

Projet de Construction Mécanique
Eléments de Machine
Composants de la Mécanique

Cours de Construction Mécanique ME-105
Deuxième Semestre - Première Année
Sections ELectricité et MatériauX

Organisation du Cours

14 séances:

1. Introduction
2. Cycle de Vie – Matériaux, Produit et Développement
3. Energie & Puissance
4. Matériaux
5. Frottement
- 6. Guidages**
7. Accouplements
8. Transmission de Mouvement et de Couple
9. Transformation de Mouvement
10. Ressorts

6. Guidages

6. Guidages

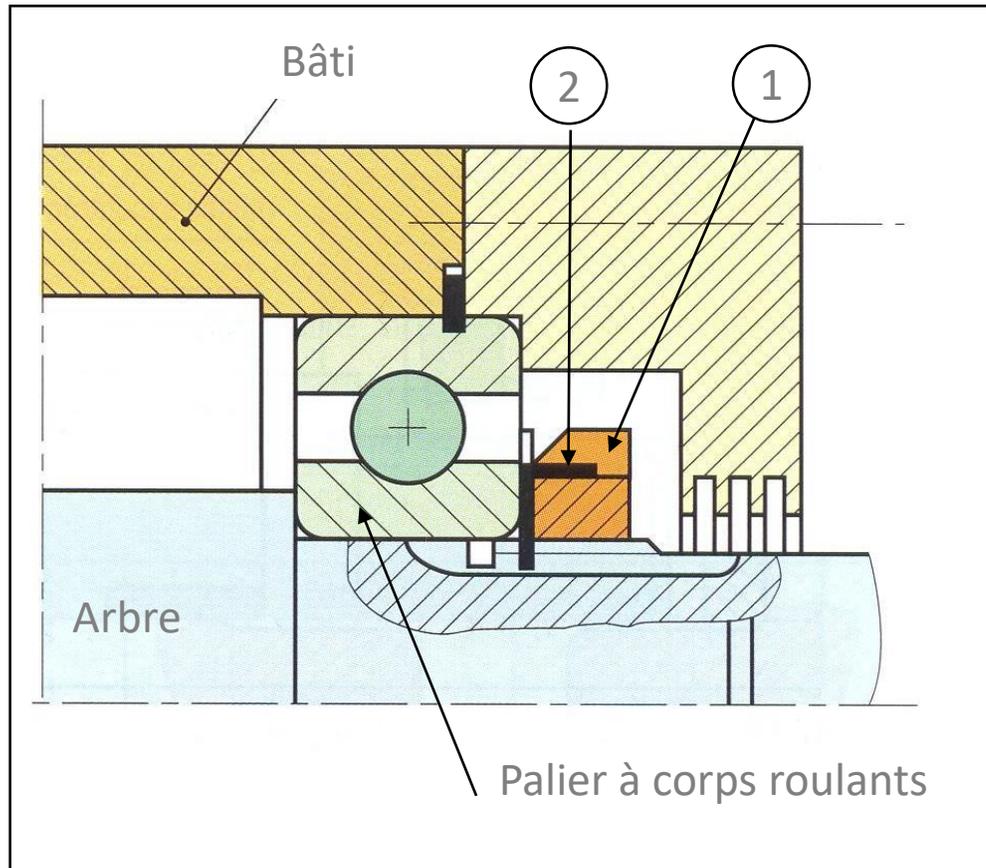
1. Rappels – Liaison et Degrés de Liberté
2. Introduction aux Guidages
3. Guidages Lisses
 1. Guidages en Rotation – Paliers Lisses, Coussinets, Rotules
 2. Guidages en Translation – Glissières a Frottement
4. Guidages Roulants
 1. Guidages en Rotation - Roulements
 2. Guidages en Translation – avec Eléments Roulants
5. Guidages sans contact

6.1. Guidages – Rappels – Liaisons et Degrés de Liberté

- Les degrés de liberté sont les **6 paramètres indépendants** qu'il est nécessaire d'imposer pour fixer uniquement la position d'un solide dans un référentiel absolu.
- En mécanique: une liaison est un élément (une intervention) externe qui retire un ou plusieurs degrés de liberté à un solide

6.1. Guidages – Rappels – Liaisons et Degrés de Liberté

Exemple : montage d'un arbre



- Quelle est la fonction:
 - Du palier à corps roulants dans ce montage?
 - De la pièce 1?
 - De la pièce 2?

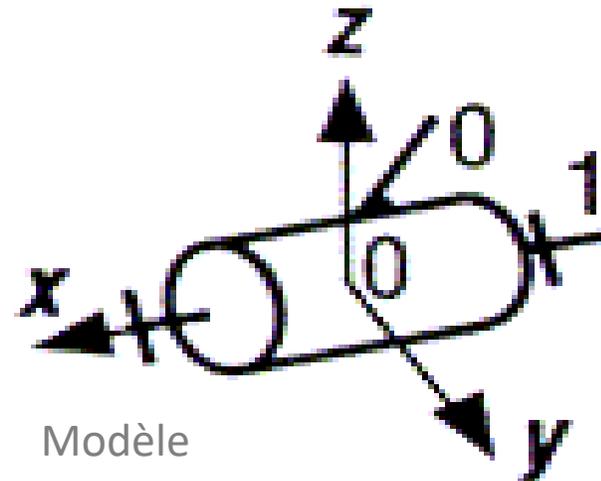
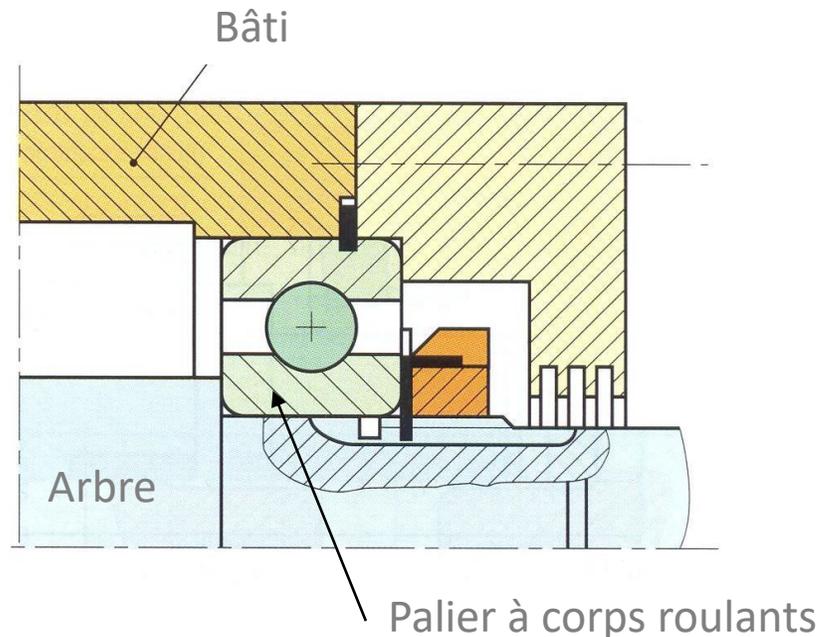
6.1. Guidages – Rappels – Liaisons et Degrés de Liberté

Exemple : montage d'un arbre



Liaison pivot – **Fonction:**

- Retire 5 DDL, rotation libre (cinématique)
- Impose/reprend cinq efforts - Couple selon x libre (statique)



6.1. Guidages – Rappels – Liaisons et Degrés de Liberté

Liaisons normalisées

Symboles des liaisons mécaniques NF EN 23952 / ISO 3952-1 NF EN ISO 3952-1						
Nom de la liaison	Translations	Rotations	Degrés de liberté	Principales représentations planes (orthogonales)	Représentation en perspective	Exemple
Encastrement ou liaison fixe	0	0	0	 variante 1 variante 2		 soudure
Pivot	0	1	1	 variante 1 variante 2		
Glissière	1	0	1	 *		
Hélicoïdale	1 + 1 Combinées (fonction du pas)	1	1	 * * filet à droite *		 écrou vis
Pivot glissant	1	1	2	 *		
Sphérique ou rotule à doigt	0	2	2	 *		 cannelures bombées

Symboles des liaisons mécaniques NF EN 23952 / ISO 3952-1 NF EN ISO 3952-1						
Nom de la liaison	Translations	Rotations	Degrés de liberté	Principales représentations planes (orthogonales)	Représentation en perspective	Exemple
Rotule ou sphérique	0	3	3			
Appui plan	2	1	3	 *		
Linéaire rectiligne *	2	2	4	 * *		
Sphère cylindre ou linéaire annulaire	1	3	4	 *		 sphère dans cylindre
Sphère-plan ou ponctuelle	2	3	5	 *		

(*) ancienne normalisation NF E 04-015.

6.2. Introduction aux Guidages

Depuis **l'invention de la roue**, différents types de paliers ont été mis au point à travers les âges :

- **palier lisse en bois**
- **palier à coussinets de bronze**
- **roulement à billes d'acier**
- **palier à air**
- etc.

chacun répondant aux besoins des machines de son époque, mais tous remplissant les mêmes fonctions fondamentales.

6.2. Introduction aux Guidages

Guidages:

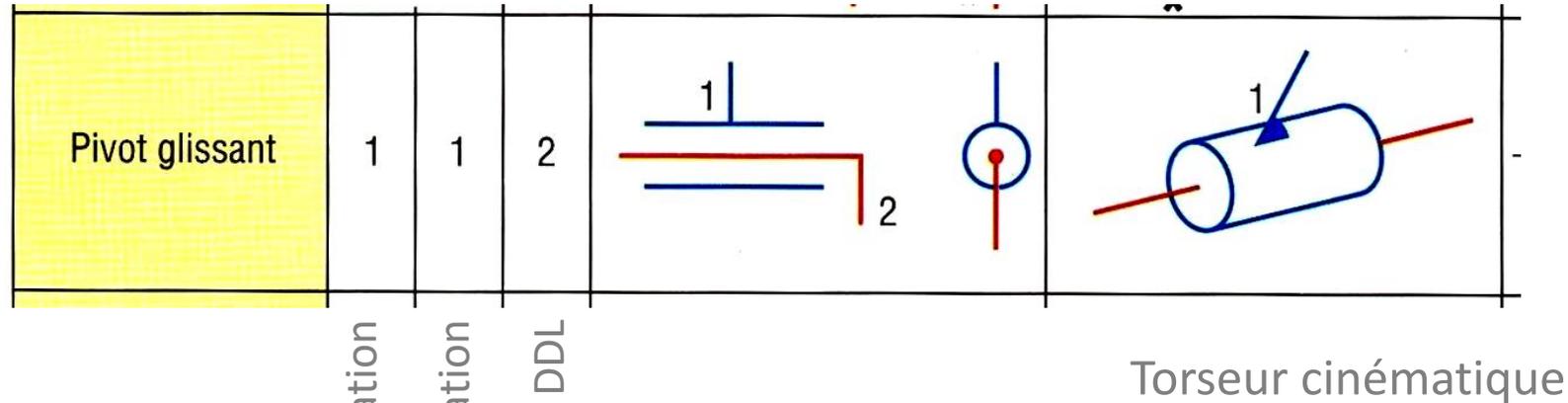
- Rotation
- Translation
- Par Glissement
- Par Roulement

Paliers = Guide de rotation:

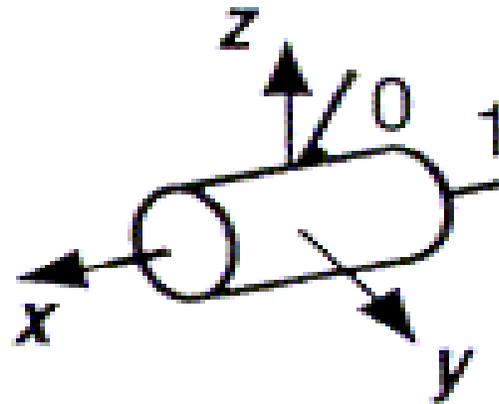
- Lisses = arbres sur des coussinets avec frottement de glissement entre surfaces contact
- Roulant ou à roulement = contact par l'intermédiaire de billes ou de rouleaux dans des cages avec frottement de roulement (plus grande charge sur les paliers et une plus grande vitesse de rotation)
- Sans Contact

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Liaison normalisée: pivot glissant



- Pas de frottement
- Pas de jeu
- Géométrie parfaite



$$V_{1/0} = \left\{ \begin{array}{cc} \Omega_x & V_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_O$$

