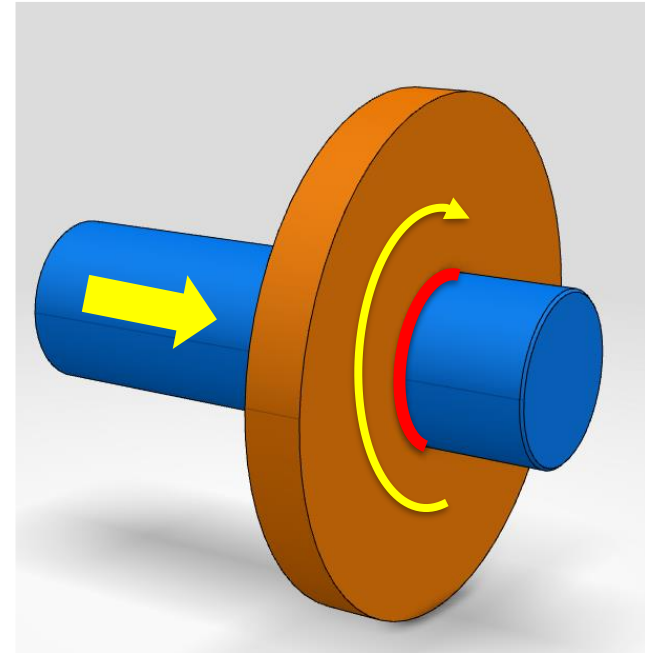
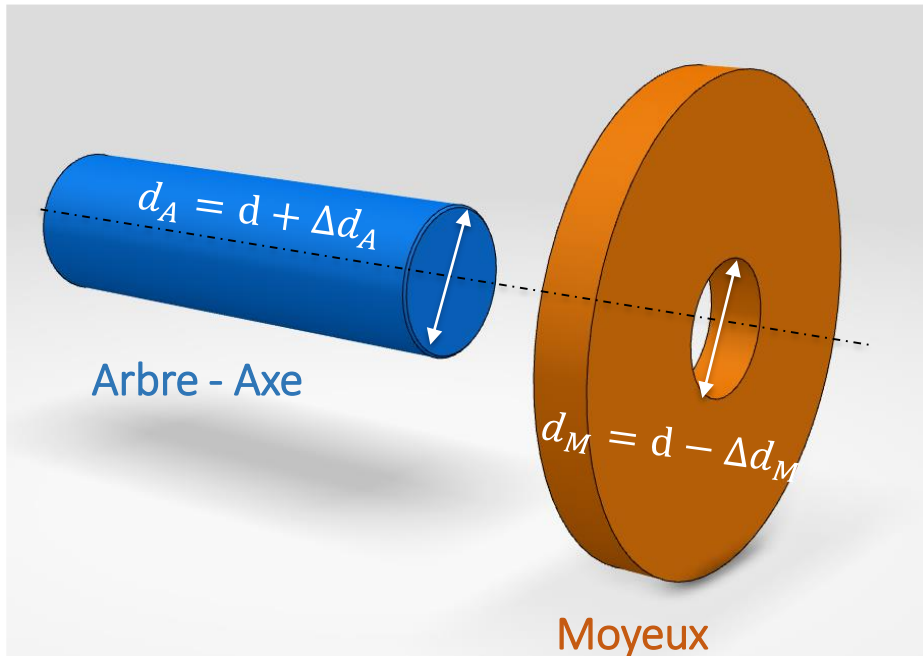




Liaisons Rigides

Emmanchement - Frettage

Emmanchement – Frettage : Principe



Pression de contact



Transmission d'effort par adhérence

d : diamètre nominal de l'assemblage
 $\Delta d_A, \Delta d_M$: quelques dizaines de microns

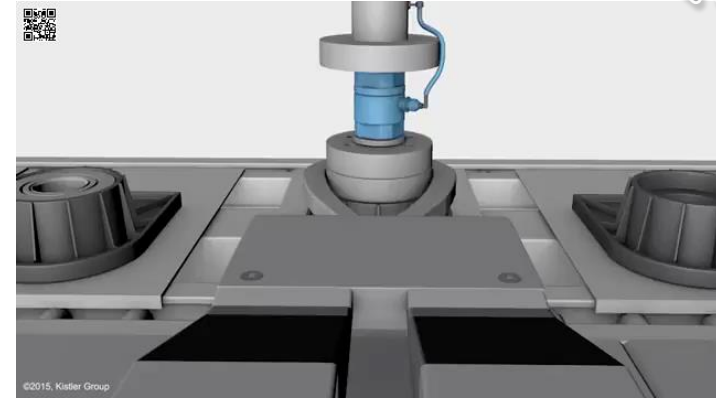
Emmanchement – Frettage : Vocabulaire



Montage à la presse = **Emmanchement**

Dépend

- de la précision des formes
- de l'état de surface
- du mode opératoire



➔ Démontage impossible sans destruction de la liaison

Montage par dilatation / contraction des pièces = **Frettage**

- Contraction des pièces : azote liquide
- Dilatation : huile bouillante, induction



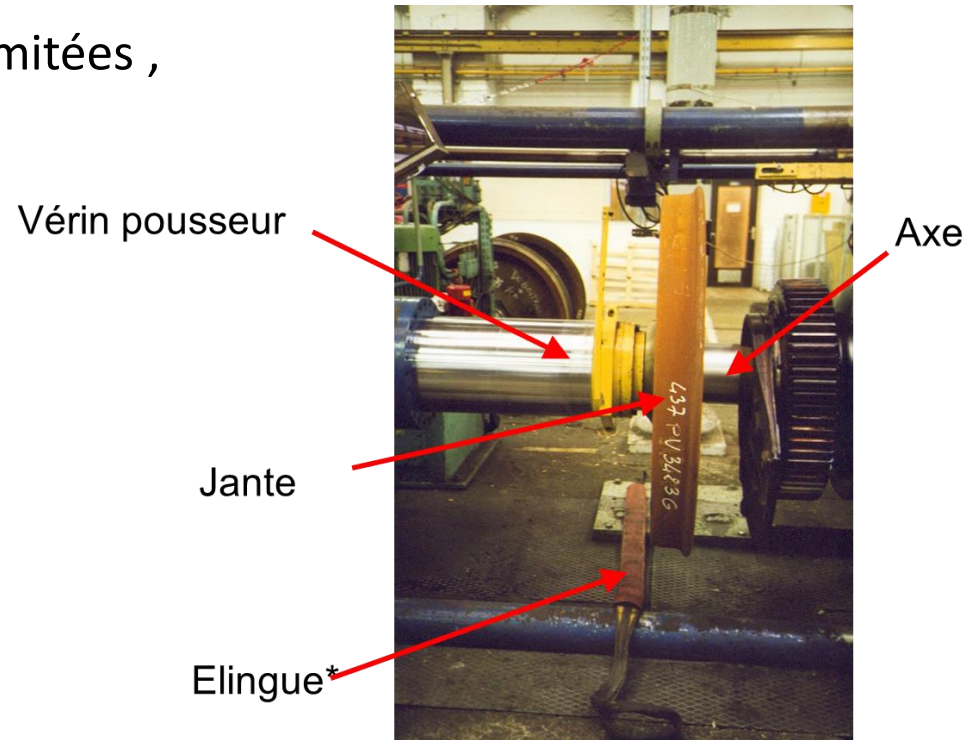


- **Avantages :**

- ✓ Pièces de matériaux différents
- ✓ Concentrations de contraintes limitées ,
- ✓ Pas de balourds ,
- ✓ Peu encombrant,
- ✓ Peu de pièces,
- ✓ Coût faible

