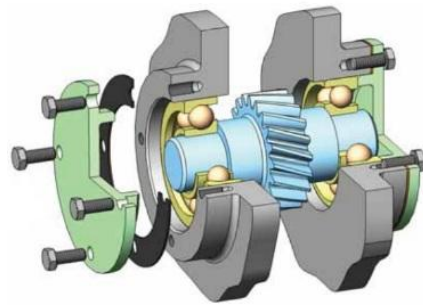


Chapitre 4. Guidage des arbres

*Université Mohamed Seddik Ben Yahia -
Jijel-*



Dr. DERAÏ SAMIR

Table des matières



Introduction	3
1 - Les arbres	4
1. Définition de l'arbre	4
2. Formes de l'arbre	5
3. Matériaux de l'arbre	5
4. Sollicitations appliquées à l'arbre	5
2 - Guidage	6
1. Le guidage en rotation	6
2. Palier	7
3. Les paliers lisses	6
4. Coussinets	8
3 - Les roulements	9
1. Types de roulements	10
2. Choix des roulements	11
3. Montage des roulements	11
4 - Lubrification des roulements	19

Introduction



Un arbre est une pièce rectiligne de section circulaire sur laquelle tourne ou oscille une pièce mobile, comme par exemple une roue, un coussinet de palier, un levier, etc. Son rôle constructif est généralement la transmission d'un couple de torsion à une vitesse angulaire.

Le guidage en rotation par roulement consiste à réaliser une liaison pivot entre un arbre et un alésage (moyeu). On appelle roulement, un élément de machine destiné à supporter et à guider les arbres de puissance en rotation. De nos jours, les roulements sont soumis à des normes internationales de manière à faciliter leur remplacement standard. Plusieurs milliards de roulements sont fabriqués chaque année, les deux tiers sont des roulements à billes à gorge profonde.



Les arbres :

Définition de l'arbre :	4
Formes de l'arbre :	6
Matériaux de l'arbre :	6
Sollicitations appliquées à l'arbre :	6

1. Définition de l'arbre :

L'arbre est une pièce de révolution d'une longueur grande en comparaison avec son diamètre, posé sur des paliers et sur lequel sont fixés poulies, roues dentées, embrayage ou autres organes qui s'appellent rotors comme pompes centrifuges, turbines, ventilateur, compresseur, etc. La fonction principale de l'arbre est la transmission du mouvement de rotation et la puissance d'un moteur vers un autre organe de machine.

On appelle poutre, toute pièce sollicitée en flexion. On appelle barre, toute pièce sollicitée en traction ou compression. On appelle arbre, toute pièce subie un mouvement de rotation et sollicitée en torsion, flexion et traction Figure 1.

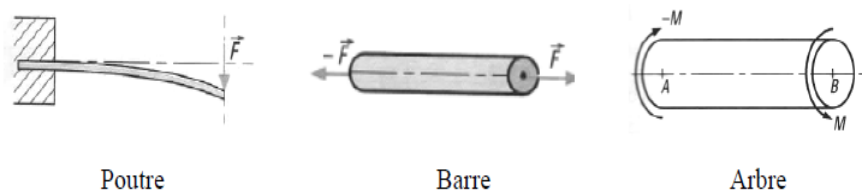


Figure 1 : Poutre, barre et arbre

2. Formes de l'arbre :

La grande majorité des arbres ont un profil cylindrique pour des raisons de facilité d'usinage et de symétrie. Exceptionnellement, on trouve des arbres tubulaires qui sont plus légers mais à résistance égale avec un arbre plein, on trouve aussi des arbres cannelés.

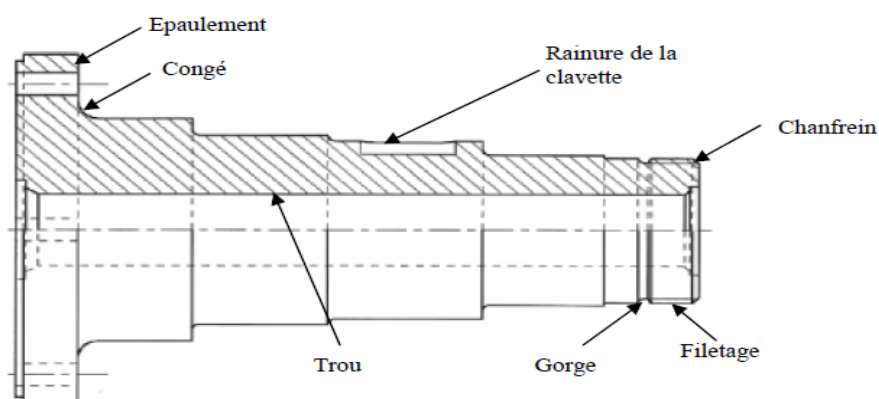


Figure 2 : Formes d'arbre

Sur l'arbre de la Figure 2, nous avons une rainure qui permet d'accueillir une clavette, surface d'épaulement pour éliminer la translation d'un roulement par exemple, filetage pour fixer un écrou, gorge fabriquée en raison de l'usinage du filetage, congé pour diminuer la concentration de contrainte.

