LES GUIDAGES EN ROTATION ET TRANSLATION

SOMMAIRE

| 1. | Ехрі | 2 | |
|----|--|--|----|
| 2. | Modélisation cinématique d'un guidage en rotation | | |
| | 2.1 | Effet de rotulage | 2 |
| | 2.2 | Solutions adoptées pour limiter le rotulage | 3 |
| 3. | Solu | utions techniques mises en œuvre | 4 |
| | 3.1 | Guidage par contact direct entre les pièces | 4 |
| | 3.2 | Guidage par interposition de paliers lisses | 4 |
| | 3.3 | Guidage par interposition d'éléments roulants | 6 |
| | 3.3 | .1 Les différents types de roulement | 6 |
| | 3.3 | .2 Choix du type de roulement | 7 |
| | 3.3.3 Montage de roulements (cas de roulements à billes) | | |
| | 3.3 | .4 Montage de roulements (cas de roulements à rouleaux coniques) | 12 |
| | 3.3 | .5 Dimensionnement d'un guidage par roulements | 12 |
| | 3.4 | Lubrification et étanchéité des roulements | 14 |
| | 3.5 | D'autres solutions de guidage existent | 15 |



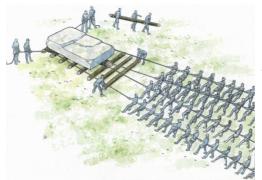
Système de guidage à rail et d'entrainement circulaire, Bishop-Wisecarver



thème: Guidages

Conception par SKF de 2 roulements « géants » : Dint = 1,6 m, Dext =2,3 m, largeur = 0,63 m ; masse = 9 Tonnes (guidage de l'axe d'une roue panoramique, Las Vegas)





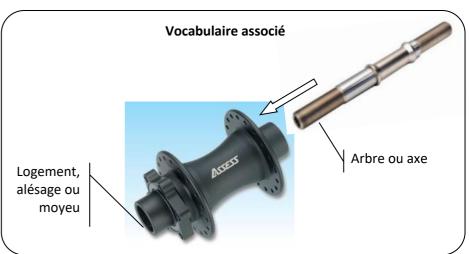
L'utilisation du « roulement » plutôt que du « glissement » ne date pas d'aujourd'hui ...

1/15 TSI Eiffel Dijon

Les mouvements de translation et rotation sont très fréquemment rencontrés dans les mécanismes : transmission automobile, axes linéaires des machines outils, roues de véhicules, articulations des robots...

Indicateurs de qualité de la solution

- niveau de précision du guidage
- intensité et direction des actions mécaniques à transmettre
- vitesse de rotation ou linéaire admissible
- fiabilité
- encombrement
- maintenance
- coût



thème: Guidages

Caractérisation des fonctions à assurer

| | fonctions | Caractéristiques des fonctions | | |
|-------------------|--|----------------------------------|--|--|
| | fonctions | Critères d'appréciation | Niveau | |
| e. | Positionner de façon stable les 2 pièces entre elles (MIP) | Précision de la mise en position | Δx , Δy , Δz θx , θy , θz | |
| guidage ièces | Autoriser un mouvement relatif | Rendement | En % | |
| n guida pièces | de rotation ou translation | Vitesse de rotation ou linéaire | En rad/s, tr/min ou m/s | |
| ~ ~ | Transmettre les actions | Actions mécaniques | F_x , F_y , F_z | |
| - 4 | | transmissibles | M_x , M_y , N_z | |
| Réaliser entre | | Durée de vie | En heures de fonctionnement ou | |
| éal e | | | kms parcourus ou millions de tours | |
| ~ | Déciste a constitue de cine a cont | Espacement des visites de | En heures de fonctionnement ou | |
| | Résister au milieu environnant | maintenance | kms parcourus ou millions de tours | |

La suite du document est principalement basée sur l'étude technologique des mouvements de rotation autour d'un axe (liaison pivot). Une démarche similaire peut-être envisagée pour les mouvements de translation suivant une direction (liaison glissière).

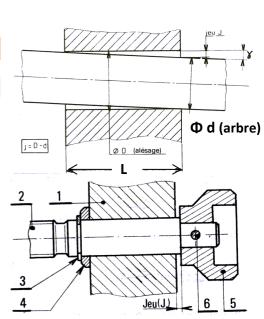
2. Modélisation cinématique d'un guidage en rotation

2.1 Effet de rotulage

La présence de jeu radial entraîne un phénomène de rotulage (jeu angulaire γ).