- **Inconvénients :**

- ✓ Montage (démontage) délicat ,
- ✓ Usinage (très) précis.
- ✓ Diamètre de l'arbre suffisant
- ✓ Vitesse tangentielle < 20 m/s



*Une **élingue** est un accessoire de levage souple



Exemples d'ajustements serrés		observations	
H7u6 H7s6	assemblage fortement serré pouvant transmettre des efforts importants	presse lourde ou frettage	avec détérioration des pièces au démontage
H7r6	assemblage assez serré	presse	
H7p6	assemblage serré pouvant transmettre des efforts sans organes d'arrêt		
H7n6	assemblage sous faible pression organe d'arrêt (clavette...) nécessaire en rotation organe d'arrêt pas forcément nécessaire en translation	assemblage parfois possible au maillet	sans détérioration des pièces au démontage
H7m6	assemblage légèrement serré organes d'arrêt nécessaires en rotation et translation		

Source Fanchon



Garantir :

- La transmission des efforts
- La tenue de la liaison
- La fabrication



Dimensionner
la liaison



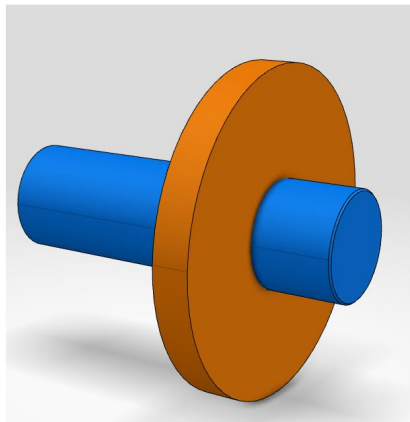
Dimensionner une liaison

=

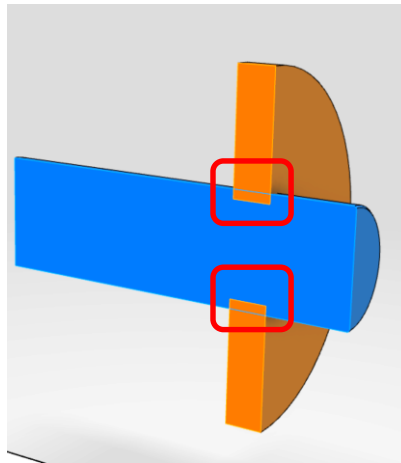
Comprendre le processus de transmission des forces

- Modéliser,
 - Simplifier,
 - Analyser,
 - Extrapoler ...
- Hypothèses
- Élargir les hypothèses

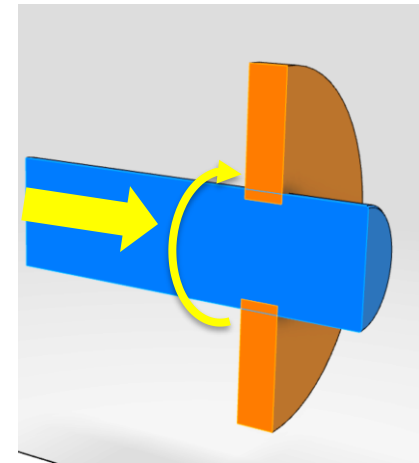
Emmanchement – Frettage : Comprendre le processus



Assemblage de 2 pièces de diamètres légèrement différents



Apparition d'une pression de contact dans la zone d'interférence



Transmission d'efforts axiaux et de couple



Quelle relation entre le serrage et la pression ?



Quelle relation entre la pression et les efforts transmis ?



Pression

- Suffisante pour assurer la transmission des efforts souhaités avec une certaine marge de sécurité
- Limitée pour ne pas détériorer les pièces

Serrage

- Permettre d'assurer la plage de pression souhaitée
- Technologiquement réaliste
 - Précision des pièces
 - Dispersion