Épaulement : dans les pièces de révolution, couronnes circulaires normales à l'axe, résultant des variations brusques de diamètre. L'épaulement sert souvent de butées à un autre organe.

Deux épaulements très proches, d'égal diamètre extérieur, forment sur l'arbre un *collet* ou une *embase*.

Congé : raccord de deux surfaces formant un angle rentrant, généralement engendré par un quart de circonférence, utilisé en vue d'augmenter la résistance des pièces ou d'en faciliter le moulage.

Rainure : ouverture de section constante et de grande longueur par rapport à la section.

Chanfrein : petite surface formée en abattant l'arête d'une pièce en vue de la rendre moins fragile, d'en faciliter le montage, d'éviter les accidents que peuvent provoquer les arêtes vives, d'améliorer l'aspect de la pièce.

Gorge : rainure circulaire de forme arrondie pratiquée dans une pièce de révolution.

Tourillon : partie cylindrique d'un arbre par laquelle il est supporté dans son mouvement de rotation (voir *coussinet* et *palier*).

3. Matériaux de l'arbre :

Les arbres sont généralement fabriqués en acier forgé, allié ou non allié avec ou sans traitement thermique, suivant la résistance que l'on veut obtenir.

4. Sollicitations appliquées à l'arbre :

L'arbre reçoit divers efforts dus à la tension des courroies, efforts des engrenages, l'action de la pesanteur, etc.

- a) Couple de torsion.
- b) Charges axiales.
- c) Charges radiales.
- d) Vibrations latérales et vibrations de torsion.

Le guidage en rotation :	7
Palier :	8
Les paliers lisses :	8
Coussinets :	9

1. Le guidage en rotation

Dans un mécanisme comportant des éléments animés de mouvement de rotation, les différents organes transmettant les couples sont portés par des barres en acier, creuses ou pleines, de section circulaire en rotation autour de leur axe appelées « arbre ».

arbre/logement/ Des arrêts suppriment les degrés de liberté en translation. Coût peu élevé, mais l'inconvénient majeur est trop de frottement.

Un palier est composé d'un corps palier (ou logement), d'une bague de frottement ou glissement, d'un tourillon (là où ça tourne).

Il existe deux formes de palier :

- Palier fermé généralement une bague;
- Palier ouvert qu'on appelle souvent coussinet coupé diamétralement.

2. Palier :

C'est l'endroit où s'appuie le tourillon. Les paliers sont des organes mécaniques permettant de guider un arbre en rotation.

Un arbre est souvent guidé en rotation par deux paliers :

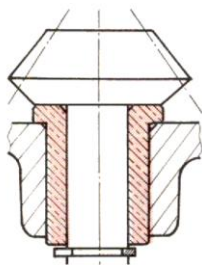
- séparés pour un arbre long
- Juxtaposés pour un arbre court.

3. Les paliers lisses

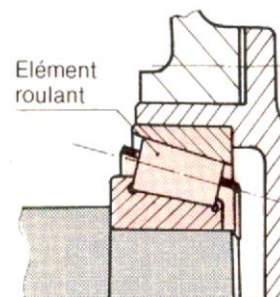
Les réactions axiales et radiales calculées au niveau des paliers servent à dimensionner ces paliers.

Les paliers se classent suivant la nature de frottement en deux grandes catégories

Les paliers existent sous deux types : paliers lisses et paliers à roulements (Figure 3), ils sont montés au niveau des appuis pour guider l'arbre ou faciliter le mouvement de rotation et pour supporter les réactions axiales et radiales.



a) Palier lisse ou à glissement



b) Palier à roulement

Figure 3 : Guidage en rotation

4. Coussinets

La Figure 4 montre des paliers lisses de type coussinets. Les paliers lisses supportent les grandes charges et ils sont utilisés lorsque les vitesses de rotation sont élevées, ils permettent un guidage plus précis de l'arbre car le nombre des pièces qui déterminent la précision de guidage est plus petite par rapport aux paliers à roulement, ils sont faciles à remplacer en cas d'usure (bonne maintenabilité), l'huile existant entre le coussinet et l'arbre diminue le transfert du choc de l'arbre vers le bâti.

L'inconvénient des paliers lisses est qu'ils dissipent beaucoup d'énergie. En effet, le frottement qui existe au contact de la partie de l'arbre (tourillon) avec le coussinet est la cause d'une perte d'énergie qui se transforme en chaleur et augmente la température du palier lisse et l'huile de graissage.



Figure 4 : Paliers lisses (coussinets)

Les roulements



Types de roulements :	10
Choix des roulements :	11
Montage des roulements :	11
Coussinets :	8

Le glissement avec frottement dans le cas des coussinets a été remplacé par le roulement afin de diminuer le frottement.

