

Paliers lisses, Coussinets, bagues autolubrifiantes



✓ Liaison arbre/alésage
=>limite le frottement

✓ Économique

✓ Facile à monter

Le frottement



Charles
Augustin
Coulomb

Un modèle simple pour
un phénomène très
complexe

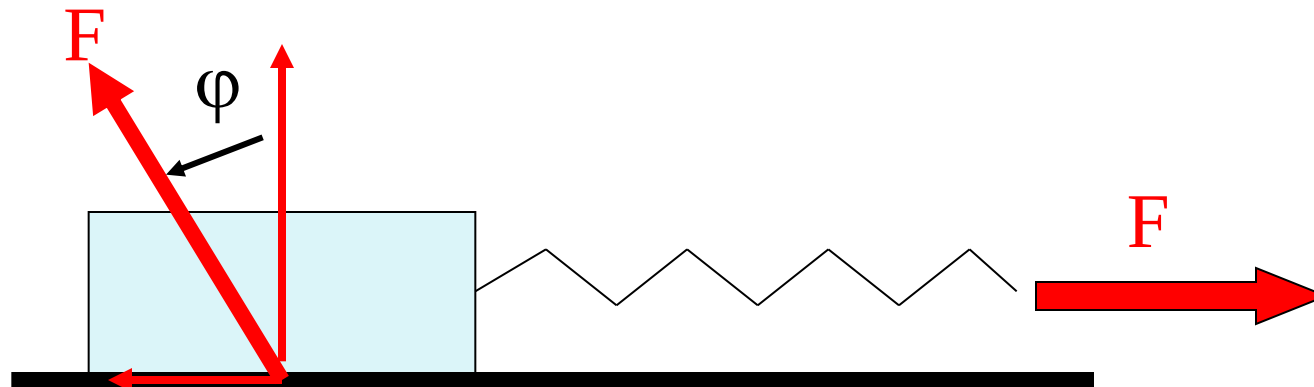
- Force de frottement indépendante de la surface
- Force de frottement proportionnelle à la force normale.

$$F_t = f F_n$$

Amonton (1699) et Coulomb (1785)

Force de frottement fonction de la nature des
faces

Force de frottement indépendante de la vitesse



Frottement (adhérence) partout!

amortissement

blocage

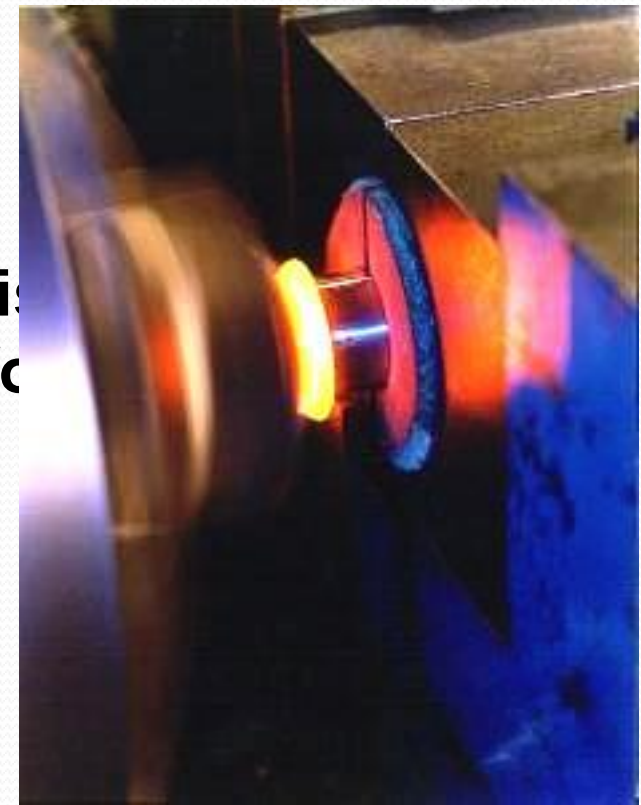
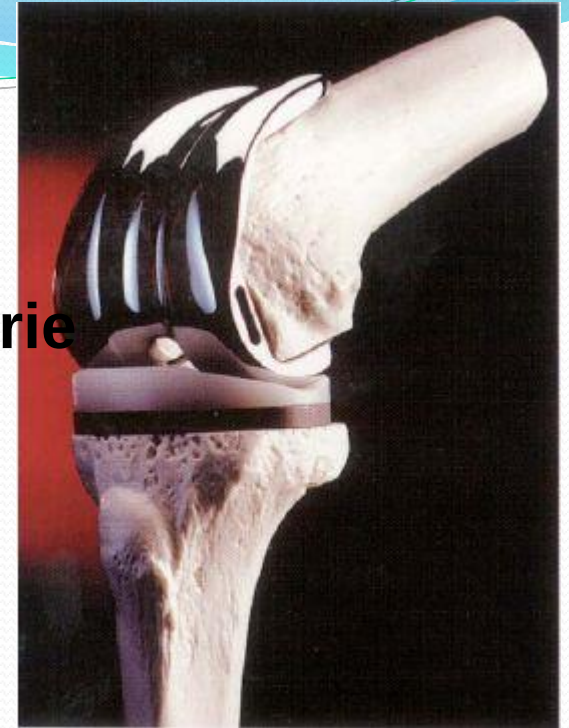
boulonnerie



freinage

usure

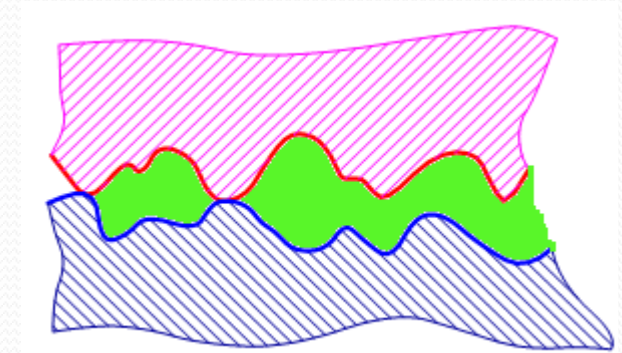
Transmission
d'effort



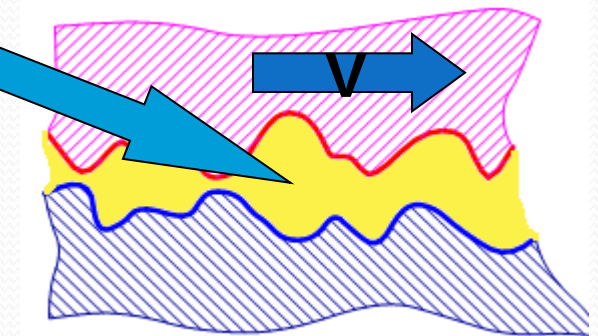
Les régimes de fonctionnements

**Régime sec: contact sur aspérités ,
vitesses faibles $< 0.01 \text{ m/s}$**

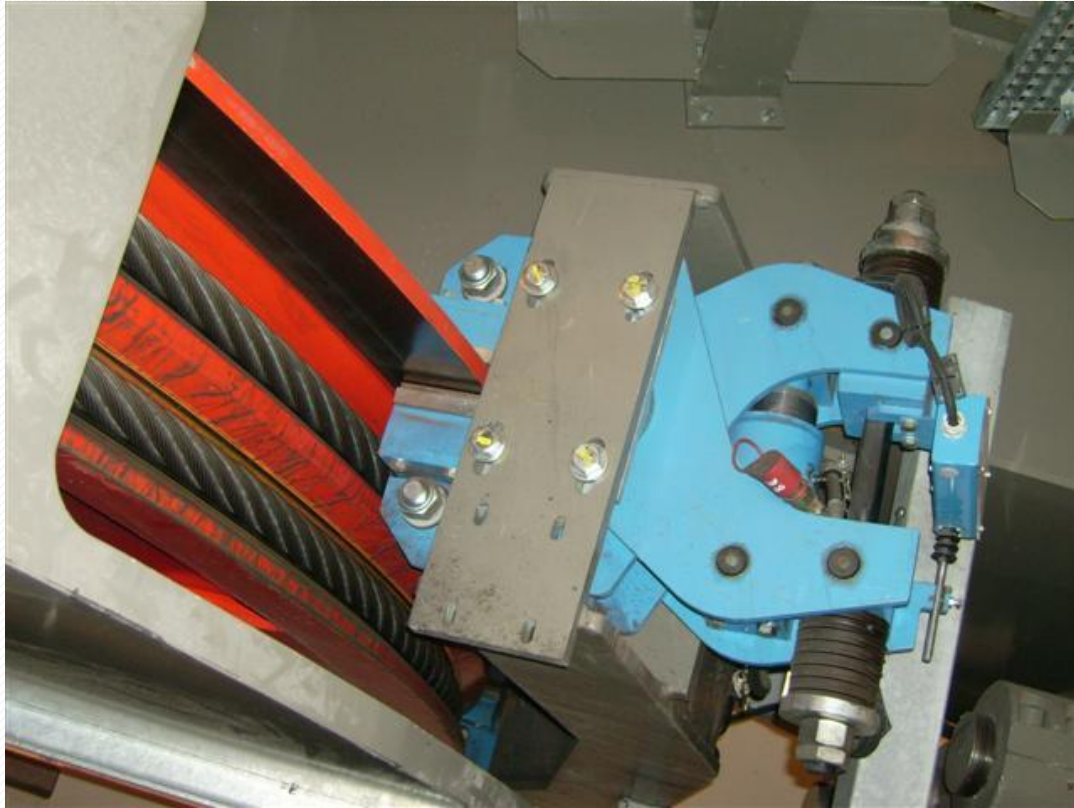
**Régime onctueux : lubrifiant pâteux ou
liquide à l'interface, le contact existe encore**