Rotation
Translation

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation



Coussinets

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

<http://www.ggbearings.com/en>

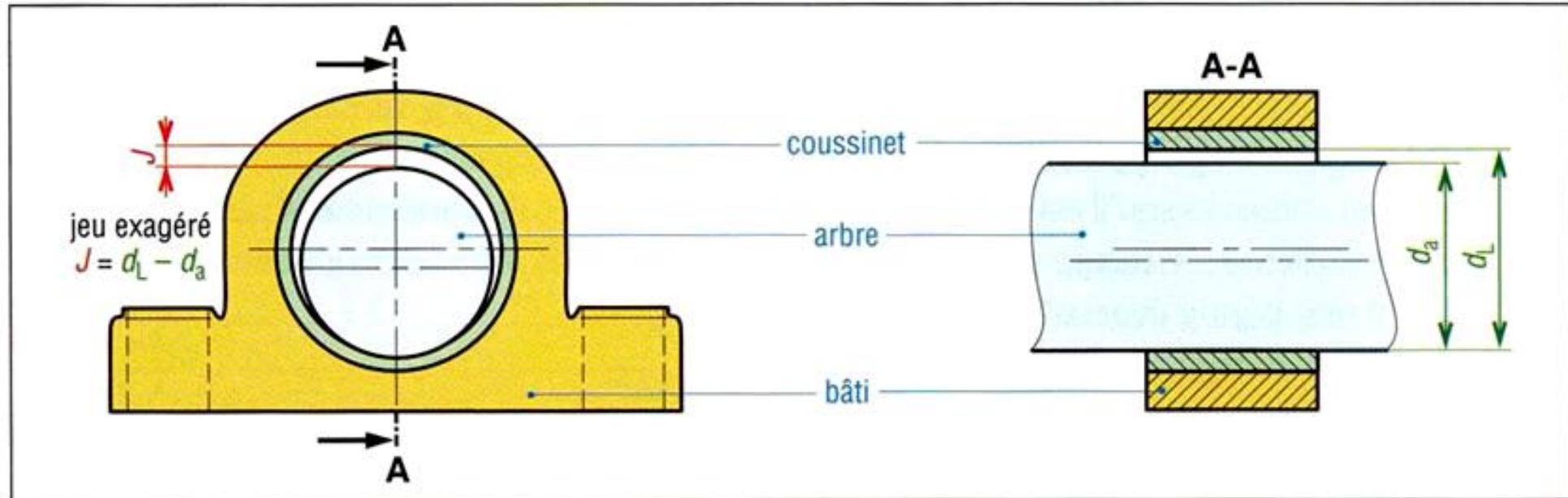


http://www.soltri.com/eng/htm/sub1_1.asp#

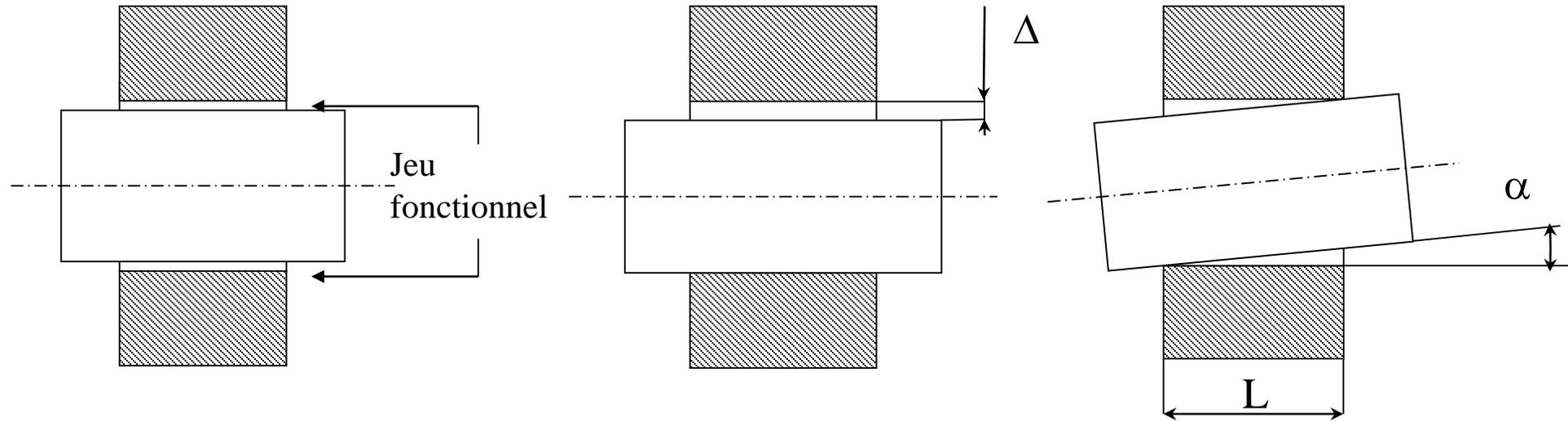
Paliers lisses radiaux = bagues cylindriques, coussinets
Paliers lisses axiaux = butées lisses

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Principe et géométrie



6.3.1. Guidages Lisses en Rotation



25 H7 D maxi = 25,021
D mini = 25,000
25 g6 d maxi = 24,993
d mini = 24,982

$$\Delta = D - d$$

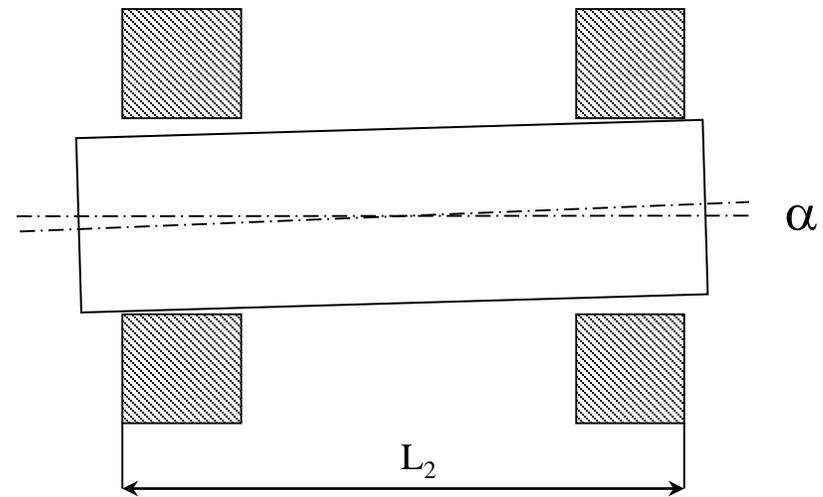
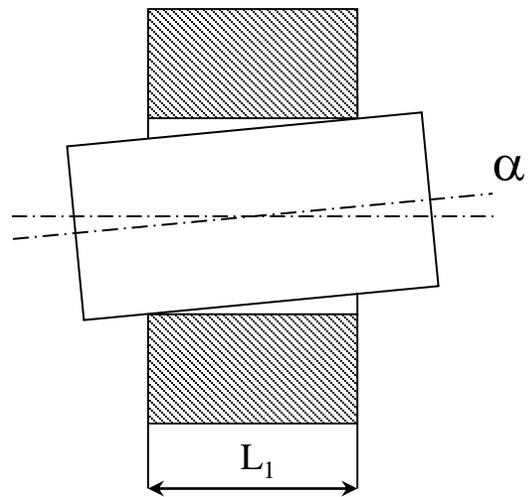
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{L}$$

$$\Delta = 7 \text{ à } 39 \mu\text{m}$$

$$\alpha = 1 \text{ à } 6'$$

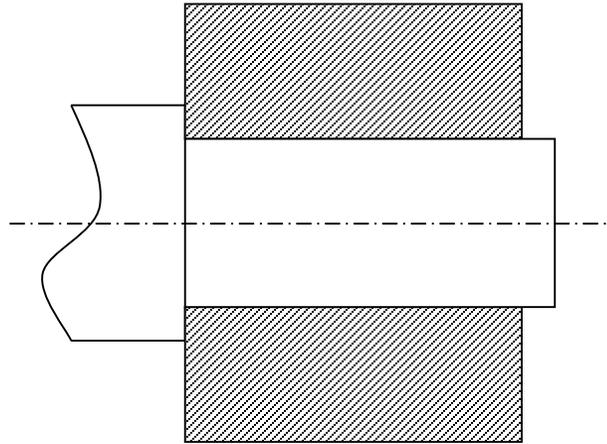
6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Liaison pivot glissant - Palier