La Figure 5 illustre un roulement à billes avec ses différentes composantes. La bague extérieure se positionne dans le logement du bâti et elle est liée à son alésage (logement du roulement), la bague intérieure est liée à l'arbre, la cage maintien l'intervalle régulier entre les éléments roulants, les éléments roulants peuvent être soit des billes, des rouleaux ou des aiguilles.

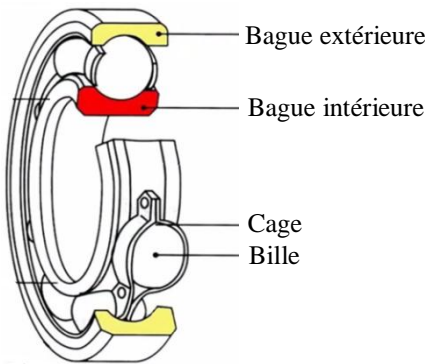
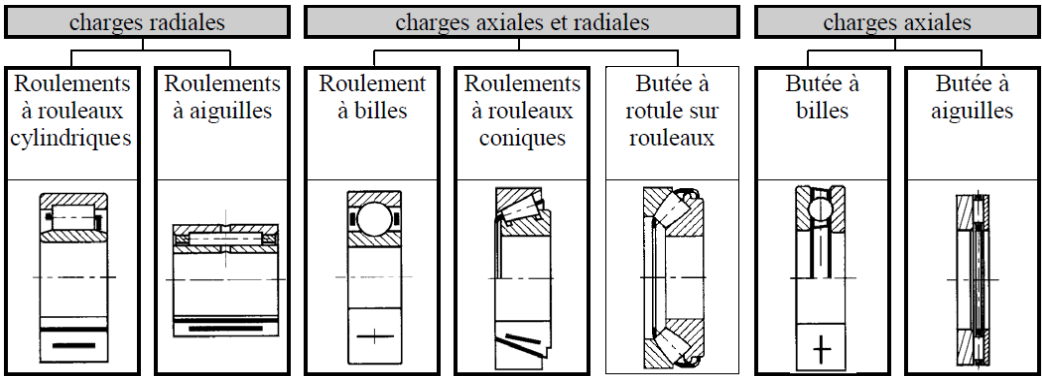


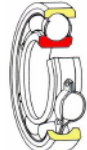





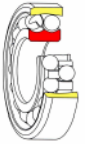








Figure 5: Composantes d'un roulement à billes

1. Types de roulements

Il existe différents types de roulements. On peut les classer en fonction du type de charges (Axiale et/ou Radiale) qu'ils peuvent supporter.



Le Tableau 1 présente les différents types de roulements et les charges qui peuvent les supporter. En effet, les roulements sont construits pour supporter soit une charge radiale, ou une charge axiale ou une charge combinée (radiale et axiale).

Type de roulement		Représentation		Charge		Vitesse	Remarques Utilisations
		Normale	Schéma	Radiale ↓	Axiale →		
Roulement à billes à contact radial				+++	++	+++	Le plus utilisé. Très économique. Existe en plusieurs variantes (Étanche, avec rainure et segment d'arrêt ...)
Roulement à une ou deux rangées de billes à contact oblique				+++	+++	++	Ces roulements doivent être montés par paire, car chaque roulement n'accepte que des charges unidirectionnelles.
Roulement à deux rangées de billes à rotule				+++	+	++	Utilisé lorsque l'alignement des paliers est difficile ou dans le cas d'arbre de grande longueur pouvant fléchir sensiblement.
Roulement à rouleaux cylindriques				++++	0	+++	Supporte des grandes charges radiales. Les bagues sont séparables, facilitant le montage.
Roulement à rouleaux coniques				++++	+++	++	Se monte par paire et en opposition. Les bagues sont séparables, facilitant le montage.

Légende : ++++ : Très élevé +++ : Elevé ++ : Modéré + : Passable 0 : Nul

Tableau 1 : Les différents types de roulements

2. Choix des roulements

Le choix d'un roulement dépend de l'importance et la nature des charges : axiales, radiales ou combinée, il dépend de la vitesse de rotation qui est limitée par la chaleur dégagée par frottement, le choix dépend aussi de : précision et rigidité exigée, co-axialité, montage et démontage (accessibilité, mis en place, réglage), l'encombrement, la durée de vie souhaitée, la température de fonctionnement, désalignement et fléchissement des arbres, etc. Le fléchissement et désalignement des arbres (Figure 6) peuvent être dus à un effort important à l'arbre, l'importance de la portée (distance) les paliers ou un défaut d'alignement des paliers (non coïncidence des axes des logements).