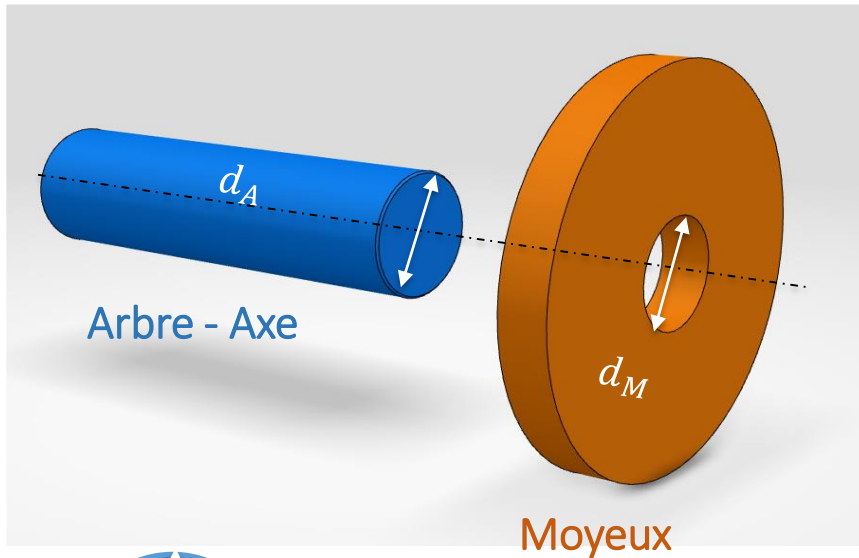




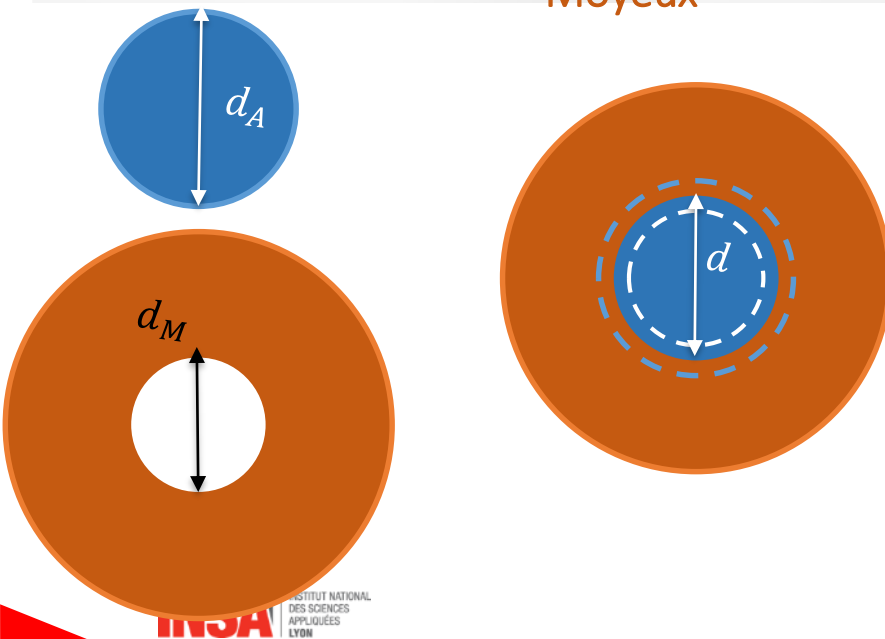
Relation Serrage - Pression

Cas de la portée cylindrique

Emmanchement – Frettage : Serrage diamétral



Serrage diamétral $\Delta = d_A - d_M$



Diamètre des pièces assemblées : d

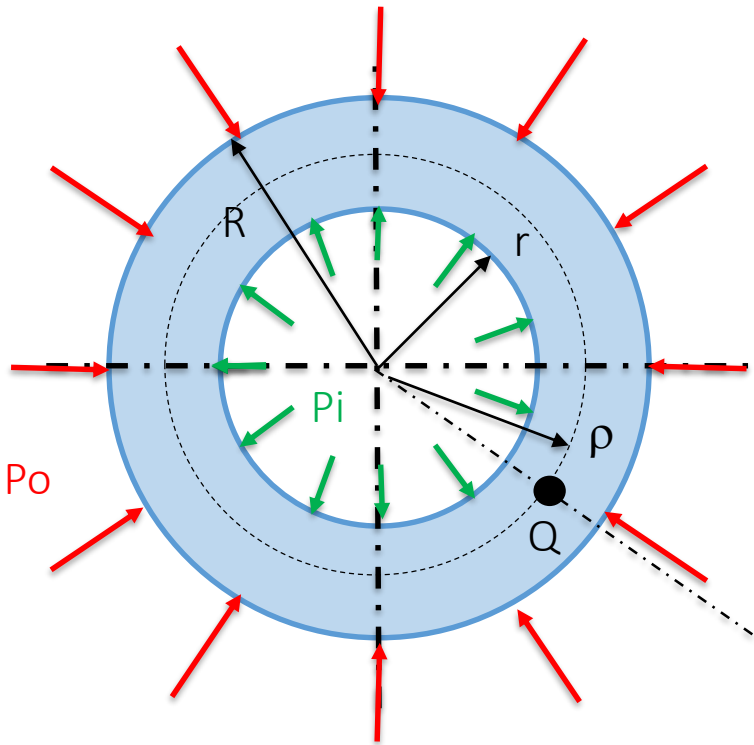
Déplacements algébriques des points en périphérie de l'arbre et de l'alésages U_A et U_M

$$\begin{aligned} d_A &= d + 2U_A \\ d_M &= d + 2U_M \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \Delta = 2(U_A - U_M)$$

Emmanchement – Frettage : Relation déformations - Pression

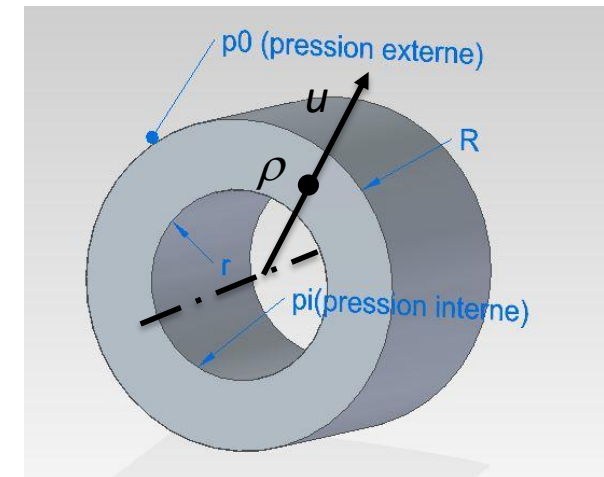


Modèle des enveloppes épaisses (Cf cours de MSOL)



Le déplacement radial d'un point Q situé sur un rayon « ρ » d'une enveloppe tubulaire (R, r) soumise à une pression interne p_i et une pression externe p_0 s'écrit :

$$u(\rho) = \frac{(1-\nu)}{E} \frac{r^2 p_i - R^2 p_0}{R^2 - r^2} \rho + \frac{(1+\nu)}{E} \frac{r^2 R^2 (p_i - p_0)}{(R^2 - r^2) \rho}$$

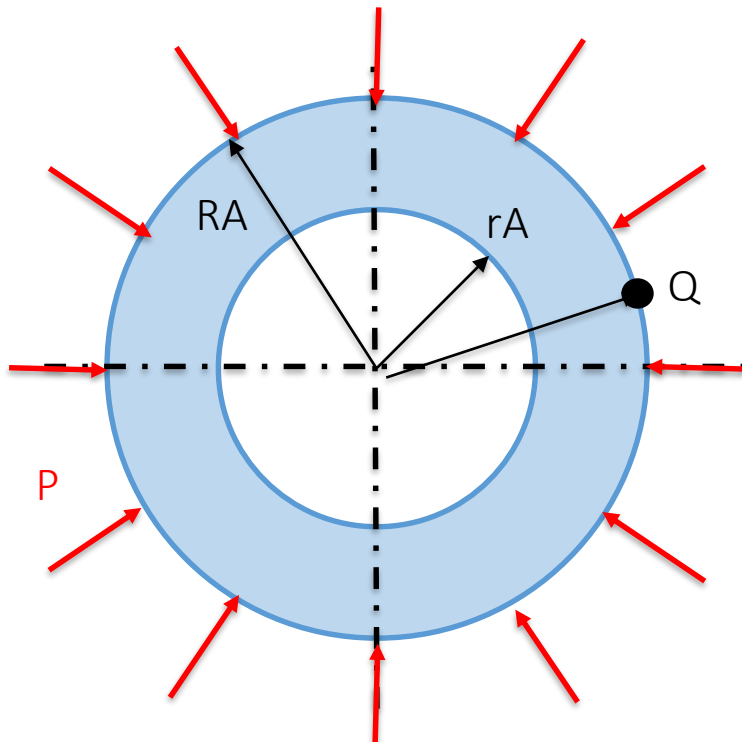


Module d'Young : E
Coefficient de poisson : ν

Emmanchement – Frettage : Relation déformations - Pression



$$u(\rho) = \frac{(1-\nu)}{E} \frac{r^2 p_i - R^2 p_o}{R^2 - r^2} \rho + \frac{(1+\nu)}{E} \frac{r^2 R^2 (p_i - p_o)}{(R^2 - r^2) \rho}$$



Pour l'arbre :

$$E = E_A \quad \nu = \nu_A$$

$$R = R_A \quad r = r_A \quad (\text{peut être nul})$$

$$p_o = P \quad p_i = 0 \quad (\text{sauf tube sous pression})$$

$$\rho = R_A$$

$$U_A = u(Q) = -\frac{P \cdot R_a}{E_a} \left[\frac{R_a^2 + r_a^2}{R_a^2 - r_a^2} - \nu_a \right]$$