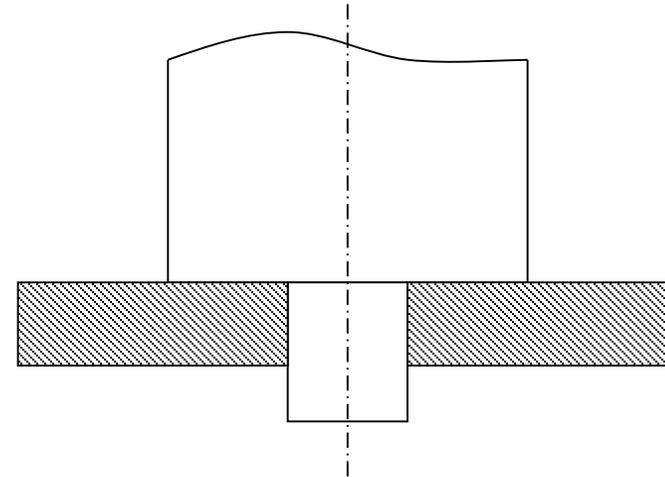


6.3.1. Guidage Lisses en Rotation

Liaison pivot – Palier et butée

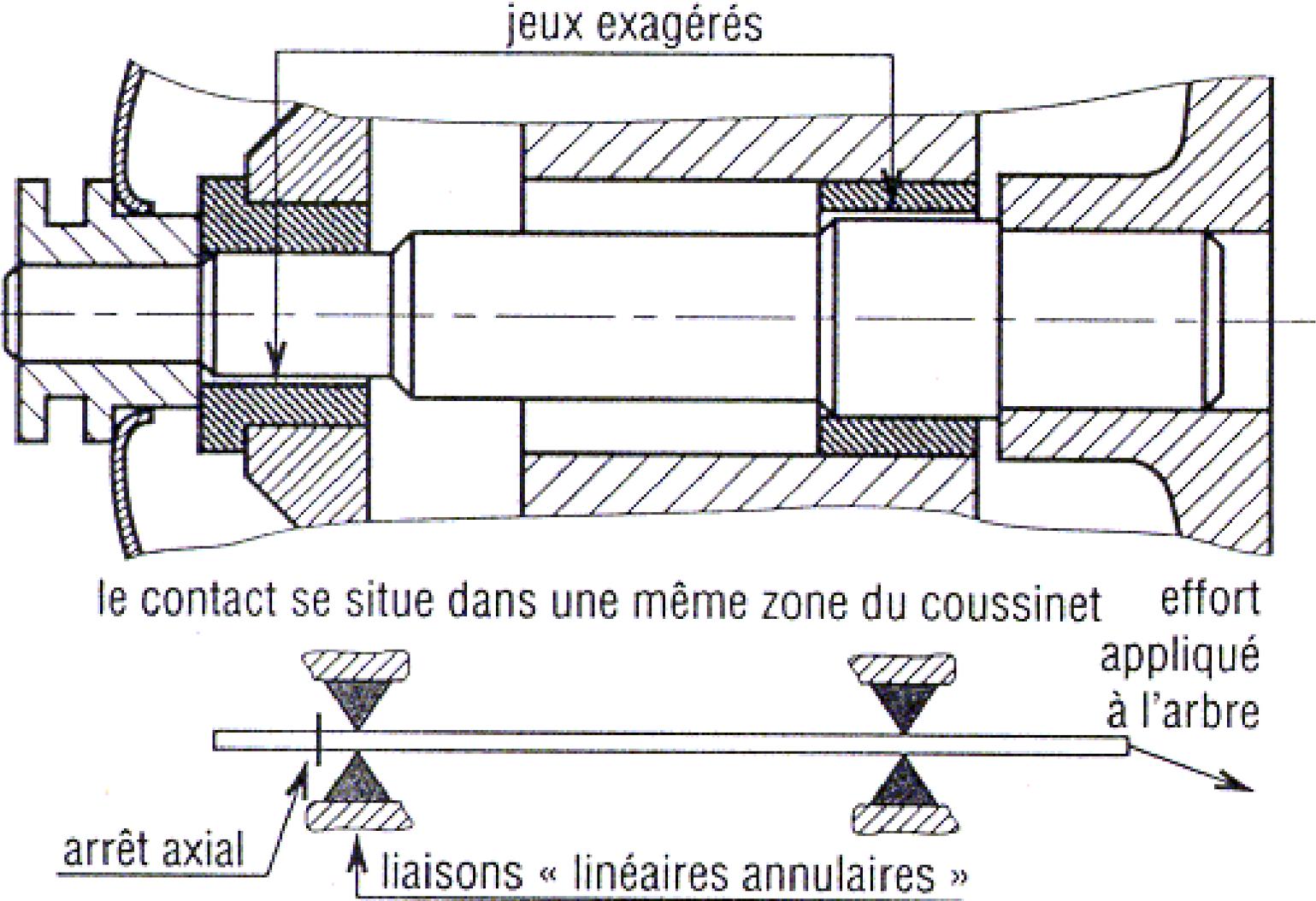


pivot glissant
+
ponctuelle ou plane



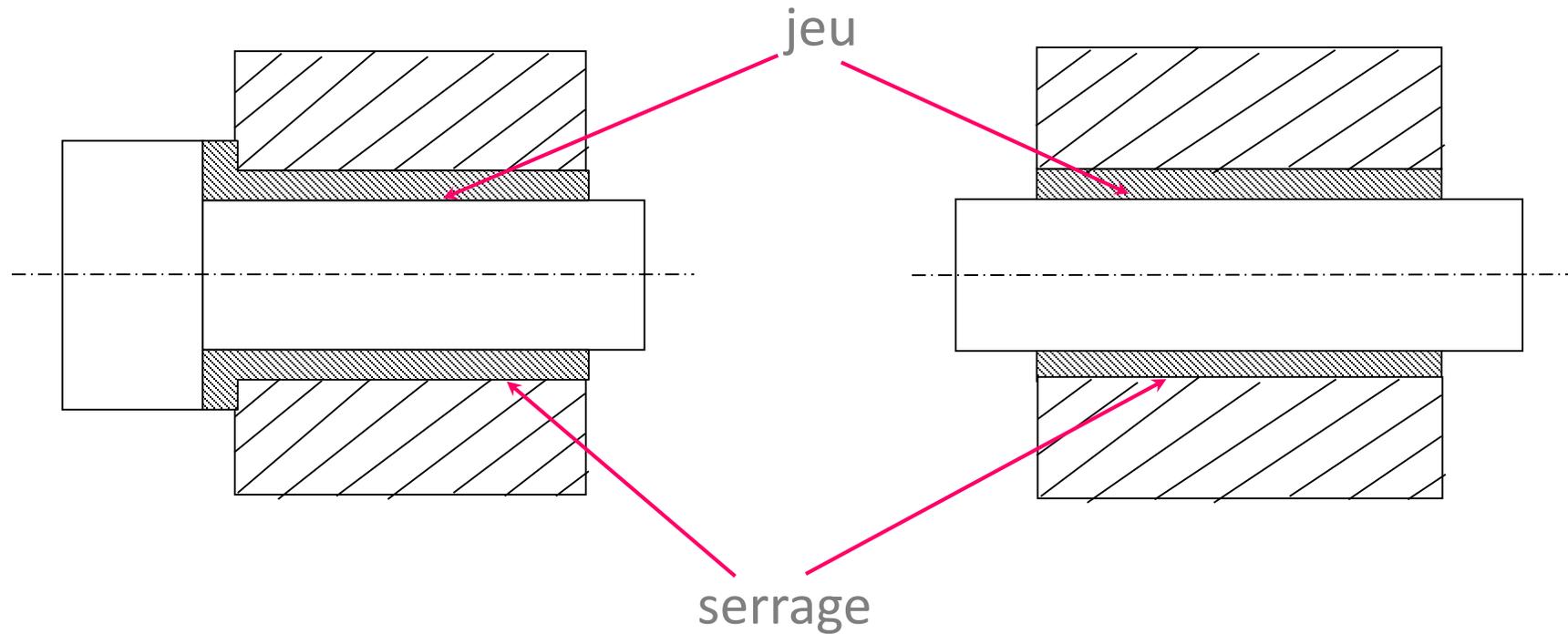
plane
+
linéaire circulaire

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation



6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

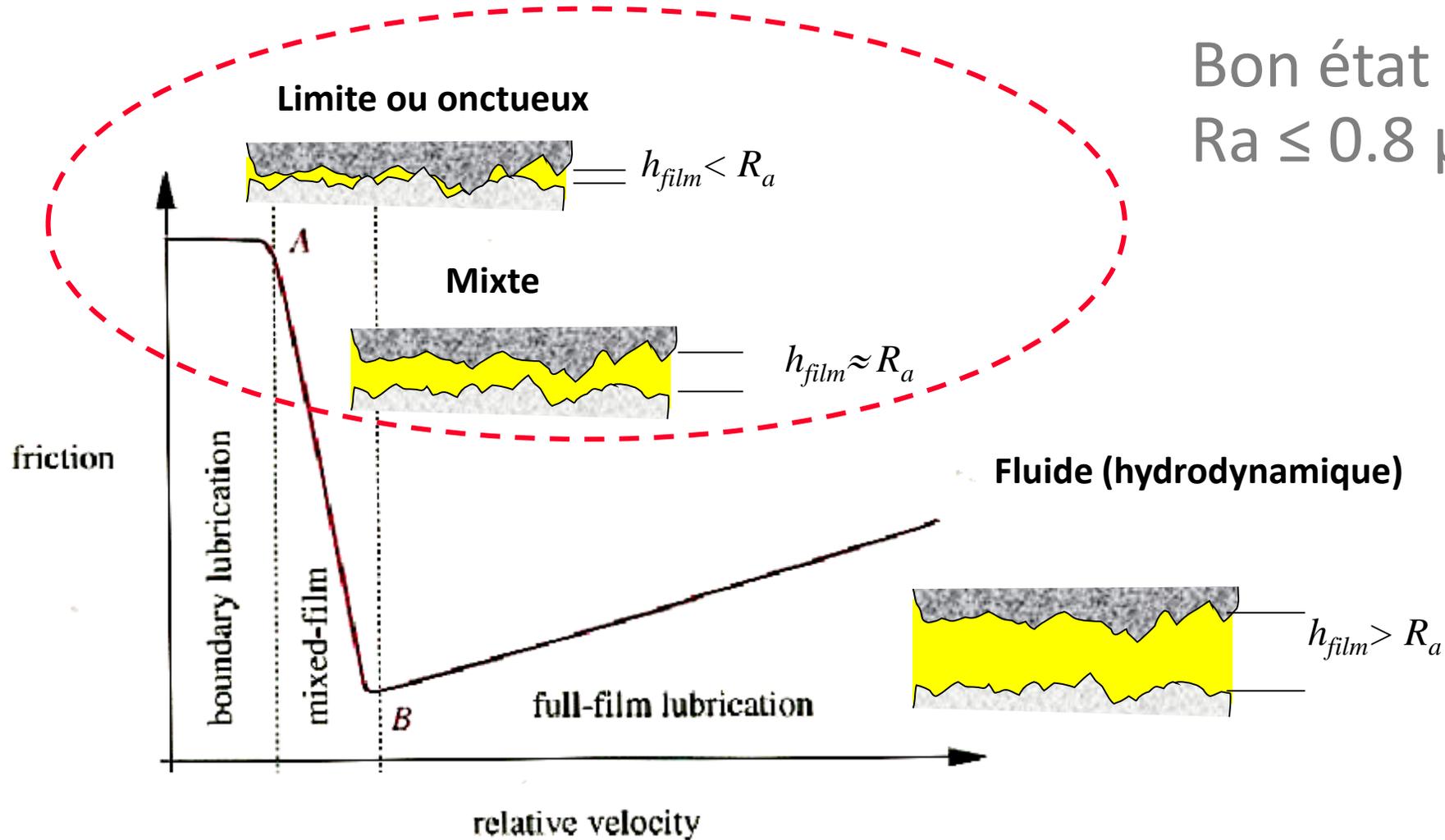
Principe



Serrage sauf grande vitesse: les coussinets tournent mais usure rapide

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

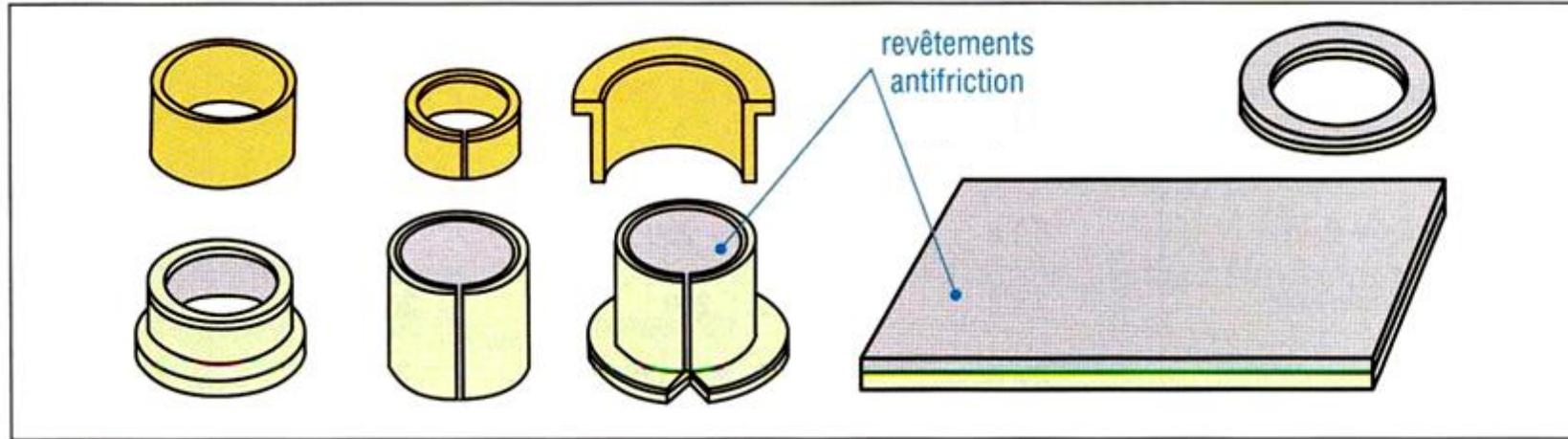
Régimes de lubrification – Guidage avec Frottement



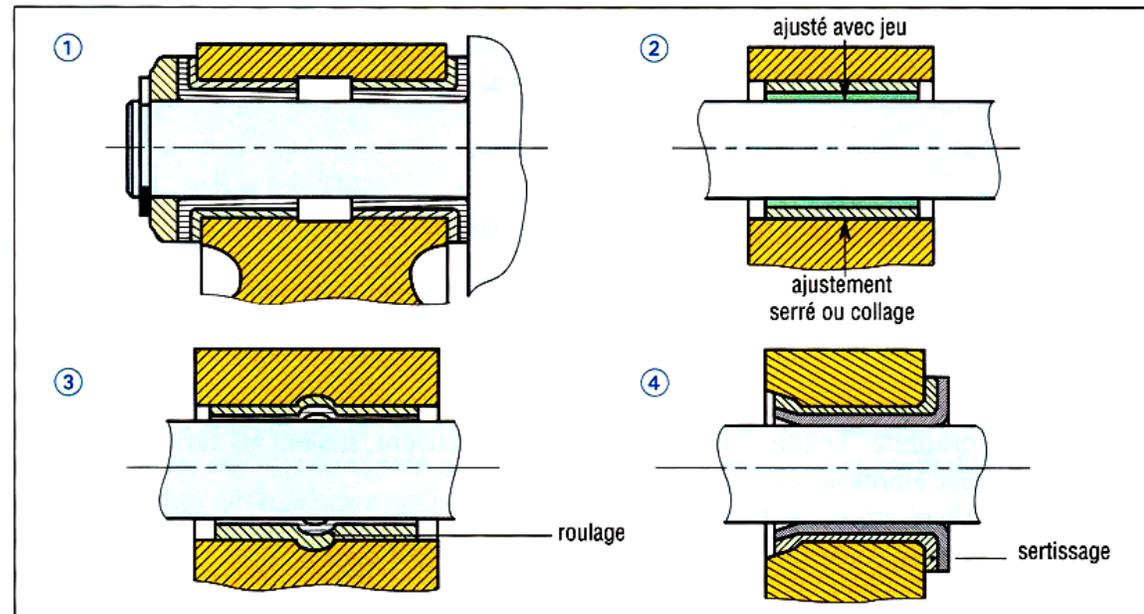
Bon état de surface:
 $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Types et montages



- Coussinets
 - Autolubrifiants
 - Composites, glacier



6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Matériaux – Attention au grippage arbre/coussinet

Grippage:

Acier	Aluminium
Acier	Chrome
Acier	Nickel
Aluminium	Aluminium
Aluminium	Argent
Aluminium	Chrome
Aluminium	Nickel
Aluminium	Cuivre
Cuivre	Argent
Cuivre	Chrome
Cuivre	Etain
Cuivre	Nickel

Bonne résistance au grippage:

Acier	Antimoine
Acier	Argent
Acier	Bronze
Acier	Etain

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Matériaux:

- Bon état de surface
- Résistance au grippage
- Compatibilité lubrifiant
- Faible coefficient de frottement
- Usure minimale et progressive
- Facilement remplaçable

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Bagues roulées:

- Bande d'acier + revêtement roulée
- Fente: montage facile, réserve de lubrifiant



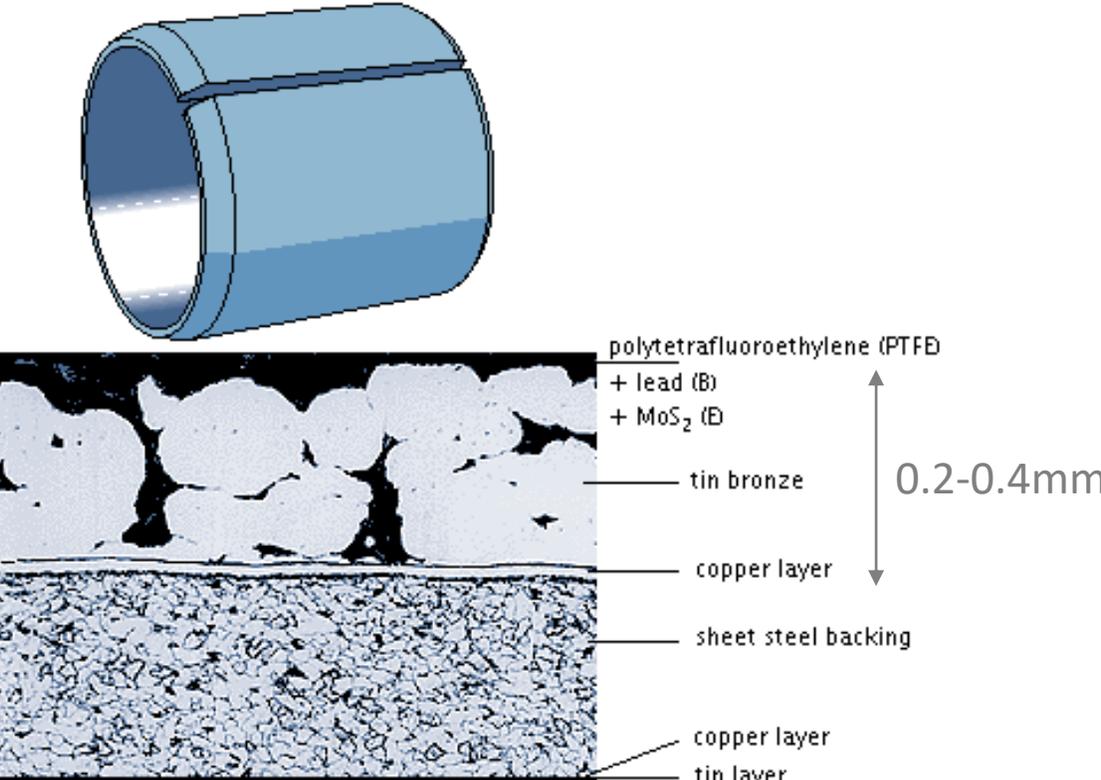
Coussinets frittés:

- Poreux dits autolubrifiants
- Bronze (Cu+Sn (étain)) ou alliages ferreux
- Montage par frettage (montage presse)
- Coefficient de frottement hydrodynamique 0.01-0.08
- Vitesses 0.3-6m/s – Pressions < 100MPa – Températures -20-100°C
- Graphite jusqu'à 13m/s

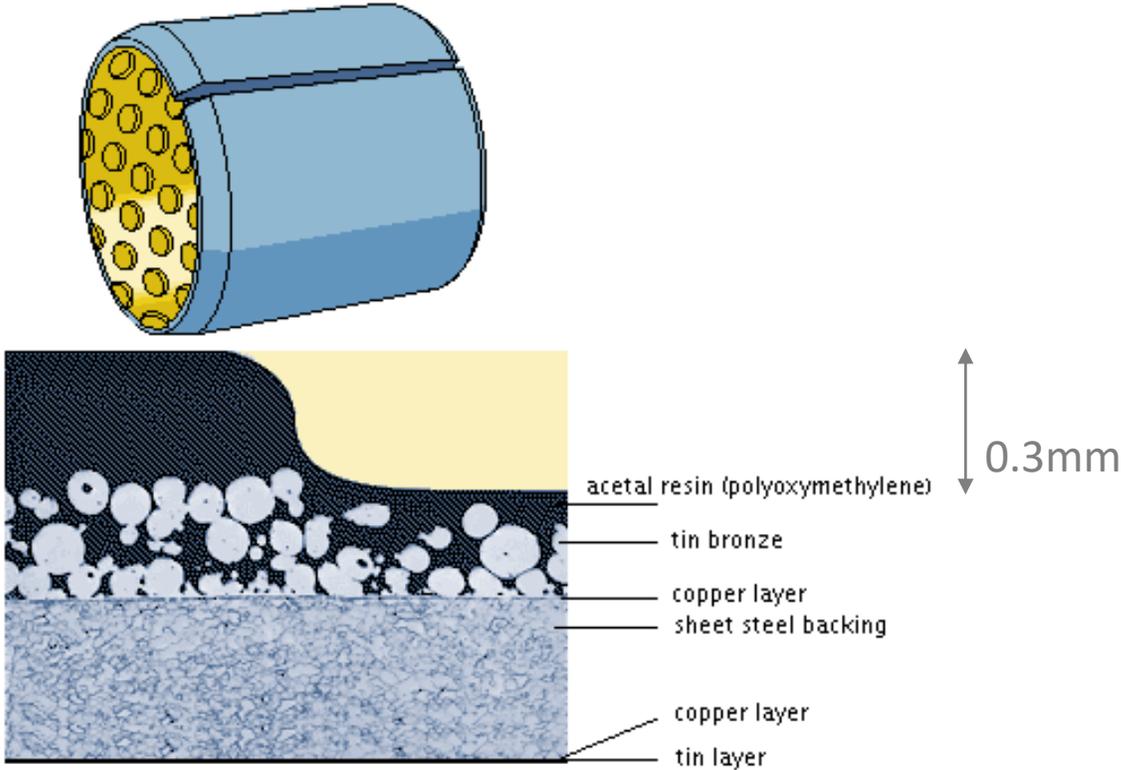


6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Matériaux



Glycodur F (Glacier PTFE)



Glycodur A/AB (Glacier acétal)