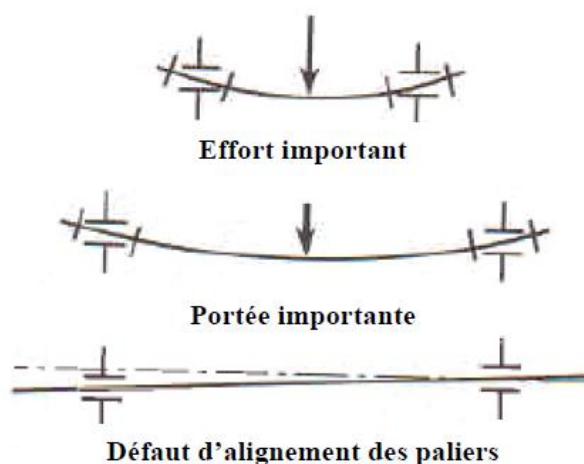


Figure 6 : Fléchissement de désalignement des arbres

3. Montage des roulements

Si la bague intérieure d'un roulement Figure 7 est montée avec un jeu radial avec l'arbre tournant, alors les billes et l'arbre se comportent comme des rouleaux de laminoir et la bague intérieure risque d'être laminée, le laminage conduit à la détérioration progressive du roulement. **Donc pour éviter ce phénomène, la bague intérieure doit être montée avec serrage**, si le logement qui tourne, alors la bague extérieure devrait être aussi montée avec serrage.

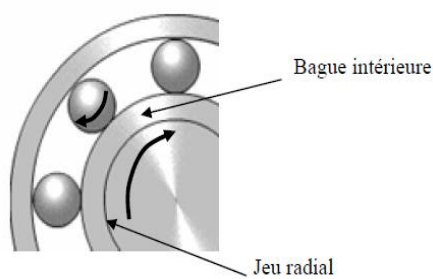


Figure 7 : Phénomène de laminage de la bague

Le montage de la Figure 8 montre les ajustements apportés à l'arbre et à l'alésage dans le cas d'un arbre tournant ou d'un alésage tournant. Dans le cas d'un arbre tournant, comme on a vu précédemment que la bague intérieure doit être montée avec serrage pour éviter le laminage de celle ci, la bague extérieure dans ce cas doit être montée avec un jeu car si elle est montée avec serrage, le jeu entre les billes et les bagues diminue, le risque d'usure augmente et la capacité de charge du roulement risque aussi de diminuer. **L'ajustement avec jeu de la bague extérieure dans le cas d'un arbre tournant préserve la possibilité de la mise en place du roulement dans l'alésage.**

L'opération du serrage des bagues avec l'arbre ou l'alésage se fait par une presse ou par frettage.

Montage ARBRE TOURNANT	Montage ALESAGE (moyeu) TOURNANT
La bague intérieure est Tournante La bague extérieure est Fixe	La bague intérieure est Fixe La bague extérieure est Tournante

Figure 8 : Ajustement des bagues intérieures et extérieures dans le cas d'un arbre tournant et alésage tournant

a) Montage des roulements à une rangée de bille à contact radial

Un bon positionnement axial de l'arbre est atteint lorsqu'on fait éliminer la translation de l'arbre dans les deux sens par rapport au logement. **La surabondance d'obstacles d'arrêt** élastique, entretoise...) pour assurer le positionnement axial de l'arbre, fait contraindre l'alignement initial des bagues du roulement et contribue à accélérer son vieillissement. Un bon alignement des bagues est atteint lorsque les surfaces latérales droite ou gauche des deux bagues extérieure et intérieure se trouvent dans un même plan vertical.

Il est impératif d'éviter tout hyper statisme (un degré de liberté supprimé deux fois) dans l'arrêt axial de l'arbre ou une fixation surabondante. Pour ce faire, il suffit d'installer un seul arrêt dans chaque sens sur l'ensemble des bagues montées glissantes.

En effet, **la variation dimensionnelle de l'arbre et de l'alésage ou la dilatation thermique** de ces organes est due aux changements de la température de fonctionnement, le frottement est l'origine de l'augmentation de cette température, la température peut atteindre jusqu'à 200°C pour l'arbre. Dans ce cas, il faut conférer à l'arbre une liberté axiale afin d'éviter tout coincement des éléments roulants : billes, rouleaux,..., etc.

La Figure 9 présente le montage des roulements pour un arbre tournant, les flèches illustrées sur la cette figure indique l'endroit du blocage des bagues par les obstacles d'arrêt axial, En effet, le non blocage de la bague extérieure droite du montage Figure 9 (a) permet une liberté axiale de l'arbre afin d'éviter tout coincement des éléments roulants à cause de la dilatation thermique et permet à ce roulement de prendre librement sa place. Le montage de la Figure 9 (b) entraîne une précharge dangereuse sur les roulements et une détérioration des roulements dans le cas de la présence d'une dilatation thermique importante ou des contraintes qui sont dues aux tolérances de fabrication ou la présence d'un défaut dans les obstacles d'arrêt axial. Donc pour éviter ce problème, il faut laisser un jeu entre la bague extérieure et l'obstacle d'arrêt axial. Notons que pour les roulements à aiguilles, la mobilité axiale des aiguilles est possible même si les deux bagues (extérieure et intérieure) sont arrêtées en translation.

