

LIAISON PIVOT PAR ELEMENT ROULANT

1 – GENERALITES

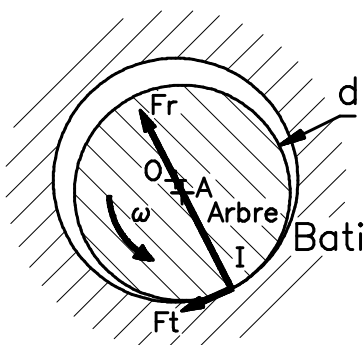
Deux solides en liaison pivot ont une rotation relative. Cela implique généralement un frottement de contact entre eux. On a rapidement pensé lors de la révolution industrielle remplacer ce frottement de glissement par du frottement de roulement. Ainsi est né le roulement à billes.

Un roulement est un ensemble mécanique élémentaire, fabriqué en très grande série, qui, inséré entre deux organes mécaniques mobiles l'un par rapport à l'autre, est destiné à remplacer le **GLISSEMENT** par du **ROULEMENT**, entre les deux surfaces de contact.

Un des avantages de leur utilisation est la réduction des frottements, ce qui permet l'augmentation des vitesses de rotation des systèmes mécaniques dans lesquels ils sont très largement utilisés.

Comparaison entre les roulements et les paliers lisses.

Rappel : Couple de frottement et puissance dissipée par frottement dans un palier classique sans roulement.



- d diamètre de l'alésage (m)
- f coefficient de frottement
- F_r charge radiale appliquée sur le palier (N)
- F_t charge tangentielle appliquée sur le palier (N)
- C_{fr} couple dû aux actions résistantes de frottement (Nm)
- P_{fr} puissance dissipée par les actions résistantes de frottement (W)
- ω vitesse de rotation de l'arbre / palier (rd/s)

Couple de frottement.

$$C_{fr} = \frac{1}{2} \cdot F_r \cdot f \cdot d$$

Puissance dissipée par frottement.

$$P_{fr} = C_{fr} \cdot \omega$$

Ordre des valeurs de frottement de glissement et de roulement.

$$f_{\text{roulement}} \ll f_{\text{glissement}}$$

Valeurs courantes : de 0,001 à 0,005

Dépend essentiellement de la nature du roulement et de l'élément roulant.

Valeur limite mini : 0,05

Dépend de la nature des métaux en contact, de l'état de surface et de la lubrification...

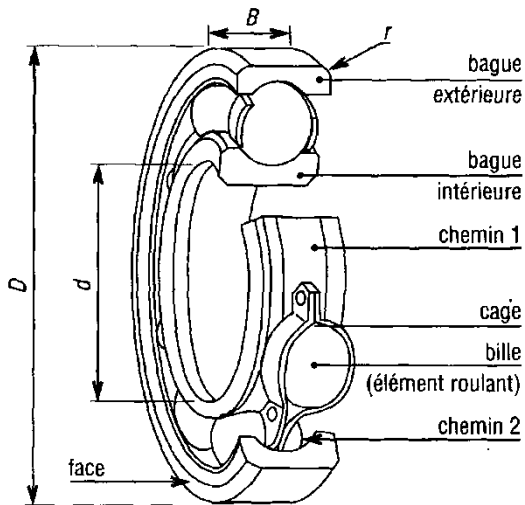
Avantages et inconvénient du roulement devant le palier lisse.

- Le coefficient de "frottement" est beaucoup plus faible pour les roulements même à faible vitesse où les conditions d'obtention du film d'huile hydrodynamique sont très aléatoires pour les paliers lisses.
- Le prix des roulements est relativement faible (très grande série de fabrication).
- Ils sont très facilement interchangeables (normalisation).
- Solution assurant fiabilité et sécurité, la durée de vie des roulements pouvant se calculer avec précision à condition que le montage et l'entretien soient correctement assurés.
- Leur lubrification ne demande qu'une faible quantité de lubrifiant.
- Ils nécessitent un montage très soigné.
- Leur encombrement radial est important (excepté pour les roulements et les douilles à aiguilles).
- Ils résistent mal aux chocs. Leur utilisation dans les embiellages de moteurs thermiques a toujours posé de nombreux problèmes (on ne les trouve que sur des moteurs de faible puissance).
- Leur rigidité angulaire est réduite. Des précautions sont à prendre lorsque la liaison à réaliser doit être précise (machines-outils) (voir : rotulage et déversement).

2 – DESCRIPTION.

Pour cette partie, voir également le cours de PTSI très complet sur la description des différents roulements.

2.1 – principaux éléments d'un roulement.



Les bagues :

- Elles portent les chemins de roulement.
- Les bagues extérieures se montent par emmanchement cylindrique dans les alésages.
- Les bagues intérieures se montent par emmanchement cylindrique ou par manchon conique sur les arbres.
- Elles sont en acier 100Cr6 trempé revenu de dureté $HRC \geq 62$.

Les éléments roulants :

- Des sphères (billes).
- Des cylindres (rouleaux ou aiguilles selon L/d)
- Des cônes (rouleaux coniques).
- Des tonneaux.

Ils sont en acier 100C6 trempé revenu de dureté $HRC \geq 62$, ou $HB \geq 685$, matricés à froid si $d \leq 12$ mm, à chaud si $d > 12$ mm puis polis.

La cage :

- Elle limite le glissement entre les éléments roulants, car la vitesse de glissement entre la cage et un élément roulant est plus faible qu'entre deux éléments roulants en contact.
- Elle est en acier doux (tôle emboutie ou agrafée), matière plastique, bronze ou laiton, cupro-alliage ou alliage léger, cela dépend de l'utilisation de l'appareil dans lequel le roulement est installé.

Autres éléments ou options :

- Flasque en tôle pour la protection contre les poussières (roulement "protégé" de type Z ou ZZ).
- Lèvre d'étanchéité pour une protection totale (roulement "étanche" de type E ou EE). Dans ce cas les roulements sont garnis de graisse (graissé à vie).
- Rainure et anneau élastique sur la bague extérieure garantissant le positionnement axial, exclusivement prévu pour les roulements à billes.

2.2 – tableau des différents roulements et leur représentation simplifiée.

Type	ROULEMENTS A BILLES					
	1 rangée	2 rangées	2 rangées à rotule	2 rangées à rotule manchon de serrage	1 rangée à contact oblique	2 rangées à contact oblique
Représentation complète						
Représentation simplifiée						

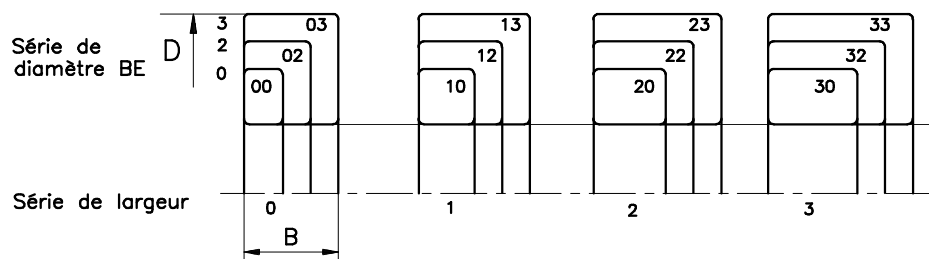
Type	ROULEMENTS A ROULEAUX CYLINDRIQUES				ROULEMENTS A ROULEAUX CONIQUES	ROULEMENTS A ROULEAUX SPHERIQUES
	N	NU	NJ	RNU		
Représentation complète						
Représentation simplifiée						

Type	BUTÉES A BILLES		BUTÉES A ROULEAUX SPHERIQUES	REPRÉSENTATION SYMBOLIQUE GÉNÉRALE
	simple effet	double effet	à rotule	
Représentation complète				
Représentation simplifiée				

LES REPRÉSENTATIONS SIMPLIFIÉES NE SONT PAS INTERDITES LORS DES ÉPREUVES, MAIS IL PEUT Y AVOIR AMBIGUÏTÉ POUR LES ROULEMENTS A CONTACT OBLIQUES.

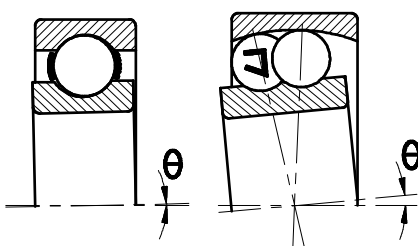
2.3 – Différentes série de dimensions des roulements.

Les roulements étant d'usage universel et intervenant dans le fonctionnement de nombreux systèmes mécaniques, il est important d'en assurer l'**interchangeabilité**. C'est cette idée d'interchangeabilité qui a conduit les constructeurs à la **normalisation** des roulements.



Par soucis de diversification et de normalisation, il existe donc pour une valeur de diamètre intérieur, plusieurs valeurs possibles de diamètre de bague extérieur et plusieurs valeurs possibles de largeur de roulement

2.4 – Définition du déversement d'un roulement.



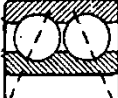
Déversement θ = angle maxi pouvant exister entre les axes respectifs des deux bagues intérieure et extérieure d'un roulement.

Cet angle dépend essentiellement du type de roulement, de la série utilisée, des jeux internes, et du chargement extérieur.

