

La masse de l'arbre est $m = 2 \text{ kg}$ et son excentricité est $e = 3 \text{ mm}$. Celui-ci est guidé en rotation dans par deux paliers (3) et (4).

La vitesse de rotation de l'arbre vaut $N = 6000 \text{ tr/mn}$.

On pose $P_{\max} = 50 \text{ N/mm}^2$ (métal fritté) et $L = 0,5 \text{ d}$ (palier court).

$$F_i = m \cdot a_{\text{centripète}} = m \cdot \omega^2 \cdot e$$

$$AN : F_i = 2 \cdot [6000^2 \cdot 2\pi / 60]^2 \cdot 0,003 = 2366 \text{ N} !$$

$$\text{Effort sur le palier : } F(3/1) = F_i / 2 = 1183 \text{ N}$$

$$P_{\text{conventionnelle}} = F(3/1) / [L \cdot d] = F(3/1) / [0,5 \cdot L^2]$$

Valeur de L pour éviter le matage de la surface :

$$L = \sqrt{\frac{2 \cdot F_{(1)}^2}{P_{\text{conv}}}} \rightarrow AN : L = \sqrt{\frac{2 \cdot 1183}{50}} \approx 7 \text{ mm} \text{ et } d = 14 \text{ mm}$$

Vérification de la tenue au grippage :

$$P_{\text{conv}} * V = P_{\text{conv}} * \omega * d / 2$$

$$\rightarrow AN : P_{\text{conv}} * V = 50 \cdot 6000 \cdot 2\pi / 60 \cdot 0,014 / 2 = 219 \text{ W/mm}^2 !!! > 35 \text{ W/mm}^2$$

V en [m/s]

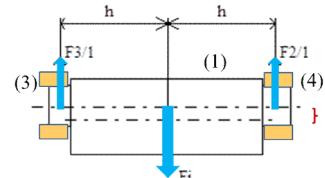
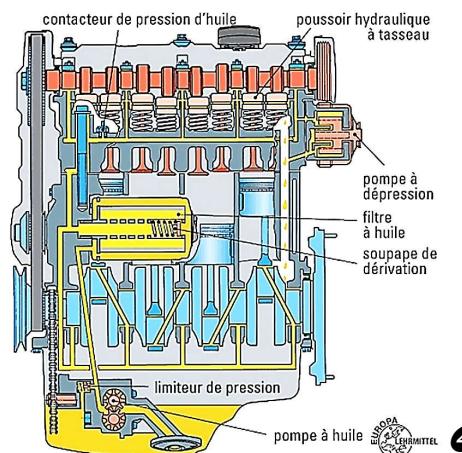
On peut aussi chercher à injecter de l'huile sous pression et créer un palier hydrodynamique ou encore tenter des éléments roulants... On évite alors le contact direct entre pièces en lubrifiant sous pression la liaison, **c'est le principe du palier hydrodynamique → une pompe à huile doit donc être ajoutée au système !**

Exemple, cas du moteur à combustion interne :

On notera la complexité du circuit de graissage.

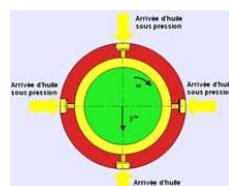
L'huile assure plusieurs fonctions :

- elle lubrifie les pièces en frottement du moteur,
- elle évacue aussi, vers le carter moteur, où elle sera dissipée, la chaleur produite par la friction entre ces pièces.
- elle contient des additifs qui absorbent les sous-produits corrosifs ou nocifs créés par la combustion du mélange carburé dans les cylindres.
- enfin l'huile renforce aussi l'étanchéité aux gaz au niveau des segments des pistons.



Attention il faut ensuite éventuellement appliquer un coefficient de sécurité car le modèle utilisé est simpliste (la pression réelle n'est pas uniforme !).

Cette valeur est trop importante, on peut chercher à la réduire, en modifiant les dimensions du palier en augmentant sa longueur L. On peut changer de technologie et tenter des éléments roulants.



Dossier 3

Matage et grippage dans les liaisons lisses

Ce document est une synthèse du cours présenté

Qu'est-ce qu'une liaison lisse ?

Les paliers lisses sont également appelés coussinets, manchons de palier, paliers d'arbre ou paliers lisses.

Avec les paliers lisses, l'élément mobile - souvent un arbre, un axe ou une barre de guidage - glisse sur la couche de glissement d'une bague, d'un palier ou d'une plaque. Le mouvement de glissement se produit directement entre la couche de glissement du palier et la pièce à supporter.