Emmanchement – Frettage : Relation déformations - Pression



$$u(\rho) = \frac{(1-\nu)}{E} \frac{r^2 p_i - R^2 p_0}{R^2 - r^2} \rho + \frac{(1+\nu)}{E} \frac{r^2 R^2 (p_i - p_0)}{(R^2 - r^2) \rho}$$

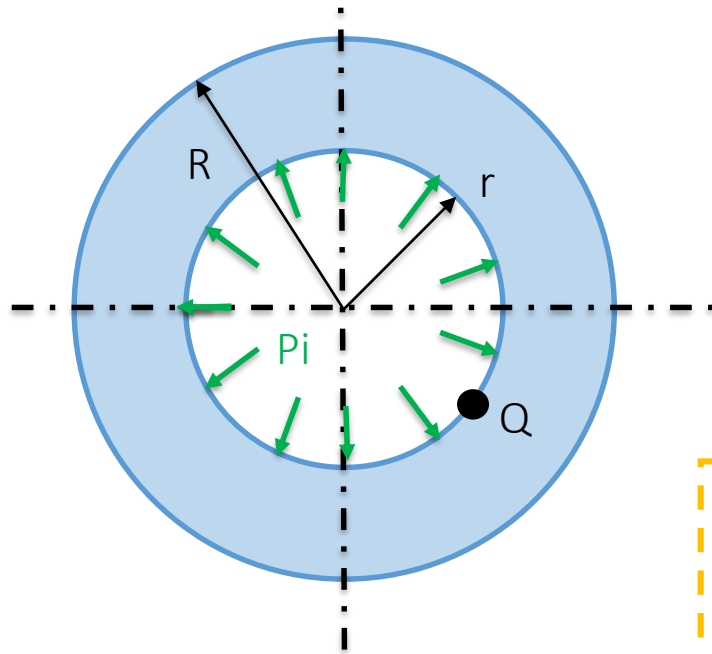
Pour le moyeu :

$$E = E_M \quad \nu = \nu_M$$

$$R = R_M \quad r = r_M$$

$$p_o = 0 \quad p_i = P$$

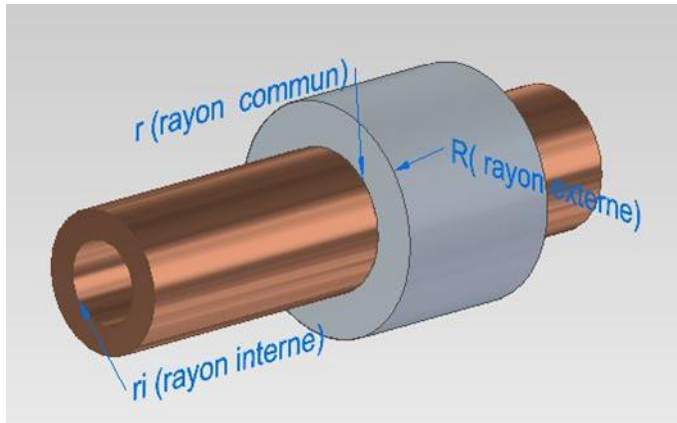
$$\rho = r_M$$



$$U_M = u(Q) = \frac{P \cdot r_M}{E_M} \left[\frac{R_M^2 + r_M^2}{R_M^2 - r_M^2} + \nu_M \right]$$



Cas général : arbre creux et matériaux différents Arbre (r_i, r) et Moyeu (r, R)



$$r = \frac{d}{2} = R_a = r_M$$

$$\Delta = 2(u_M - u_A) = 2Pr \left[\frac{1}{E_M} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \nu_M \right) + \frac{1}{E_A} \left(\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} - \nu_A \right) \right]$$

La pression P est la pression de serrage entre les 2 pièces

➔ $\Delta = K \cdot P$



Matériaux identiques

$$\Delta = 2Pr \cdot \frac{1}{E} \left[\left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \right) + \left(\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} \right) \right]$$

Arbre plein (ri=0)

$$\Delta = 2 \cdot P \cdot r \cdot \left[\frac{1}{E_M} \cdot \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \nu_M \right) + \frac{1}{E_A} (1 - \nu_A) \right]$$