Il est d'environ :

- 10' pour les roulements à billes.
- 2' pour les roulements à rouleaux.
- 2° à 3° pour les roulements à rotule

2.5 – performances et utilisations des différents type de roulement

Type de roulement ↓	Aptitudes →	Aptitude à la charge radiale Aptitude à la charge axiale Aptitude à la rotation Aptitude à accepter le défaut d'alignement Défaut angulaire maxi Prix relatif						Remarques - Utilisations
		↓	↓	↓	↓	↓	↓	
Roulement à billes à contact radial 		=	=	++	=	10°	1	C'est le roulement universel, il existe dans de nombreuses variantes (étanchéité, cages, ...). Il est d'un excellent rapport performances/prix. Il exige toutefois un alignement correct des portées.
Roulement à billes à contact radial à deux rangées de billes 		+	=	-	0	0	2,5	Il possède une bonne rigidité qui exige un alignement rigoureux des portées. Il est livré graissé.
Roulement à billes à contact oblique 		+	++	+	=	10°	2	Il supporte des charges radiales et axiales assez importantes. Il se monte par paire en opposition ou en tandem. Il exige un bon alignement des portées. Il permet un réglage du jeu axial.
Roulement à billes à contact oblique à deux rangées de billes 		+	+	-	0	0	3	Il s'oppose bien aux efforts de déversement. Sa rigidité exige un alignement rigoureux des portées. Seul, il peut être utilisé parfois comme palier remplissant ainsi le rôle de deux roulements.
Roulement à rotule sur billes 		=	-	+	+++	3°	2	Il se monte par paire et permet de compenser des défauts d'alignement importants. Avec un manchon de serrage, il peut se monter sur un arbre brut de laminage.
Roulement à rouleaux cylindriques 		++	0 (1)	+	-	5°	2,5	Il supporte des charges radiales très élevées mais aucune charge axiale sauf pour les types NJ et NUP (faibles charges). Il exige un bon alignement des portées. Les bagues sont séparables, facilitant ainsi le montage.
Roulement à rouleaux coniques 		++	++	-	-	5°	1,5	Il supporte des charges radiales et axiales importantes. Il se monte par paire en opposition. Il exige un bon alignement des portées. Ses bagues sont séparables et facilitent ainsi le montage.
Roulement à rouleaux sphériques 		+++	=	-	++	1°5	5	Il supporte des charges radiales très élevées. Le chemin sphérique permet de compenser des défauts d'alignement importants. Avec un manchon de serrage, il peut se monter sur un arbre brut de laminage.
(1) Sauf pour les types NJ et NUP qui admettent une faible charge axiale								
Légende: +++ excellente ++ très bonne, + bonne, = moyenne, - faible, 0 nulle								

Paramètres de choix : Vitesse de fonctionnement
Efforts appliqués et rapport Fr, Fa

Milieu ambiant et extérieur.
Rotulage autorisé.

3 – MODELISATION DU COMPORTEMENT DES ROULEMENTS

3.1 – Cas du roulement à bille à contact radial.

Degrés de liberté :

- Le roulement possède un degré de liberté complet ($n \cdot 360^\circ$) en rotation autour de l'axe de révolution.
- Le déversement (chapitre 2.4) implique les 2 autres degrés de liberté en rotation. L'amplitude est très faible, mais à une certaine distance du roulement le déplacement n'est peut-être pas si négligeable que cela.
- Les jeux axial et radiaux impliquent les 3 translations, mais ils sont considérés comme négligeables.

Modèle retenu :

Les degrés de liberté retenus font que le roulement à bille à contact radial est modélisable par une rotule.

Torseur cinématique :

$$\{V_{Bi/Be}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{xBi/Be} \\ \omega_{yBi/Be} \\ \omega_{zBi/Be} \end{Bmatrix}_0$$

Torseur d'effort transmissible :

$$\{A_{(Be \rightarrow Bi)}\} = \begin{Bmatrix} X_{Be \rightarrow Bi} \\ Y_{Be \rightarrow Bi} \\ Z_{Be \rightarrow Bi} \end{Bmatrix}_0$$

3.2 – les modélisations retenues pour les différents roulements.

Roulement à bille à contact radial. Roulement à bille à rotule. Roulement à rouleaux à rotule.		Rotule 	Butées		Appui plan ou ponctuelle selon les types de butées
Roulement à bille à contact oblique. Roulement à rouleaux conique.		Rotule unilatérale 	Roulement à rouleaux. Roulement à aiguilles.		Linéaire annulaire

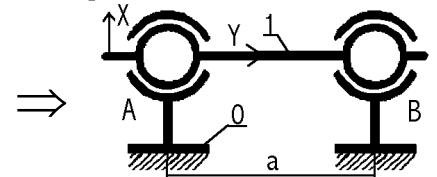
3.3 – Analyse d'une liaison pivot composée de 2 roulements à bille à contact radial.

On doit réaliser une liaison pivot entre un arbre (1) et un bâti (0) grâce à deux roulements placés en A et en B.

Les bagues intérieures des 2 roulements (Bi) sont en liaison complète avec l'arbre et les 2 bagues extérieures (Be) sont en liaison complète avec le bâti.

On peut donc schématiser la situation ainsi :

On est donc dans le cas de 2 solides possédant 2 liaisons en parallèle.



- Etude cinématique : Il doit y avoir compatibilité entre les torseurs cinématique.

L_A : Rotule de centre A

$$\{V_{A1/0}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{xA1/0} \\ \omega_{yA1/0} \\ \omega_{zA1/0} \end{Bmatrix}_A = \begin{Bmatrix} \omega_{xA1/0} \\ \omega_{yA1/0} \\ \omega_{zA1/0} \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} -a \cdot \omega_{zA1/0} \\ 0 \\ a \cdot \omega_{xA1/0} \end{Bmatrix}_B$$

L_B : Rotule de centre B

$$\{V_{B1/0}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{xB1/0} \\ \omega_{yB1/0} \\ \omega_{zB1/0} \end{Bmatrix}_B$$

$$\{V_{1/0}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{x1/0} \\ \omega_{y1/0} \\ \omega_{z1/0} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} V_{x1/0} \\ V_{y1/0} \\ V_{z1/0} \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} \omega_{xA1/0} \\ \omega_{yA1/0} \\ \omega_{zA1/0} \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} \omega_{xB1/0} \\ \omega_{yB1/0} \\ \omega_{zB1/0} \end{Bmatrix}_B \Rightarrow \{V_{1/0}\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \omega_{y1/0} \\ 0 \end{Bmatrix}_B$$

Soit L_{10} : Liaison pivot d'axe $(B, \vec{y})$

- Etude statique : J'isole le solide 1

L_A : Rotule de centre A

$$\{A_{A0 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_A$$

L_B : Rotule de centre B

$$\{A_{B0 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} a \cdot Z_B \\ 0 \\ -a \cdot X_B \end{Bmatrix}_A$$

Actions extérieures

$$\{A_{1 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} L \\ M \\ N \end{Bmatrix}_A$$

Le torseur d'action mécanique de la liaison équivalente est égal à la somme des torseurs d'action mécanique.

$$\begin{aligned} X_A + X_B + X &= 0 \\ Y_A + Y_B + Y &= 0 \\ Z_A + Z_B + Z &= 0 \\ a \cdot Z_B + L &= 0 \\ M &= 0 \\ -a \cdot X_B + N &= 0 \end{aligned}$$

Le torseur d'actions extérieures étant connu, on peut facilement trouver X_A, X_B, Z_A, Z_B .

$\Rightarrow$ Une pivot d'axe $(B, \vec{y})$ ne peut transmettre le couple M .
L'équation n'a pas de solution évidente, le système est hyperstatique d'ordre 1.

Le système est donc hyperstatique d'ordre 1. Cela signifie que l'action extérieure Y sera encaissée par les 2 roulements mais dans des proportions que l'on ne connaît pas.

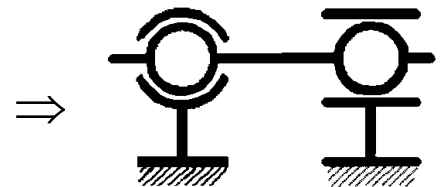
Avantage et inconvénient de l'hyperstaticité axiale :

- + Il est toujours préférable que l'effort axial soit encaissé par 2 roulements plutôt qu'un seul.
- Le montage va être délicat car l'arbre est arrêté axialement par rapport au bâti en 2 endroits, il doit donc y avoir 2 "longueurs" rigoureusement égales.
- L'arbre n'a pas la possibilité de se dilater librement et cela peut entraîner des contraintes internes.

Si l'effort axial est trop important pour être encaissé par un seul roulement, il est préférable de choisir des roulements adaptés (à contact oblique).

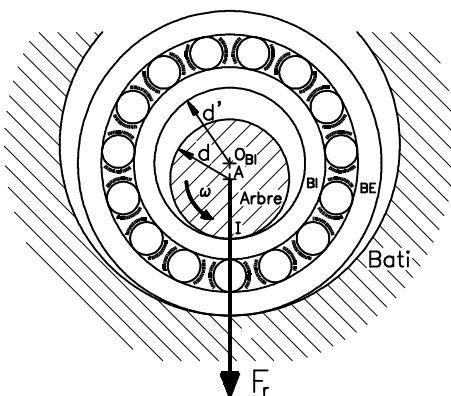
2 inconvénients pour 1 seul avantage qui n'en est pas vraiment un. On va tout faire pour éviter le degré d'hyperstatisme.

La solution isostatique évidente est de remplacer une rotule par une linéaire annulaire.



Cette modification est très simple à obtenir technologiquement car il suffit qu'une des 2 bagues extérieures glisse dans le bâti ou qu'une des 2 bagues intérieures glisse sur l'arbre.

4 – PHENOMENE DE LAMINAGE.



L'arbre tourne par rapport au bâti fixe.