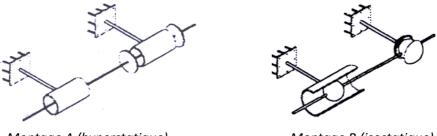
Du fait du rotulage on considère généralement :

- si L / d \geq 1,5 : liaison pivot ou pivot glissant (le rotulage est faible) ;
- si L / d \leq 1 : liaison rotule ou linéaire annulaire (rotulage trop important pour être négligé).



2.2 Solutions adoptées pour limiter le rotulage

Afin d'augmenter la longueur de guidage, la liaison pivot est souvent réalisée par l'intermédiaire de deux paliers.



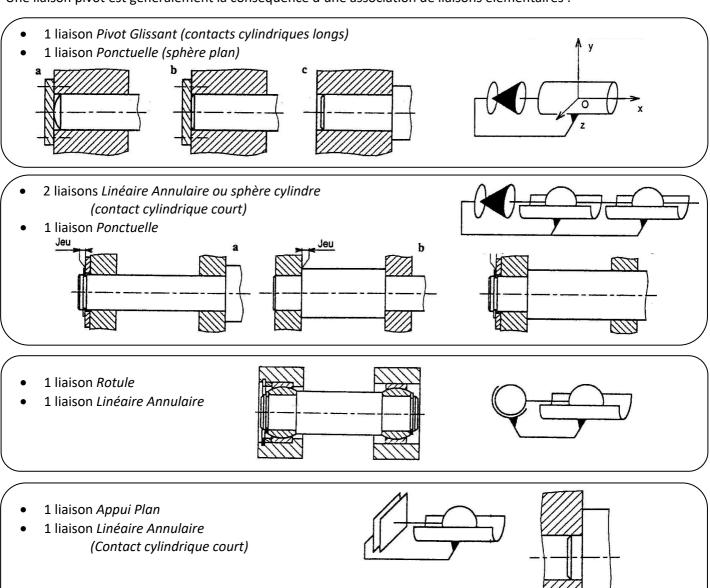
Montage A (hyperstatique)

Montage B (isostatique)

thème: Guidages

Le rotulage au niveau d'un palier est bénéfique car il supprime la présence d'un moment destructeur pour la liaison en cas de fléchissement de l'arbre.

Une liaison pivot est généralement la conséquence d'une association de liaisons élémentaires :



<u>Problème rencontré</u> : existence de mouvements relatifs entre plusieurs pièces \Rightarrow il faut chercher à diminuer les **frottements**.

3. Solutions techniques mises en œuvre

3.1 Guidage par contact direct entre les pièces

Principe:

Le guidage est réalisé par un contact direct entre l'arbre et l'alésage

Avantage:

Solution simple et peu coûteuse

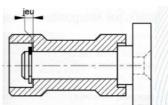
Inconvénients:

- Guidage peu précis;
- Résistances passives importantes (frottements) dans le cas de
 - faibles vitesses
 - efforts transmissibles modérés chauffement important

Conséquences:

- augmentation du coût de fonctionnement et nécessité de prévoir l'évacuation de cette chaleur (matériaux, formes, dimensions, ventilation...);
- il faut chercher à réduire le coefficient de frottement : choix judicieux des matériaux, des états de surface en contact et des conditions de lubrification.

Contact direct entre une poignée et son axe de guidage





thème: Guidages

Axe de guidage des doigts



3.2 Guidage par interposition de paliers lisses

Principe:

On interpose entre le moyeu et l'arbre un composant appelé « coussinet » ou « palier lisse », de forme cylindrique, avec ou sans collerette. Il se monte serré dans l'alésage (et glissant sur l'arbre).

Avantages:

- réduction des résistances passives. Les performances sont bien supérieures au guidage par contact direct;
- augmentation de la durée de vie ;
- fonctionnement silencieux;
- report de l'usure sur une pièce remplaçable.

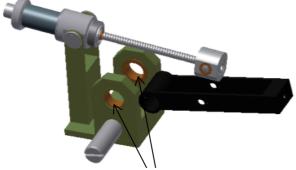
Inconvénients:

- encombrement axial important;
- sensible aux défauts d'alignement (usure prématurée);
- capacité de charge inversement proportionnelle à la vitesse.