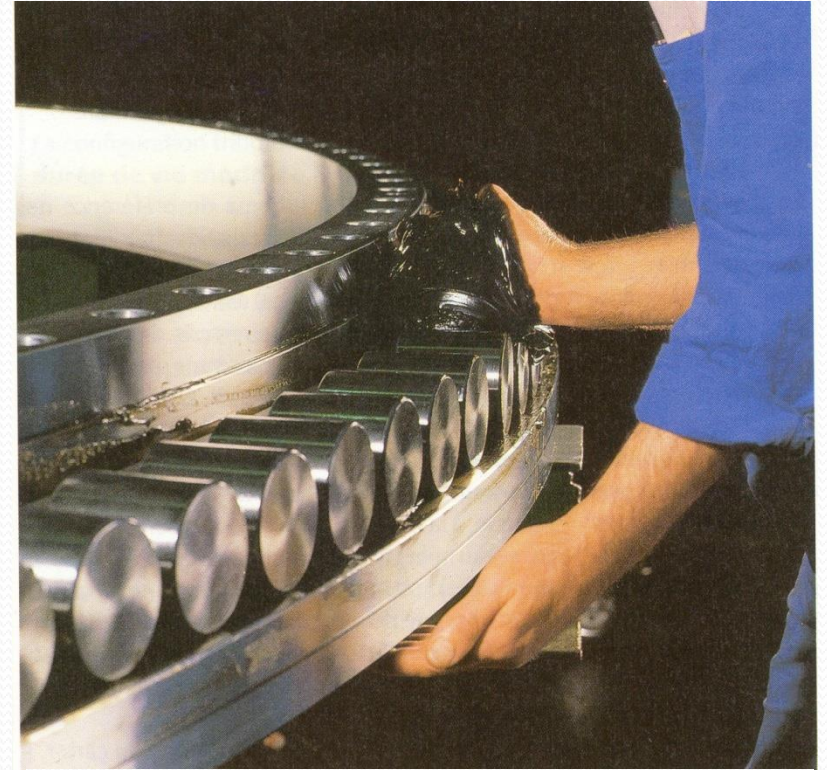
Régime Hydro-statique : pression
Régime hydro-dynamique: vitesse
pas de contact , un film d'huile sépare
les 2 pièces



Exemples :

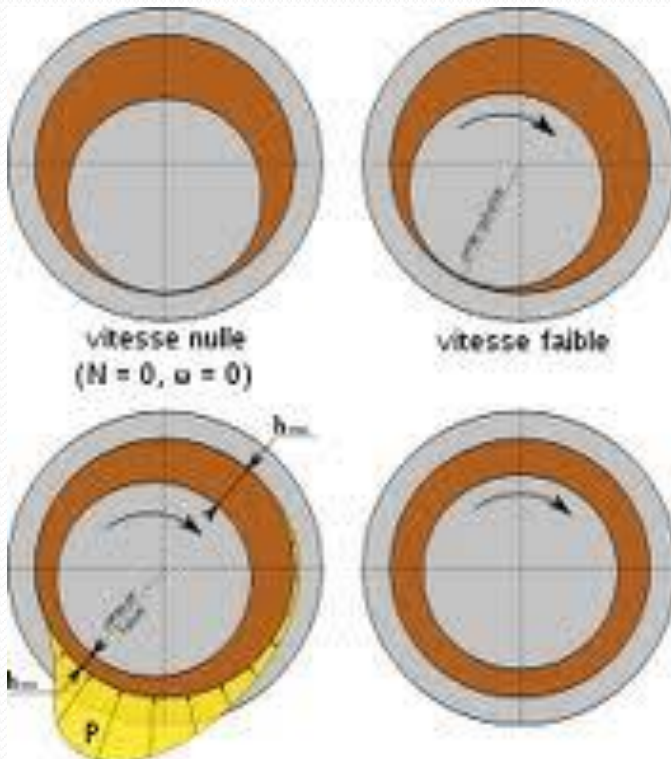


Frottement sec

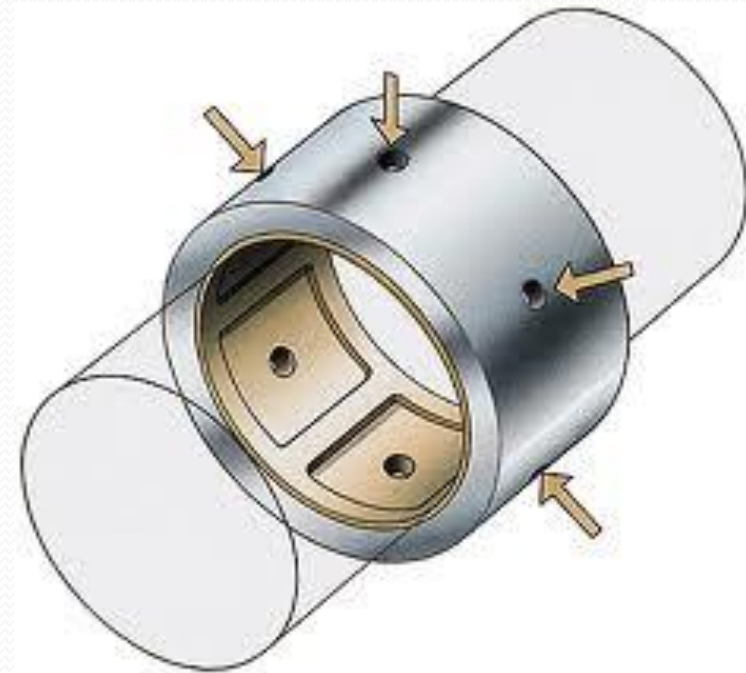


Graissage

Exemples :



Palier Hydro dynamique

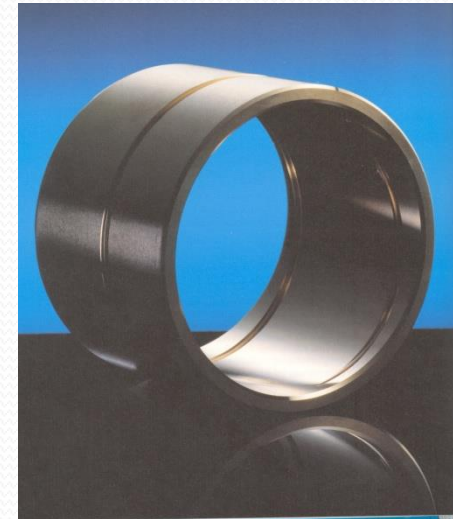


Palier hydro-statique

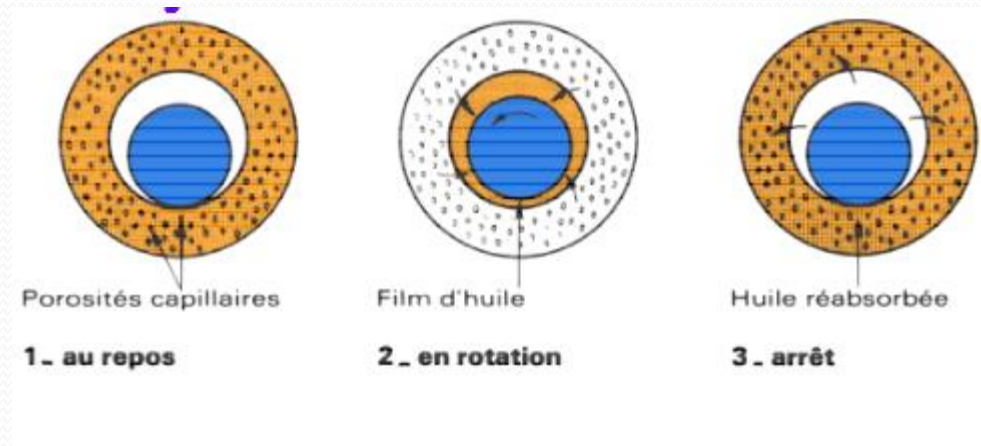
Les régimes de fonctionnements récapitulatif

Régime	Nature film	Coef. frottement	usure	Vitesse
SEC	Solide	$0.1 < f < 0.5$	Importante , augmente avec la charge	$< 0.01 \text{ m/s}$
Onctueux	Pâteux	$0.02 < f < 0.15$		$< 0.3 \text{ m/s}$
Hydrostatique	Liquide	$0.0005 < f < 0.01$	Nulle	$> 0 \text{ m/s}$
Hydrodynamique	Liquide			$> 0.1 \text{ m/s}$

Bagues standards



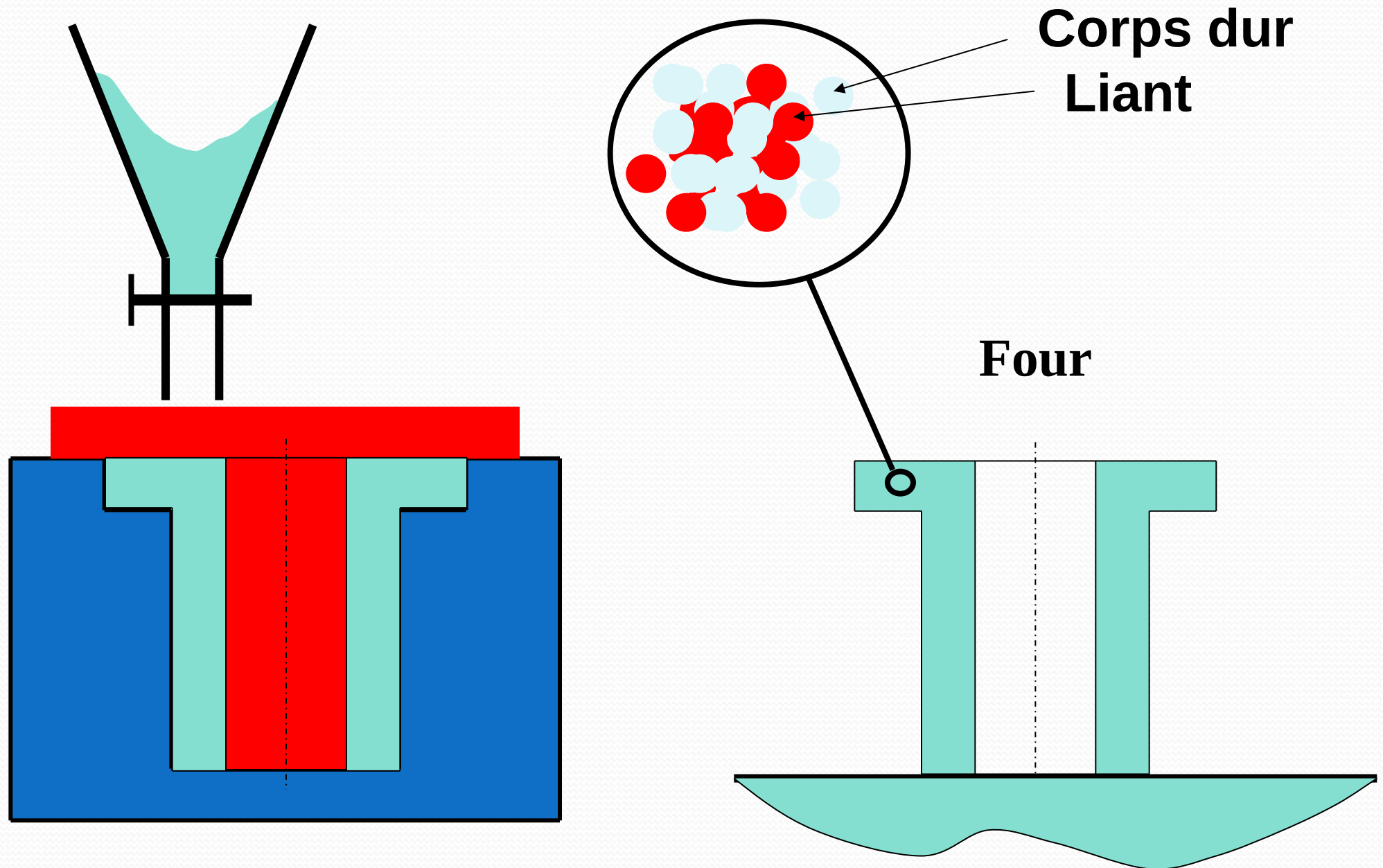
Les bagues frittées ou autolubrifiantes



Ils sont fabriqués à partir de poudre de bronze (cuivre 78% + étain 22%) ou d'alliage ferreux (fer + cuivre + plomb) compactées.