L'effort radial F est appliqué sur l'arbre et est supposé de direction fixe par rapport au bâti.

Condition de non-glissement en I entre l'arbre A et la bague intérieure B_i du roulement. $\vec{V}_{I A/B_i} = \vec{0} \Rightarrow \vec{V}_{I A/B} = \vec{V}_{I B_i/B}$

$$\text{D'où } \omega \cdot \frac{d}{2} = \omega' \cdot \frac{d'}{2} \text{ donc } \omega' = \omega \cdot \frac{d}{d'}$$

Avec $d \neq d'$ (présence de jeu radial) on constate que :

$$\omega \neq \omega'$$

Sous l'action de la charge radiale, la bague intérieure est laminée entre les éléments roulants et l'arbre. Ce laminage est à éviter impérativement car il accélère la destruction par écaillage des pistes de la bague concernée.

Pour supprimer ce laminage, une seule solution, il faut absolument assurer l'égalité des deux vitesses $\omega = \omega'$ donc l'égalité des deux diamètres.

$$\Rightarrow d = d'$$

Ce qui se traduit par un ajustement serré

Par contre sous cette même charge on constate que la bague extérieure est juste écrasée sans mouvement relatif (pas de laminage). Il n'est donc pas impératif de monter cette bague serrée ce qui nous arrange bien pour la liaison linéaire annulaire qui doit remplacer la rotule (Chapitre 3.3).

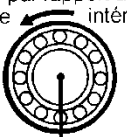
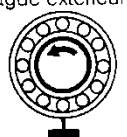
5 – PRINCIPE DE MONTAGE.

5.1 – Règle fondamentale de montage.

La bague tournante par rapport à la direction de la charge radiale doit être montée avec un ajustement serré sur sa portée.

L'autre bague du roulement ne subissant pas les effets d'un laminage, mais ceux d'une compression statique due à la charge radiale, sera généralement montée avec un ajustement "libre" sur sa portée.

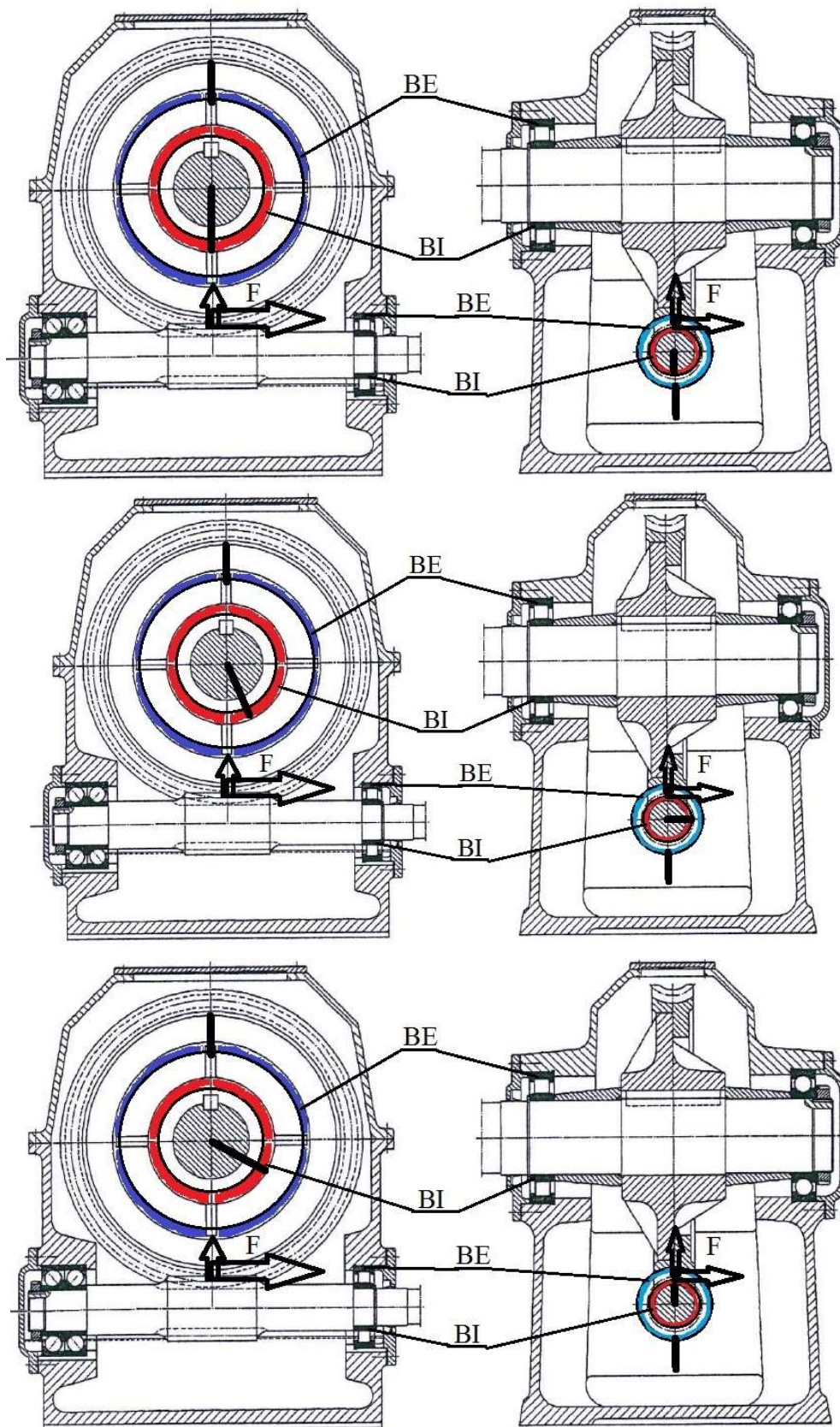
La valeur du serrage est d'autant plus importante que la charge est élevée : **Tableau des valeurs recommandées.**

ARBRES				LOGEMENTS		
Bague libre sur sa portée	g 6	Roues Débattement axial exigé (dilatation, réglage).	Direction de la charge fixe par rapport à la bague intérieure. 	Charges normales $\frac{C}{P} > 5$	M 7 N 7	Poulies folles Galets tendeurs Roues
Cas général	j 6	Poulie folle Galet tendeur		Très fortes charges Fortes charges avec choc $\frac{C}{P} < 5$	N 7 P 7	Matériel ferroviaire Gros roulements à rouleaux
Charges normales $\frac{C}{P} > 5$	j 6 / k 6	Petits moteurs électriques, broches. Broches mach.-outils. Pompes. Ventilateurs. Moteurs moyens. Réducteurs de vitesse.	Direction de la charge fixe par rapport à la bague extérieure. 	Cas général	J 7	Moteurs électriques de moyenne puissance. Poulies, broches de machines-outils. Transmissions. Applications générales.
Charges élevées $\frac{C}{P} < 5$	m 6 / p 6	Moteurs de traction. Gros réducteurs. Matériel ferroviaire ou de travaux publics Gros compresseurs.		Bague libre sur sa portée.	H 7	Débattement axial exigé (dilatation ou réglage).
Charges purement axiales	j 6	Roulements et butées.	Autres cas 	Roulements à rouleaux cylindriques et coniques.	M 7 à P 7	
Manchons de serrage.	h 9	Transmissions. Matériel agricole.		Charges purement axiales.	H 7	Roulements et butées.

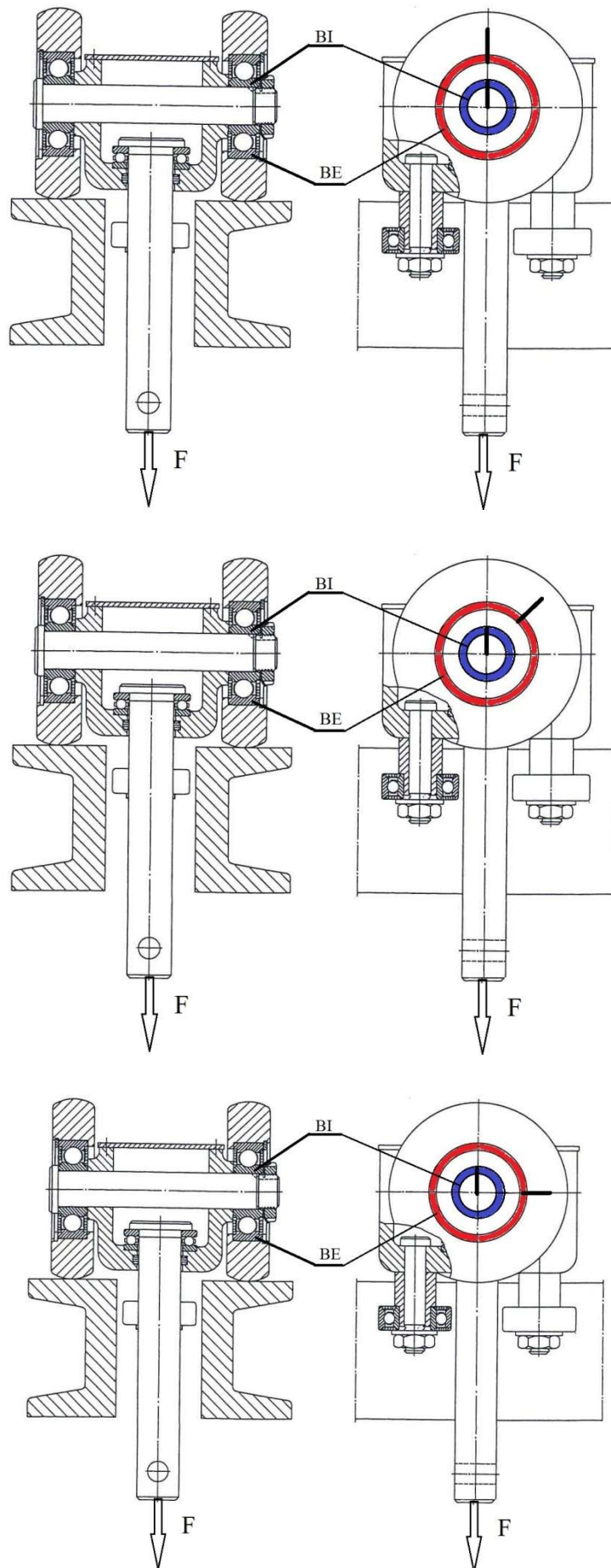
Application sur des exemples

Voici un réducteur irréversible à vis sans fin pour élévateur.