Le blocage des bagues des roulements se fait soit par épaulement, écrou freiné, anneau élastique, entretoise ou couvercle.

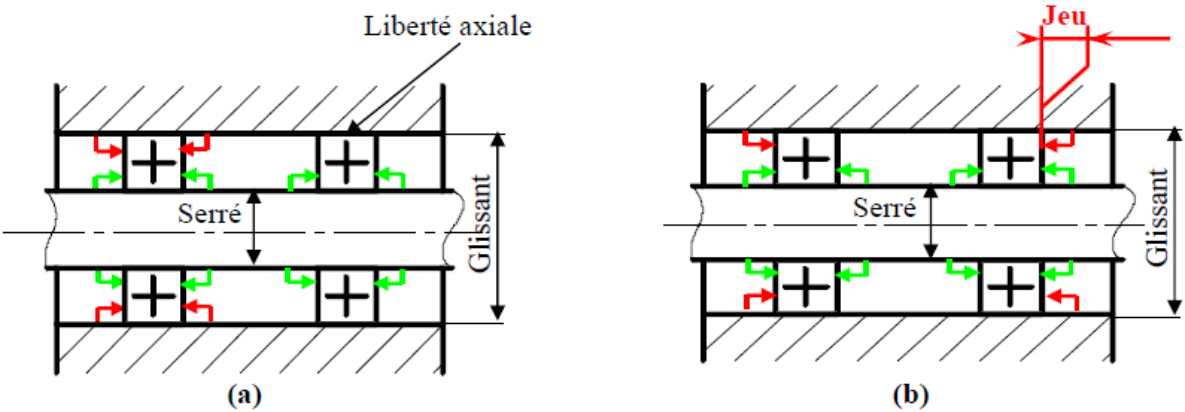


Figure 9 : Montage des roulements à une rangée de billes à contact radial (arbre tournant)

La Figure 10 présente le montage des roulements à une rangée de bille à contact radial mais cette fois-ci pour un alésage tournant. Le jeu se trouve entre la bague intérieure et l'obstacle d'arrêt axial (Figure 10 (b)). Le même principe de montage étudié précédemment s'applique pour le montage avec un alésage tournant.

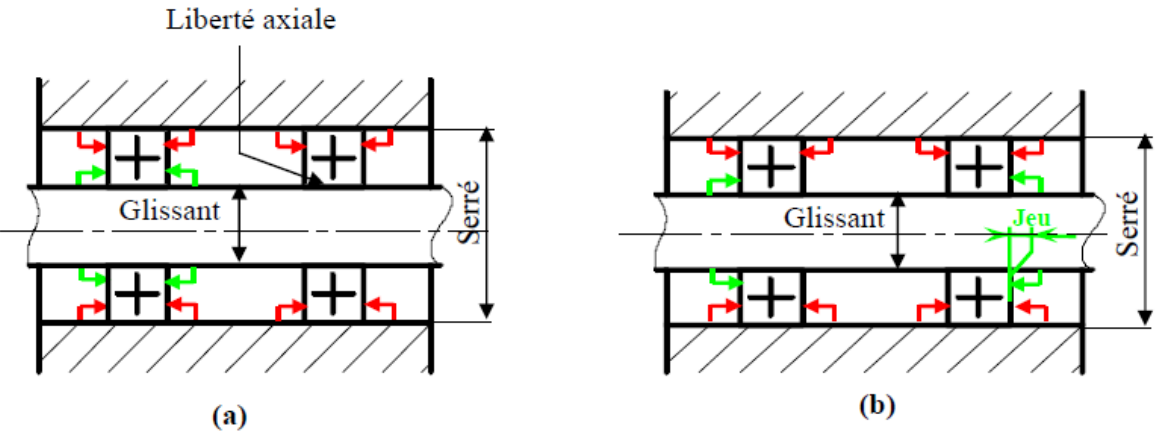


Figure 10 : Montage des roulements à une rangée de billes à contact radial (alésage tournant)

L'exemple de la Figure 11 montre le montage de deux roulements à contact radial dans le cas d'un arbre tournant.