Le palier est donc un élément rapporté entre arbre et moyeu.



Le **guidage** de l'arbre est assuré par un **palier « rapporté »**.

Les paliers lisses réduisent le frottement en utilisant des matériaux spécifiques, tels que le PTFE (Teflon) ou le graphite, afin de faciliter le mouvement entre 2 surfaces. Les paliers lisses sont soit autolubrifiants pour un fonctionnement à sec, soit lubrifiés à l'extérieur avec de l'huile ou de la graisse. Les différents paliers lisses se distinguent par les matériaux à partir desquels ils sont fabriqués (métal-polymère, enroulement filamentaire, métal ou bi-métal et polymère thermoplastique). Ils sont couramment utilisés dans les applications statiques oscillantes telles que les charnières, les pivots...

Assurant le guidage de l'arbre dans le moyeu, il fait aussi office de « fusible » c'est-à-dire que la détérioration de la liaison lors d'une avarie concerne le palier uniquement, arbre et moyeu restent généralement indemnes.

Avantages des paliers lisses

- Capacité de charge élevée, résistance élevée aux chocs et grande zone de contact
- Compensation des défauts d'alignement et amortissement des vibrations grâce au revêtement
- Réduction du bruit grâce en l'absence de pièces mobiles
- Réduction du poids et du volume
- Montage simplifié, entretien réduit, facilité de remplacement.
- Faible coût initial et global.

Quels sont les critères employés pour le calcul ?

NON MATAGE



NON GRIPPAGE

La surface de contact du palier doit rester indemne de tout dommage même localisé sous l'effet de l'effort supporté par la liaison.

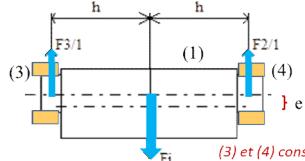
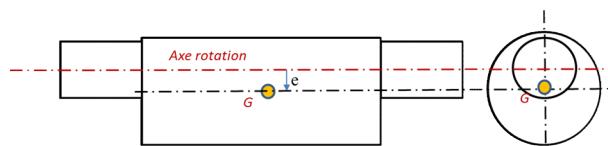
Lors d'une transmission de puissance, aucune fusion localisée de la surface du palier ne doit se produire sous l'effet de l'échauffement de la liaison produit par les frottements.

Comment éviter le matage ?



La photographie suivante représente un tasseur vibrant. Il est utilisé dans le secteur du bâtiment et des travaux publics pour tasser le béton dans les coffrages...

La partie qui génère les vibrations est constituée d'un arbre tournant comportant un balourd :

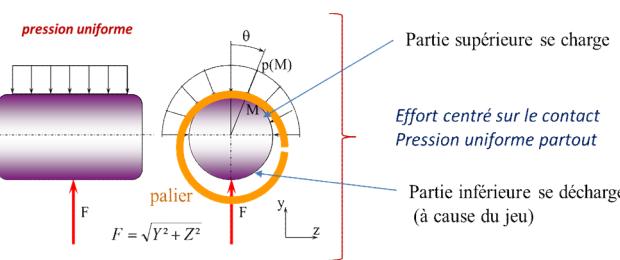


Les secousses sont produites par l'intermédiaire de l'arbre excentré (1).

F_i est l'effort d'inertie provoqué par le balourd issu de l'excentricité, $F_{3/1}$ et $F_{2/1}$ sont les efforts radiaux dans les paliers.

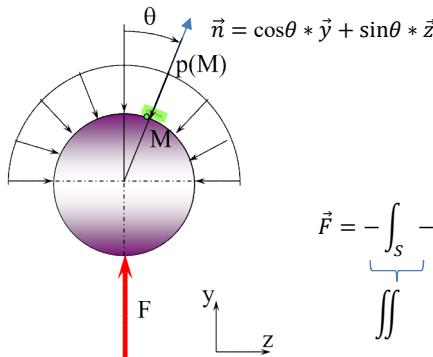
On suppose que l'effort radial sur la liaison F est centré sur la surface de contact.

$$F = \sqrt{Y^2 + Z^2}$$



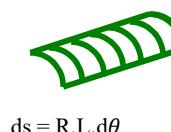
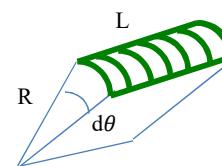
Des modèles de pression plus complexes existent et décrivent la réalité avec davantage de précision.