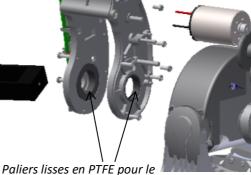




Paliers lisses en bronze dans carter



Paliers lisses en bronze pour le guidage du bras Maxpid



guidage du tibia NAO

4/15 TSI Eiffel Dijon

Dimensionnement:

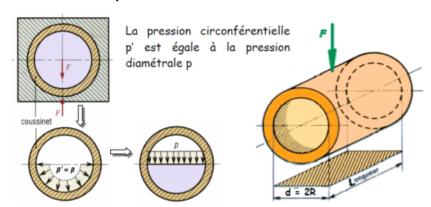
Les constructeurs proposent une procédure à suivre pour déterminer les coussinets afin d'avoir un montage correctement dimensionné.

De nombreux critères sont à compléter : diamètres, charges, type de mouvement, chocs, vitesse, matériau de l'arbre et du logement...

Une procédure de dimensionnement de coussinets de marque « Igus » est proposée en suivant le lien suivant : http://www.igus.fr/iglidurConf/Iglidur/Step1

3 principaux critères permettent d'envisager un dimensionnement correct des paliers lisses :

• Critère de pression diamétrale



F: charge radiale sur le palier (N)

d : diamètre intérieur du coussinet (mm)

thème: Guidages

L : longueur du coussinet (mm) p : pression diamétrale (N/mm²)

$$p = \frac{F}{d \cdot L}$$

Critère de vitesse

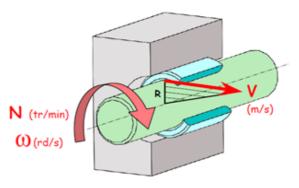
La vitesse de glissement « V » doit être inférieure à une vitesse limite admissible.

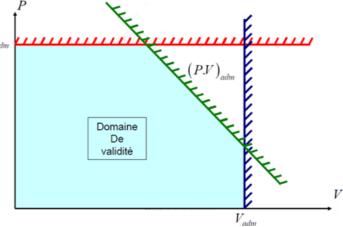
• Produit « p.V »

Ce facteur « p.V » est le produit de la pression diamétrale « p » (N/mm^2) avec la vitesse circonférentielle de glissement V (m/s).

La valeur de p·V permet de s'assurer, en fonction du matériau utilisé pour la fabrication du coussinet, qu'il sera capable d'encaisser l'énergie engendrée par le frottement. $_{p}$

$$p \cdot V = p \cdot R \cdot \omega = p \cdot R \cdot \frac{2\pi \cdot N}{60}$$





Coussinet « glacier » : tôle + bronze fritté + surface frottante en PTFE ou acétal

| | Coussinets autolubrifiants | Coussinets Type glacier | Coussinets polymères |
|---|---|--|---|
| Vitesse circonférentielle maximale (m/s) | 13 m/s (carbone, graphite) 7 à 8 m/s | 2 à 3 m/s | 2 à 3 m/s |
| Températures limites de fonctionnement (°c) | jusqu'à 400°c (graphite) jusqu'à 250°c (bronze/Plomb) | -40°c à +110°c (acétal) -200°c à +280°c (PTFE) | -40°c à +100°c (acétal) -80°c à +120°c (Nylon) |
| Pression diamétrale admissible p (N/mm²) | 5 N/mm² (graphite) 20 à 30 N/mm² (bronze/plomb) 7 à 35 N/mm² (bronze/étain) | 70 N/mm² (acétal) 50 N/mm² (PTFE) | 7 à 10 N/mm² |
| Produit p.V (N/mm²)×(m/s) ou watt/mm² | 0,5 (graphite) 1,8 à 2,8 (bronze/plomb) 1,7 (bronze/étain) | 3 (acétal) 1,8 à 3,6 _{brièvement} (PTFE) | 0,1 (acétal) 0,1 à 0,42 (Nylon) |

3.3 Guidage par interposition d'éléments roulants

Principe:

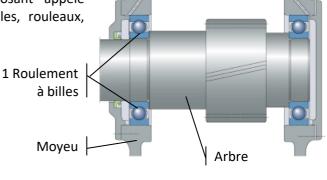
On interpose entre le moyeu et l'arbre un composant appelé « roulement ». Il comporte des éléments roulants (billes, rouleaux, aiguilles) et permet de remplacer le glissement (avec les coussinets) par du roulement.