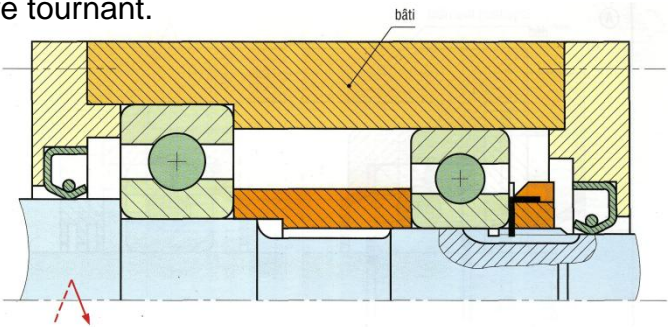
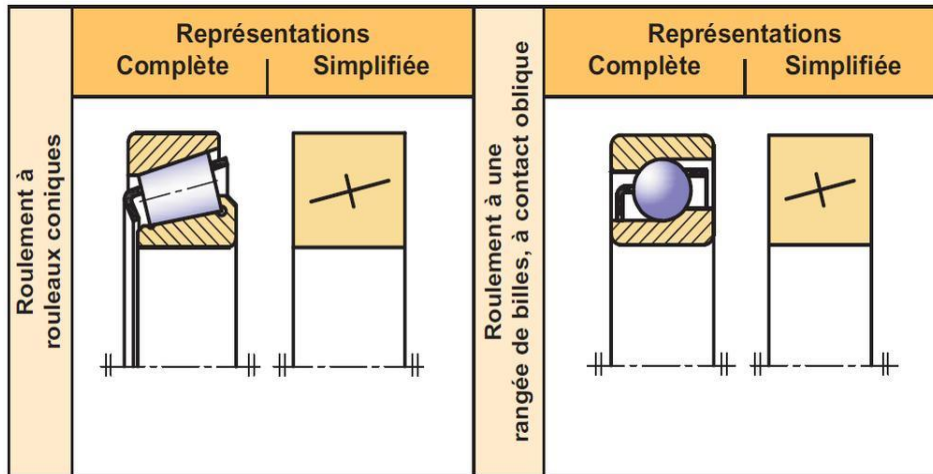


Figure 11 : Schéma du montage des roulements (cas d'un arbre tournant)

b) Montage des roulements à une rangée de bille à contact oblique ou roulement à rouleaux coniques :

Caractéristiques :

Ces roulements supportent des charges axiales relativement importantes dans un seul sens et des charges axiales et radiales combinées.



Du fait de leur structure particulière, ces roulements doivent être montés par paire et en opposition. Ils travaillent en opposition mutuelle. Ils offrent la possibilité de régler le jeu de fonctionnement par translation axiale relative entre les deux bagues.

❖ Montage

❖ Montage DIRECT ou montage en « X »

Montage appelé en « X » car les perpendiculaires aux chemins de roulement dessinent un « X ». Ce type de montage est utilisé :

- ✓ Habituellement dans le cas des arbres **tournants** avec organes de transmission (engrenages,...) situés entre les roulements.
- ✓ Lorsque l'écart entre les deux roulements est faible.

Le réglage du jeu interne est réalisé sur les bagues extérieures. Les dilatations de l'arbre ayant tendance à charger un peu plus les roulements, cela tend à diminuer le jeu interne.

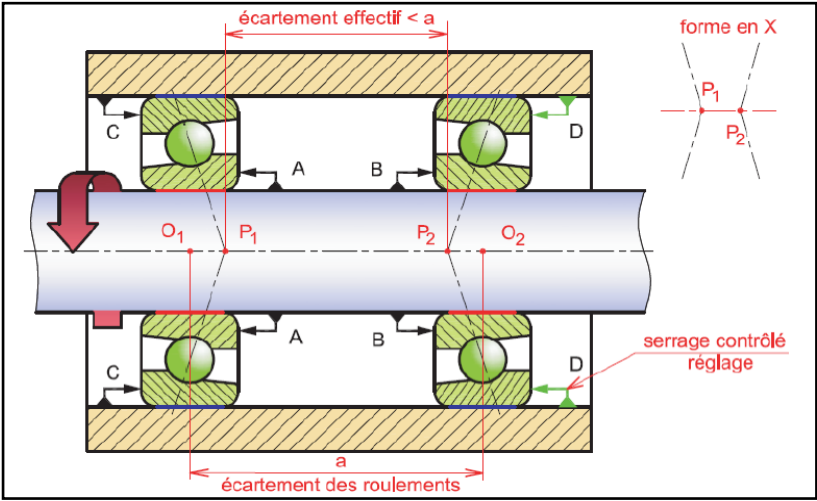


Figure 12 : Montage en « X » du roulement à une rangée de billes, à contact oblique.

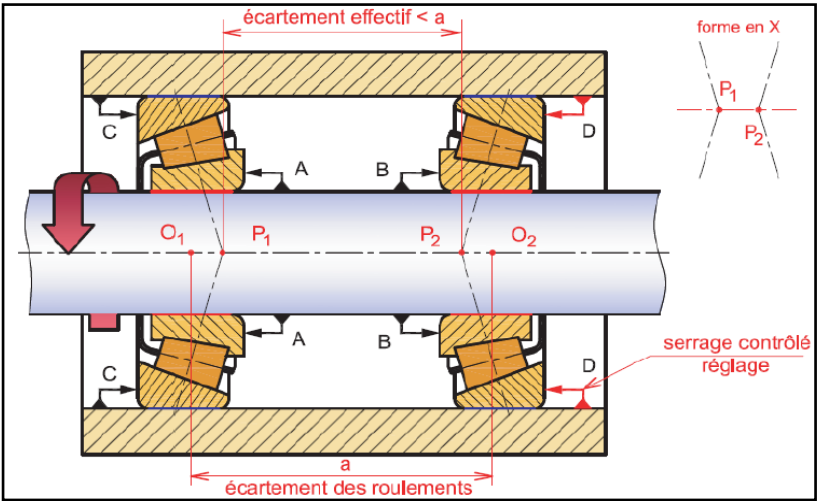


Figure 13 : Montage en « X » du roulement à rouleaux coniques.