A retenir :
Le serrage diamétral
et la pression de
contact sont
proportionnels

Arbre plein (ri=0) et matériaux identiques

$$\Delta = \frac{4 \cdot r \cdot R^2}{E \cdot [R^2 - r^2]} \cdot P$$



Relation Pression – Efforts Transmis

Cas de la portée cylindrique

Emmanchement – Frettage : Transmission d'effort



Objectifs : transmettre un couple C et un effort axial A par adhérence

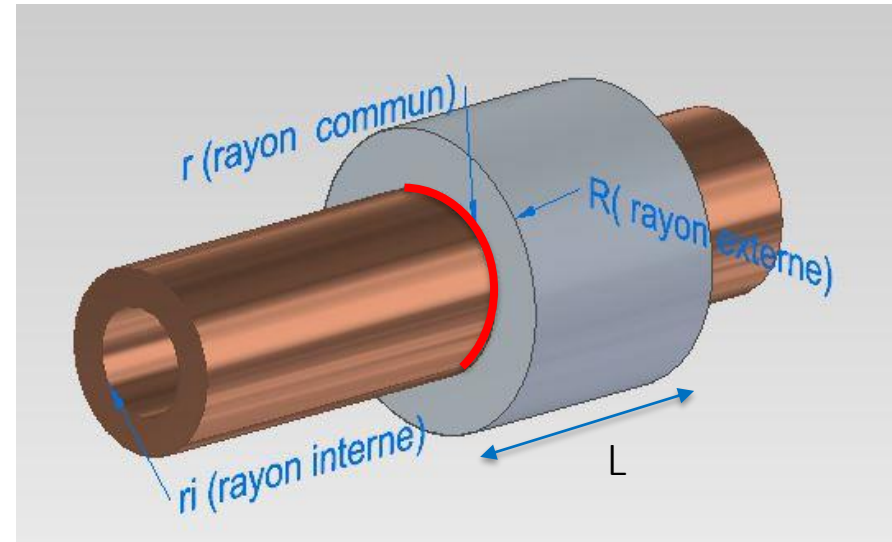


Pression mini nécessaire

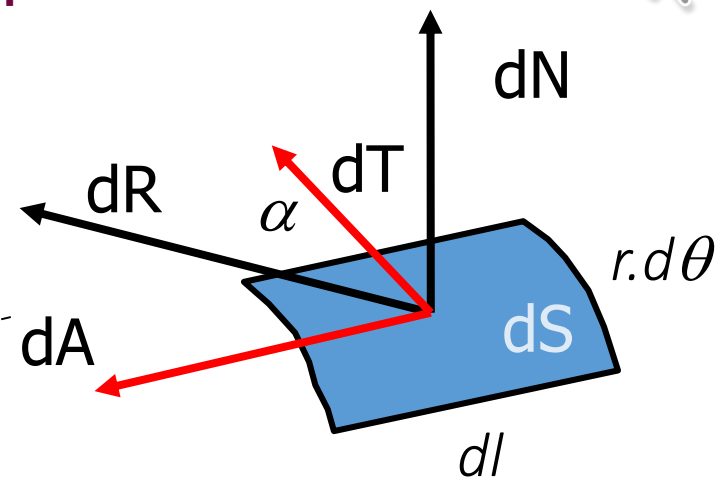
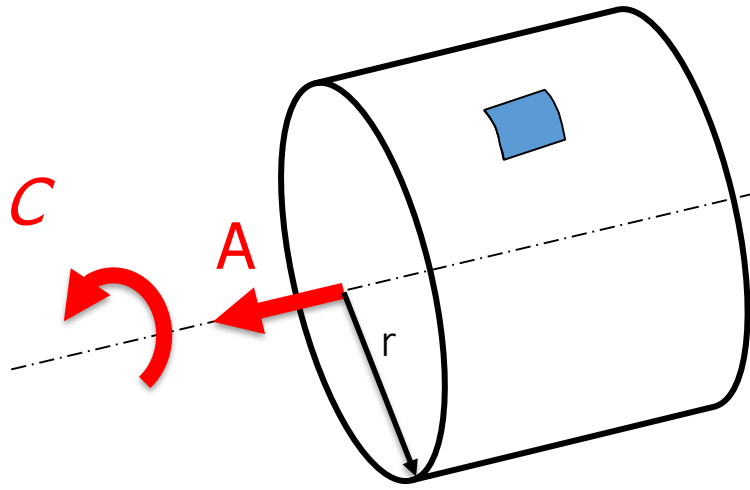
Méthode :

Loi de Coulomb à la limite du glissement

Hypothèse : Pression de contact P uniforme



Emmanchement – Frettage : Transmission couple C et effort A



$$dS = rd\theta dl \longrightarrow dN = P \cdot dS \longrightarrow dR = f dN$$

$$dA = f \cdot p \cdot r \cdot d\theta \cdot dl \cdot \sin \alpha$$

$$dC = r \cdot dT = f \cdot p \cdot r^2 \cdot dl \cdot d\theta \cdot \cos \alpha$$

Rq l'angle α est le même sur tous elt dS

$$P_{MIN} \geq \frac{\sqrt{C^2 + r^2 A^2}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r^2 \cdot L}$$

$$\Delta_{min} = K \cdot P_{min}$$

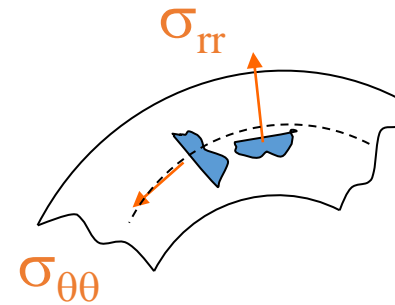
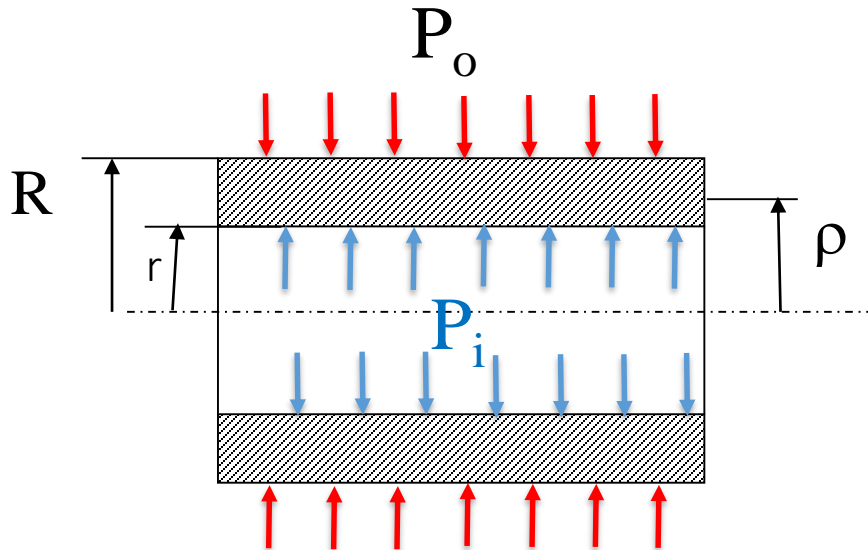
*Le coefficient K a été établi précédemment
Diapo 14*



Résistance des pièces

Emmanchement – Frettage : Fonctionnement dans le domaine élastique

Modèle des enveloppes épaisses (Cf cours de MSOL)



Formules de Lamé:

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{p_i \cdot r^2 - p_o \cdot R^2}{R^2 - r^2} + \frac{p_i - p_o}{\rho^2} \cdot \frac{r^2 \cdot R^2}{R^2 - r^2}$$

$$\sigma_{rr} = \frac{p_i \cdot r^2 - p_o \cdot R^2}{R^2 - r^2} - \frac{p_i - p_o}{\rho^2} \cdot \frac{r^2 \cdot R^2}{R^2 - r^2}$$

$$\sigma_{eq}(\rho) = \sqrt{\sigma_{\theta\theta}^2 + \sigma_{rr}^2} - \sigma_{\theta\theta} \cdot \sigma_{rr} \leq \frac{\sigma_E}{\alpha}$$




Emmanchement – Frettage : Fonctionnement dans le domaine élastique



Pour l'arbre creux (R_A, r_A) $p_i=0$ et $p_o=P$

$$\sigma_{\theta\theta} = -\frac{P.R_a^2}{R_a^2 - r_a^2} - \frac{P}{\rho^2} \cdot \frac{r_a^2.R_a^2}{R_a^2 - r_a^2} \quad \sigma_{rr} = \frac{-P.R_a^2}{R_a^2 - r_a^2} + \frac{P_o}{\rho^2} \cdot \frac{r_a^2.R_a^2}{R_a^2 - r_a^2}$$


$$\begin{aligned} \sigma_{eq_A}(\rho) &= \frac{R_A^2}{R_A^2 - r_A^2} \cdot P \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{r_A^2}{\rho^2}\right)^2 + \left(1 - \frac{r_A^2}{\rho^2}\right)^2} - \left(1 + \frac{r_A^2}{\rho^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{r_A^2}{\rho^2}\right) \\ &= \frac{R_A^2}{R_A^2 - r_A^2} \cdot P \cdot \sqrt{1 + 3\left(\frac{r_A^2}{\rho^2}\right)^2} \end{aligned}$$



Max pour ρ mini $\rightarrow \rho = r_A$
Périphérie du perçage


$$\begin{aligned} \sigma_{eq_A_MAX} &= \frac{2R_A^2}{R_A^2 - r_A^2} \cdot P \leq \frac{\sigma_E}{\alpha} \\ p_{max_A} &= \frac{\sigma_E (R_A^2 - r_A^2)}{\alpha \cdot 2R_A^2} \end{aligned}$$

Emmanchement – Frettage : Fonctionnement dans le domaine élastique



Pour l'arbre plein ($R_A, 0$) $p_o=P$

$$\sigma_{\theta\theta} = -P \quad \sigma_{rr} = -P$$



$$\sigma_{eq_MAX} = P \leq \frac{\sigma_E}{\alpha}$$
$$P_{max_A} = \frac{\sigma_E}{\alpha}$$