Avantages:

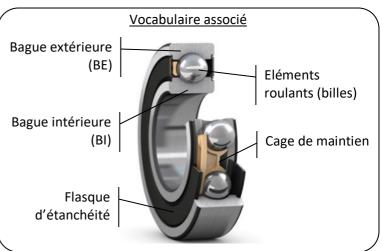
- réduction des résistances passives : pertes énergétiques plus faibles et meilleur rendement qu'avec des paliers lisses ;
- composant normalisé produit en très grande série par des fabricants spécialisés (SNR, SKF...).
 - Son comportement est maitrisé et connu;
- la valeur du jeu fonctionnel est garantie par le fabricant ;
- économique relativement à la complexité de ce composant.

Inconvénients:

- doit respecter des règles de montage strictes pour un fonctionnement optimum;
- suivant les éléments roulants (billes en particulier) son encombrement radial est important;
- sa mise en place nécessite une conception plus couteuse que les solutions précédentes.



thème: Guidages



3.3.1 Les différents types de roulement

Technologiquement, les roulements se distinguent principalement par :

- le type d'éléments roulants (billes, rouleaux cylindriques ou coniques, aiguilles);
- le nombre de rangées d'éléments roulants (1 ou 2 rangées);
- l'orientation du contact éléments roulants / bagues (radial et/ou oblique) ;
- la forme des bagues.

Quelques exemples

| Roulements | Représentation normalisée | Désignation du roulement | Roulements | Représentation normalisée | Désignation du roulement |
|------------|---------------------------|--|------------|---------------------------|--|
| | 7 | Roulement à contact oblique sur 1 rangée de billes | | + | Roulement à contact radial sur 1 rangée de billes |
| | ++ | Roulement à rotule sur 2 rangées de billes | | | Roulement à rotule sur 2 rangées de rouleaux |

| | | | |
|------|---|--|---|
| | Roulement à rouleaux | | douille à aiguilles |
| | Roulement à rouleaux coniques | | Roulement à aiguilles |
| | Roulement à aiguilles sans BI + butée à rouleaux | | Roulement à aiguilles sans BI + butée à billes |
| + | Butée à billes simple effet | | Butée à rouleaux simple effet |

3.3.2 Choix du type de roulement

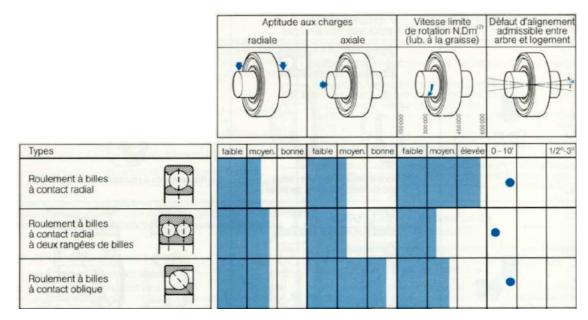
Les principaux critères de choix sont :

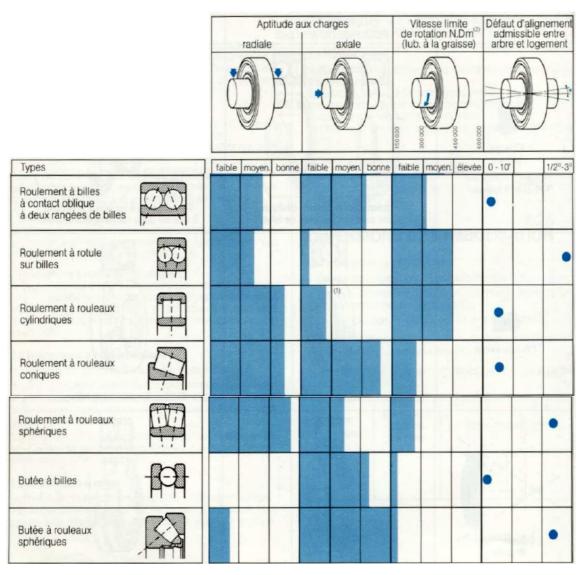
- intensité et direction de la charge transmise;
- vitesse de rotation;
- conditions de fonctionnement (choc, température...)
- conditions de montage/démontage;

- angle de rotulage;
- encombrement disponible;

thème: Guidages

coût.

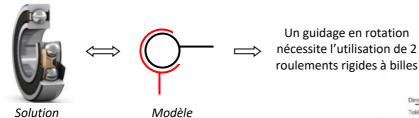




3.3.3 Montage de roulements (cas de roulements à billes)

Modèle cinématique du composant

Le jeu interne du roulement a pour conséquence un léger rotulage entre les bagues intérieure et extérieure. Le modèle cinématique associé à un roulement rigide à billes sera donc celui d'une liaison rotule.