Observons ce réducteur à 3 instants différents correspondant à 3 positions différentes.



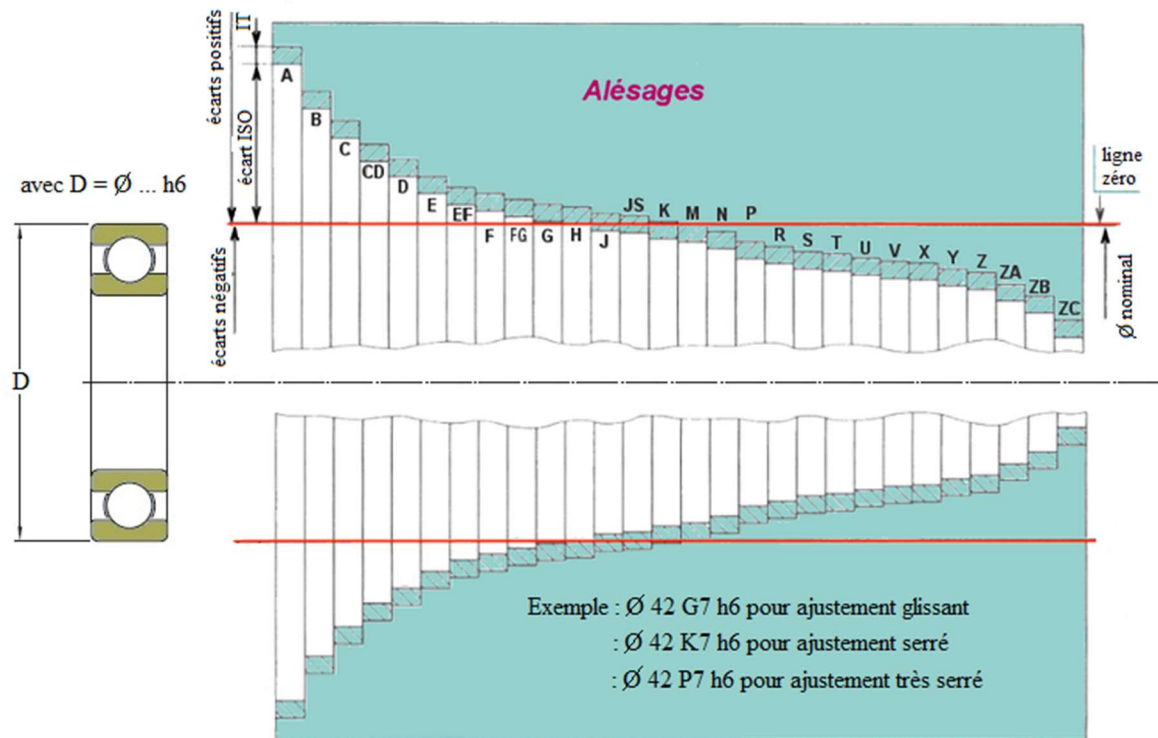
Même étude pour les deux roulements de ce système de galet de convoyeur aérien



5.2 – Indication des ajustements pour les montages de roulement (entre autres)

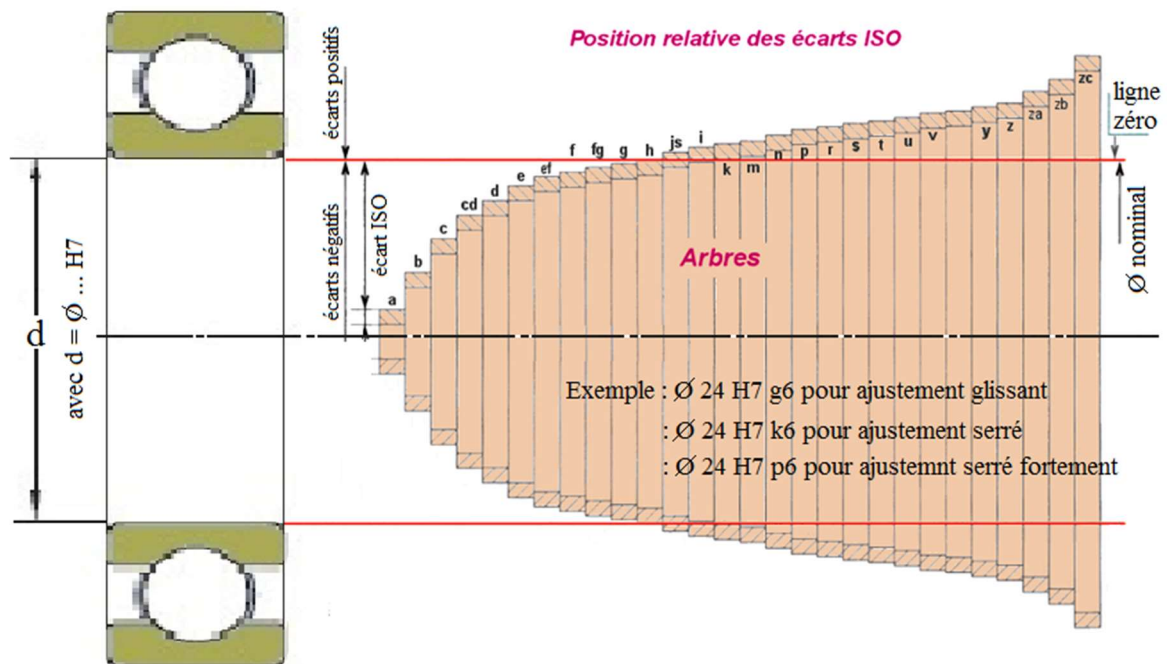
5.2.1 – Ajustement dit à arbre normal (on « joue » sur l'alésage)

C'est en jouant sur la lettre majuscule de votre alésage que vous allez choisir le type d'ajustement que vous voulez pour la bague extérieure dans son alésage :



5.2.2 – Ajustement dit à alésage normal (on « joue » sur l'arbre)

C'est en jouant sur la lettre minuscule de votre arbre que vous allez choisir le type d'ajustement que vous voulez pour l'arbre dans la bague intérieure :



5.3 – Autres règles de montage.

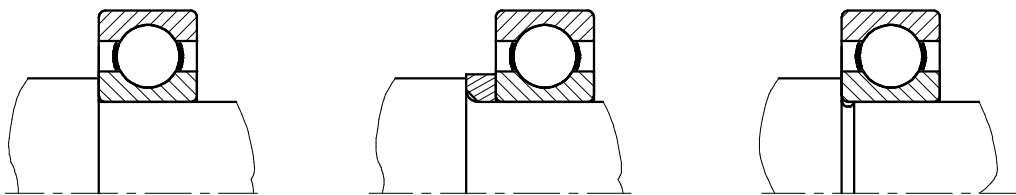
Les bagues montées serrées sur leur portée doivent être généralement arrêtées sur leurs deux faces.

Dans tous les cas il faut prévoir au moins un épaulement par montage, car celui-ci se fait à la presse.
L'utilisation de ces machines impose un arrêt supportant des efforts conséquents : Epaulement ou entretoise.

La position axiale du montage se fait par des arrêts placés sur les bagues montées libres et elle doit être assurée une seule fois dans chaque sens de déplacement afin d'éviter l'hyperstatisme. (Les doubles portées)

5.4 – Réalisation technologique des arrêts de bague.

Liaisons avec l'arbre



Epaulement :

Coût faible, supporte des efforts importants.

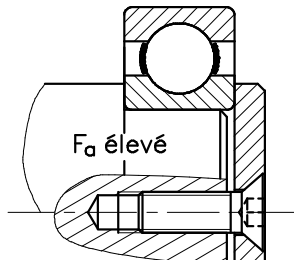
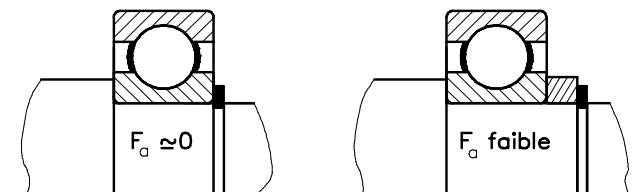
Segment d'arrêt :

Coût faible, efforts nuls ou faibles.

Placer une cale entre l'anneau et le roulement pour abaisser le point d'appui quand il y a des efforts axiaux modérés.

Il ne sert que pour le positionnement du montage.

A éviter pour des chaînes de cotes longues.

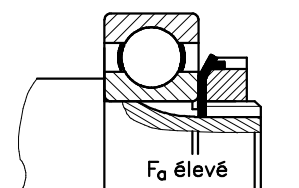


Visserie :

Coût moyen, efforts importants.

Permet de rattraper les jeux.