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Matériaux

Metal-Polymer



DP4™

DP10™
 DP11™
 DP31™
 DP4-B™
 DS™
 DU-B™
 DU®
 DX®10
 HI-EX®



DTS10™



DX®

Solid Polymer



EP22™

EP12™
 EP44™
 EP64™
 EP73™
 EP79™
 EP™
 KA™
 Glacetal
 Multilube™



EP43™



EP63™

Filament Wound



HSG™

GAR-FIL®
 HPF™
 HPM™
 MLG™
 Multifil™
 SBC™ with
 GAR-MAX®
 SBC™ with
 HSG™



GAR-MAX®



MEGALIFE®
 XT

Bushing Blocks and Thrust Plates



PICAL 2™

PICAL 3™



SICAL 3D™



SICAL 3™

Metals and Bimetals



DB™

GGB-CBM™
 LDD™
 LD™
 MBZ-B09™
 Sintered
 Bronze
 Solid Bronze
 SP™



GGB-CSM™



SY™

Assemblies



EXALIGN™



MINI™

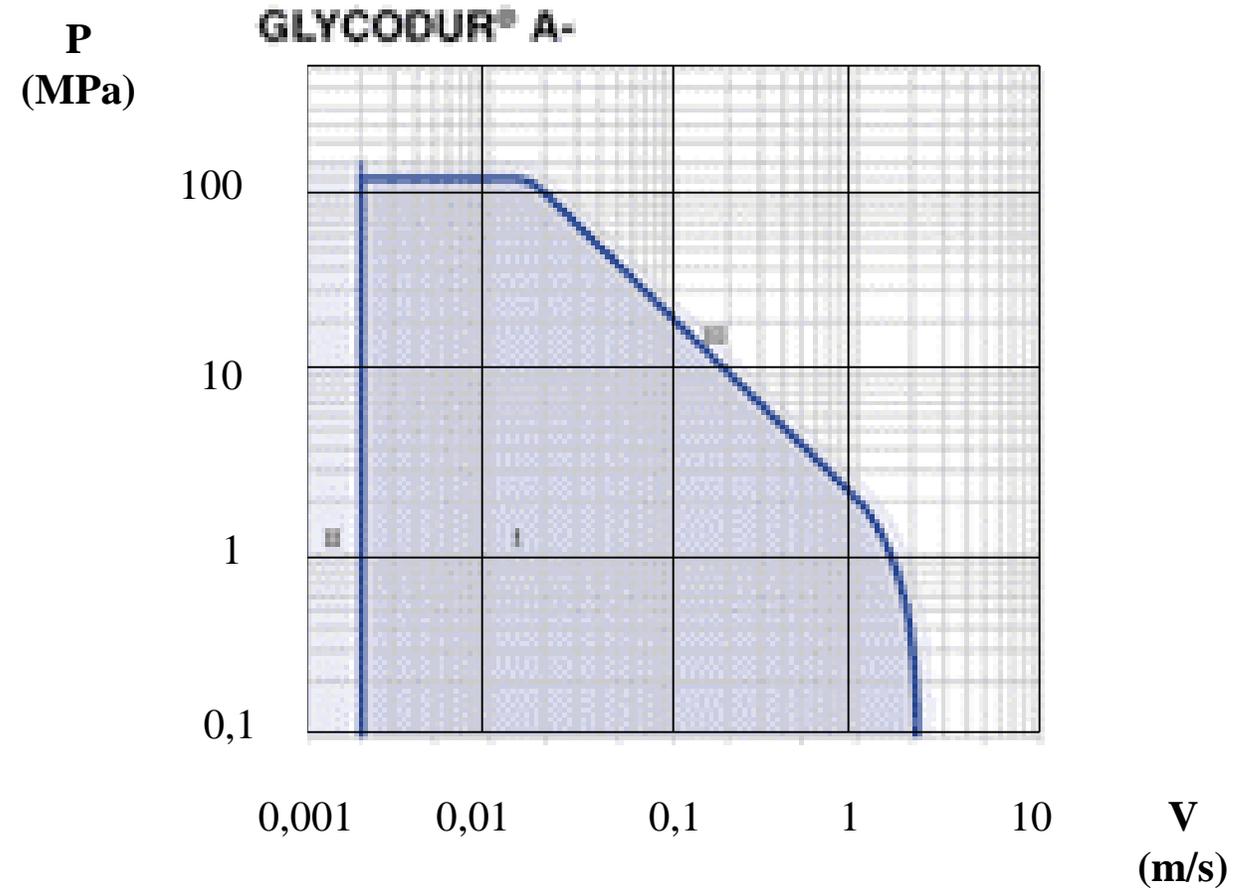


UNI™

<http://www.ggbearings.com/en>

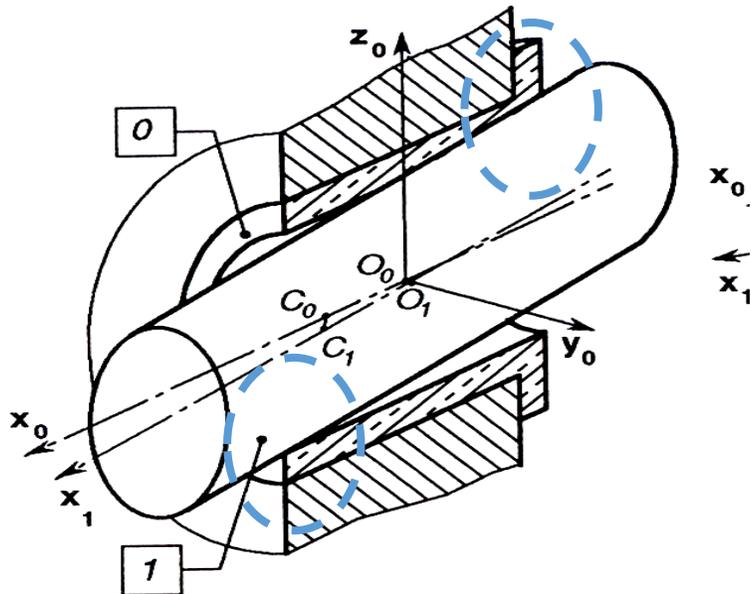
6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Domaine d'application:

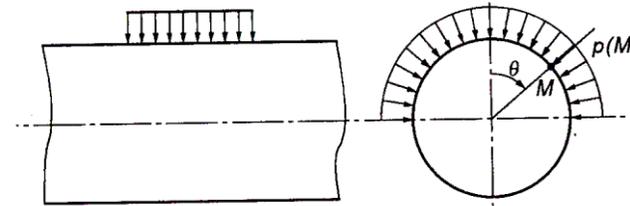


6.3.1 Guidages Lisses en Rotation

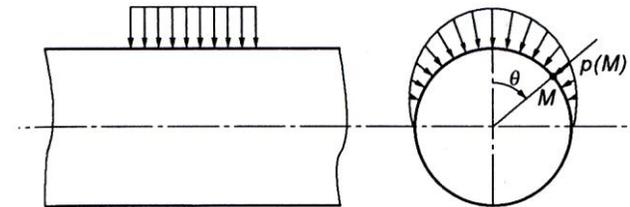
Positionnement de l'arbre dans le palier et distribution de pression



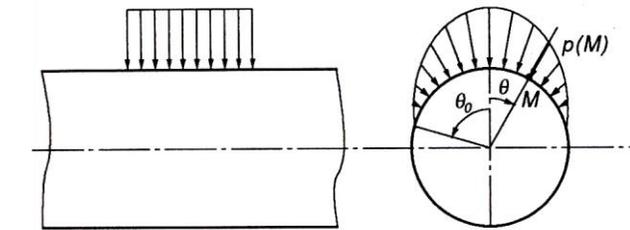
Modèle 1



Modèle 2

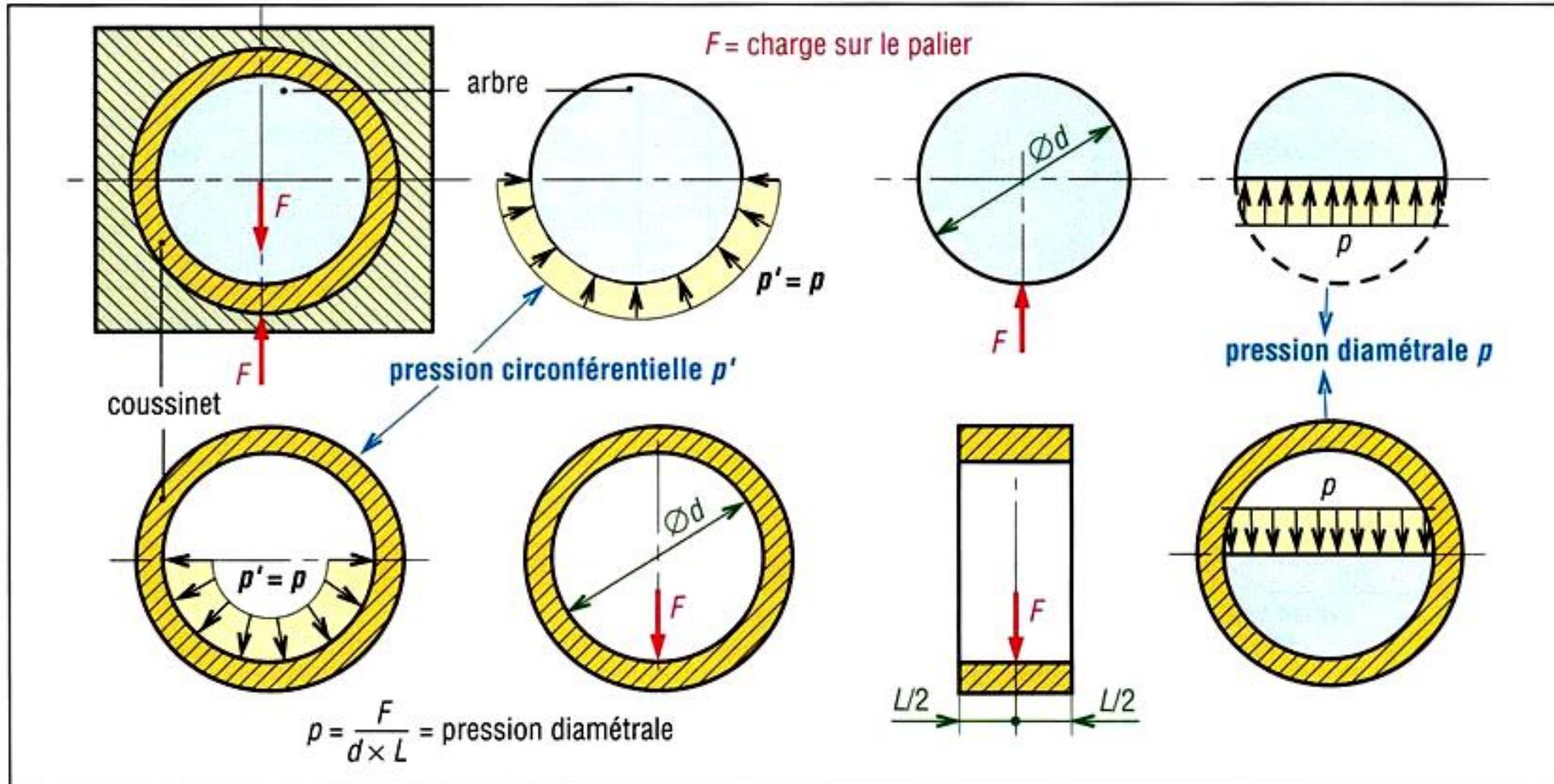


Modèle 3



6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Distribution de pression : modèle grossier, pression diamétrale



6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Éléments de calcul des coussinets en régime onctueux

- Paramètre de fonctionnement
 - p pression diamétrale [MPa],
 - V vitesse circonférencielle [m/s]
 - Facteur ou produit pV [W/m^2] \rightarrow \sim puissance spécifique dissipée
- Paramètre résultant
 - T température d'interface [$^{\circ}C$]
- Pression diamétrale: $p = \frac{F}{dL}$
- Coefficient de frottement: μ
- Vitesse circonférencielle: $V = \omega \frac{d}{2}$
- Surface de contact: $A = \frac{\pi dL}{2}$
- Puissance dissipée: $P = \mu \cdot pA \cdot V = \mu \frac{F}{dL} \frac{\pi dL}{2} \omega \frac{d}{2} = \mu F \pi \omega \frac{d}{4}$
- Taux d'usure proportionnel à pV

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Performances

Performances indicatives comparatives des coussinets usuels						
type du coussinet	vitesse maxi admissible (m/s)	températures limites de fonctionnement (°C)	pression admissible en fonctionnement (N/mm ²)	produit pV admissible (N/mm ²). (m/s)		
glacier acétal	2 à 3	- 40 à 110	70	3		
glacier PTFE	2 à 3	-200 à 280	50	1,8 à 3,6		
graphite	13	400	5	0,5		
bronze-étain	7 à 8	> 250	7 à 35	1,7		
bronze-plomb	7 à 8	250	20 à 30	1,8 à 2,1		
Nylon	2 à 3	-80 à 120	7 à 10	0,1 à 0,3		
acétal	2 à 3	-40 à 100	7 à 10	0,1		
Coussinets glacier usuels : performances indicatives						
Type fonctionnement	Composition	Températures d'utilisation	Pression statique admissible	Vitesse maximale admissible	Produit pV maxi N/mm ² · m/s	Exemple
Glacier PTFE : sans entretien à sec	PTFE + Pb + bronze...	- 200 à 280° C	250 N/mm ²	2 à 3 m/s	$pV_{\text{continu}} : 1,8$ $pV_{\text{temporaire}} : 3,6$ ($p < 140 \text{ N/mm}^2$)	INA : permaglidle P1 SIC : DU SKF : glycodur F...
Glacier acétal : entretien réduit, avec lubrification	résine acétal, PVDF, PTFE, Pb, bronze...	- 40 à 110° C	250 N/mm ²	2 à 3 m/s	$pV_{\text{continu}} : 3$ ($p < 140 \text{ N/mm}^2$)	INA : permaglidle P2 SIC : DX SKF : glycodur A...