ATTENTION : ne pas faire $r_A=0$ dans la formule de l'arbre creux

~~$$P_{max} = \frac{\sigma_E (R_A^2 - r_A^2)}{\alpha \cdot 2R_A^2} = \frac{\sigma_E}{\alpha \cdot 2}$$~~

Emmanchement – Frettage : Fonctionnement dans le domaine élastique



Pour le moyeu (R_M, r_M) $p_i=P$ et $p_o=0$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{P \cdot r_M^2}{R_M^2 - r_M^2} + \frac{P}{\rho^2} \cdot \frac{r_M^2 \cdot R_M^2}{R_M^2 - r_M^2} \quad \sigma_{rr} = \frac{P \cdot r_M^2}{R_M^2 - r_M^2} - \frac{P}{\rho^2} \cdot \frac{r_M^2 \cdot R_M^2}{R_M^2 - r_M^2}$$



$$\begin{aligned} \sigma_{eq_M} &= \frac{r_M^2}{R_M^2 - r_M^2} \cdot P \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{R_M^2}{\rho^2}\right)^2 + \left(1 - \frac{R_M^2}{\rho^2}\right)^2 - \left(1 + \frac{R_M^2}{\rho^2}\right)\left(1 - \frac{R_M^2}{\rho^2}\right)^2} \\ &= \frac{r_M^2}{R_M^2 - r_M^2} \cdot P \cdot \sqrt{1 + 3 \cdot \left(1 + \frac{R_M^2}{\rho^2}\right)^2} \end{aligned}$$



Max pour ρ mini $\rightarrow \rho = r_M$

$$\sigma_{eq_M_MAX} = \frac{r_M^2}{R_M^2 - r_M^2} \cdot P \cdot \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_M^2}{r_M^2}\right)^2}$$

$$p_{\max_M} \leq \frac{\sigma_E}{\alpha} \cdot \frac{R_M^2 - r_M^2}{r_M^2 \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_M^2}{r_M^2}\right)^2}}$$

Emmanchement – Frettage : Fonctionnement dans le domaine élastique



On cherche P_{max} et le Δ_{MAX} correspondant pour que l'arbre **et** le moyeu restent dans le domaine élastique

$$P_{max} = \min(P_{Max_{arbre}}; P_{Max_{Moyeux}})$$

Validation complémentaire : résistance au matage $P < P_{adm}$

$$P_{adm} = \frac{\text{limite élastique } Re}{\left[\begin{array}{l} \text{Fonctionnement} \\ \text{mobile} = 3 \\ \text{statique} = 1,5 \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{Charge} \\ \text{vibrations} = 2 \\ \text{chocs} = 4 \\ \text{continu} = 1 \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{Contact} \\ \text{lubrifié} = 1,5 \\ \text{à sec} = 2 \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{Répartition} \\ \text{uniforme} = 2 \\ \text{Sinusoïdale} = 3 \end{array} \right]}$$

Serrage max

$$\Delta_{max} = K \cdot P_{max}$$

$$K = 2r \left[\frac{1}{E_M} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \nu_M \right) + \frac{1}{E_A} \left(\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} - \nu_A \right) \right]$$

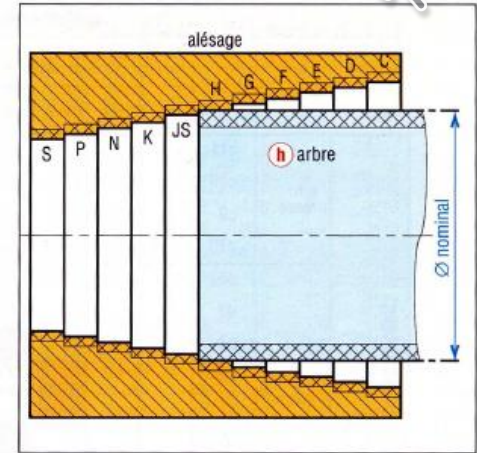
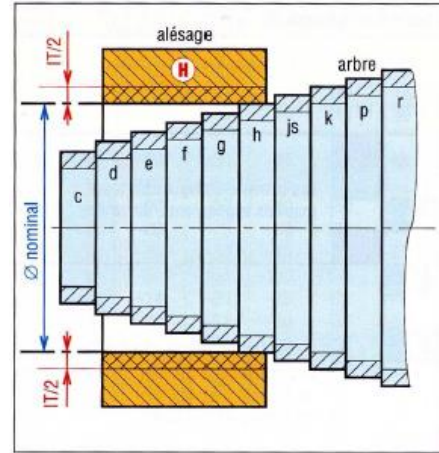


Choix des tolérances de fabrication

Rappels sur le tolérancement des arbres et des alésages



Lettre majuscule pour les alésages, minuscule pour les arbres va positionner l'intervalle de tolérance par rapport à la cote nominale



Ø 60 H 7

Diamètre nominal (mm)

Dimensionner un assemblage par frettage : Choisir les dimensions de l'arbre et de l'alésage pour assurer que le serrage effectif Δ vérifie le cahier des charges :

$$\Delta_{min} < \Delta < \Delta_{max}$$

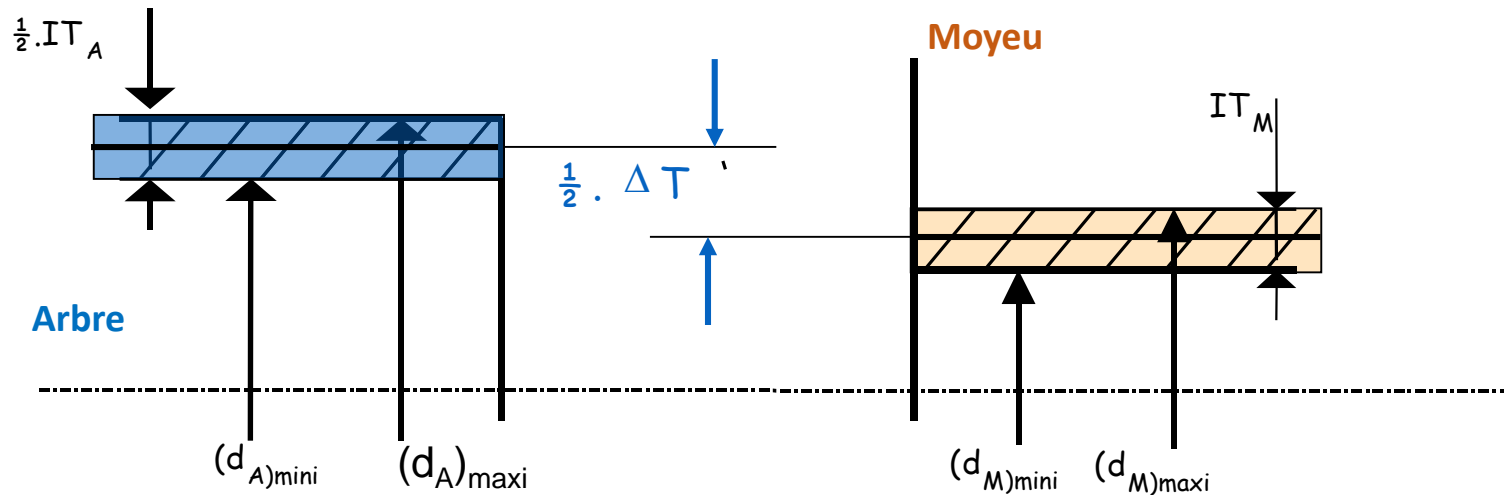
Principales qualités ou tolérances (IT) ISO
(IT en micromètre : 1µm = 0,001 mm)

		dimensions nominales en mm												
au-delà de →	à (inclus) →	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	
IT13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970	