Réalise un serrage axial des pièces

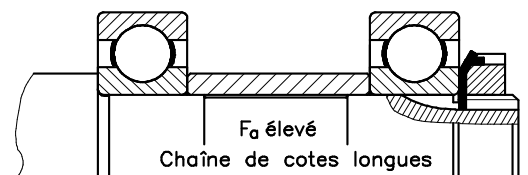


Écrou :

Coût élevé, efforts importants, réglage du jeu.

Entretoise :

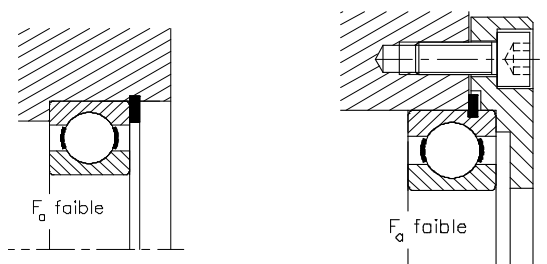
Principalement en association avec un écrou, efforts importants.



Le respect de "l'homogénéité" des solutions constructives utilisées axialement pourrait être une autre règle de montage.

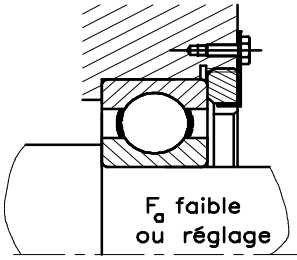
Il ne faut jamais placer un anneau élastique face à un écrou.

Liaisons avec l'alésage :



Epaulement : Coût faible, supporte des efforts importants

Segment d'arrêt : Coût faible, efforts nuls ou faibles.

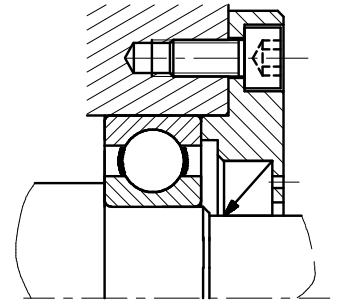


Systemes filetes :

Ce dispositif impose une fabrication plus lourde du fait de la présence du taraudage dans le bâti.

Impose la présence d'un système de freinage de l'écrou.

Chapeaux fixés par vis :



Les fonctions lubrification et étanchéité ainsi que leur réalisation technologique sont parfaitement définies dans le cours de PTSI

6 – PRINCIPE DE MONTAGE POUR LES ROULEMENTS RADIAUX.

On entend par roulements radiaux :

- Les roulements à billes à contact radial.
- Les roulements à billes à rotule.
- Les roulements à rouleaux.
- Les roulements à rouleaux à rotule.
- Les roulements à aiguilles.

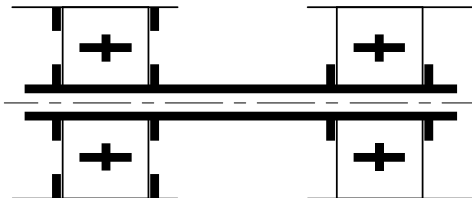
3 cas se présentent :

- La charge est mobile par rapport aux bagues extérieures il faut les monter "serrées".
- La charge est mobile par rapport aux bagues intérieures il faut les monter "serrées".
- La charge est mobile par rapport aux bagues intérieures et extérieures il faut monter "serrées" toutes les bagues.

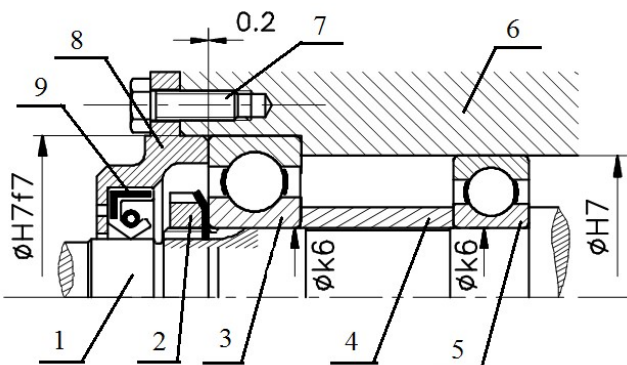
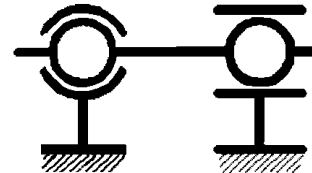
6.1 – Cas 1 : La charge est mobile par rapport aux bagues intérieures.

Solution 1.1 :

Schéma technologique

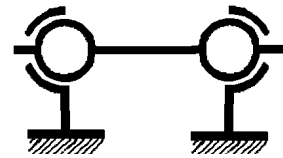
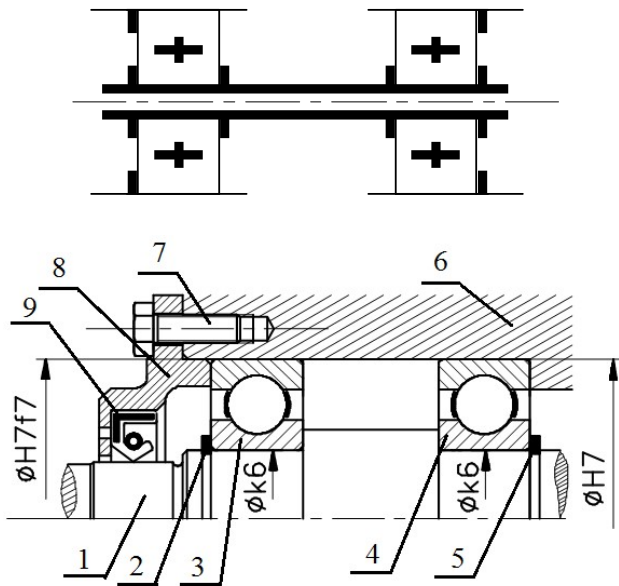


Modélisation

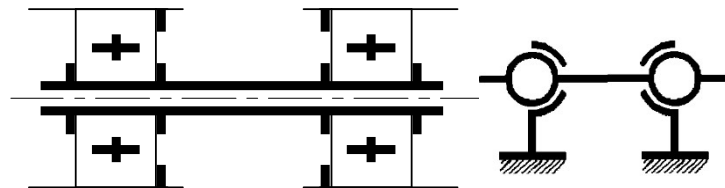
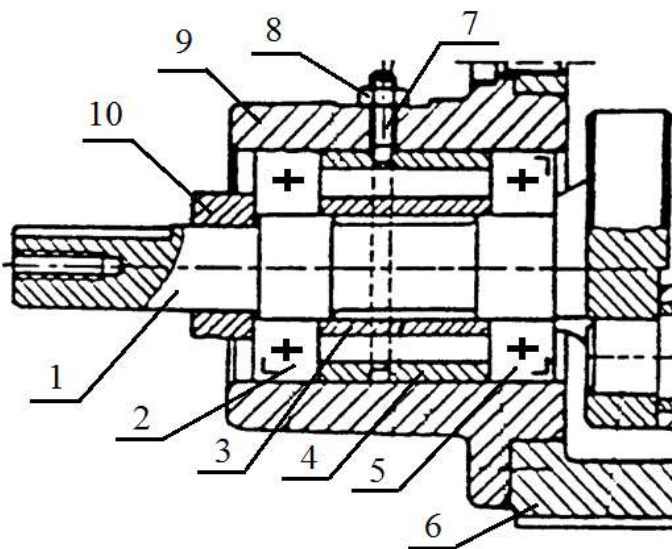


- Montage utilisé pour les arbres longs.
- Permet une dilatation libre de l'arbre.
- Assure le positionnement le plus précis (chaîne de cotes la plus courte).
- Pivot = rotule + linéaire annulaire.
- Un seul roulement supporte les efforts axiaux dans les deux sens.
- Montage en 6 points.

Gamme de montage :

Solution 1.2 :

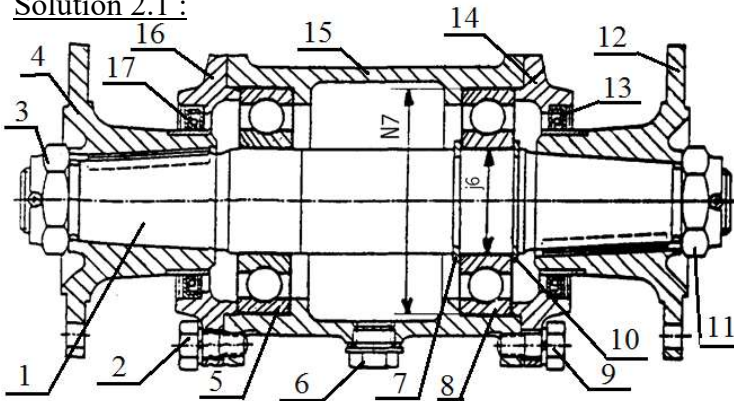
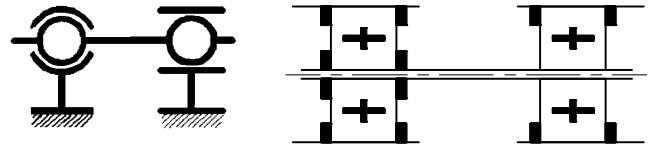
- Montage utilisé pour les arbres courts (longueur **inférieure** à 250 mm).
- Montage préconisé lors de l'utilisation de roulements aux dimensions identiques.
- La température d'utilisation doit rester faible. La dilatation **réduit** le jeu axial du montage.
- Le positionnement est moins précis (chaîne de cotes plus longue).
- Chaque roulement supporte des efforts axiaux dans un seul sens.
- Montage en 6 points.