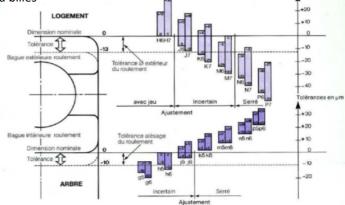
Un montage de roulements s'appuie sur un certain nombre de règles :

cinématique

• Première règle : choix des ajustements

- assurer un jeu interne correct dans le roulement après sa mise en place;
- éviter le phénomène de laminage

On adopte un ajustement avec serrage pour la bague qui tourne par rapport à la direction de la charge. On adopte un ajustement avec jeu pour l'autre bague.



thème: Guidages

| | Arbre | Alésage |
|-------------------------|------------|------------|
| Ajustement avec serrage | J6, k6, m6 | M7, N7, P7 |
| Ajustement avec jeu | g6 | H7, H8 |

constructive

• Deuxième règle : arrêts axiaux sur les bagues serrées

On arrête axialement les bagues qui sont montées « serrées »

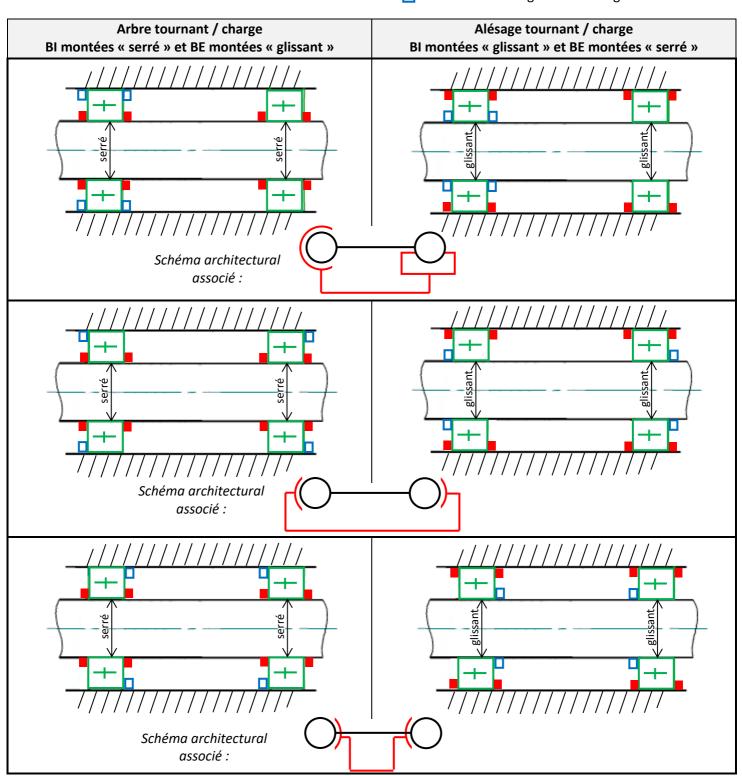
• Troisième règle : arrêts axiaux sur les bagues glissantes

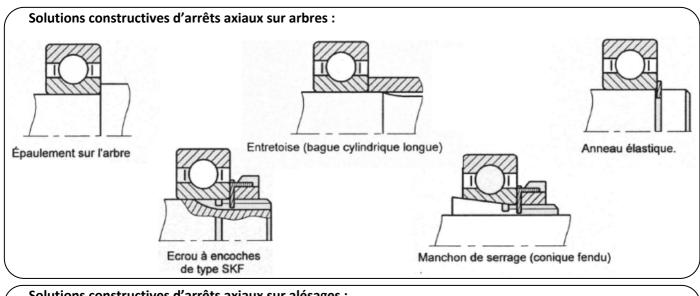
L'application des 2 premières règles de montage permet d'obtenir une liaison pivot glissant constituée de 2 liaisons linéaires annulaires (sphère/cylindre) entre l'arbre et le moyeu.

