

**Avertissement :** Les guidages en rotation utilisant le principe d'interposition d'éléments roulants, autrement dit les roulements à billes, à aiguilles, etc... sont traités dans un autre chapitre.

## INTRODUCTION

La concrétisation d'une liaison pivot entre deux solides passe en général par la réalisation d'un contact entre surfaces cylindriques, donc entre un arbre et un alésage.

Mais pour des performances acceptables, tant au niveau des efforts supportés que des vitesses de rotation permises, il devient vite nécessaire d'utiliser des matériaux adéquats, avec souvent une lubrification.

Divers fabricants proposent donc ce que l'on appelle des **paliers ou des coussinets**, de dimensions normalisées, que l'on peut utiliser pour guider des pièces en rotation mais parfois aussi en translation.

## PALIER (OU COUSSINET) A GLISSEMENT

Le principe est simplement d'associer un couple de matériaux présentant de bonnes caractéristiques de glissement. L'arbre étant le plus souvent en acier, on lui associe un alésage par exemple en bronze ou en matière plastique, sous la forme en général d'une pièce rapportée dans le moyeu qui lui peut être ainsi dans un matériau quelconque.

Le fonctionnement se fait parfois à sec si l'environnement l'exige, ou de préférence avec un graissage (lubrification de type « **onctueux** »).

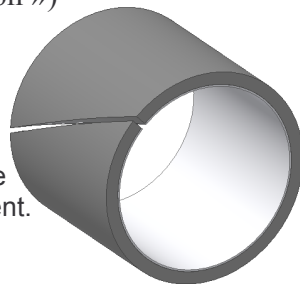
Matériaux couramment utilisés pour les coussinets :

- alliages ferreux
- bronzes
- PA 6-6 (« nylon »)
- PTFE (« téflon »)
- PEHD (polyéthylène haute densité)

Variante : coussinet sous forme de tôle roulée avec un revêtement PTFE (« Téflon ») sur l'intérieur :

Le coussinet peut fonctionner à sec

L'élasticité de la tôle permet de le monter serré dans son logement.



Notez aussi que les progrès dans le domaine des céramiques industrielles, sous forme de pièces massives ou de revêtement, pourraient à l'avenir donner des paliers très performants fonctionnant à sec.

### Avantage :

- Solution économique et simple à mettre en œuvre

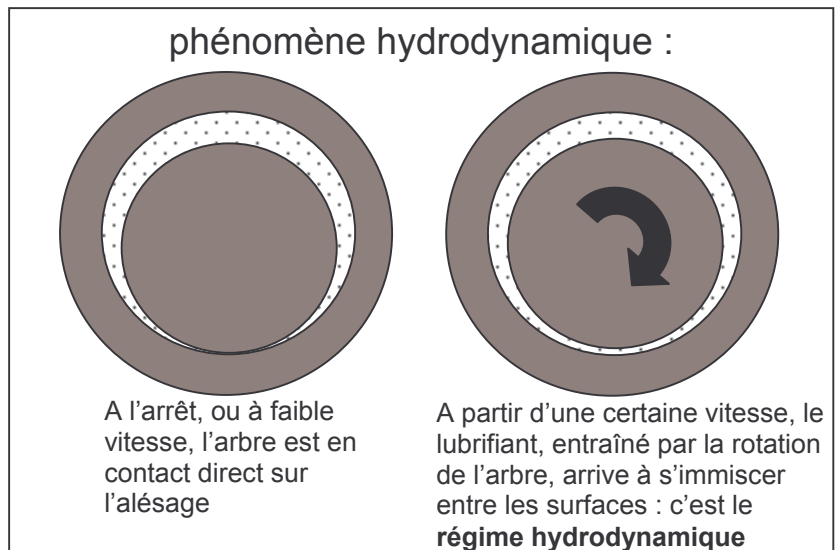
### Inconvénients :

- Frottements plus élevés que les autres paliers ci-après.
- Lubrification pas toujours bien maîtrisée dans le temps (penser à recharger en graisse...si c'est possible !)
- Performances limitées (vitesses et efforts)

## PALIERS HYDRODYNAMIQUES (dits « à film fluide »)

De la même façon qu'une voiture arrivant trop vite sur une flaque d'eau fait de l'aquaplaning (un film d'eau sépare le pneu de la route), **on va faire en sorte que l'arbre soit séparé de l'alésage par un film de lubrifiant à partir d'une certaine vitesse** (la plus faible possible).

Ci-contre le principe de fonctionnement, avec un jeu évidemment très exagéré :



Les technologies sont similaires aux paliers précédents : coussinets massifs en matériaux divers, ou tôles roulées munies de revêtements en une ou plusieurs couches minces (c'est sur des paliers de ce type que tournent les vilebrequins de nos moteurs de voitures).