Gamme de montage :Solution 1.3 :

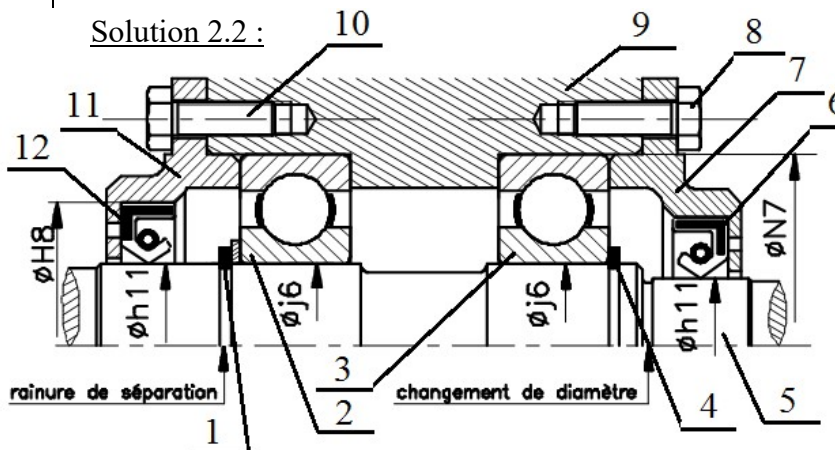
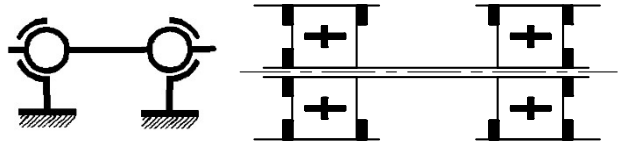
- Montage utilisé pour les arbres longs (longueur **supérieure** à 250 mm).
- La température d'utilisation doit rester faible. La dilatation **augmente** le jeu axial du montage.
- Le positionnement est moins précis (chaîne de cotes plus longue).
- Chaque roulement supporte des efforts axiaux dans un seul sens.
- Montage en 6 points.

Gamme de montage :

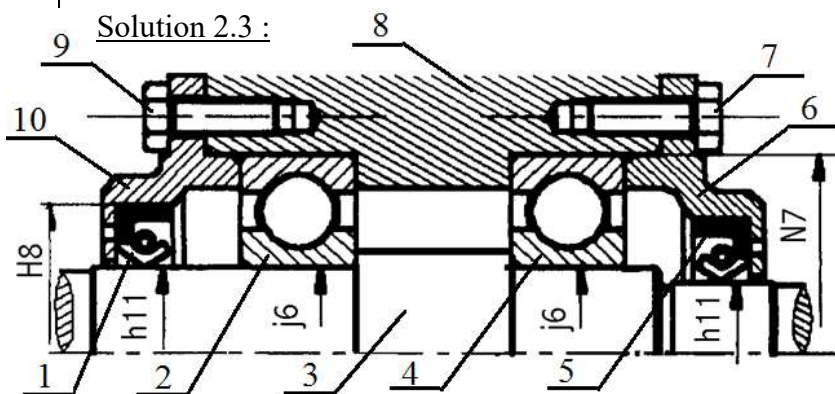
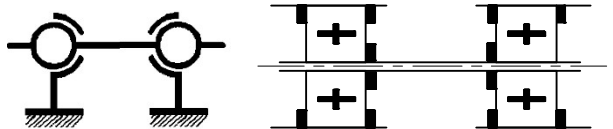
Lors du concours, réaliser un mécanisme immontable est très lourdement sanctionné.
 Mais un mécanisme peut-être montable sans pour autant donner toute satisfaction au correcteur.
 En effet la qualité de la gamme de montage rentre également en compte.
 La solution 1-3, plus délicate au niveau montage, ne sera utilisée qu'exceptionnellement.

6.2 – Cas 2 : La charge est mobile par rapport aux bagues extérieures.Solution 2.1 :**Gamme de montage :**

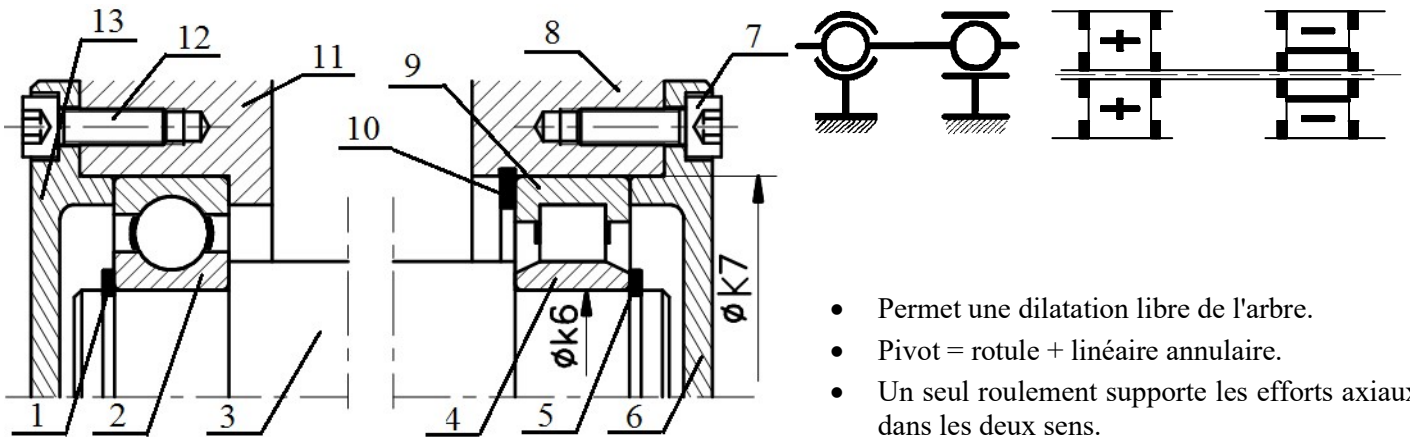
- Montage utilisé pour les arbres longs.
- Permet une dilatation libre de l'arbre.
- Assure le positionnement le plus précis (chaîne de cotes la plus courte).
- Pivot = rotule + linéaire annulaire.
- Efforts axiaux sur le seul roulement gauche.
- Montage en 6 points.

Solution 2.2 :**Gamme de montage :**

- Montage utilisé pour les arbres longs (longueur **supérieure** à 250 mm).
- La température d'utilisation doit rester faible. La dilatation **augmente** le jeu axial du montage.
- Le positionnement est moins précis (chaîne de cotes plus longue).
- Effort axial sur un seul roulement (selon sens).
- Montage en 6 points.

Solution 2.3 :**Gamme de montage :**

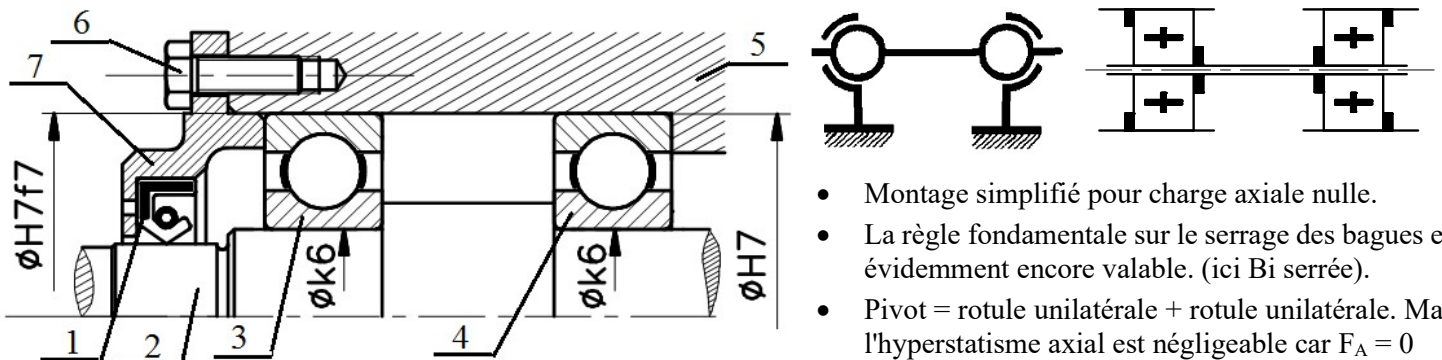
- Montage utilisé pour les arbres longs.
- Permet une dilatation libre de l'arbre.
- Assure le positionnement le plus précis (chaîne de cotes la plus courte).
- Pivot = rotule + linéaire annulaire.
- Effort axial sur un seul roulement (selon sens).
- Montage en 6 points.

6.3 – Cas 3 : La charge est mobile par rapport à toutes les bagues.Solution 3 :**Gamme de montage :**

- Permet une dilatation libre de l'arbre.
- Pivot = rotule + linéaire annulaire.
- Un seul roulement supporte les efforts axiaux dans les deux sens.
- Montage en 8 points.

Remarques :

- Ce montage peut être réalisé pour les cas 1 et 2 car il respecte la même modélisation. On n'est, alors, pas obligé de serrer la bague qui ne tourne pas par rapport à la direction de la charge.
- Il peut être également utile quand on utilise un roulement à aiguille (encombrement).
- Il est aussi utilisé pour des charges radiales élevées qui obligent la présence d'un roulement à rouleau.