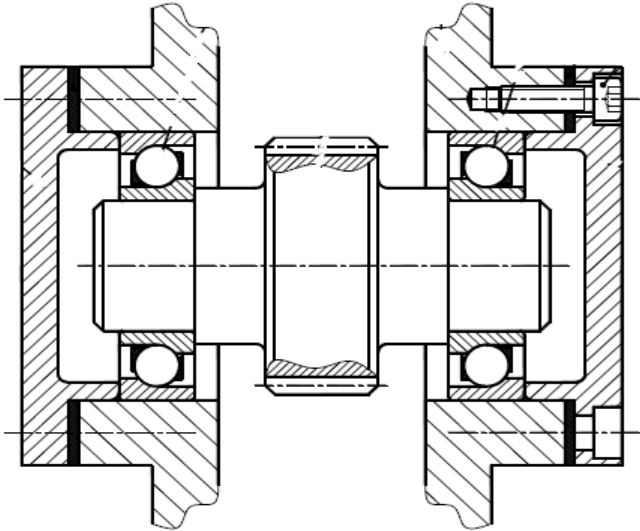


Figure 14: Exemple de montage en X.

❖ Montage INDIRECT ou montage en «O»

Montage appelé en «O» car les perpendiculaires aux chemins de roulement dessinent un «O»

Ce type de montage est à privilégier lorsque :

- ✓ Les moyeux sont tournants.
- ✓ On recherche une grande rigidité d'ensemble de la liaison.
- ✓ l'écart entre les deux roulements est important.

Le réglage du jeu interne est réalisé sur les bagues intérieures.

Les dilatations de l'arbre ayant tendance à diminuer la charge sur les roulements, cela tend à augmenter le jeu interne.

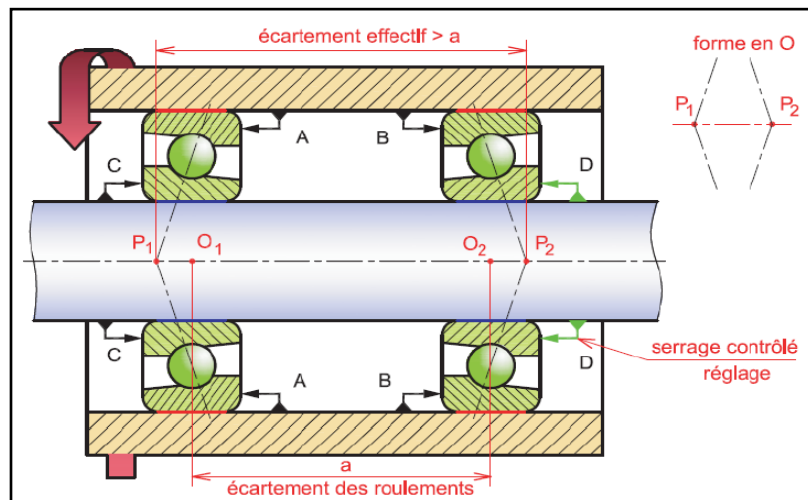


Figure 15 : Montage en « O » du roulement à une rangée de billes, à contact oblique.