Pour favoriser la survenue du régime hydrodynamique, et parfois assurer un meilleur centrage de l'arbre, l'alésage peut présenter des formes plus évoluées :



### Avantages :

- assez économique à mettre en œuvre (pas forcément besoin d'une pompe, sinon pour faire circuler le lubrifiant à travers plusieurs paliers, mais à faible pression)
- Frottements assez faibles une fois le régime hydrodynamique atteint
- S'il y a circulation de lubrifiant, celui-ci sert en même temps à refroidir le palier.

### Inconvénient :

- Les surfaces sont mal lubrifiées au démarrage, surtout après une longue période d'arrêt.

## PALIERS HYDROSTATIQUES

Comme pour les paliers hydrodynamiques, on crée un film fluide qui sépare l'arbre de l'alésage, mais cette fois en alimentant le palier avec un fluide sous pression grâce à une pompe externe. Ce fluide peut d'ailleurs être un gaz : l'arbre est en quelque sorte sur « coussin d'air » (exemple : fraise de dentiste tournant à très haute vitesse)

### Avantages :

- Excellente efficacité, y compris au démarrage.
- Frottements très faibles
- La circulation de lubrifiant permet de maîtriser le refroidissement du palier.

### Inconvénients :

- Mise en œuvre difficile et coûteuse
- Nécessité d'une pompe externe, qui exige de la puissance (il faut à la fois un débit et une pression suffisants)

## PALIERS AUTOLUBRIFIANTS

Ce sont des paliers qui sont fabriqués par **frittage**, en bronze ou en alliage ferreux et qui ont la particularité d'être **poreux**.

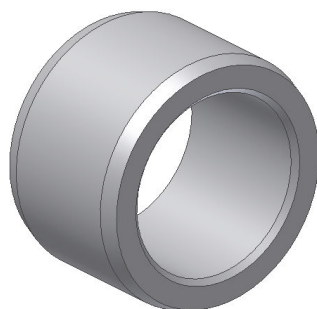
On rappelle que le **FRITTAGE** consiste à obtenir une pièce finie par compactage de poudres (métalliques ou autres...) dans une sorte de moule, sous très haute pression et à haute température.

**Ils sont livrés imbibés d'huile (15 à 30% en volume). Une fois installés, l'huile qu'ils contiennent est en quelque sorte aspirée lors de la rotation de l'arbre pour lubrifier le contact arbre-alésage, et elle est réabsorbée par le palier à l'arrêt.**

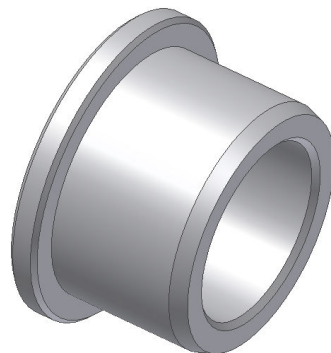
La perte d'huile apparaissant inévitablement après un long fonctionnement peut être compensée par une réserve d'huile complémentaire (zone remplie de graisse, feutre imprégné d'huile,...), ou en démontant le palier pour le recharger dans un bain d'huile chaude.

Ces paliers fonctionnent en régime de lubrification de type « onctueux » à faible vitesse ou avec une vitesse de rotation alternative, mais ils peuvent aussi atteindre un régime fluide, c'est à dire l'équivalent des paliers hydrodynamiques.

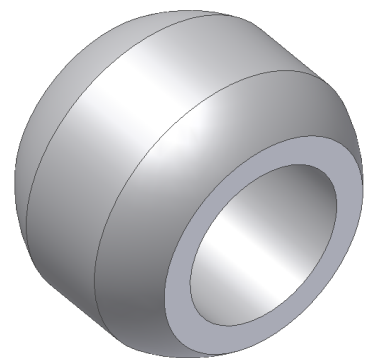
Ils existent dans des formes et des dimensions normalisées. Mais les fabricants les proposent aussi sous forme de barres pleines ou de plaques à usiner sur mesure. Ils peuvent également être utilisés pour des mouvements de translation (mais le régime hydrodynamique est rarement atteint).



Coussinet simple  
(pour efforts essentiellement radiaux)



Coussinet à collerette  
(pour efforts radiaux et axiaux)



Coussinet sphérique  
(pour un « auto-alignement »)

### Avantages :

- Solution très économique, surtout dans les gammes de dimensions normalisées.
- Facile à mettre en œuvre (pas de pompe, ...).
- Très bon compromis entre les paliers à glissement non frittés, et les vrais paliers hydrodynamiques, au niveau des performances.

### Inconvénients

- Pas de circulation d'huile qui pourrait limiter l'échauffement du palier
- Capacités de charges plus limitées qu'avec des matériaux métalliques non frittés.