6.4 – Autre cas : La charge axiale est très faible.Solution 4 :**Gamme de montage :**

- Montage simplifié pour charge axiale nulle.
- La règle fondamentale sur le serrage des bagues est évidemment encore valable. (ici Bi serrée).
- Pivot = rotule unilatérale + rotule unilatérale. Mais l'hyperstatisme axial est négligeable car $F_A = 0$
- Montage en 4 points.

Attention à la gamme de montage.

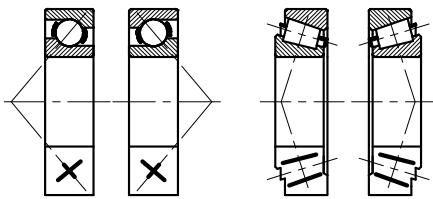
Pour ce cas, la gamme de montage sera déterminante pour choisir entre les 2 possibilités ci-dessous :



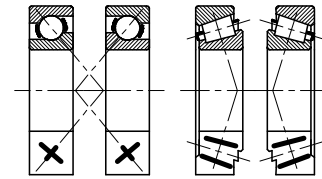
7 – PRINCIPE DE MONTAGE POUR ROULEMENT A CONTACT OBLIQUE.

Ce type de montage s'utilise avec **des charges radiales F_r et axiales F_a élevées** et nécessite l'emploi de 2 roulements **montés en "opposition"**. Il existe deux manières de monter les roulements à contact oblique :

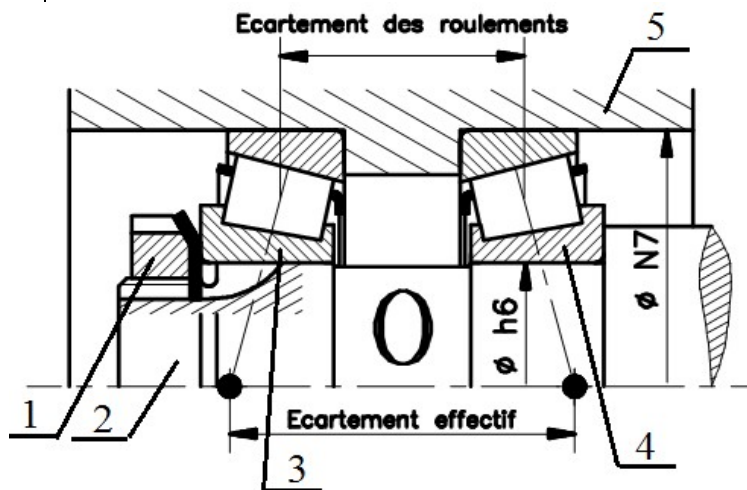
Le montage en O



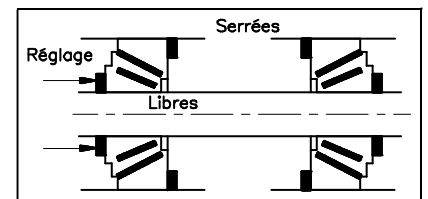
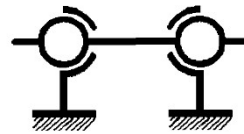
Le montage en X



7.1 – Montage en O



Gamme de montage :



Si la charge tourne par rapport aux bagues extérieures, le montage en "O" convient parfaitement.

Les B_e sont serrées et les B_i montées libres.

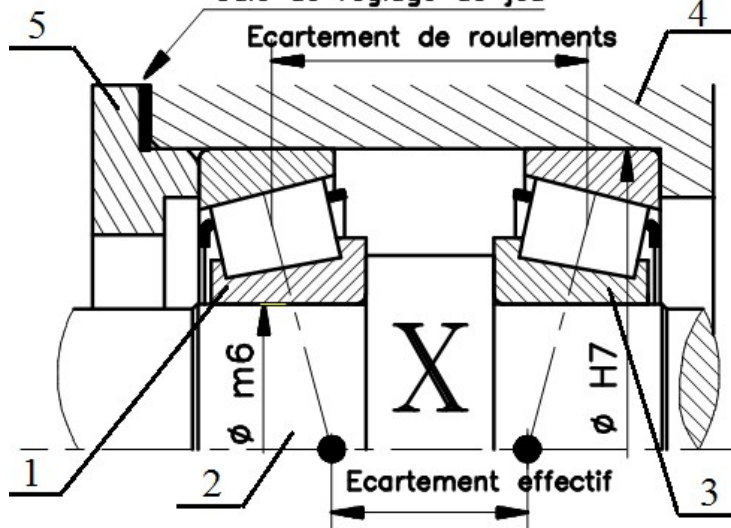
Le montage s'effectue alors ainsi :

- Montage des roulements dans l'alésage.
- On vient glisser l'arbre dans les roulements puis avec l'appui réglable on vient "fermer" l'ensemble.

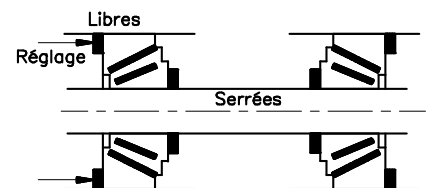
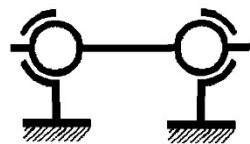
Caractéristiques du montage : On éloigne les centres de poussée, ce qui améliore la stabilité des arbres courts

7.2 – Montage en X

Cale de réglage de jeu



Gamme de montage :



Si la charge tourne par rapport aux bagues intérieures, le montage en "X" convient parfaitement.

Les B_i sont serrées et les B_e montées libres.

Le montage s'effectue alors ainsi :

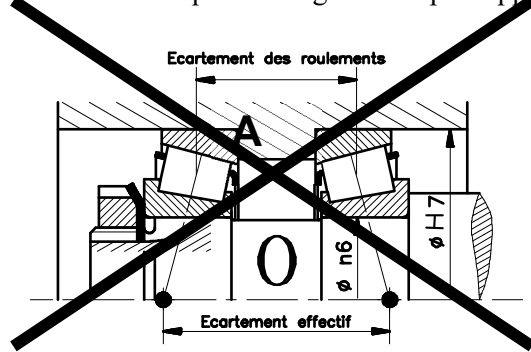
- Montage des roulements sur l'arbre.
- On vient glisser l'ensemble dans l'alésage puis avec l'appui réglable on vient "fermer" l'ensemble.

Caractéristiques du montage : On rapproche les centres de poussée. Attention aux arbres courts.

7.3 – Cas particuliers

On veut absolument un montage en O pour assurer une meilleure stabilité d'un arbre court.

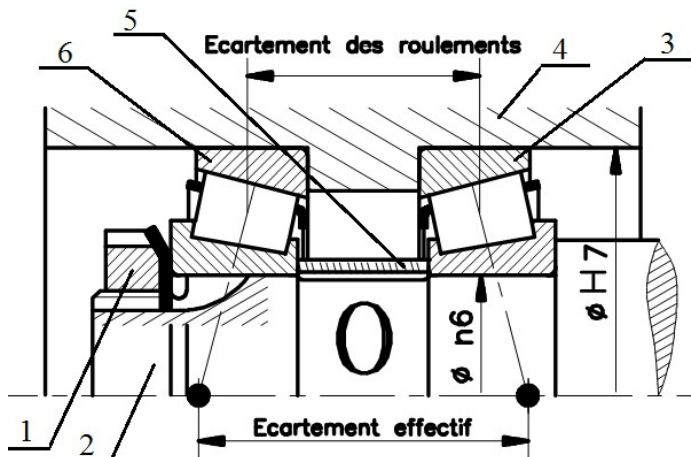
Or il se trouve que la charge tourne par rapport aux bagues intérieures (contrairement au chapitre 7.1)



Le dessin pourrait alors être celui-ci. (Les ajustements ont changé)
Malheureusement la règle indiquant la présence obligatoire d'un arrêt fixe sur les bagues serrées n'est pas respectée.

Lors du serrage de l'écrou, il n'y a pas d'appuis fixe : Il est difficile de savoir si le roulement est en contact en A ou si on a trop préchargé le montage.

Solution fausse



La solution est de mettre une entretoise de contrôle de précharge.

On respecte ainsi l'ajustement serré des bagues intérieures mais on limite la course de ces dernières, évitant ainsi un risque de coincement par une précharge trop importante.

7.4 – Montage isostatique ou hyperstatique ?

La modélisation par rotule unilatérale semble identique au deuxième et troisième cas du chapitre 6.1 et 6.2.

Ainsi pour tous ces cas la liaison est isostatique car, par exemple :

- L'effort axial est vers la gauche $\Rightarrow$ C'est le roulement A qui encaisse
- L'effort axial est vers la droite. $\Rightarrow$ C'est le roulement B qui encaisse
- Il n'est donc pas difficile de résoudre l'équation des forces projetée sur l'axe de la pivot. $\Rightarrow$

$$\begin{aligned} X_A + X_{\text{ext}} &= 0 & \text{si } X_{\text{ext}} \leq 0 \\ X_B + X_{\text{ext}} &= 0 & \text{si } X_{\text{ext}} \geq 0 \end{aligned}$$

Ce n'est pas si simple pour les roulements à contact oblique. En effet, les portées des billes étant oblique tout effort radial induit un effort axial : La direction de la résultante devant être voisine de la normale au contact des billes.