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Exemple de Coussinet en Bronze



Cuivre	87,5 – 90,5
Fer	1,0 max
Plomb	
Carbone	1,75 max
Etain	9,5 – 10,5
Autres	0,05

Densité (g/cm³)	6,4 – 6,8
Limite élastique (MPa)	100
Porosité (%)	19 mini
P V max (MPa . m/min)	100

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Exemple de Coussinet en Acier + Revêtement Bronze PTFE

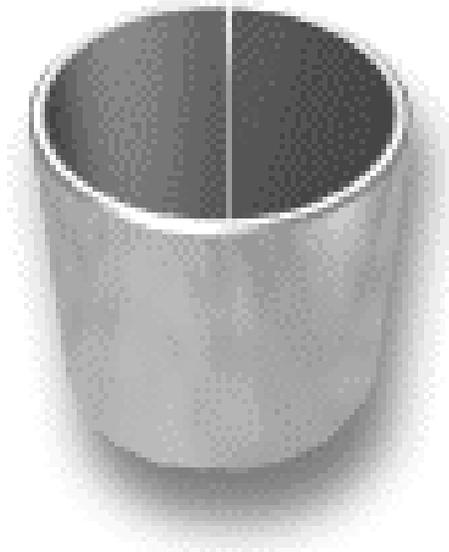


Acier
Bronze
Téflon (PTFE)

Température (°C)	- 240 / + 290
Vitesse (m/min)	300 maxi
Pression (MPa)	140 maxi
P V max (MPa . m/min)	100 (à sec)
	600 (lubrifié)

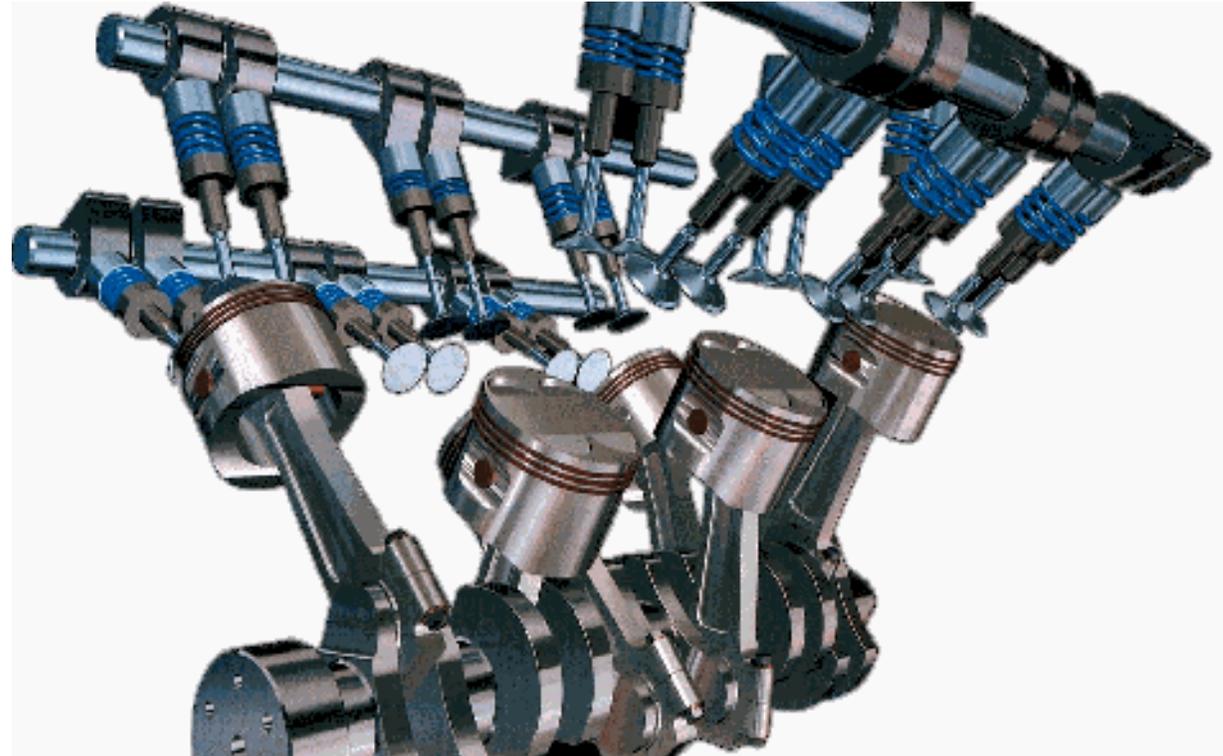
6.3.1. Guidages Lisses en Rotations

Usure



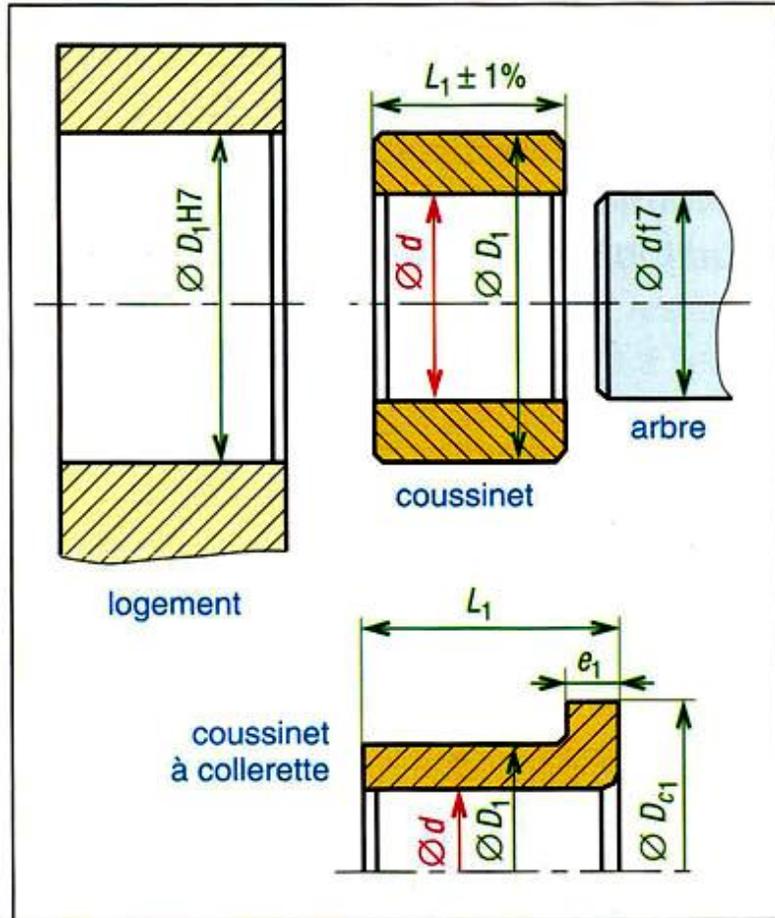
6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Application automobile

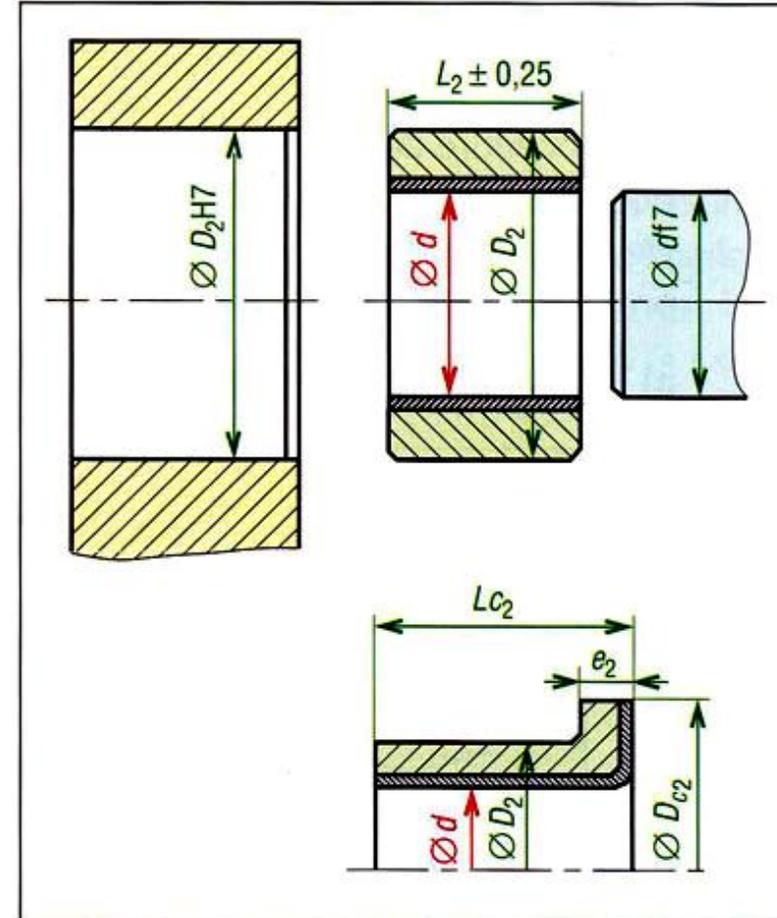


6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Dimensions normalisées



Coussinets frittés auto lubrifiants



Coussinets glaciers

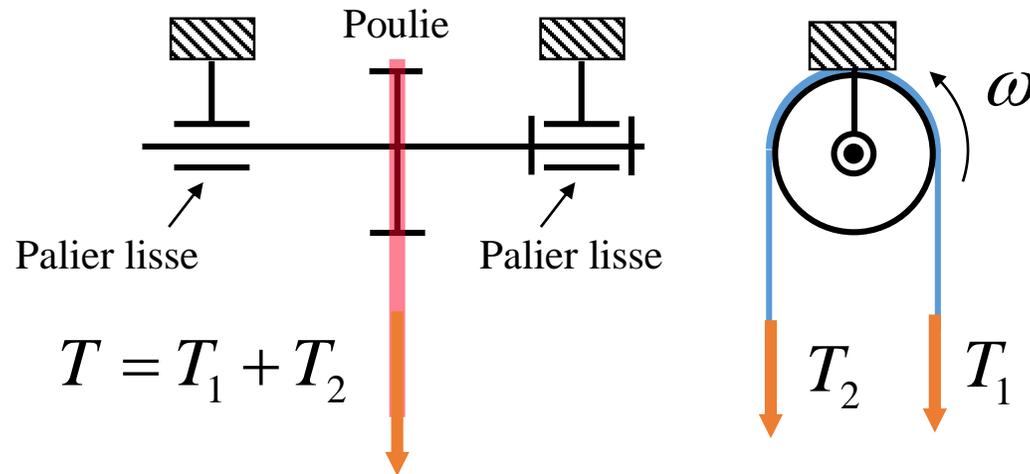
6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Dimensions normalisées

Coussinets – extrait de dimensions normalisées (mm)															
Frittés autolubrifiants NFE 22-510					Massifs en allages cuivre NF ISO 4379					Coussinets glacier (dimensions INA, SIC, SKF...)					
<i>d</i>	<i>D</i> ₁	<i>Dc</i> ₁	<i>e</i> ₁	<i>L</i> ₁	<i>d</i>	<i>D</i> ₁	<i>Dc</i> ₁	<i>e</i> ₁	<i>L</i> ₁	<i>d</i>	<i>D</i> ₂	<i>L</i> ₂	<i>Dc</i> ₂	<i>e</i> ₂	<i>Lc</i> ₂
3	6	9	1,5	4	6	12	14	3	6-10	3	4,5	3-5-6			
4	8	12	2	3-4-6	8	14	18	3	6-10	4	5,5	3-4-6-10			
5	9	13	2	4-5-8	10	16	20	3	6-10	5	7	5-8-10			
6	10	14	2	4-6-10	12	18	22	3	10-15-20	6	8	6-8-10	12	1	4-8
8	12	16	2	6-8-12	14	20	25	3	10-15-20	8	10	6-8-10-12	15	1	5,5-7,5-9,5
9	14	19	2,5	6-10-14	15	21	27	3	10-15-20	10	12	8-10-12-15-20	18	1	7-9-12-17
10	16	22	3	8-10-16	16	22	28	3	12-15-20	12	14	8-10-12-15-20	20	1	7-9-12-17
12	18	24	3	8-12-20	18	24	30	3	12-20-30	14	16	8-10-12-15-20	22	1	12-17
14	20	26	3	10-14-20	20	26	32	3	15-20-30	15	17	10-12-15-20-25	23	1	9-12-17
15	21	27	3	10-15-25	22	28	34	3	15-20-30	16	18	10-12-15-20-25	24	1	12-17
16	22	28	3	12-16-25	25	32	38	4	20-30-40	18	20	15-20-25	26	1	12-17-22
18	24	30	3	12-18-30	28	36	42	4	20-30-40	20	23	10-15-20-25-30	30	1,5	12-17-22
20	26	32	3	15-20-25	30	38	44	4	20-30-40	22	25	15-20-25-30			11,5-16,5-21,5
22	28	34	3	15-20-25	32	40	46	4	20-30-40	25	28	15-20-25-30-40	35	1,5	11,5-16,5-21,5
25	32	39	3,5	20-25-30	35	45	50	5	30-40-50	28	32	15-20-25-30			
28	36	44	4	20-25-30	38	48	54	5	30-40-50	30	34	15-20-25-30-40	42	2	16-26
30	38	46	4	20-25-30	40	50	58	5	30-40-60	35	39	20-30-35-40-50	47	2	16-26
32	40	48	4	20-25-30	42	52	60	5	30-40-60	40	44	20-30-40-50	52	2	16-26
35	45	55	5	25-35-40	45	55	63	5	30-40-60	45	50	20-30-40-45-50			
38	48	58	5	25-35-45	48	58	66	5	40-50-60	50	55	20-30-40-50-60			
40	50	60	5	30-40-50	50	60	68	5	40-50-60	55	60	20-25-30-40-50			
45	55	65	5	35-45-55	55	65	73	5	40-50-70	60	65	20-30-40-60-70			
50	60	70	5	35-50	60	75	83	7,5	40-60-60	65	70	30-50-70			
55	65	75	5	40-55	65	80	88	7,5	50-60-80	70	75	40-50-70			
60	72	84	6	50-60-70	70	85	95	7,5	50-70-90	75	80	60-80			
					75	90	100	7,5	50-70-90	80	85	60-100			
					80	95	105	7,5	60-80-100	85	90	30-60-100			
Tolérance : <i>D</i> logement : H7 ; après emmanchement, <i>D</i> bague : H7 ou H8 si <i>D</i> ≥ 50 ; <i>Dc</i> , <i>ac</i> et <i>L</i> : js13 ; concentricité <i>d/D</i> IT9 ; chanfreins à 45°					Tolérance : <i>D</i> logement H7 ; <i>D</i> bague : s6 et <i>d</i> : E6 (H8 après emmanchement) ; <i>Dc</i> : d11 ; <i>L</i> : h13 ; concentricité <i>d/D</i> : IT8 ; chanfreins à 45° ; <i>Ra</i> , <i>d</i> et <i>D</i> : 1,6 μm					Tolérance : <i>D</i> logement H7 ; longueur <i>L</i> ± 0,25 ; <i>d</i> arbre : f7 avec <i>Ra</i> ≤ 0,4 μm					

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Application: Dimensionnement d'un palier lisse



Données:

Palier lisse glacier: INA permaglidle, PTFE+Pb+bronze
 Diamètre intérieur $d=40\text{mm}$, Largeur $L=40\text{mm}$
 Diamètre de la poulie: $D_p=200\text{mm}$

Énoncé:

Une poulie est entraînée par une courroie transmettant les tensions T_1 et T_2 dans ses deux brins. La poulie est montée sur un arbre tournant à une vitesse $\omega=800\text{ tr/min}$ dans deux paliers lisses de type coussinet glacier sec.