Emmanchement – Frettage : Choix des Intervalles de Tolérances IT_A et IT_M



Usinage = Tolérance IT_A et IT_M



➔ L'assemblage d'un arbre et d'un moyeu va se faire avec un serrage :

$$\Delta T_{\text{mini}} \leq \Delta T \leq \Delta T_{\text{maxi}}$$

➔ Définition des tolérances de fabrication IT_A et IT_M telles que :

$$\Delta_{\text{mini}} \leq \Delta T_{\text{mini}} \quad \text{et} \quad \Delta T_{\text{maxi}} \leq \Delta_{\text{maxi}}$$

Emmanchement – Frettage : Choix des Intervalles de Tolérances IT_A et IT_M



Calcul des serrages effectifs et leurs limites

$$\Delta T_{\max} = (d_A)_{\max} - (d_M)_{\min}$$

$$\Delta T_{\min} = (d_A)_{\min} - (d_M)_{\max}$$



$$\begin{aligned} \Delta T_{\max} - \Delta T_{\min} &= (d_A)_{\max} + (d_M)_{\max} - (d_M)_{\min} - (d_A)_{\min} \\ &= ((d_A)_{\max} - (d_A)_{\min}) + ((d_M)_{\max} - (d_M)_{\min}) \end{aligned}$$



$$\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min} = IT_A + IT_M$$



$$IT_A + IT_M \leq \Delta_{\max} - \Delta_{\min}$$

Principales qualités ou tolérances (IT) ISO
(IT en micromètre : $1\mu\text{m} = 0.001\text{ mm}$)

dimensions nominales en mm

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
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970

Remarque

On prend souvent un écart de 1 sur les 2 qualités :

- n sur l'arbre
- n+1 sur l'alésage



Emmanchement – Frettage : Choix du positionnement (lettres)

- Choix des dimensions d'usinage arbre et alésage moyeu

$$d_M = d_{J_b}^{J_a}$$

$$d_A = d_{J_d}^{J_c}$$

$$\rightarrow J_a - J_b = IT_M$$

$$\rightarrow J_c - J_d = IT_A$$

→ Utilisation de grandeurs normalisées

- En général, alésage normal H : le plus utilisé et le plus facile à mettre en œuvre

$$\rightarrow J_b = 0$$

$$\rightarrow J_a = IT_M$$

$$d_M = d_0^{J_a}$$

$$d_A = d_{J_d}^{J_c}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{\max} &= (d_A)_{\max} - (d_M)_{\min} \leq \Delta_{\max i} \\ &= d + J_c - d \leq \Delta_{\max i} \end{aligned}$$



$$J_c \leq \Delta_{\max i}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{\min} &= (d_A)_{\min} - (d_M)_{\max} \geq \Delta_{\min} \\ &= d + J_d - (d + J_a) \geq \Delta_{\min} \end{aligned}$$



$$J_d - J_a \geq \Delta_{\min}$$

$$J_d \geq J_a + \Delta_{\min}$$

Emmanchement – Frettage : Choix du positionnement (lettres)



Φ	ARBRES										ALESAGES										
	Ecart sup. (Es)				Ecart inf. (Ei)						Ecart inf (Ei)			Ecart supérieur (Es)							
	e	f	g	h	k	m	n	p	r	s	F	G	H	K ¹		M		P ²		Δ	
											Toutes qualités			<8	<8	>8	>7	6	7	8	
<3	-14	-6	-2	-0	+0	+2	+4	+6	+10	+14	+6	+2	+0	0	-2	-2	-6	0	0	0	
>3	20	-10	-4	-0	+0	+4	+8	+12	+15	+19	+10	+4	+0	-1	-4	-4	-12	3	4	6	
>6	-25	-13	-5	-0	+0	+6	+10	+15	+19	+23	+13	+5	+0	-1	-6	-6	-15	3	6	7	
>10	-32	-16	-6	-0	+0	+7	+12	+18	+23	+28	+16	+6	+0	-1	-7	-7	-18	3	7	9	
>18	-40	-20	-7	-0	+0	+8	+15	+22	+28	+35	+20	+7	+0	-2	-8	-8	-22	4	8	12	
>30	-50	-25	-9	-0	+0	+9	+17	+26	+34	+43	+25	+9	+0	-2	-9	-9	-26	5	9	14	
>50	-60	-30	-10	-0	+0	+11	+20	+32	+41	+53	+30	+10	+0	-2	-11	-11	-32	6	11	16	
>65									+43	+59											
>80	-72	-36	-12	-0	+0	+13	+23	+37	+51	+71	+36	+12	+0	-3	-13	-13	-37	7	13	19	
>100									+54	+79											
>120	-85	-43	-14	-0	+0	+15	+27	+43	+63	+92	+43	+14	+0	-3	-15	-15	-43	7	15	23	
>140									+65	+100											
>160	-100	-50	-15	-0	+0	+17	+31	+50	+68	+108	+50	+15	+0	-4	-17	-17	-50	9	17	26	
>180									+77	+122											
>200	+80	+130																			
>225	+84	+140																			
>250	-110	-56	-17	-0	+0	+20	+34	+56	+94	+158	+56	+17	+0	-4	-20	-20	-56	9	20	29	
>280									+98	+170											
>315	-125	-62	-18	-0	+0	+21	+37	+62	+108	+190	+62	+18	+0	-4	-21	-21	-62	11	21	32	
>355 à 400									+114	+208											

Emmanchement – Frettage : Synthèse de dimensionnement



Géométrie liaison:
rayon , Longueur,
action extérieure
(F_{ext} & C_{ext})

Calcul de la pression
nécessaire p_{MIN}

Vérification en P_{ADM}

Calcul du serrage
minimum Δ_{MIN}

Calcul de p_{MAX}
Détermination du
serrage maximum
 Δ_{MAX}

Vérification en P_{ADM}

Choix des
Intervalles de
Tolérances IT

Choix de
l'ajustement

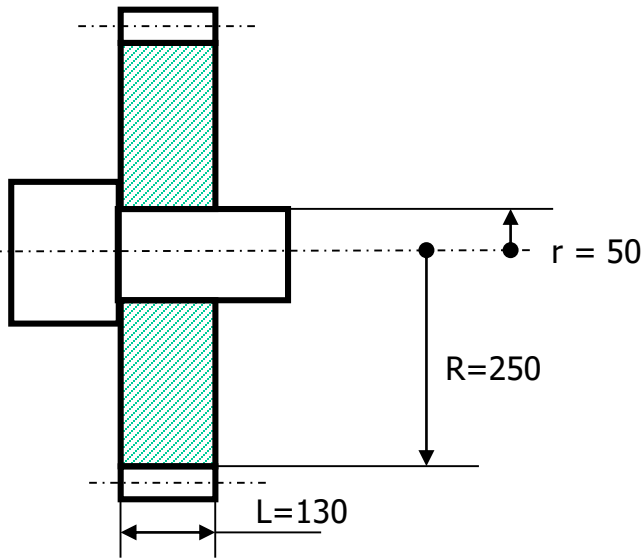
Vérification

Caractéristiques
matériau E , ν et
pression
admissibles



Exemple de dimensionnement

Emmanchement – Frettage : Exemple de dimensionnement



Géométrie :