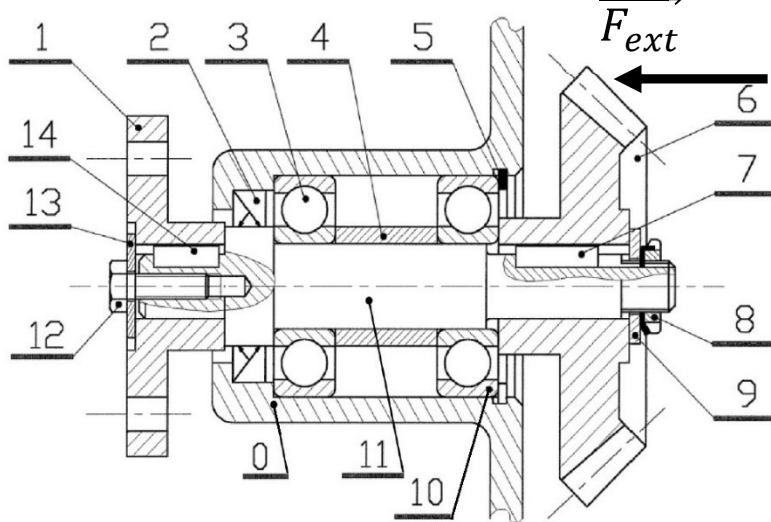
- Ainsi l'équation sera du type $\Rightarrow X_A + X_{\text{ext}} + X_B = 0$ avec $X_B < 0$ et $X_A > 0$

Cette équation ne se résout pas sans autre information, la liaison est hyperstatique d'ordre 1.

8 – ANALYSE DE QUELQUES EXEMPLES

8.1 – Pignon conique

Question 1 : Donner l'ordre de montage du mécanisme.

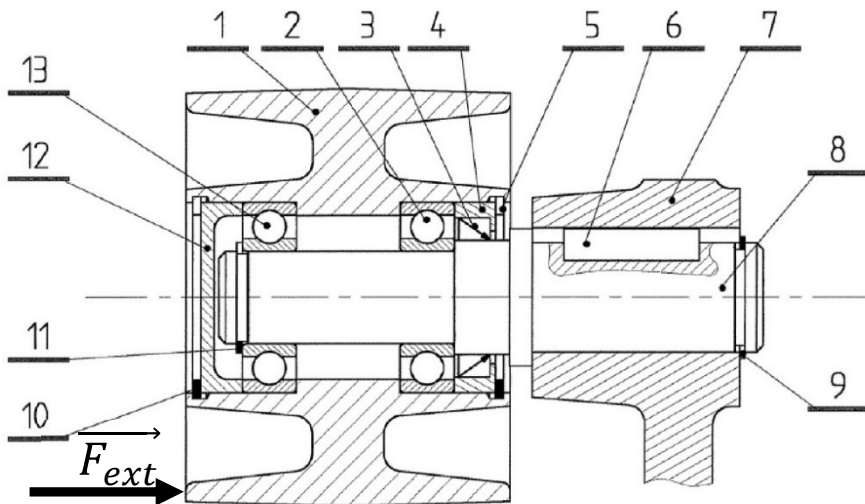


Question 2 : Si on applique $\overrightarrow{F_{ext}}$ sur 6 par quelles pièces l'effort va-t-il "passer" pour être transmis à l'arbre 9

Question 3 : Doit-on placer des cales de réglages pour éviter les doubles contacts ? Si oui à quel(s) endroit(s) ?

8.2 – Poulie

Question 1 : Donner l'ordre de montage du mécanisme.

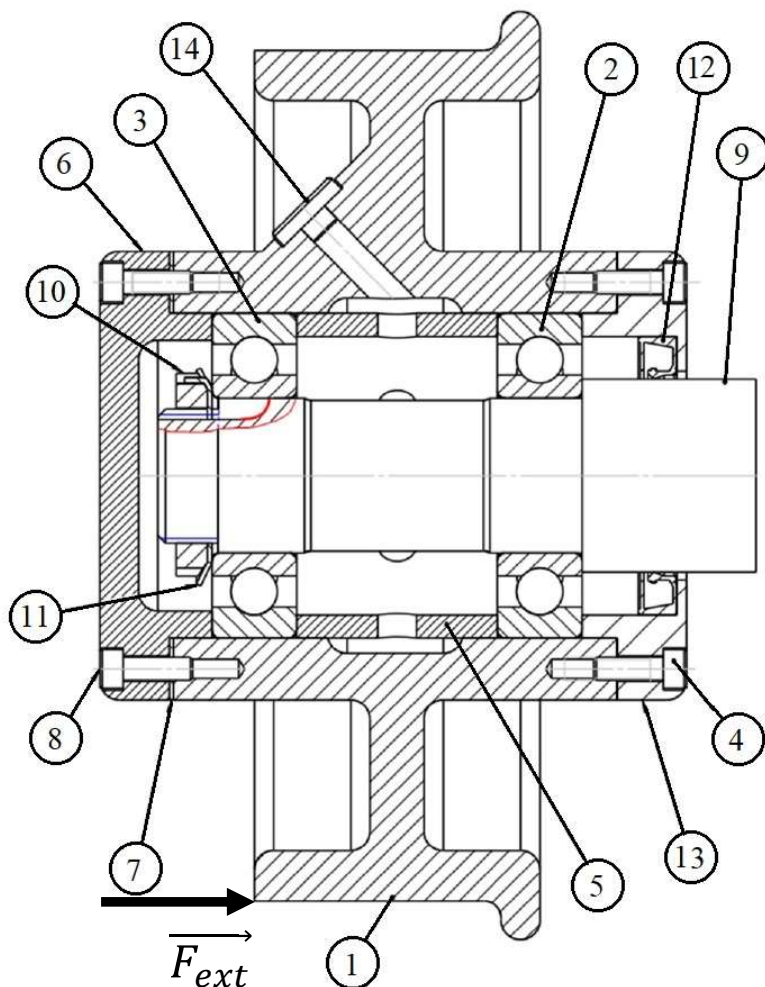


Question 2 : Si on applique $\overrightarrow{F_{ext}}$ sur 1 par quelles pièces l'effort va-t-il "passer" pour être transmis au bâti 7 ?

Question 3 : Doit-on placer des cales de réglages pour éviter les doubles contacts ? Si oui à quel(s) endroit(s) ?

8.3 – Roue de wagonnet

Question 1 : Donner l'ordre de montage du mécanisme.

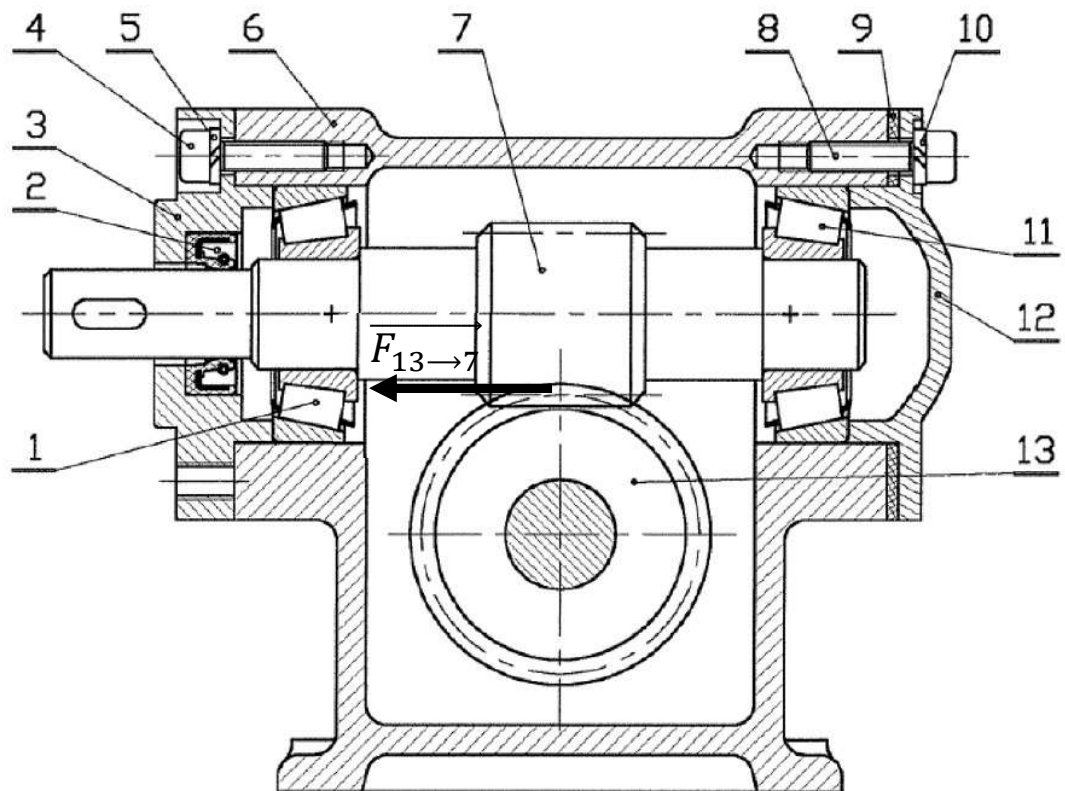


Question 2 : Si on applique $\vec{F}_{ext}$ sur la roue 1, par quelles pièces l'effort va-t-il "passer" pour être transmis à l'arbre 9

Question 3 : Doit-on placer des cales de réglages pour éviter les doubles contacts ? Si oui à quel(s) endroit(s) ?

8.4 – Réducteur à roue et vis sans fin

Question 1 : Donner l'ordre de montage du mécanisme.



Question 2 : Si on applique $\overrightarrow{F_{Gext}}$ sur la roue 1, par quelles pièces l'effort va-t-il "passer" pour être transmis à l'arbre 9

Question 3 : Doit-on placer des cales de réglages pour éviter les doubles contacts ? Si oui à quel(s) endroit(s) ?