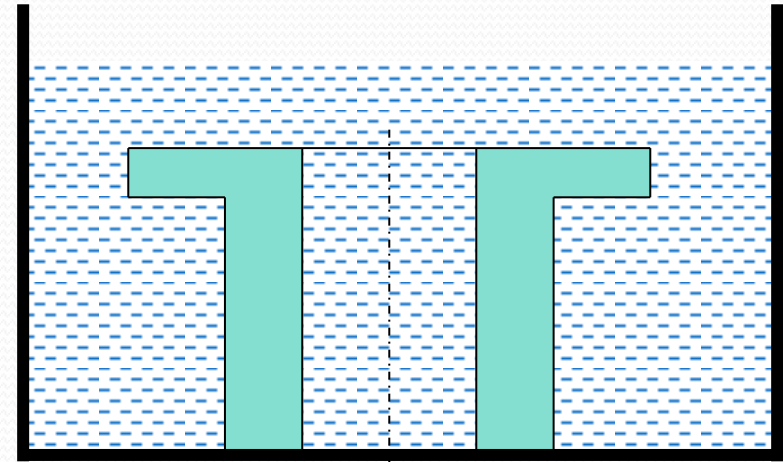
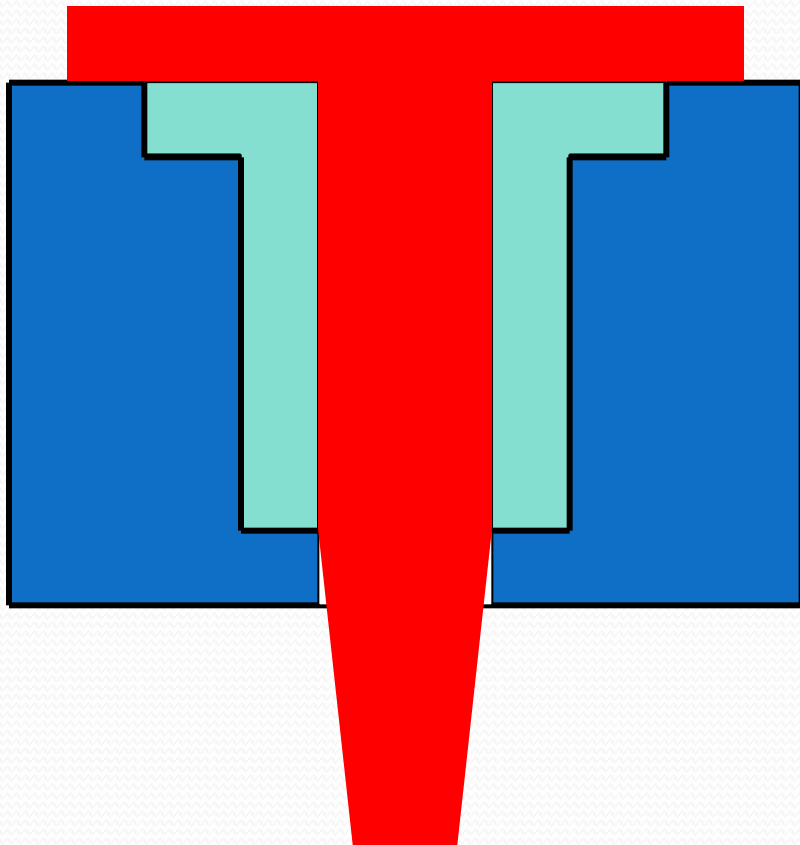
EXEMPLE METAFRAM

Les bagues frittées : mode de fabrication



IMPREGNATION D 'HUILE

CALIBRAGE A FROID

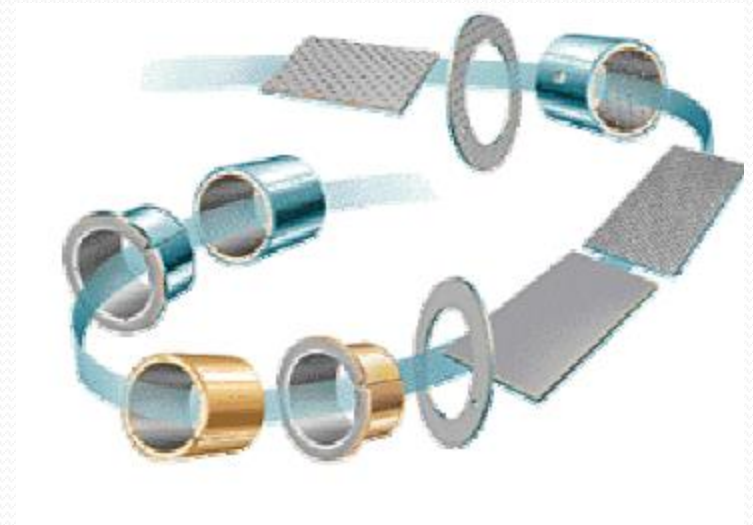


Les coussinets composites type Glacier



Ils sont constitués de 3 couches principales:

- La base est une tôle d'acier roulée (+ cuivre et étain).
- Une couche de bronze fritte.
- La surface frottante en résine acétal ou en PTFE (Polytétrafluoroéthylène) avec addition d'un lubrifiant



Les coussinets polymères

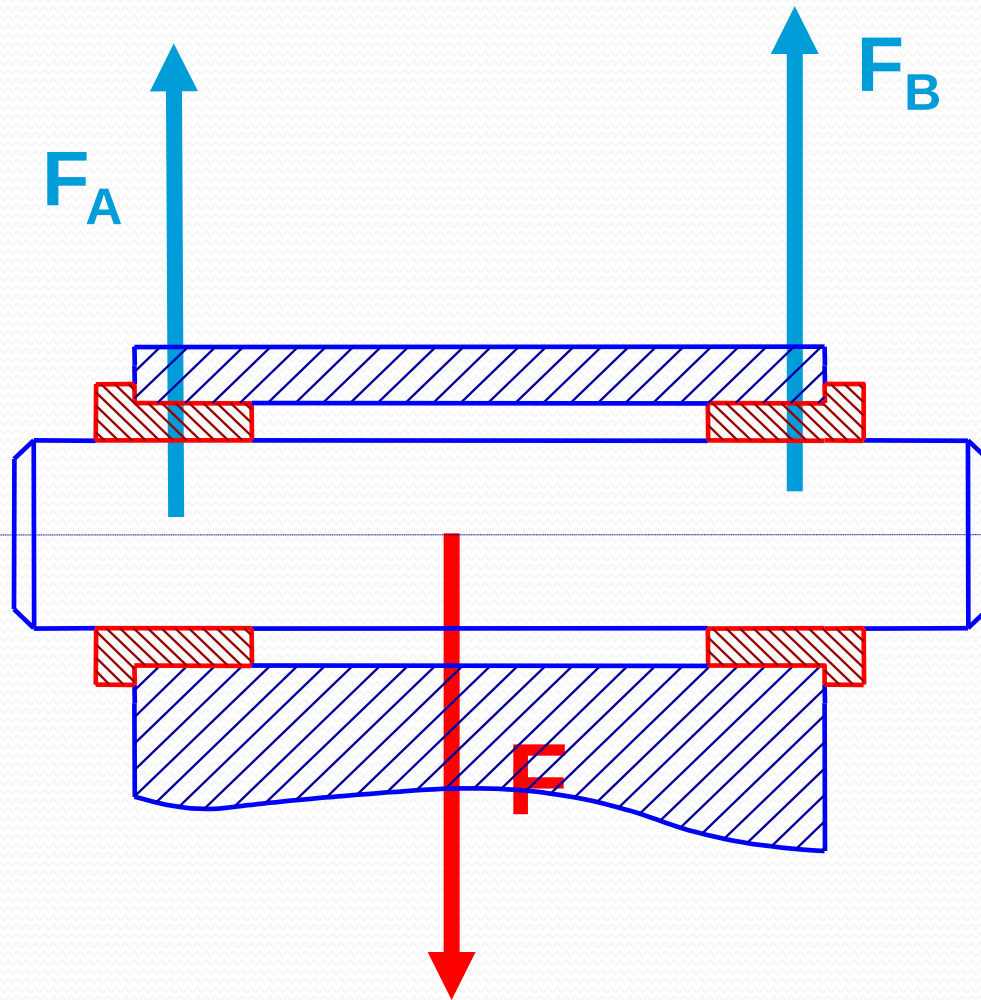
- Matériau PTFE, Nylon, acetal, ...**
- + une grande résistance chimique**
- + insensibles aux poussières**
- fluage**
- faible conductivité thermique**