$R = 250 \text{ mm}$

$r = 50$

$r_i = 0$

$L = 130 \text{ mm}$

$A = 0$

$C = 2450 \text{ N.m}$

$K_{ass} = 2$

- Couple transmis : 2450 N.m
- Matériaux C38 TR : $R_e = 435 \text{ Mpa}$
 $E = 200 \text{ GPa}$
- Coefficient de sécurité : 2
(assemblage et matériaux)
- $0,12 < f < 0,18$
- Alésage normal

Matériaux

$R_e = 435 \text{ Mpa}$

$\alpha = 2$

$E = 200 \text{ Gpa}$

$0,12 < f < 0,18$

Emmanchement – Frettage : Exemple de dimensionnement

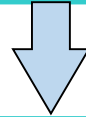


Géométrie :

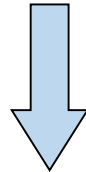
$R = 250 \text{ mm}$
 $r = 50$
 $r_i = 0$
 $L = 130 \text{ mm}$
 $A = 0$
 $C = 2450 \text{ N.m}$
 $K_{ass} = 2$



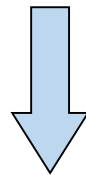
Calcul de la pression nécessaire p_{MIN}



Calcul du serrage minimum Δ_{MIN}



Calcul de p_{MAX}



→ $P_{max} = 120 \text{ MPa}$

$$p_{MIN} \geq k_{ass} \frac{C}{2.\pi.f.r^2.L}$$

→ $P_{min} = 20 \text{ MPa}$

Arbre plein – même matériaux

$$\Delta_{min} = \frac{4.r.R^2}{E.[R^2 - r^2]} P_{min}$$

→ $\Delta_{min} = 21 \mu\text{m}$

Arbre plein

$$\sigma_{eq_MAX} = P_{max_arbre} \leq \frac{\sigma_E}{\alpha}$$

→ $P_{max_arbre} = 217 \text{ MPa}$

Moyeu

$$p_{max} \leq \frac{\sigma_E}{\alpha} \cdot \frac{R_M^2 - r_M^2}{r_M^2 \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_M^2}{r_M^2} \right)^2}}$$

→ $P_{max_moyeux} = 120 \text{ MPa}$

Matériaux

$Re = 435 \text{ Mpa}$
 $\alpha = 2$
 $E = 200 \text{ Gpa}$
 $0,12 < f < 0,18$



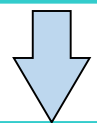
Emmanchement – Frettage : Exemple de dimensionnement



Matériaux
 Re = 435 Mpa
 α = 2
 E = 200 Gpa
 0,12 < f < 0,18



Calcul serrage max



Choix des Intervalles de Tolérances IT

$$\Delta_{\max} = \frac{4.r.R^2}{E.[R^2 - r^2]} P_{\max} \rightarrow \Delta_{\max} = 125 \mu\text{m}$$

$$IT_A + IT_M \leq \Delta_{\max} - \Delta_{\min} \rightarrow IT_A + IT_M \leq 104 \mu\text{m}$$

Principales qualités ou tolérances (IT) ISO
 (IT en micromètre : 1 μm = 0,001 mm)

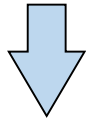
dimensions nominales en mm													
au-delà de →	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
à (inclus) →	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970

Choix :
 Arbre qualité n
 alésage qualité n+1

Choix :
 Arbre qualité 6 → IT = 22 μm
 Alésage qualité 7 → IT = 35 μm

r=50 → d = 100 mm

Emmanchement – Frettage : Exemple de dimensionnement



Choix de l'ajustement

$$d_M = d_0^{Ja}$$

$$d_A = d_{Jd}^{Jc}$$

$$J_a = IT_M$$

$$J_c - J_d = IT_A$$

$$J_d - J_a \geq \Delta_{\min}$$

$$J_a = 35 \mu\text{m}$$

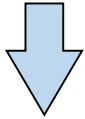
$$J_c = 22 + J_d$$

$$J_d \geq 21 + 35 = 56 \mu\text{m}$$

ARBRES										
	Ecart sup. (Es)				Ecart inf. (Ei)					
Φ	e	f	g	h	K ^o	m	n	p	r	s
<3	-14	-6	-2	-0	+0	+2	+4	+6	+10	+14
>3	20	-10	-4	-0	+0	+4	+8	+12	+15	+19
>6	-25	-13	-5	-0	+0	+6	+10	+15	+19	+23
>10	-32	-16	-6	-0	+0	+7	+12	+18	+23	+28
>18	-40	-20	-7	-0	+0	+8	+15	+22	+28	+35
>30	-50	-25	-9	-0	+0	+9	+17	+26	+34	+43
>50	-60	-30	-10	-0	+0	+11	+20	+32	+41	+53
>65	-70	-35	-11	-0	+0	+12	+22	+34	+45	+57
>80	-72	-36	-12	-0	+0	+13	+23	+37	+51	+71
>100	-80	-40	-14	-0	+0	+15	+26	+41	+54	+79

100H7s6

Emmanchement – Frettage : Exemple de dimensionnement



Validation des pressions de matage

$$d_M = d_0^{35}$$

$$d_A = d_{71}^{71+22=93}$$

$$\Delta_{\max_eff} = (d + 93) - (d) = 93 \mu\text{m}$$

$$\Delta = \frac{4.r.R^2}{E.[R^2 - r^2]} P \quad P_{\max_eff} = 89 \text{ MPa}$$

limite élastique Re

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Fonctionnement</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">mobile = 3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border: 2px solid red;">statique = 1,5</td> </tr> </table>	Fonctionnement	mobile = 3	statique = 1,5	×	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Charge</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">vibrations = 2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">chocs = 4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border: 2px solid red;">continu = 1</td> </tr> </table>	Charge	vibrations = 2	chocs = 4	continu = 1	×	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Contact</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border: 2px solid red;">lubrifié = 1,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">à sec = 2</td> </tr> </table>	Contact	lubrifié = 1,5	à sec = 2	×	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Répartition</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border: 2px solid red;">uniforme = 2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Sinusoïdale = 3</td> </tr> </table>	Répartition	uniforme = 2	Sinusoïdale = 3
Fonctionnement																			
mobile = 3																			
statique = 1,5																			
Charge																			
vibrations = 2																			
chocs = 4																			
continu = 1																			
Contact																			
lubrifié = 1,5																			
à sec = 2																			
Répartition																			
uniforme = 2																			
Sinusoïdale = 3																			

$$P_{adm} \approx \frac{435}{1,5 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 2} = 97 \text{ MPa}$$

✓ OK