## PALIERS MAGNETIQUES

L'arbre est en sustentation sous l'effet d'un champ magnétique intense.

Cette solution radicale pour éliminer tout contact arbre-moyeu est extrêmement coûteuse et n'est citée ici que pour information.

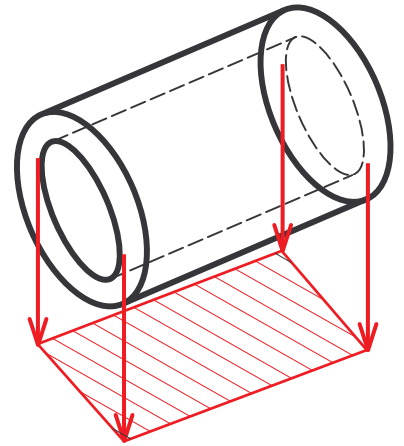
**Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour vérifier la tenue dans le temps d'un guidage :**

## Pression

Le modèle de calcul le plus simple, et qui peut suffire pour la plupart des applications, consiste à considérer la pression moyenne qui s'exerce sur la **surface projetée** du coussinet.

$$\text{Surface projetée} = \text{Longueur} \times \text{Diamètre intérieur}$$

On vérifie que la pression (=effort/surface) ne dépasse pas la pression admissible donnée par le fabricant.



## Vitesse

Le paramètre important n'est pas directement la vitesse de rotation, mais plutôt la **vitesse linéaire** à laquelle l'arbre « défile » sur son alésage, qui dépend aussi du diamètre :

$$V = R \cdot \omega$$

V en m/s

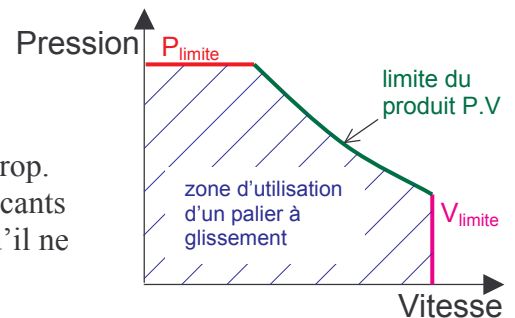
R = rayon de l'arbre en m

$\omega$  = fréquence de rotation en rad/s

On vérifie là aussi que l'on ne dépasse pas la limite préconisée par le fabricant.

## Produit P.V (pression × vitesse)

Respecter la vitesse limite d'une part et la pression admissible d'autre part peut ne pas suffire. Il existe des combinaisons de vitesses et de pressions pour lesquelles le palier s'échaufferait trop. C'est pourquoi les modèles de calculs mis au point par les fabricants passent en général par le calcul du produit P.V, pour vérifier qu'il ne dépasse lui aussi pas une certaine limite.

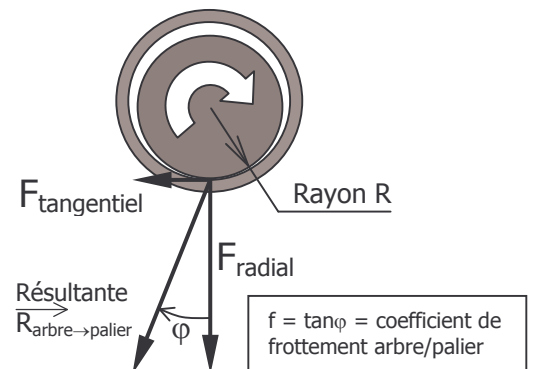


## Frottements

Les pertes par frottements dans les paliers sont à prendre en compte, soit pour évaluer la chaleur à dissiper, soit pour calculer le rendement énergétique de la machine.

On peut réduire les efforts extérieurs à une force radiale :  $F_{\text{radiale}}$   
 Les frottements génèrent une composante de frottement :  $F_{\text{tangentielle}}$   
 Cette composante génère donc un couple résistant sur l'arbre :

$$C_{\text{frottement}} = R \times F_{\text{radial}} \times f$$



En règle générale, plus le diamètre du palier est élevé, et plus il y aura de pertes par frottements.

## Autres critères de choix

**Le choix d'utiliser un palier lisse, puis éventuellement une technologie et un matériau pour ce palier, dépend aussi de l'environnement dans lequel il va se trouver :**

- possibilité de lubrifier ou non (domaine alimentaire, médical, ...)  
 (notez que n'importe quel fluide peut théoriquement servir de lubrifiant...plus ou moins efficace)
- fluides en présence (eau, acide, soude, hydrocarbure,...)
- température (très haute ou très basse)
- nécessité d'isolation électrique
- etc...

Il faut de toute façon se fier aux indications des fabricants pour être sûr de choisir la bonne technologie et le modèle de calcul adéquat.