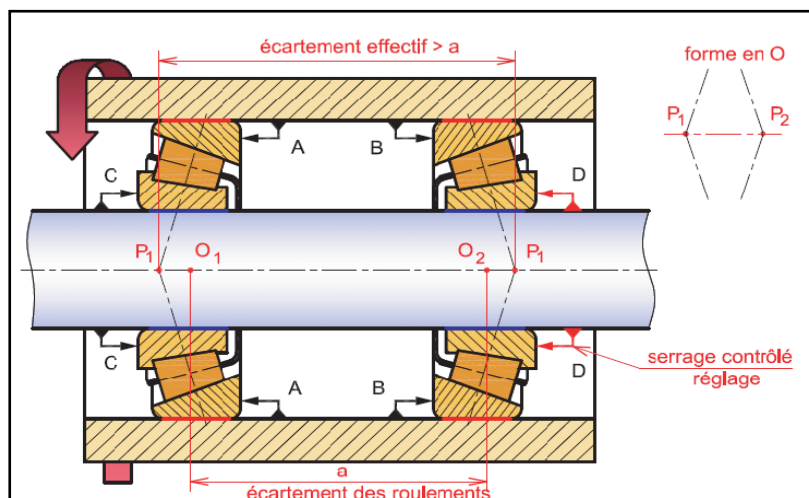
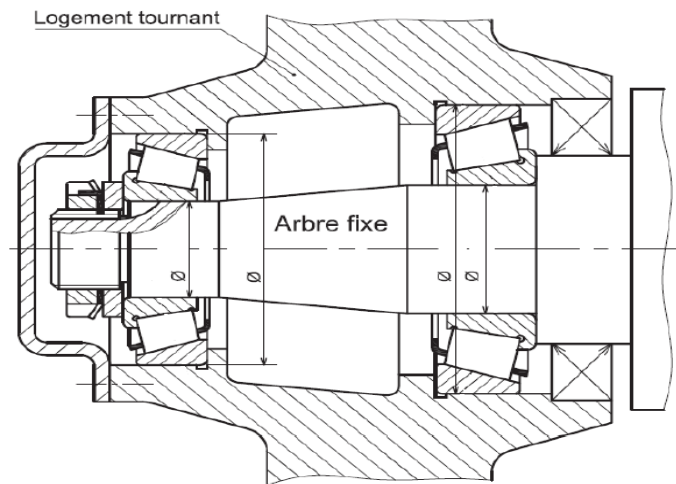


Figure 16 : Montage en « O » du roulement à rouleaux coniques.

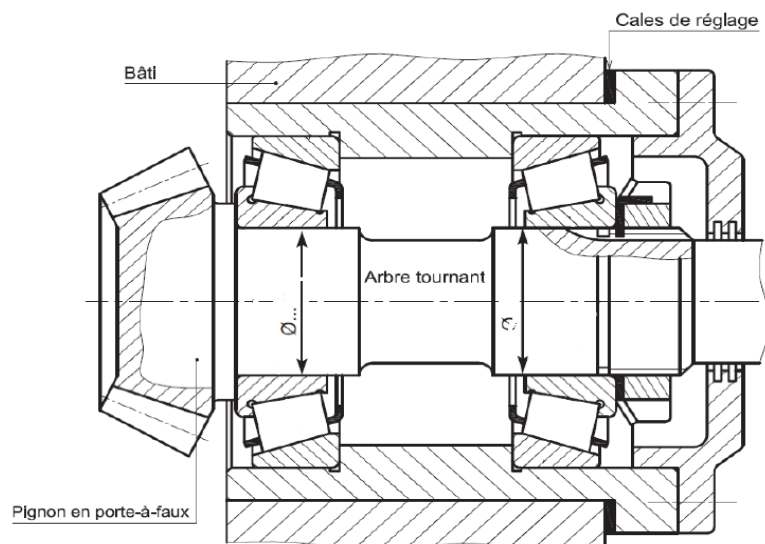
✓ Exemple de montage en O



Remarque :

Le montage en « O » s'emploie aussi avec les arbres tournants lorsque les organes de transmission sont situés en dehors de la liaison (engrenage à porte à faux).

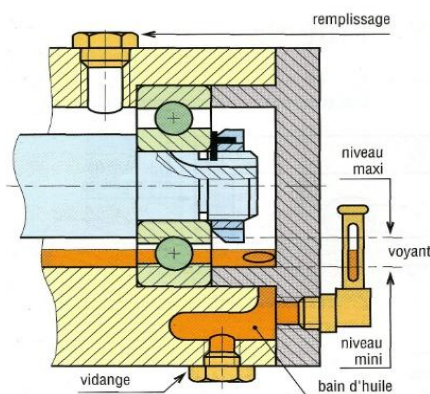
Le réglage du jeu interne est réalisé sur la bague intérieure du roulement qui est à gauche par l'écrou à encoche. [1]^{p.20}



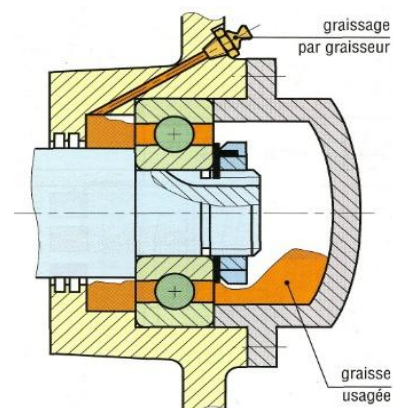
Lubrification des roulements

IV

Le rôle du graissage dans le roulement est sa protection contre les piqures de rouille, corrosion due à l'air et l'eau, empêcher la pénétration de la poussière, évacuer la chaleur, refroidir les composantes de roulement, réduire le frottement sur les chemins de celui-ci et faciliter les mouvements. Aux faibles températures on utilise une huile semi-fluide, pour les grandes températures, on utilise un lubrifiant un peu moins fluide (graisse).



Lubrification à l'huile



Lubrification à la graisse