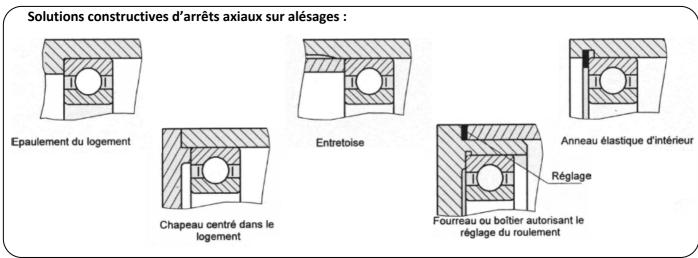


Il faut donc rajouter 2 arrêts axiaux, un pour chaque sens de la translation encore possible

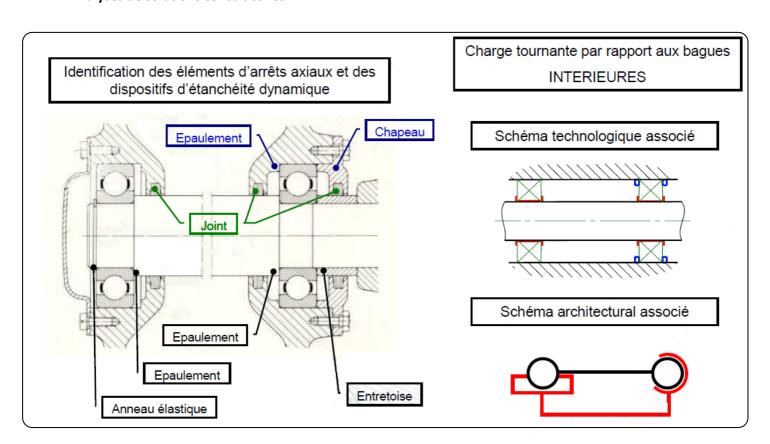
- Arrêt axial sur bague montée « serré »
- Arrêt axial sur bague montée « glissant »







Analyses de solutions constructives :



10 / 15

thème: Guidages

thème : Guidages

Charge tournante par rapport aux bagues

Schéma technologique associé

Identification des éléments d'arrêts axiaux et des dispositifs d'étanchéité dynamique

Schéma architectural associé

Identification des éléments d'arrêts axiaux et des dispositifs d'étanchéité dynamique

Charge tournante par rapport aux bagues

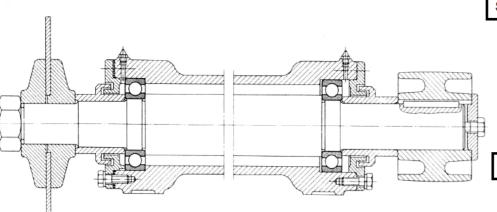


Schéma technologique associé

Schéma architectural associé

Identification des éléments d'arrêts axiaux et des dispositifs d'étanchéité dynamique

Charge tournante par rapport aux bagues

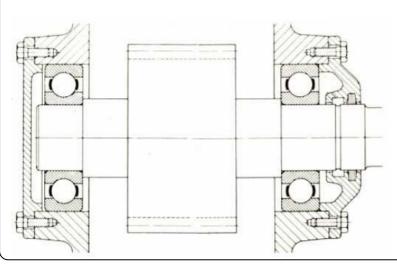


Schéma technologique associé

Schéma architectural associé

TSI Eiffel Dijon

11 / 15

3.3.4 Montage de roulements (cas de roulements à rouleaux coniques)



Ces roulements supportent des efforts axiaux (efforts dans le sens de l'axe) et radiaux (efforts orthogonaux à l'axe) importants.

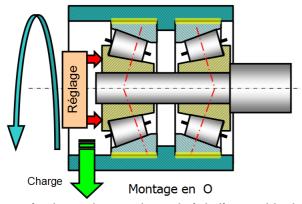
Du fait de la disposition des contacts de roulement, les bagues peuvent se désolidariser par translation axiale. Ils ne posent donc pas les mêmes problèmes d'assemblage que les roulements à billes.

Ils constituent une liaison rotule équivalente (unilatérale) entre les bagues.

Rigide, ce type de composant est idéal pour les guidages de grande précision devant subir de gros efforts (pivot de roue de véhicules, broches de machines).

Pour le guidage d'un arbre, comme les roulements à billes à contact oblique, ils sont généralement associés par paire et en opposition. Suivant leur disposition, on obtient un montage dit *en O* ou *en X* :

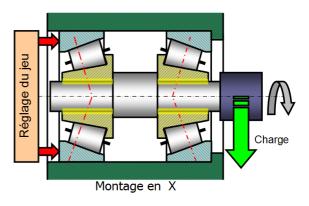
Si les centres de poussée sont situés à l'extérieur des roulements, les droites d'actions mécaniques des éléments roulants forment un O (<>).