EXEMPLE: IGUS

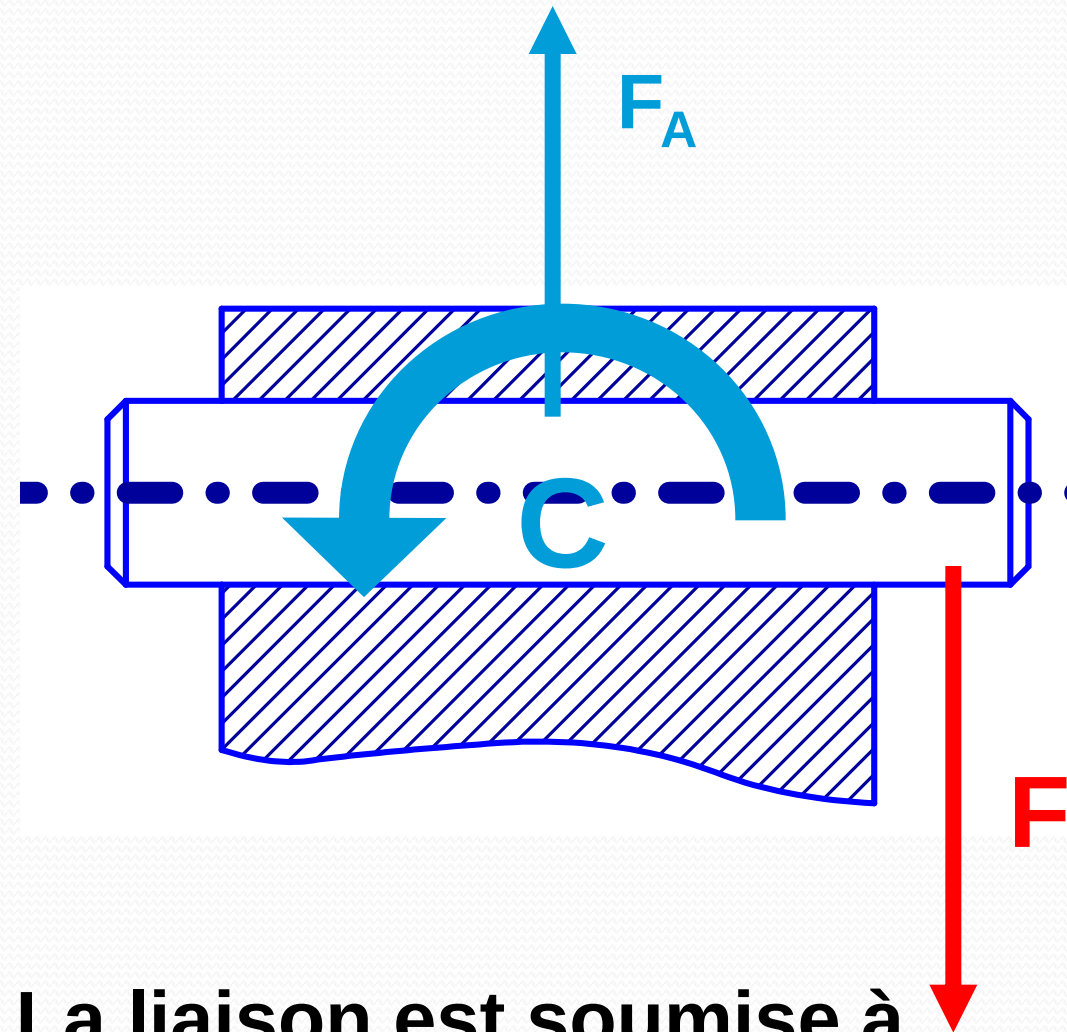


Modélisation de la pression de contact

Modélisation de la pression sur l'arbre



Chaque bague est soumise à un glisseur

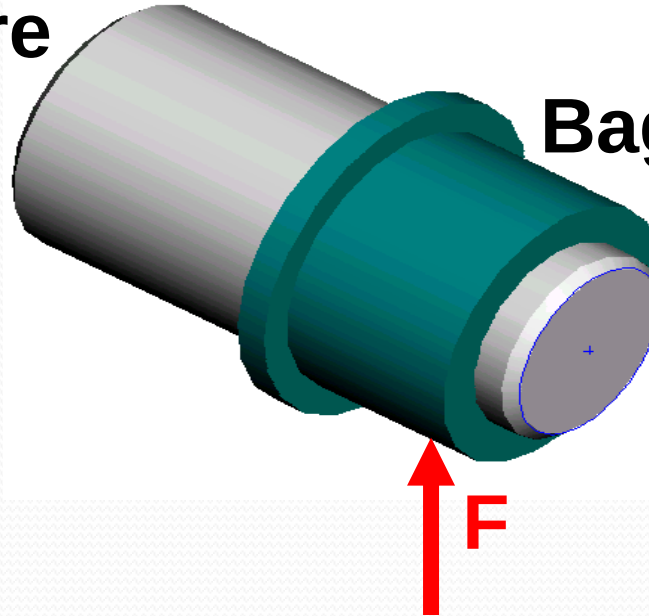


La liaison est soumise à un glisseur et un moment

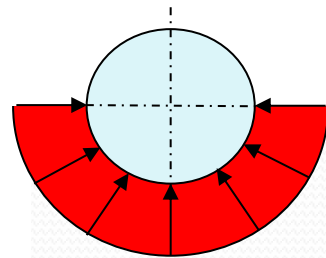
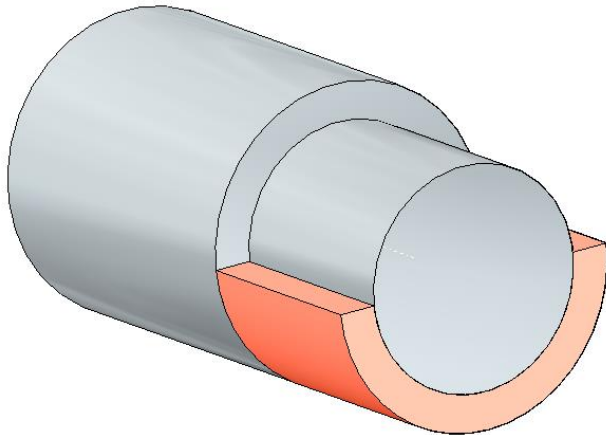
2 modèles de pression

Arbre

Bague

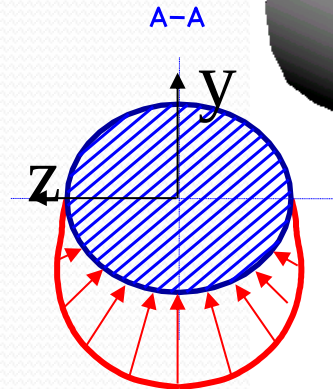
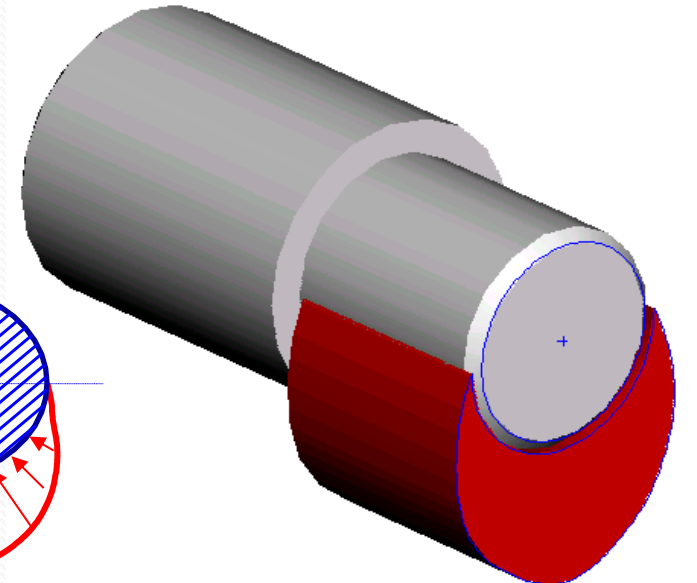


Pression constante
sur un diamètre



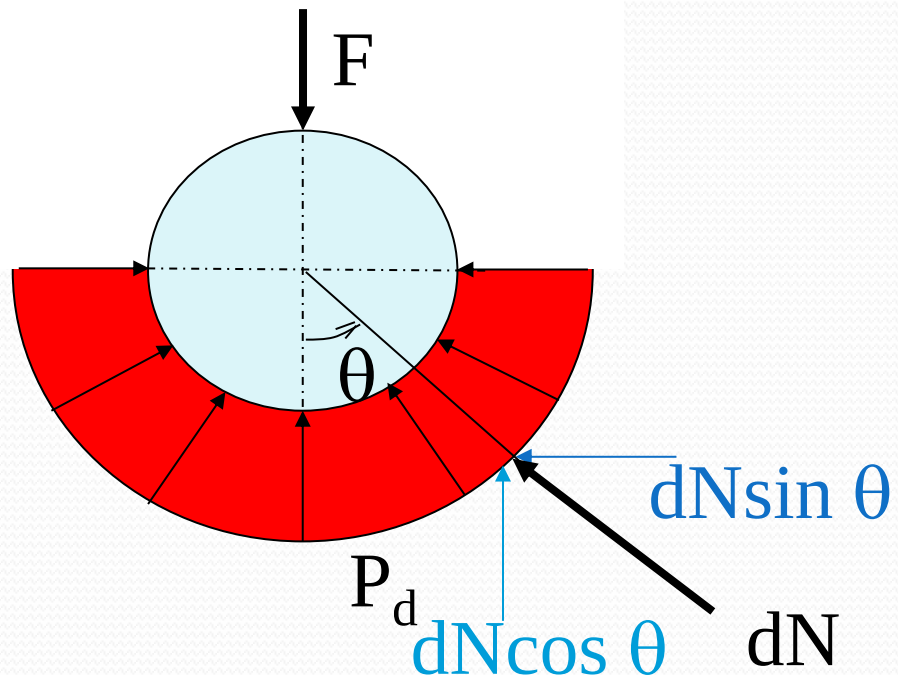
P_d

Pression en Cos^2



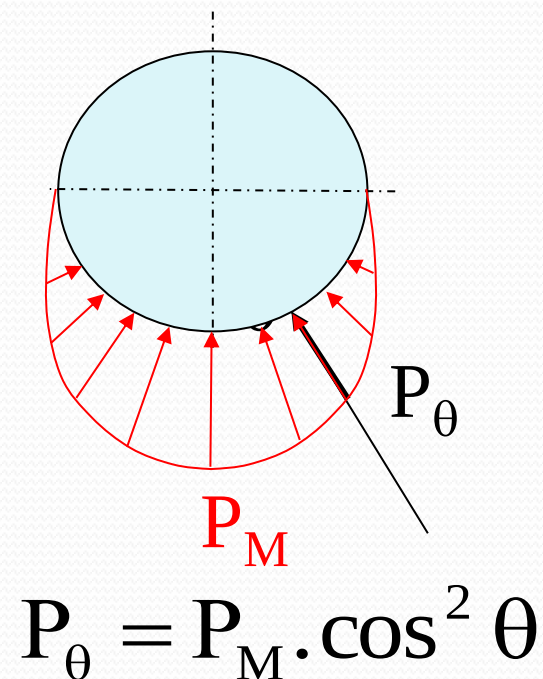
Calcul de la pression maximum : Liaison soumise à un glisseur