- Déterminer la charge maximum $T = T_1 + T_2$ qui peut être appliquée à la courroie en tenant compte de toutes les conditions de fonctionnement: p_{max} , $(pv)_{max}$, v_{max}
- Quelle est la condition la plus restrictive? On ne considère pas la flexion de l'arbre.

Vitesse maximale admissible	Produit pv maxi $\text{N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$	Exemple
2 à 3 m/s	$p_{v\text{continu}} : 1,8$ $p_{v\text{temporaire}} : 3,6$ ($p < 140\text{ N/mm}^2$)	INA : permaglidle P1 SIC : DU SKF : glycodur F...

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Application: Dimensionnement d'un palier lisse

Solution:

1. 1. Pression dynamique maximale sur un palier:

$$p_{max} = 140 \text{ N/mm}^2 = \frac{T/2}{dL} \text{ car 2 paliers se repartissent } T$$

On calcule T pour p_{max} :

$$T = 2 \times 140 \times 40 \times 40 = 448 \text{ kN}$$

2. Vitesse circonférentielle maximale: $v_{max} = 3 \text{ m/s}$

On calcule v réelle pour $v = 800 \text{ tr/min}$:

$$v = \omega \cdot \frac{d}{2} = 800 \times \frac{2\pi}{60} \times 20 \times 10^{-3} = 1.6 \text{ m/s}$$

On a donc: $v < v_{max}$

3. Produit pv maximum: $(pv)_{max} = 1.8 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$

On calcule $p_{max} \cdot v$:

$$p_{max} \cdot v = 140 \times 1.6 = 224 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s} > (pv)_{max} = 1.8 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$$

On calcule p admissible pour v réelle:

$$p_{adm} = (pv)_{max} / v = 1.8 / 1.6 = 1.125 \text{ N/mm}^2 \text{ d'où } T \text{ pour } p_{adm} :$$

$$T_{adm} = 2 \times 1.125 \times 40 \times 40 = 3.6 \text{ kN}$$

2. La condition la plus restrictive est celle du produit $(pv)_{max}$.

Vitesse maximale admissible	Produit pv maxi N/mm ² · m/s	Exemple
2 à 3 m/s	$pV_{\text{continu}} : 1,8$ $pV_{\text{temporaire}} : 3,6$ ($p < 140 \text{ N/mm}^2$)	INA : permaglide P1 SIC : DU SKF : glycodur F...

Données:

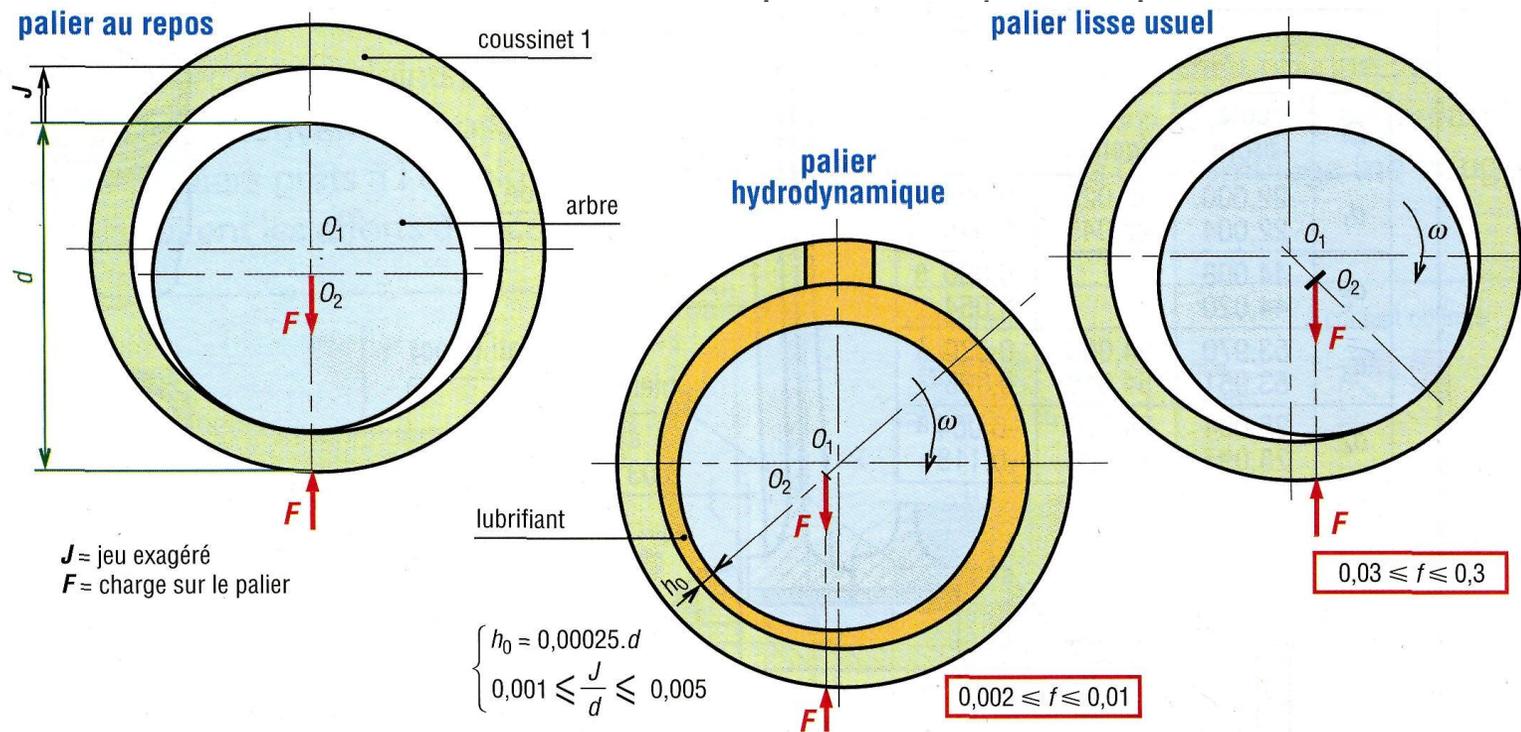
Palier lisse glacier: INA permaglide, PTFE+Pb+bronze

Diamètre intérieur $d=40\text{mm}$, Largeur $L=40\text{mm}$

Diamètre de la poulie: $D_p=200\text{mm}$

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

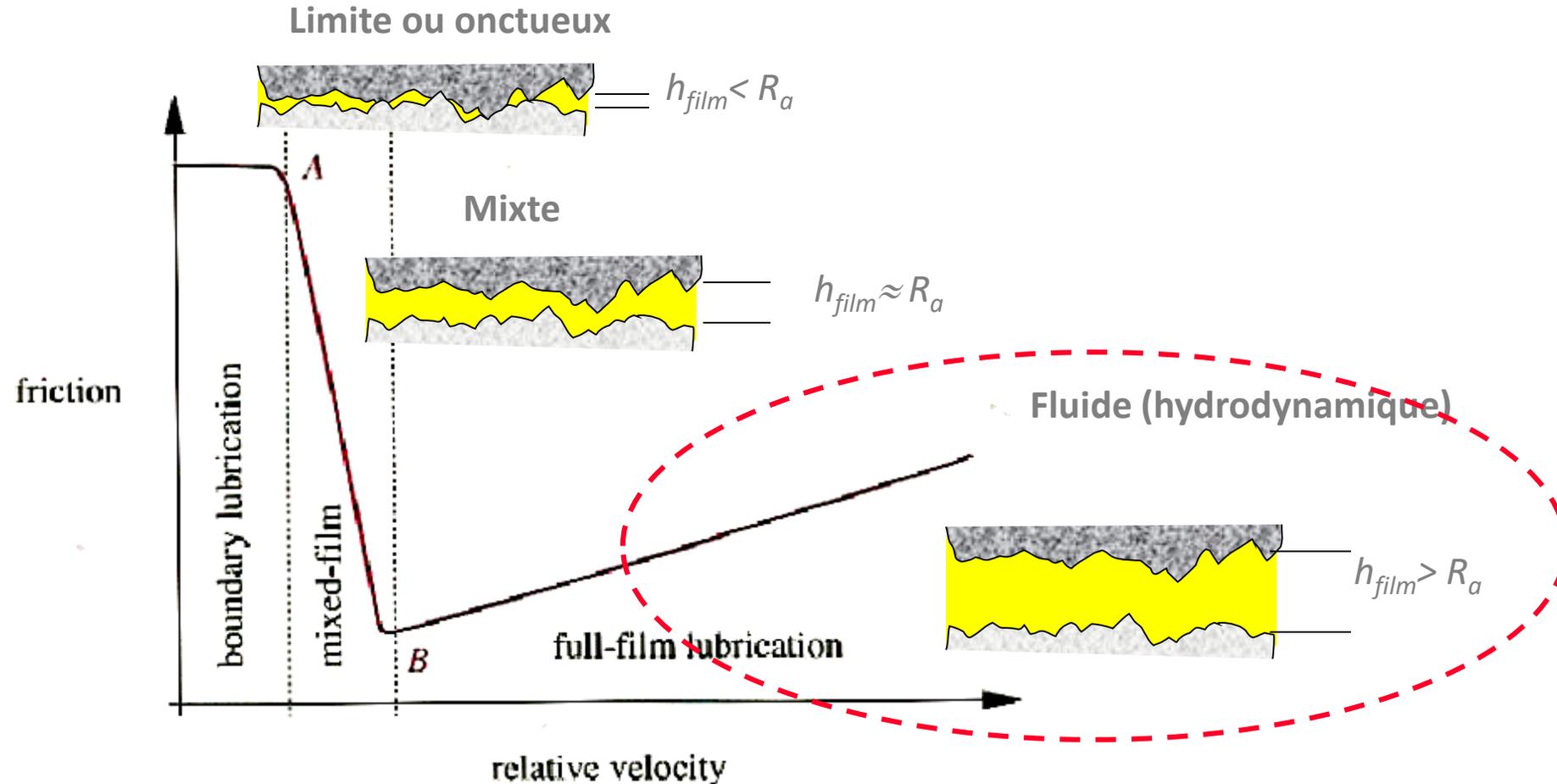
Palier lisse classique et hydrodynamique



- Film fluide entre arbre et coussinet; alimentation en huile

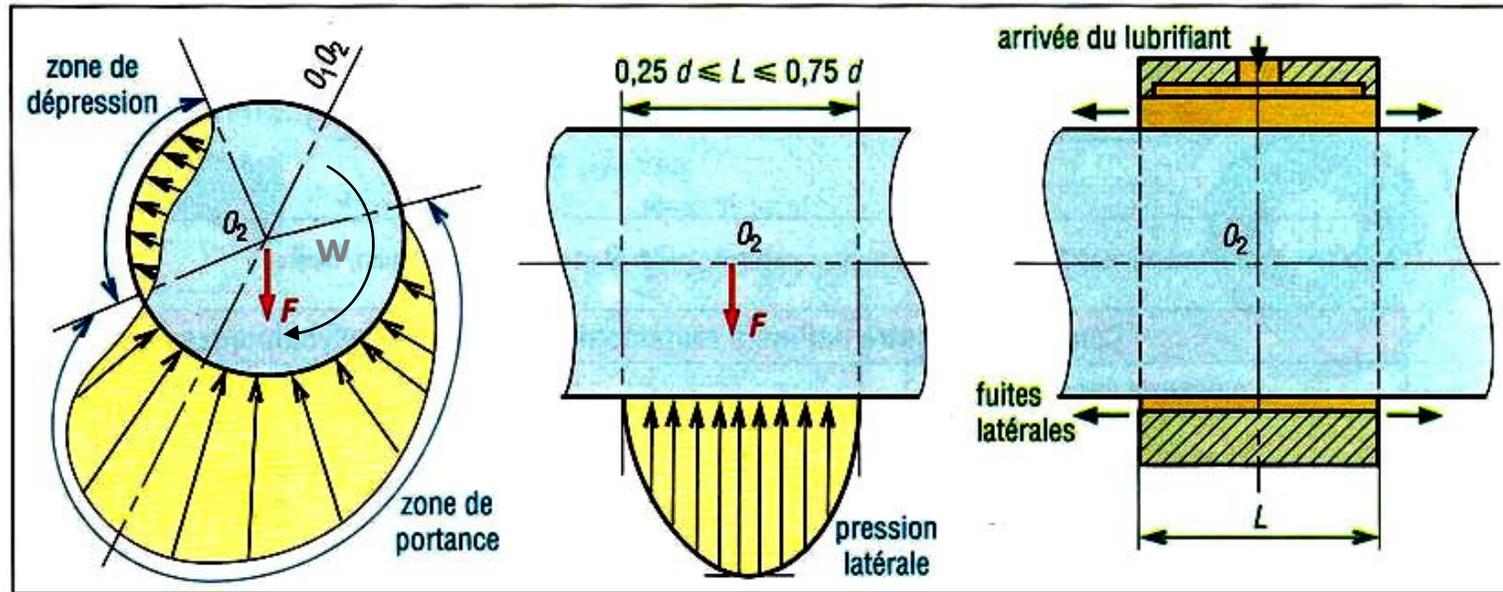
6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Palier lisse hydrodynamique – Régime de Lubrification



6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Palier lisse hydrodynamique – Principe de Fonctionnement



- Distribution de pression générée par l'écoulement visqueux de fluide entre l'arbre et le coussinet. La portance dépend de la vitesse, de la viscosité du fluide et du jeu diamétral.