- solution à adopter lorsque la rigidité de l'ensemble de la liaison est recherchée (centres de poussée plus éloignés);
- s'utilise principalement lorsque l'alésage est tournant.
 Mais s'utilise également avec les arbres tournants lorsque les organes de transmission (engrenages, poulies, ...) sont situés à l'extérieur de la liaison;
 MAIS
- montage plus couteux et plus contraignant en termes de réglage.

Si les centres de poussée sont situés entre les roulements, les droites d'actions mécaniques des éléments roulants forment un X.

thème: Guidages



- apporte les solutions les plus simples et les plus économiques : moins de pièces rapportées et moins d'usinages ;
- montage à préférer dans le cas d'arbres tournants avec organes de transmissions (engrenages, poulies...) situés entre les roulements;
 MAIS
- Rapprochement des 2 centres de poussée donc rotulage de l'arbre plus marqué si les efforts sont à l'extérieur des roulements.

3.3.5 Dimensionnement d'un guidage par roulements

Les roulements présentent 2 modes de ruine :

- plastification des chemins de roulement
 Une charge trop importante appliquée sur un roulement peut engendrer des déformations permanentes localisées. Apparition possible lorsque le roulement est à l'arrêt ou effectue de faibles mouvements oscillatoires; ou bien s'il est soumis à des chocs pendant une rotation normale;

 Ecaillage du chemin de L
- fatigue entrainant un écaillage des chemins de roulement.

Ecaillage du chemin de roulement





Son dimensionnement est donc indispensable pour un bon fonctionnement du montage.



12 / 15 TSI Eiffel Dijon

Ressource : DC6 Technologie des systèmes

Fréquemment, les études de dimensionnement se rapprochent de ces 2 cas principaux :

- les dimensions limites du roulement sont imposées (problème d'encombrement lié à la conception de l'ensemble du système) → détermination de la durée de vie (en millions de tours ou en heures de fonctionnement) des roulements installés;
- la durée de vie du roulement est imposée (fréquence de maintenance par exemple) → sélection d'un montage de roulements correspondant à ce critère de durée de vie.

Les paramètres intervenant dans le dimensionnement des roulements sont nombreux :

- charges (Newton) exercées sur le mécanisme (directions, sens et normes);
- fréquence de rotation (tr/min);
- caractéristiques de la rotation : précision, rigidité, balourd, vibrations...
- caractéristiques du montage : coaxialité des portées, montage démontage, matériau du logement...
- environnements intérieur (température, fluides, ...) et extérieur (fluides, poussières, pollution...);
- encombrement limite OU sa durée de vie.

Il est donc important de se référer aux notices des constructeurs de roulements (SKF (Suède), Schaeffler (Allemagne), Timken company, NSK, NTN-SNR(Japon), ...) pour concevoir un montage de roulements adapté au système.

Dimensionnement d'un montage de roulements à rouleaux coniques

On appelle L₁₀ la durée de vie normalisée d'un roulement, estimée en Millions de tours.

Le 10 signifie que la durée de vie est calculée pour un taux de défaillance du roulement de 10%. Soit une fiabilité de 90%.

L₁₀: durée de vie du roulement en millions de tours

C : charge dynamique de base donnée par les constructeurs (en Newton)

Péq: charge dynamique équivalente exercée sur le roulement (en Newton)

 $\mathbf{n} = 3$ pour les roulements à billes et $\mathbf{n} = 10/3$ pour les roulements à rouleaux.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_{\acute{e}q}}\right)^n$$

thème: Guidages

Principaux paramètres rencontrés :

- **C**: charge dynamique de base. C'est la charge fixe, purement radiale, qui permet à un groupe déterminé de roulements d'atteindre la durée de vie de 1 Million de tours
- **C**₀ : charge statique de base. C'est la charge radiale qui crée au niveau du contact « élément roulant / chemin de roulement » le plus chargé, une pression de Hertz donnée (environ 4000 Mpa)
- **e** (constante) et **Y** (facteur de charge) sont donnés pour chaque roulement par le constructeur. Ils sont nécessaire pour déterminer la charge équivalente P_{éq}.

Remarque : le calcul de durée de vie d'un roulement n'a de sens que si $P_{éq}$ est non négligable par rapport à C.

Etape 1: Une étude statique (ou dynamique) préliminaire du système est nécessaire afin **de déterminer les actions mécaniques extérieures** agissant sur l'arbre (actions mises en général sous la forme de composantes axiale \vec{F}_a et radiale \vec{F}_r , ainsi que les actions mécaniques aux centres de poussée des roulements).