Pression diamétrale



$$P_d = \frac{F}{Ld}$$

Pression en $\cos^2$



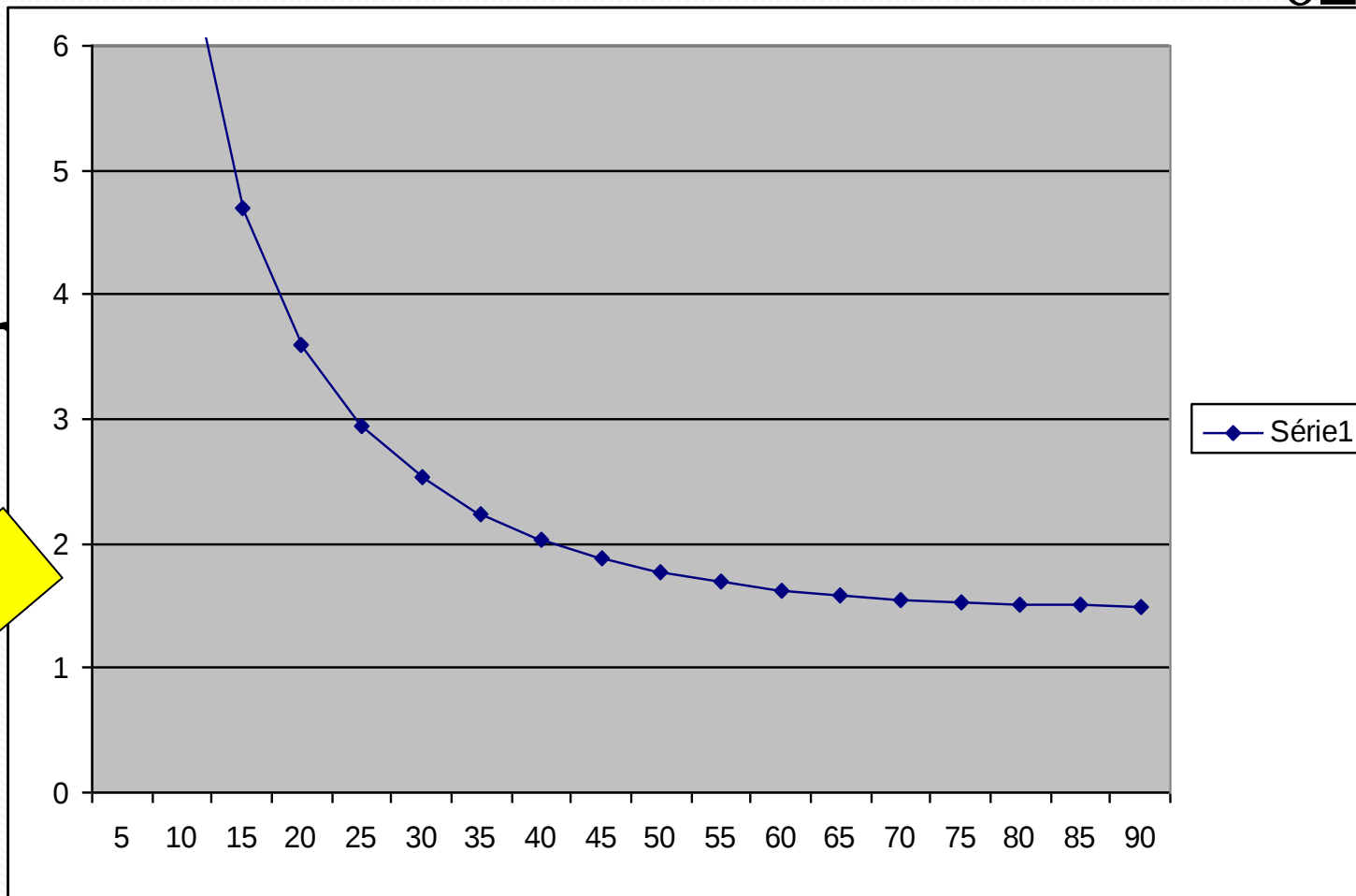
$$P_M = 1,5 \cdot \frac{F}{Ld}$$

$$N = \int dN \cdot \cos \theta = \int p(\theta) \cdot dS \cdot \cos \theta$$

$$N = \int pM \cdot (\cos^2 \theta) \cdot r \cdot d\theta \cdot L \cdot \cos \theta$$

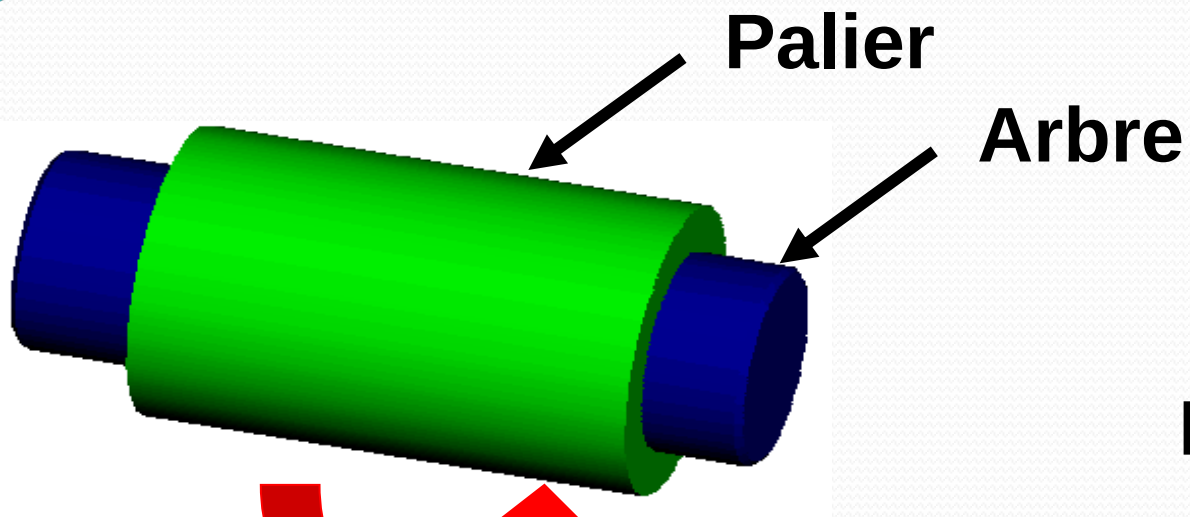
$$N = pMr.L. \int_{-\theta_1}^{\theta_1} (\cos^3 \theta) \cdot d\theta$$

Or

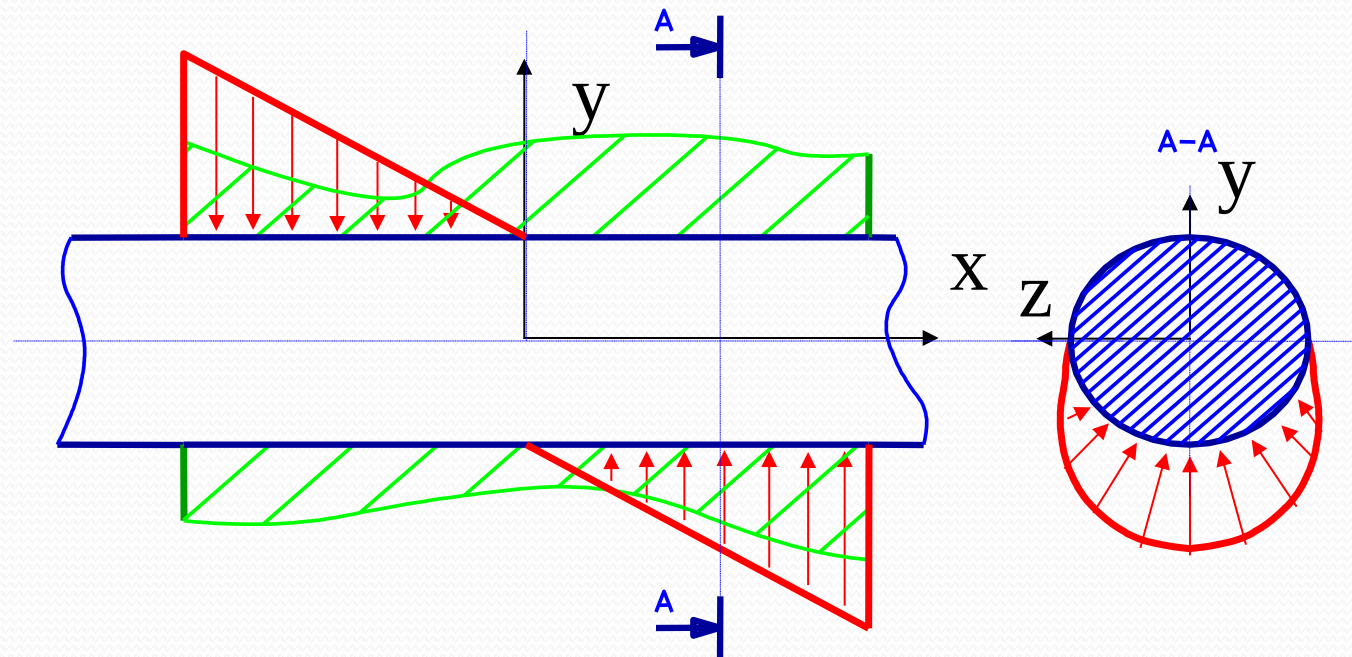
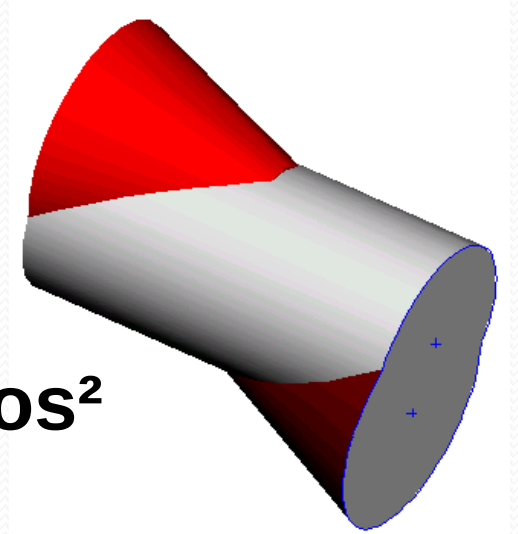