Effort en porte à faux/contact
Pression variable partout
(plus complexe à traiter)



ds représentant une surface élémentaire,
la somme est dite double, ou encore
intégrale de surface.

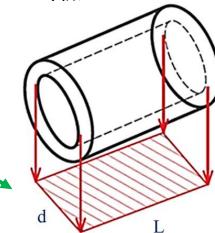
$$\vec{F} = - \iint_S -p \vec{n} ds$$



$$\vec{F} = \int_S +p[\cos\theta * \vec{y} + \sin\theta] * \vec{z} ds$$

$$\vec{F} = \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} +p[\cos\theta * \vec{y} + \sin\theta * \vec{z}] * R.L.d\theta$$

$$\begin{aligned} \vec{F} &= +pRL. [\sin\theta * \vec{y} - \cos\theta * \vec{z}] \\ &= +pRL. [2 * \vec{y} - 0 * \vec{z}] = +2pRL * \vec{y} \end{aligned}$$



Pression conventionnelle de contact dans liaison

$$P_{max} = \frac{F}{L.d} \leq P_{adm}$$

Surface projetée du contact cylindrique (= un rectangle)

Quel que soit la forme du contact (cylindre, sphère...) la pression moyenne, développée par une force sur lui, est égale à l'effort divisé par la surface projetée du contact.

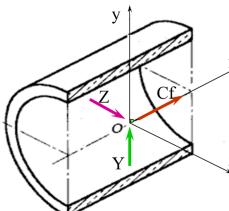
P_{adm} est fournie par les constructeurs de paliers.

De façon plus générale, la pression obtenue dans le cas d'un champ uniforme est toujours égale à la valeur de l'effort divisée par la surface projetée du contact.

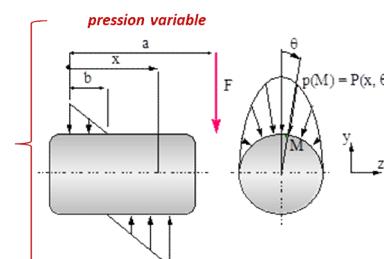
Pour une sphère (liaison rotule) de rayon r c'est un disque : $p = F/\pi.r^2...$

- coussinet en bronze lubrifié
- coussinet autolubrifié en métal fritté
- coussinet en plastique phénolique lubrifié
- coussinet sans graissage en nylon

$\Rightarrow P_{adm} \# 50 \text{ Mpa},$
 $\Rightarrow P_{adm} \# 25 \text{ Mpa},$
 $\Rightarrow P_{adm} \# 20 \text{ Mpa},$
 $\Rightarrow P_{adm} \# 6 \text{ Mpa}.$



Dans ce cas le modèle simple d'une pression uniforme sur la surface de contact est envisageable.

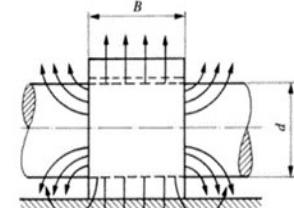
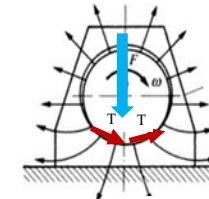


\sum Somme discrète
Addition d'un nombre fini d'éléments
 \int Somme continue
Addition d'un nombre infini d'éléments

Comment éviter le grippage ?

Le frottement entre matériaux (effort tangentiel T et rotation) provoque l'échauffement du palier.

La température du palier ne doit pas dépasser une valeur limite (donnée constructeur) au-delà de laquelle des micro fusions locales provoquent le grippage du palier et sa destruction...



Transfert de chaleur dans un palier lisse

$$\begin{aligned} \text{Puissance produite} &= T.V = f.N.V & \text{Puissance dissipée par convection} &= H.S.(T_p - T_a) \\ & \downarrow & & \downarrow \\ \text{Coefficient de frottement} & & \text{Vitesse tangentiale} &= (\omega.R) \\ & \downarrow & & \downarrow \\ \text{Force tangentiale de frottement} & & \text{Surface d'échange} &= \text{Ecart de température} \\ & \downarrow & & \downarrow \\ & \text{Image du produit } P.V = [Pa.m/s] & \text{Coefficient de convection} & \end{aligned}$$

Le produit $P.V$ [W/m^2] est la puissance aréolaire. C'est la puissance surfacique maximale que la liaison peut dissiper avant d'être détruite par échauffement.