Etape 2 : Détermination de la charge équivalente « Péq »

Nous appellerons ici \vec{K}_a et \vec{K}_r les charges extérieures appliquées au montage.

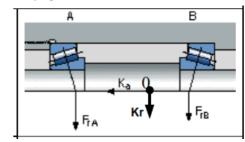
La charge radiale $\vec{F}r_I$ appliquée au centre de poussée du roulement induit dans celui-ci une charge axiale $\vec{F}a_I$.

Cette charge axiale induite va surcharger un roulement et décharger l'autre.

Les constructeurs indiquent dans leurs catalogues une méthode de calcul uniquement valable pour des montages sans jeu et sans précharge. Cette méthode est développée par l'organigramme page suivante.

On peut dire que : $K_a = Fa_A + Fa_B$ et $K_r = Fr_A + Fr_B$

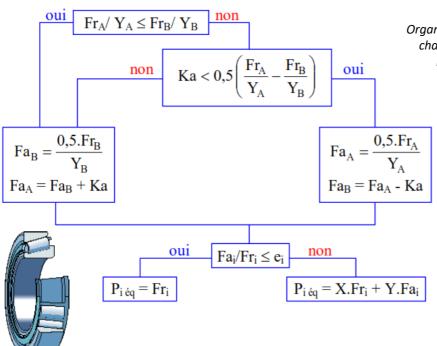
 Fa_I : force axiale au point I Fr_I : force radiale au point I





13 / 15

Ressource : DC6 Technologie des systèmes



Organigramme à suivre pour déterminer la charge équivalente P_{éq}., dans le cas de roulements à rouleaux coniques

Rq: Y_i correspond au facteur de charge du roulement de centre de poussée « i ». Idem pour e_i. Le coefficient X est également donné par le constructeur.

thème: Guidages

Etape 3 : Détermination de la durée de vie du ou des roulements

$$L_{10} = \left(rac{c}{P_{
m eq}}
ight)^{n}$$
 avec L_{10} en millions de tours

Ou $L_{10}(h)=\left(\frac{c}{P_{\rm \acute{e}q}}\right)^n imes \left(\frac{10^6}{60 imes N}\right)$ avec $L_{10}(h)$ en heures de fonctionnement. N correspond à la fréquence de rotation de l'élément tournant en tr/min.

Rq : seule la détermination de la charge équivalente (étape 2) diffère suivant le type de roulement à dimensionner

3.4 Lubrification et étanchéité des roulements

La plupart des montages de roulements sont lubrifiés à la graisse. C'est une solution simple de conception et de mise en œuvre. On trouve :

- des roulements graissés à vie ;
- du graissage par garnissage au montage ;
- des graisseurs.

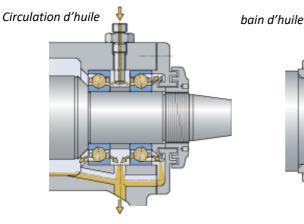
Dans le cas de vitesses très élevées, de paliers très chargés, de températures élevées, les roulements sont lubrifiés à l'huile. On trouve :

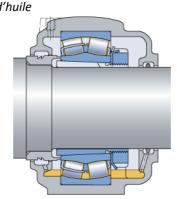
- lubrification par bain d'huile;
- lubrification par brouillard d'huile;
- lubrification par circulation d'huile.



Roulement à billes graissé à vie







Un guidage par roulements sans lubrification prévue ne fonctionnera pas.

La lubrification, et donc l'étanchéité, sont à prendre en compte dès la conception du guidage.

14 / 15 TSI Eiffel Dijon

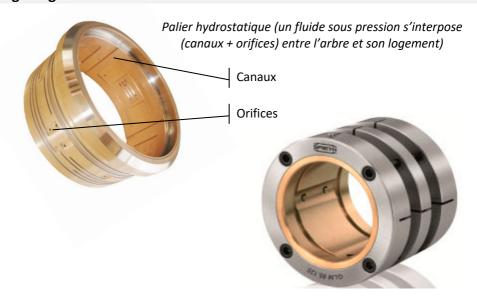
3.5 D'autres solutions de guidage existent



Roulement à aiguilles combiné avec une butée à billes



Roulement à billes avec insert (BI)



thème: Guidages

+ Roulements en céramique, ... la liste de solutions permettant un guidage en rotation (ou translation) est longue.

Chaque cas de conception est différent, il est donc important de ne pas rester cloisonner dans une solution type.

15 / 15 TSI Eiffel Dijon