Poly p 64

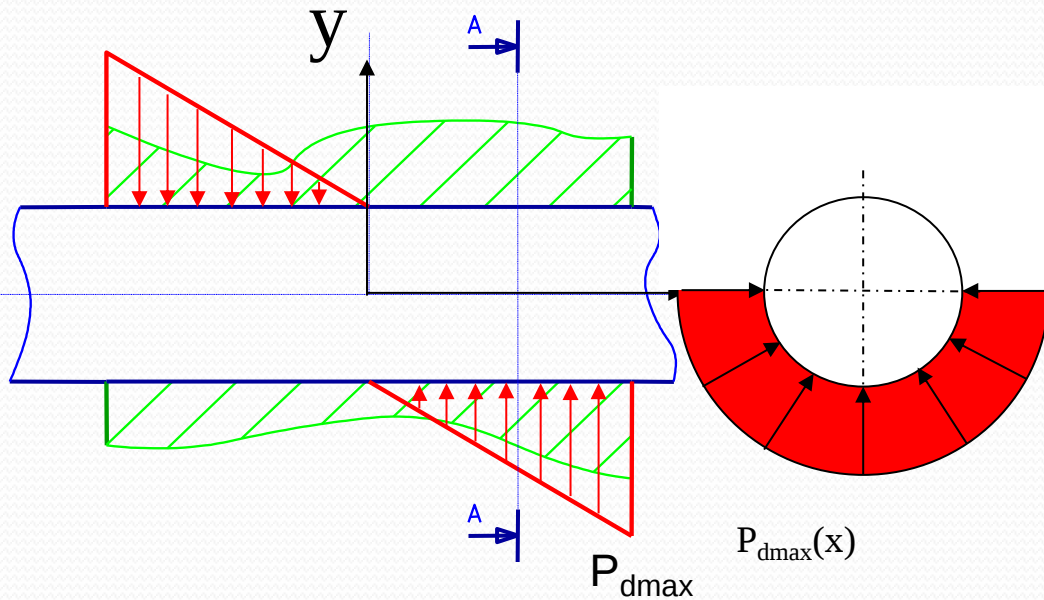
Cas d'une liaison soumise à un Moment



Pression en Cos^2



Pression diamétrale

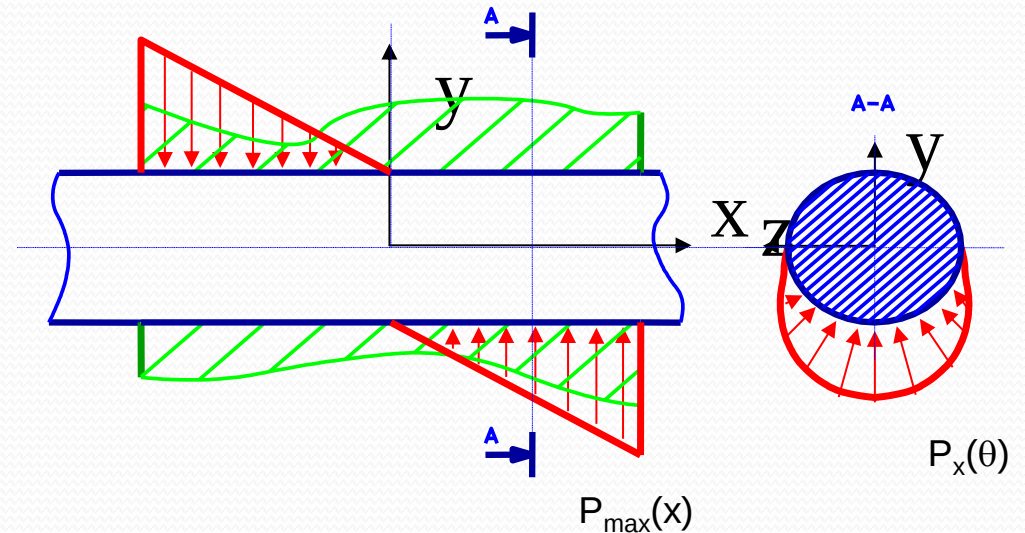


$$p_x = \frac{2p_{\max} \cdot x}{L} \text{ et } dM = x \cdot p(x) ds$$

$$M = 2 \int_0^{L/2} x \cdot p(x) ds$$

$$p_{\max} = \frac{6M}{d \cdot L^2}$$

Pression en cos²

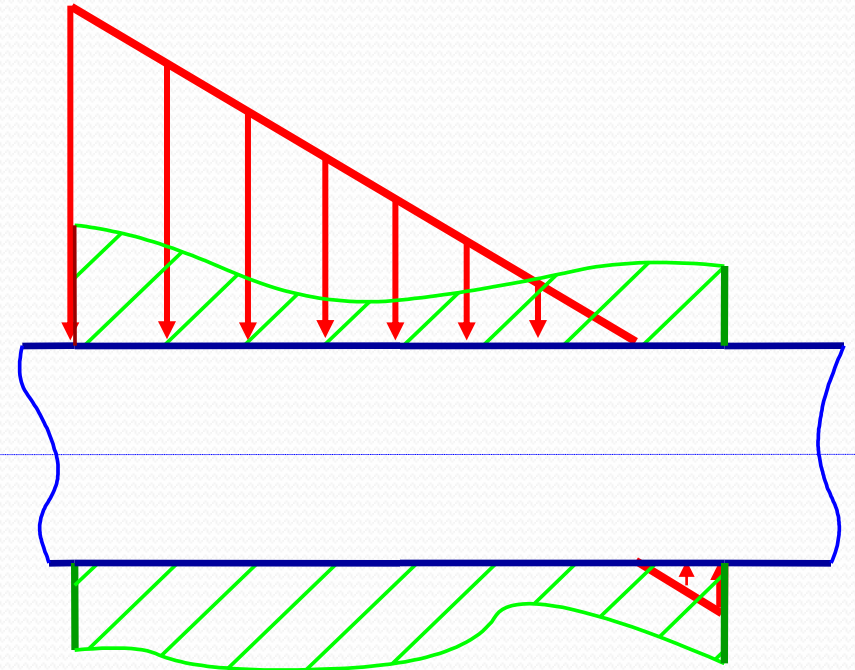
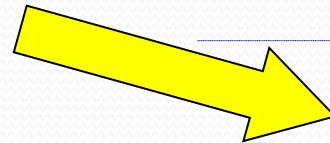
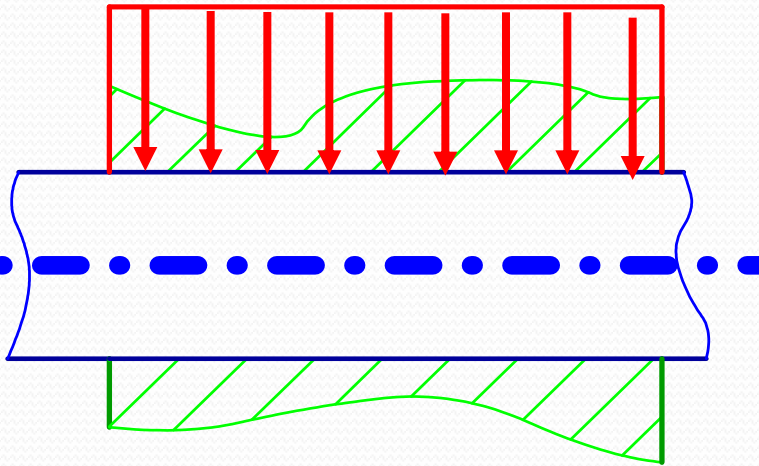


$$p(x) = \frac{2}{L} \cdot p_{\max} \cdot x \quad p_x(\theta) = p(x) \cdot \cos^2(\theta)$$

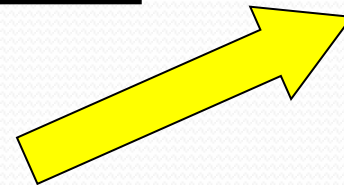
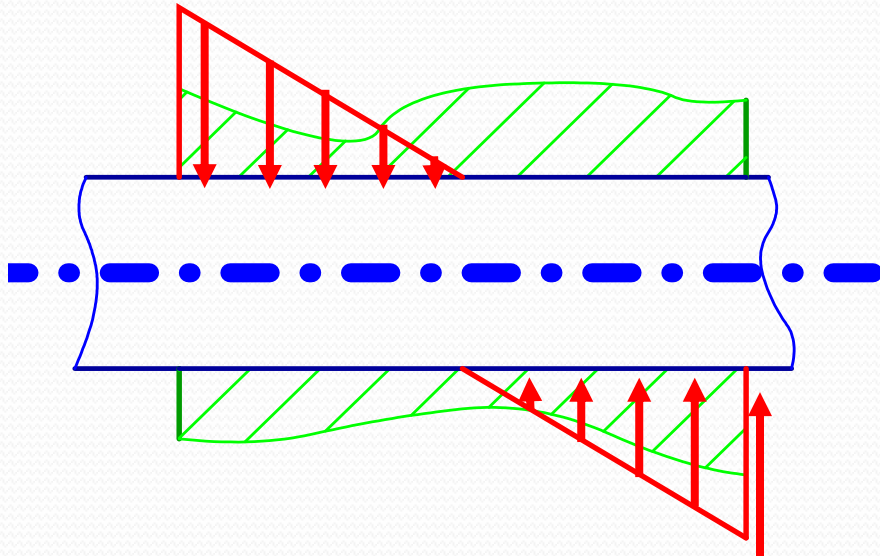
$$p_{\max} = \frac{9M}{d \cdot L^2}$$

Palier soumis à un glisseur et un couple

Palier soumis à un glisseur



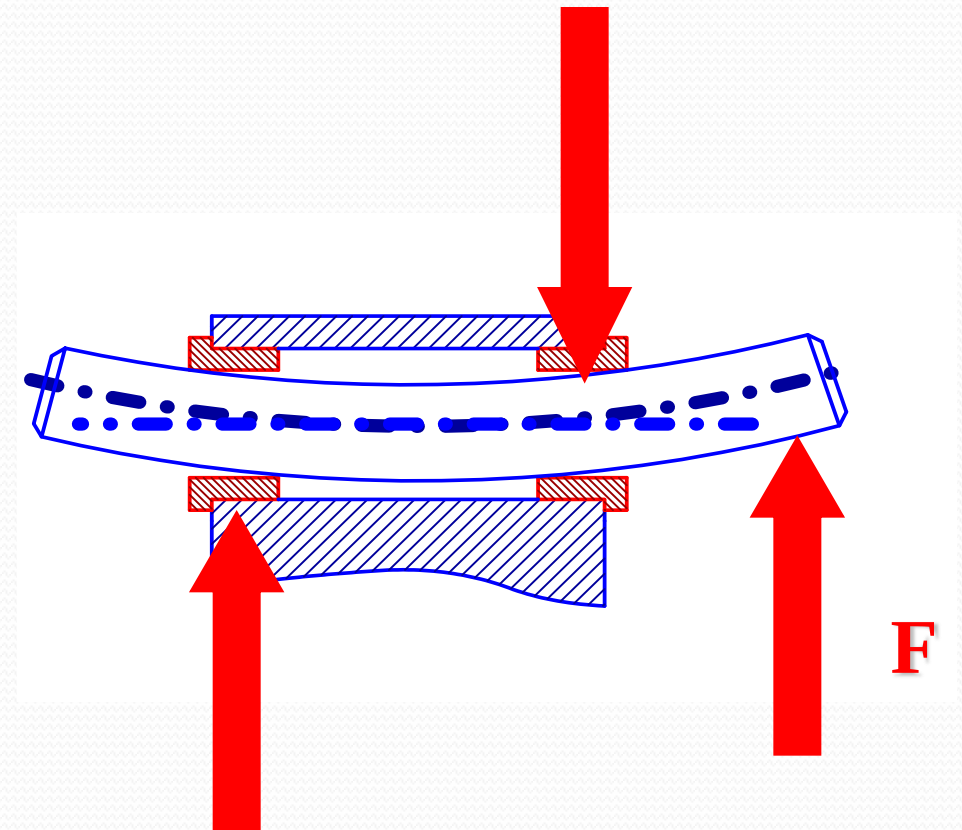
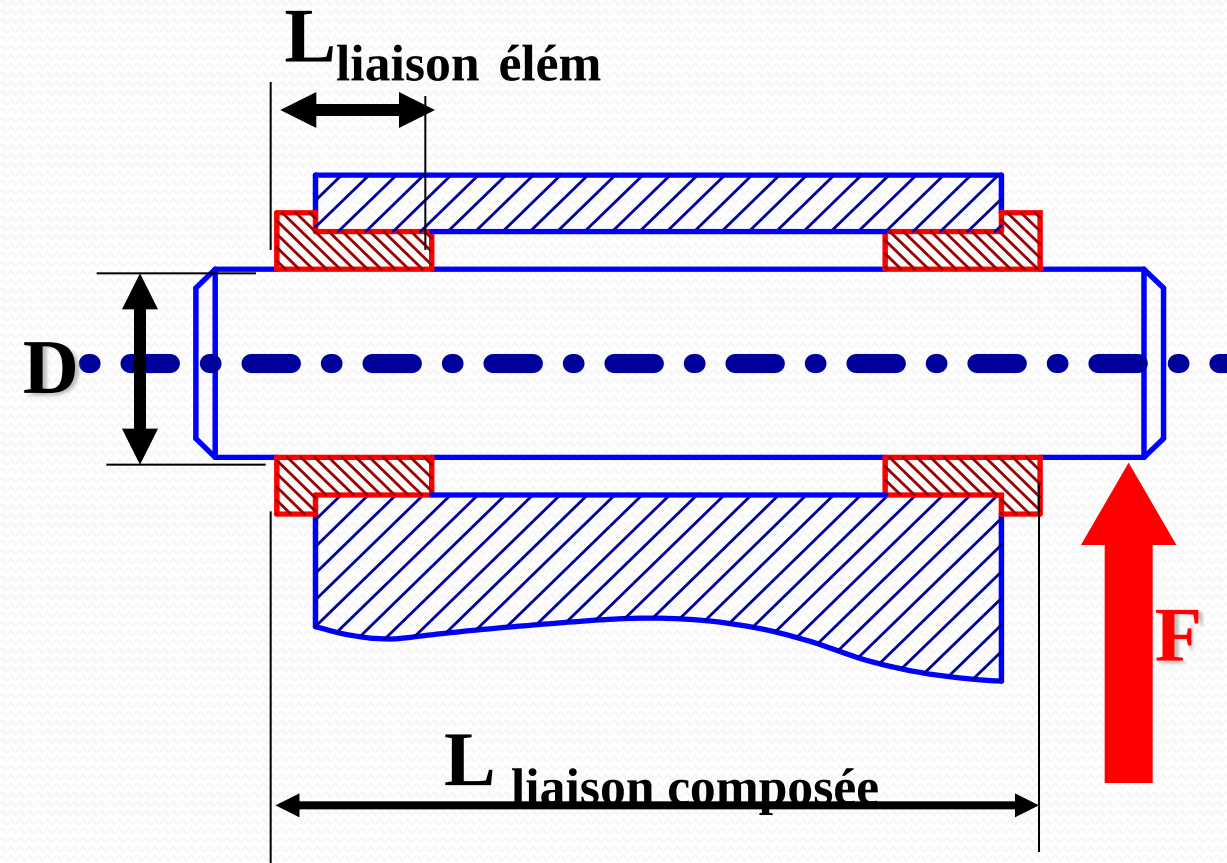
Palier soumis à un moment



$$p_d = \frac{F}{Ld} + \frac{6.M}{dL^2}$$
$$p_{\cos^2} = 1,5 \frac{F}{Ld} + \frac{9.M}{dL^2}$$

Etude architecturale

Linéaires
annulaires : $\frac{L}{d} \leq 0,8$



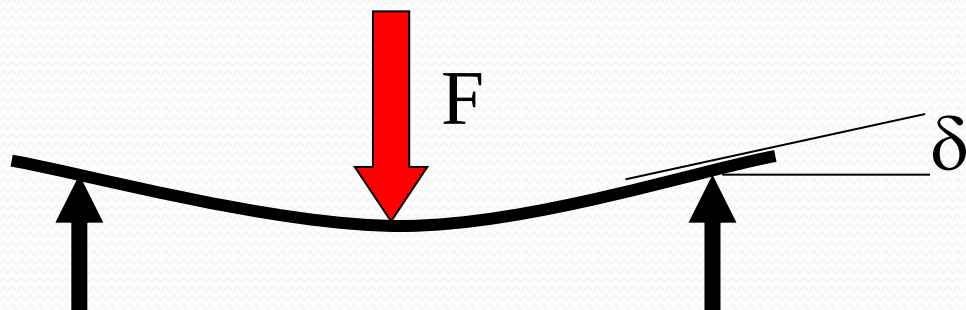
Chaque palier est
soumis à un glisseur

jeu dans la liaison

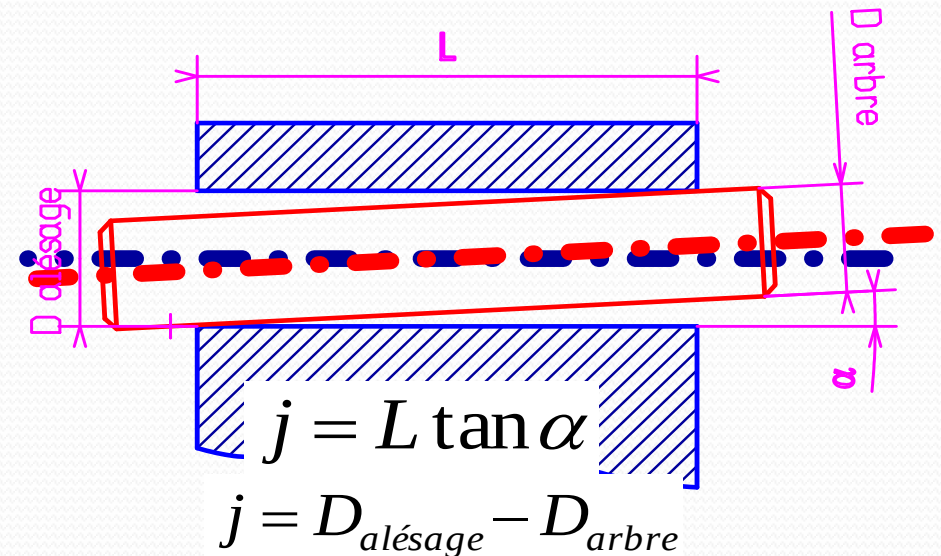
Choix du jeu radial

Jeu trop faible :

- ★ Rupture du film de graissage
- ★ Grippage
- ★ la liaison linéaire annulaire devient un encastrement



il faut $\delta < \alpha$



Choix du jeu radial

Jeu trop grand :

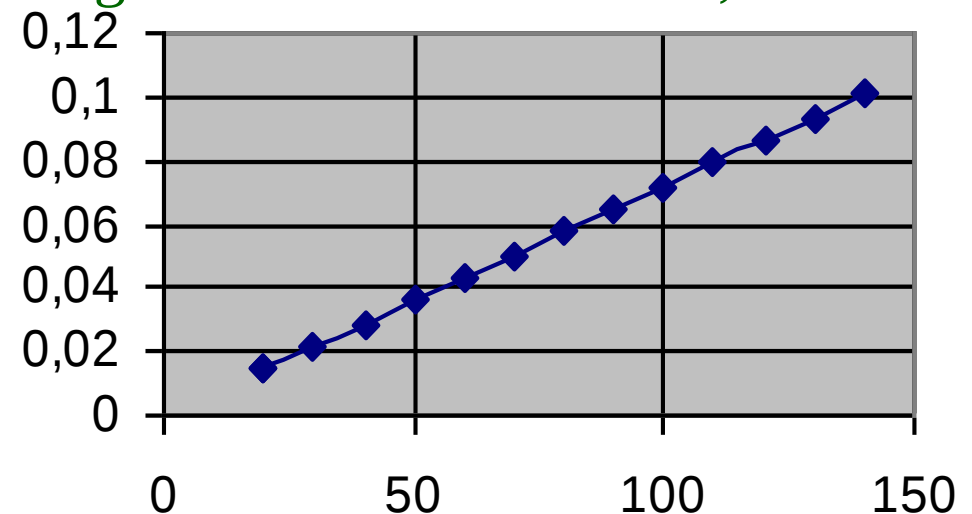
- ★ Guidage peu précis
- ★ Contact sur une génératrice

On choisit en première approximation :

$$J = D/1000$$

Cause de diminution du jeu :
Dilatation

Variation de D en fonction de D_0
Passage de 20 à 80° avec $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}$



Montage

Les bagues sont toujours montées serrées dans l'alésage

Pour éviter les problèmes dus aux déformations de l'arbre

Utilisez des bagues montées sur rotules.



Méthode de validation

- ① Validation RDM de l'arbre : $d1_{\text{mini}}$
- ② Vérification de la pression maxi : $d2_{\text{mini}}$
- ③ Validation en puissance aréolaire p.Vmax : L_{mini}
- ④ Vérification de la vitesse maxi
- ⑤ Vérification de la durée de vie
- ⑥ Cas des Butées axiales

Pression maxi : cas d'une bague

$$\frac{F}{L.D} + \frac{6M}{DL^2} \leq p_{adm}$$

Bague Bronze BP 25: $p_{adm} = 18\text{MPa}$ (statique)

Bague « Fer »FP 15: $p_{adm} = 45\text{ MPa}$ (statique)

Calcul de la puissance aréolaire $P_d V$

liaison soumise à un glisseur

$$p_d V = \frac{F}{LD} \cdot r \cdot \omega = \frac{F}{L \cdot \cancel{D}} \cdot \frac{\pi \cdot N \cdot \cancel{D}}{60}$$

en $\text{N/m}^2 \cdot \text{m/s}$
 $\Leftrightarrow \text{W/m}^2$

$p \cdot V$ est donc une puissance par unité de surface.

$p \cdot V$ est proportionnelle à la puissance dissipée dans la liaison

Puissance aréolaire $P_d V$

$$L = \frac{F \cdot \pi \cdot N}{60 \cdot p_d \cdot V} \quad \text{il faut} \quad p_d \cdot V \leq p \cdot V_{adm}$$

Donc

$$L \geq \frac{F}{p \cdot V_{adm}} \cdot \frac{\pi \cdot N}{60}$$

$L < 2D$

Remarque :

- Ce critère est **indépendant de « d » !!**
- Dès que la vitesse de glissement est importante le critère pV est dimensionnant.

$p \cdot V_{adm}$ bagues Bronze

BP 25 et FP 15

1.8 MPa.m. s⁻¹

Vitesse de glissement maxi

$$V_{\max} \geq \frac{2\pi Nr}{60}$$

Bague Bronze BP 25: $V_{\max} = 6\text{m/s}$

Bague « Fer »FP 15: $V_{\max}=4\text{m/s}$

Bague PTFE : $V_{\max}=1\text{m/s}$ (faible charge)

Validation des butées axiales

En pression
admissible

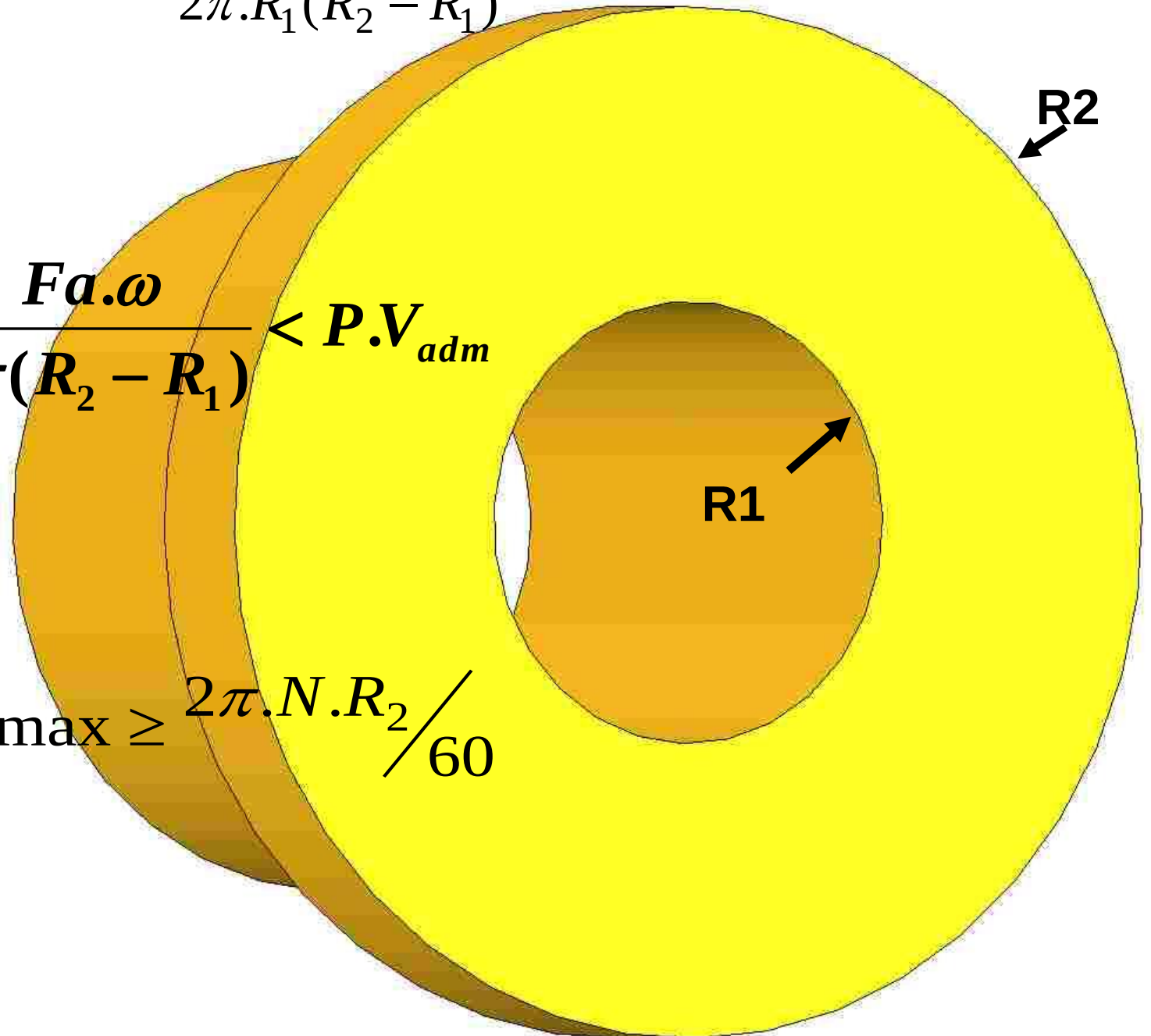
$$p_{\max} = \frac{Fa}{2\pi \cdot R_1 (R_2 - R_1)}$$

En puissance
aréolaire

$$\frac{Fa \cdot \omega}{2\pi (R_2 - R_1)} < P \cdot V_{adm}$$

En
vitesse

$$V_{\max} \geq 2\pi \cdot N \cdot R_2 / 60$$



Estimation de la Durée de vie d'un palier Lisse (PTFE)

facteur p.V modifié: $p.V^*$

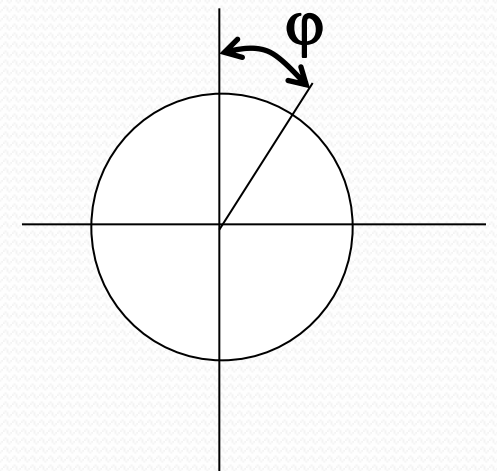
$$p.v^* = \frac{1}{K} \frac{\pi.D.N.F}{60.10^3.L.D} = \frac{5.25 * 10^{-5} * F * N}{L * a_e * a_t * a_m * a_b}$$

Mouvement
oscillant

$$N = \frac{4\phi.N_{osc}}{360}$$

$$L_h = \frac{615}{p.V^*} - a_l$$

En heures



2:facteur de Longueur:

$$a_e = \frac{L(p_{\max} - p)}{p_{\max}}$$

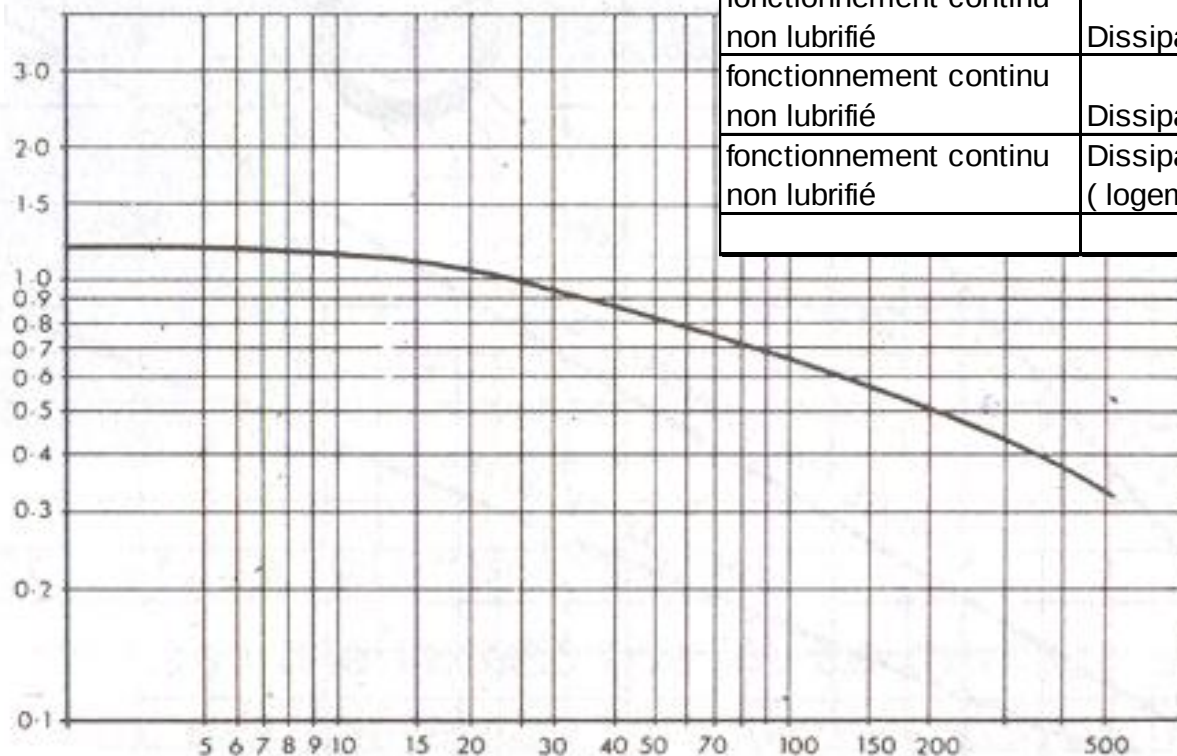
at

Am;al

Matériau	coefficient de matériau antagoniste (am)	correction durée de vie (al)
Aciers (tous sauf inox)	1	600
Aciers inox	2	600
Cadmium	0.2	600
Chrome dur	2	600
non ferreux	0.4	200

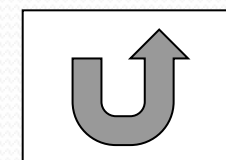
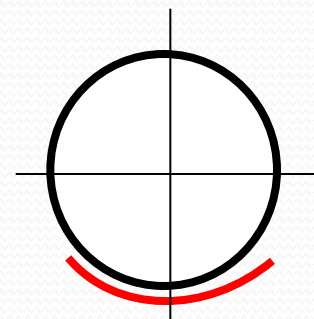
ab

Dimension coussinet facteur r



Diamètre arbre (mm)

Conditions de fonctionnement	Nature du logement	Coef. De température de travail					
		25°	60°	100°	150°	200°	280°
fonctionnement continu non lubrifié	Dissipation calorifique moyenne	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
fonctionnement continu non lubrifié	Dissipation calorifique faible	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	/
fonctionnement continu non lubrifié	Dissipation calorifique mauvaise (logement non métallique)	0.3	0.3	0.2	0.1		



Pression maxi : contact direct

$$\frac{F}{L.D} + \frac{9M}{DL^2} \leq p_{adm}$$

Critères	Etats	Coef . C
Fonctionnement	Mobile	3
	Statique	1.5
Application de la charge	Vibrations	2
	Avec chocs	4
	Continue	1
Contact	Lubifié	1.5
	Sec	2
Répartition de pression	Uniforme	2
	Variable (cylindrique en $\cos^2$)	3

Evaluation de la pression
admissible

$$P_{adm} = \frac{RE}{\pi(Ci)}$$