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

Comparaison paliers hydrostatiques et paliers à corps roulants

Comparaison entre paliers à roulement et paliers hydrodynamiques	
avantages des roulements	avantages du palier hydrodynamique
<ul style="list-style-type: none">– préférable si le couple de démarrage est élevé– lubrification plus facile à réaliser– moins encombrants axialement– peuvent supporter des charges combinées– facilement interchangeables (normes ISO)– une avarie est signalée par un bruit croissant du palier– permettent un centrage précis des arbres– supportent mieux les surcharges momentanées	<ul style="list-style-type: none">– moins encombrant radialement– coût initial moins élevé– moins sensible aux poussières et aux corps étrangers– une durée de vie non limitée par le phénomène de fatigue– supportent mieux les chocs et les vibrations- amortissement

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

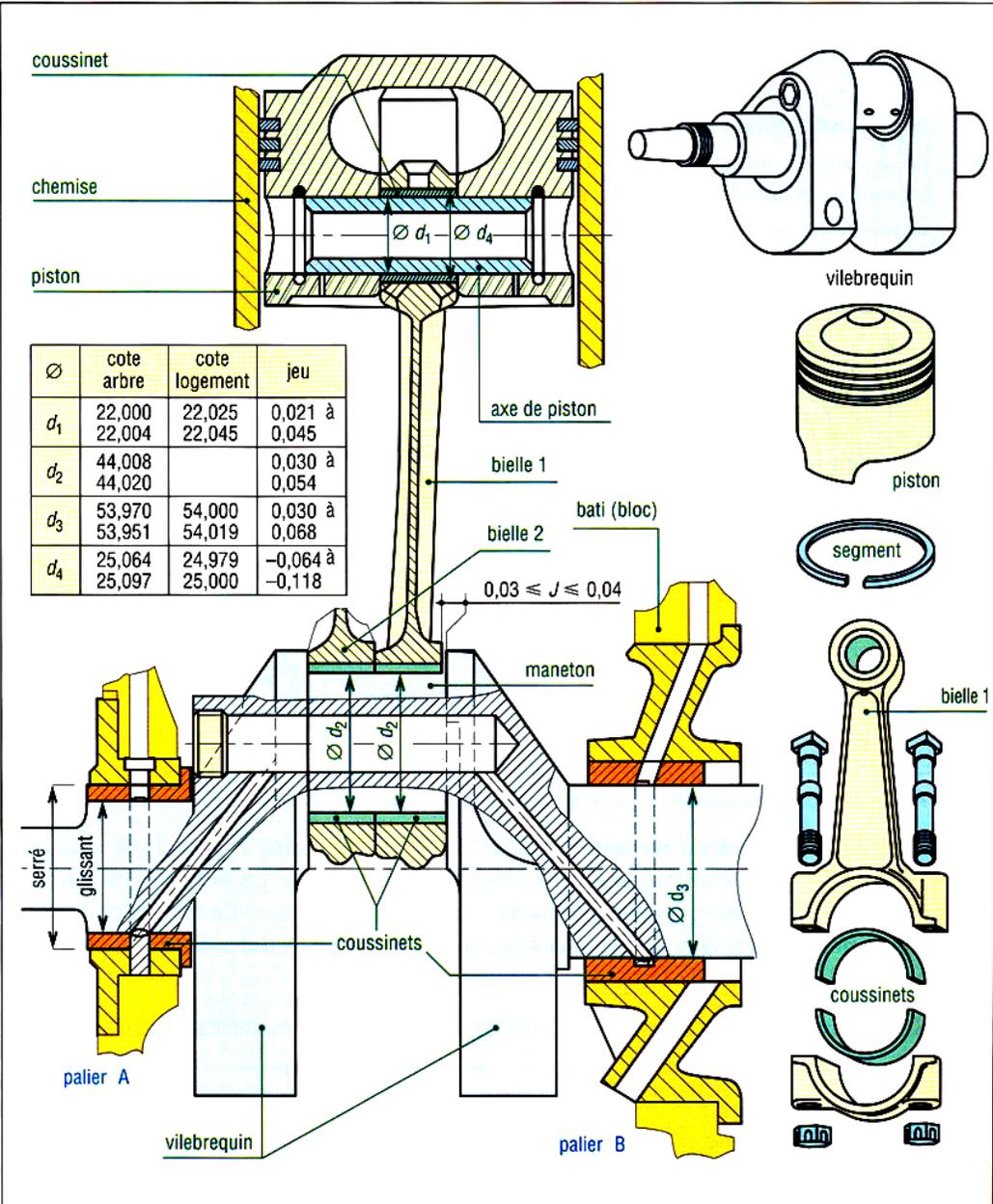
Remarque sur les paliers:

- On peut aussi réaliser des paliers lisses axiaux et des paliers hydrodynamiques axiaux. On parle alors de:

butée

6.3.1. Guidages Lisses en Rotation

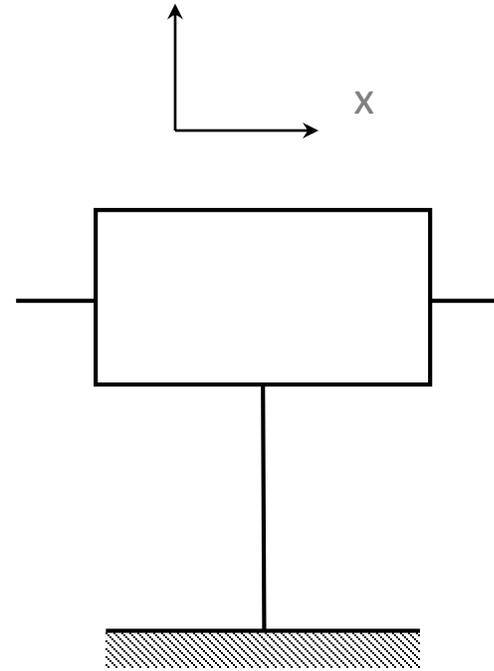
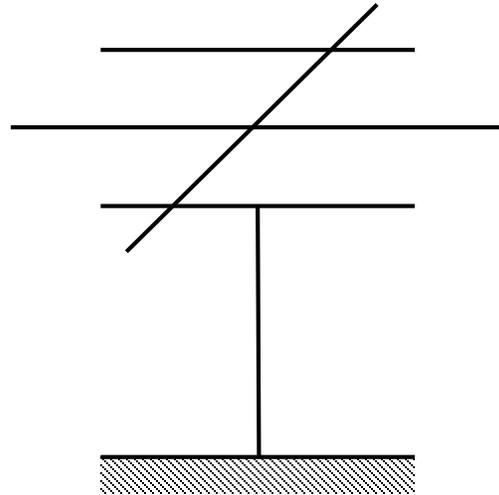
Application pratique:
moteur à explosion



6.3.2. Guidages Lisses en Translation

Liaison glissière

$$\begin{Bmatrix} 0 & v_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$



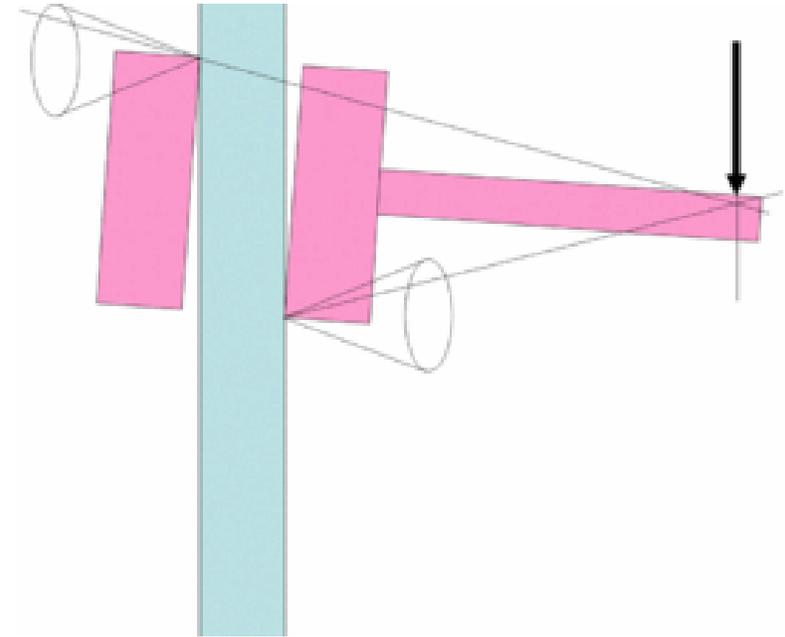
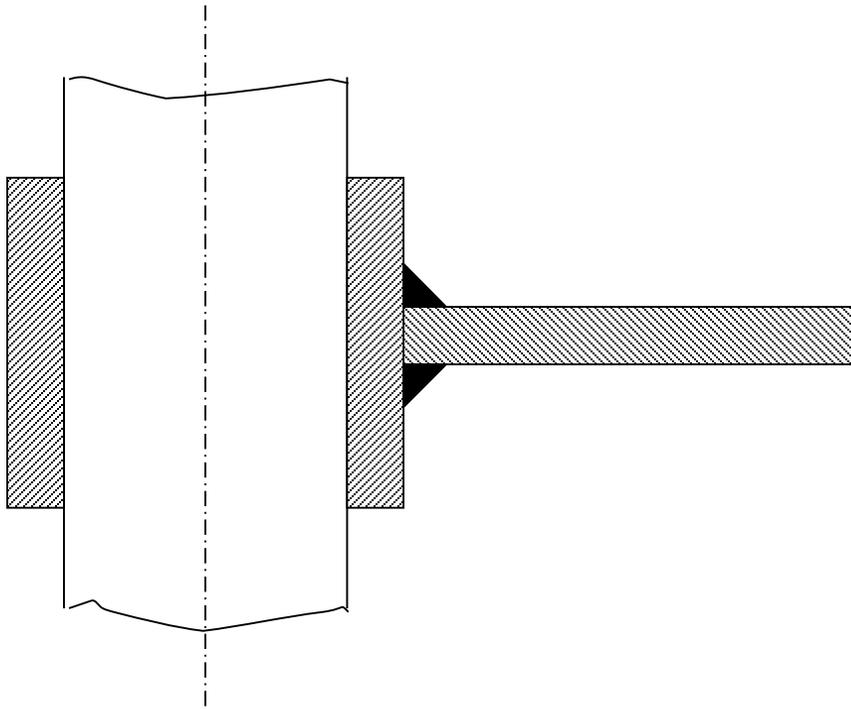
$$\begin{Bmatrix} 0 & M_x \\ F_y & M_y \\ F_z & M_z \end{Bmatrix}$$

Glissière lisse

Guide à roulement

6.3.2. Guidages Lisses en Translation

Arc-boutement ou Glissement ?

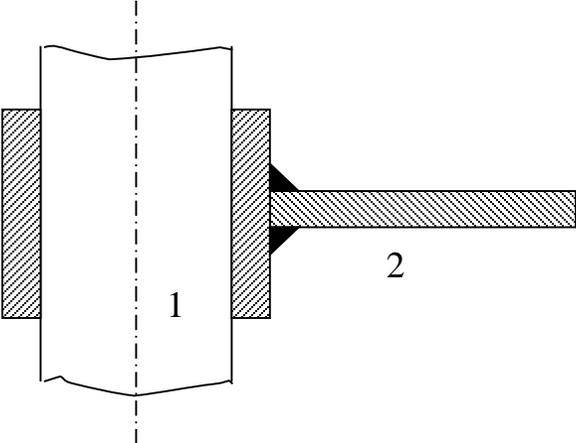


Equilibre ou mouvement ?

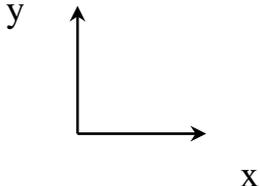
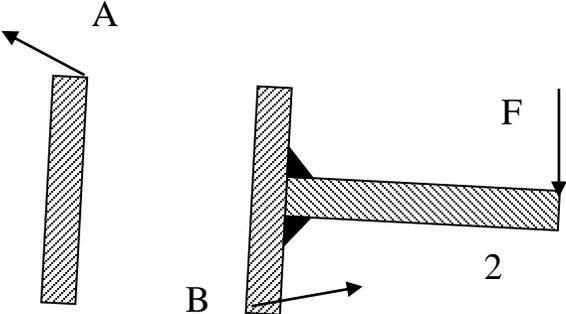
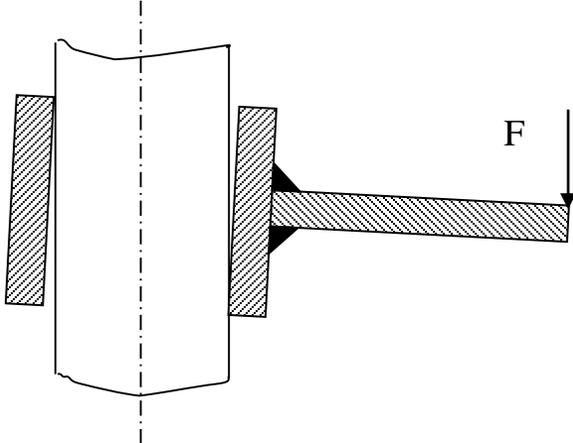
6.3.2. Guidages Lisses en Translation

Etude:

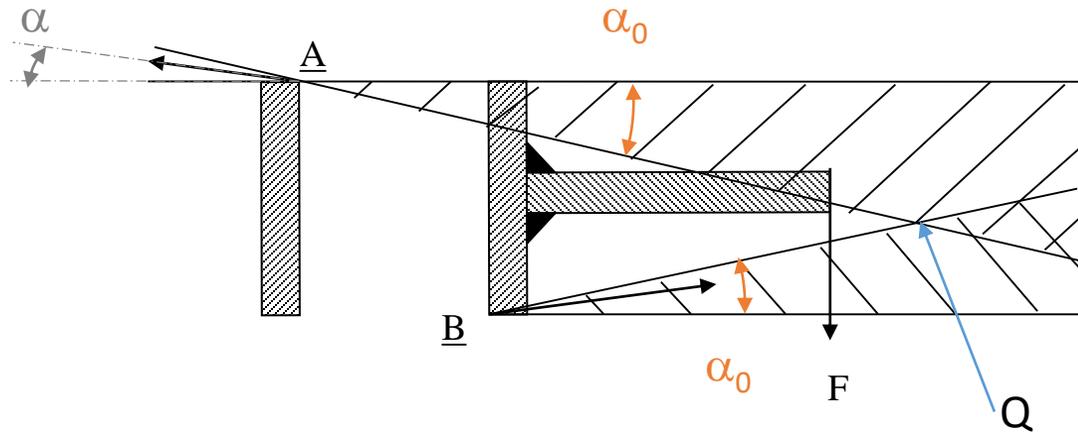
Cas parfait



Cas réel



6.3.2. Guidages Lisses en Translation



$$\{A\}_M + \{B\}_M + \{F\}_M = 0$$

Arc-boutement $\alpha < \alpha_0$

Limite du mouvement $\alpha = \alpha_0$

Mouvement $\alpha = \alpha_0$

$\alpha_0 =$ angle d'adhérence

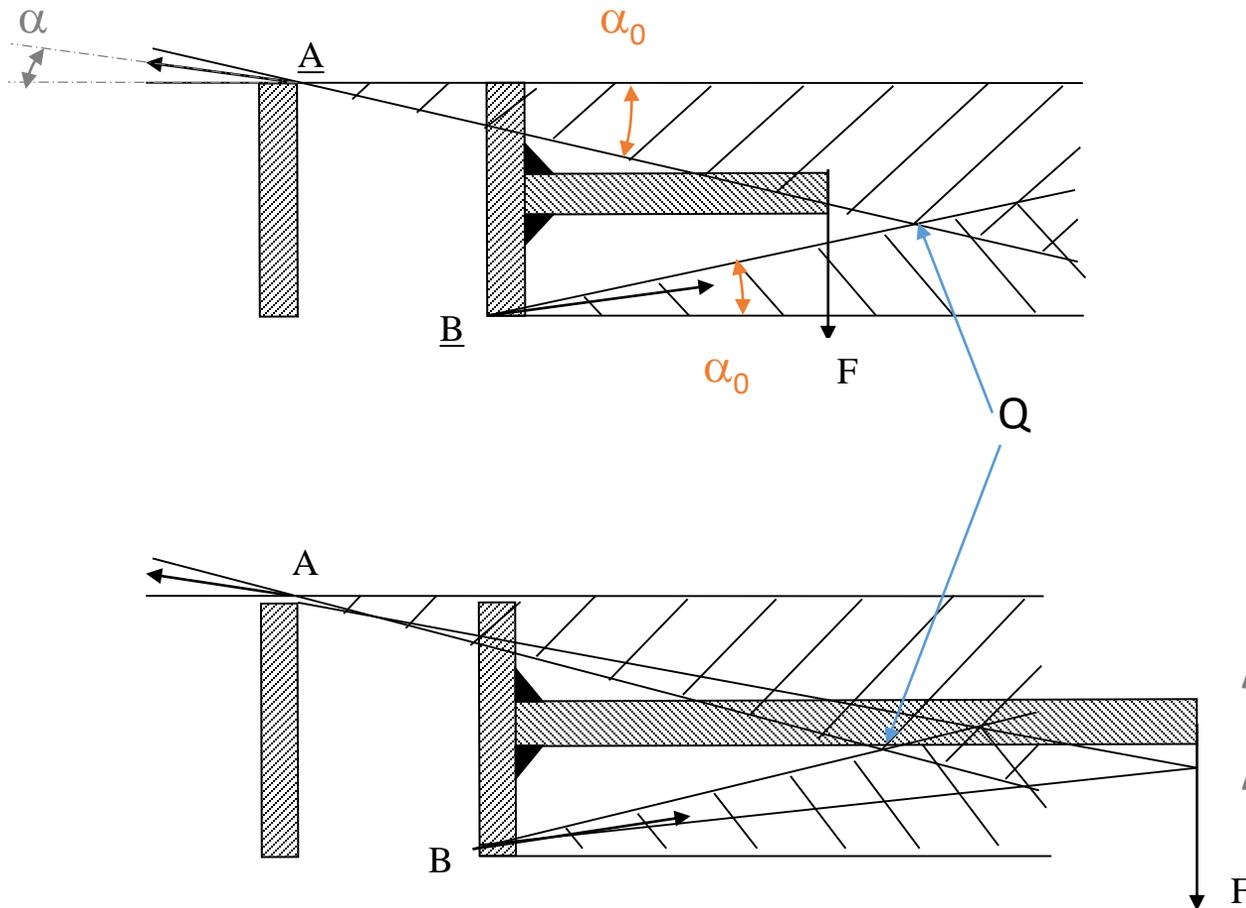
6.3.2. Guidages Lisses en Translation

$$\{A\}_M + \{B\}_M + \{F\}_M = 0$$

Equilibre si les 3 forces sont concourantes:

En deçà - Impossible:
mouvement

Au delà - Possible:
Arc-boutement, équilibre



6.3.2. Guidages Lisses en Translation

$$\{A\}_M + \{B\}_M + \{F\}_M = 0$$

$$\frac{h}{2\mu_0} = l$$

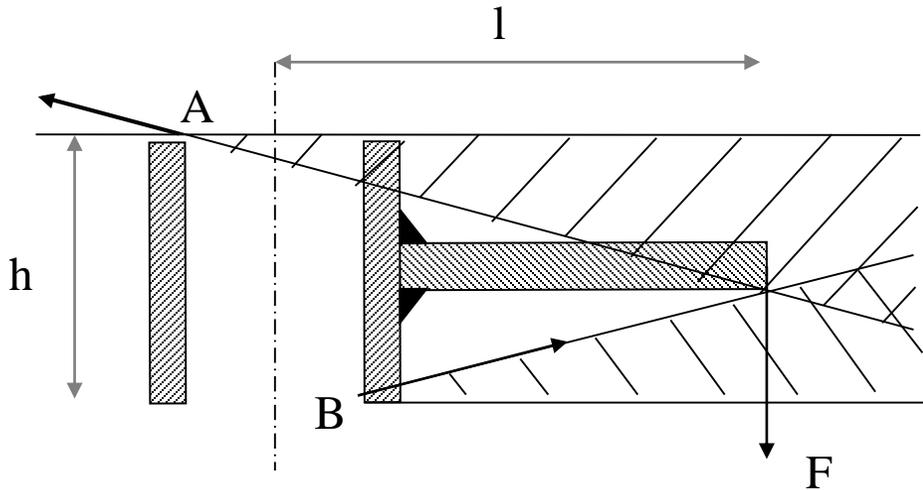
Limite d'équilibre

$$\frac{h}{2\mu_0} < l$$

Arc-boutement (pas de mouvement)

$$\frac{h}{2\mu_0} > l$$

Mouvement

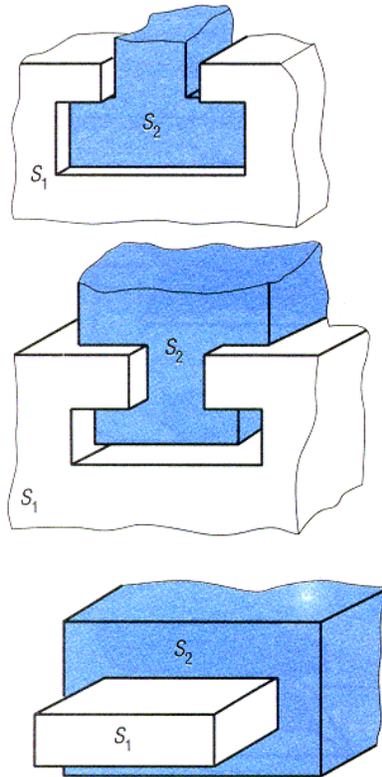


Pour faciliter le mouvement: augmenter h et diminuer l

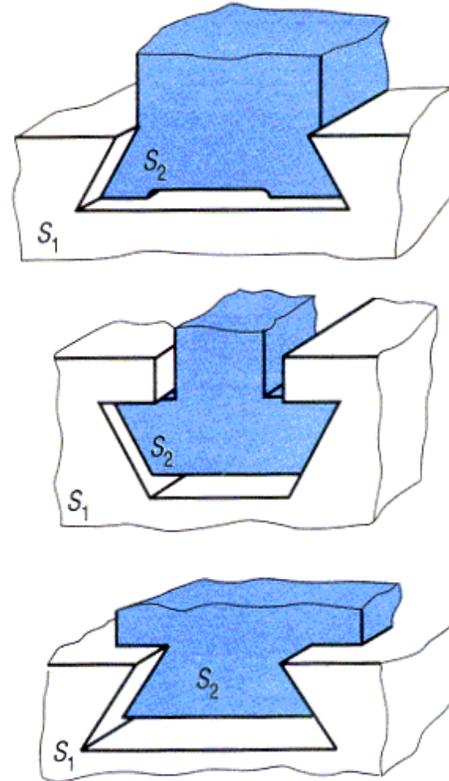
En pratique: diminuer frottement (matériaux, lubrification, roulement)

6.3.2. Guidages Lisses en Translation

Glissières a Frottement

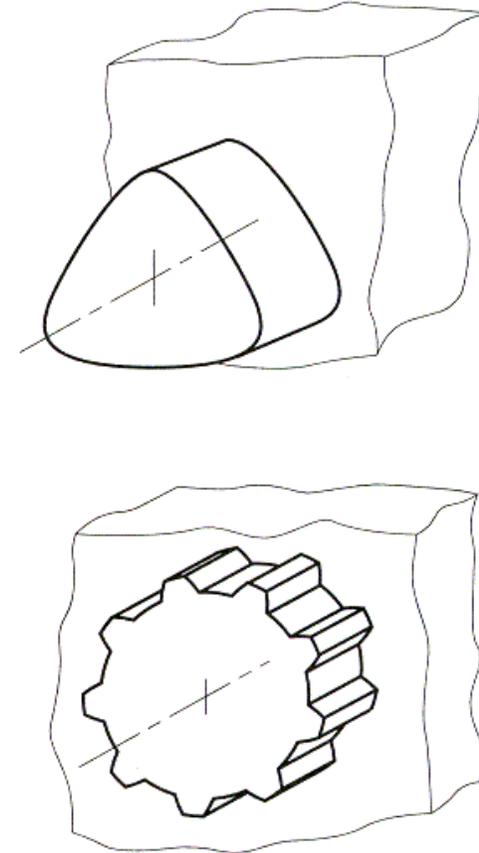


Glissière prismatique
en T



Glissière prismatique
en queue d'aronde

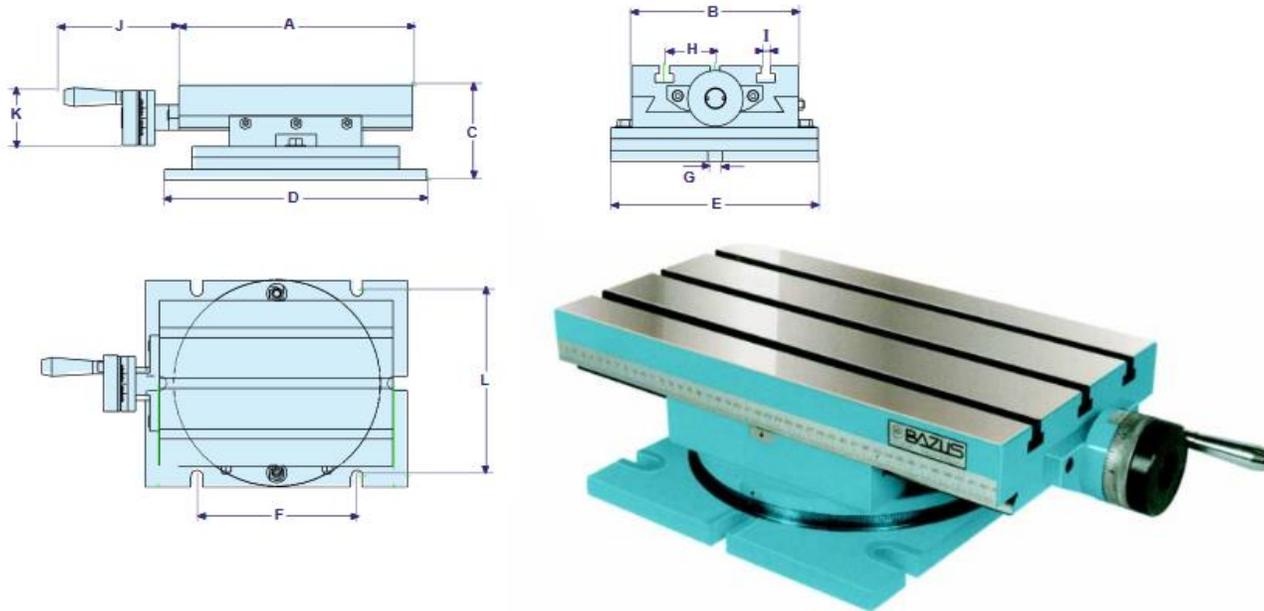
Profil « polygon »



Cannelures

6.3.2. Guidages Lisses en Translation

Exemples de Glissières à Frottement



Machine outil

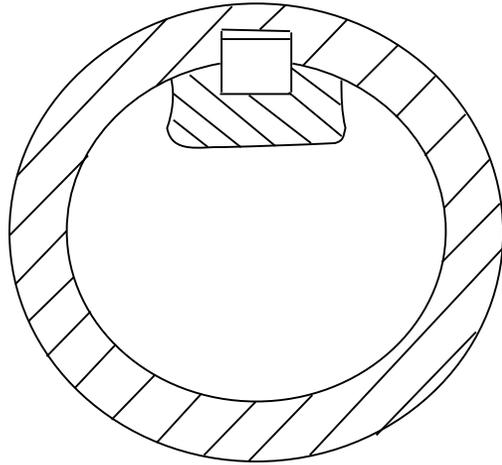
<http://www.gbmo.eu/machine-outil/notice-table-bazus-a-mouvements-croises-et-base-tournante-serie-tp.pdf>



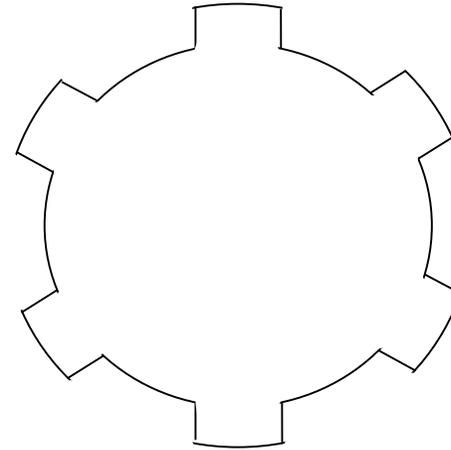
Ameublement

6.3.2. Guidages Lisses en Translation

Exemples de Glissières a Frottement



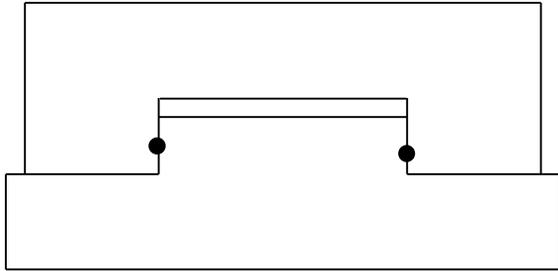
Clavetage



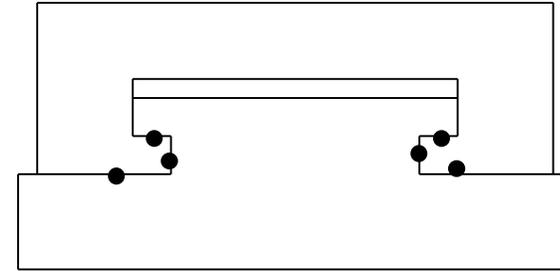
Cannelures

6.3.2. Guidages Lisses en Translation

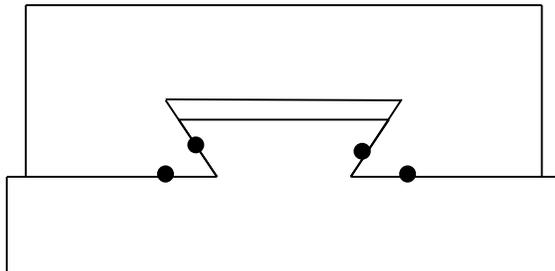
Exemples de Glissières a Frottement



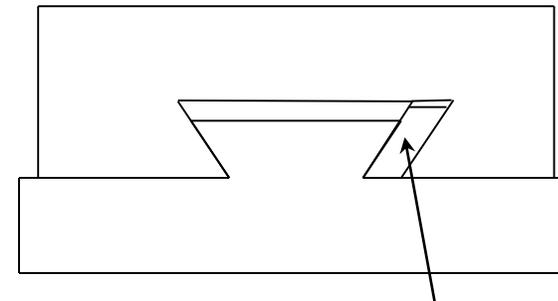
Glissière en Té



- Jeu fonctionnel nécessaire



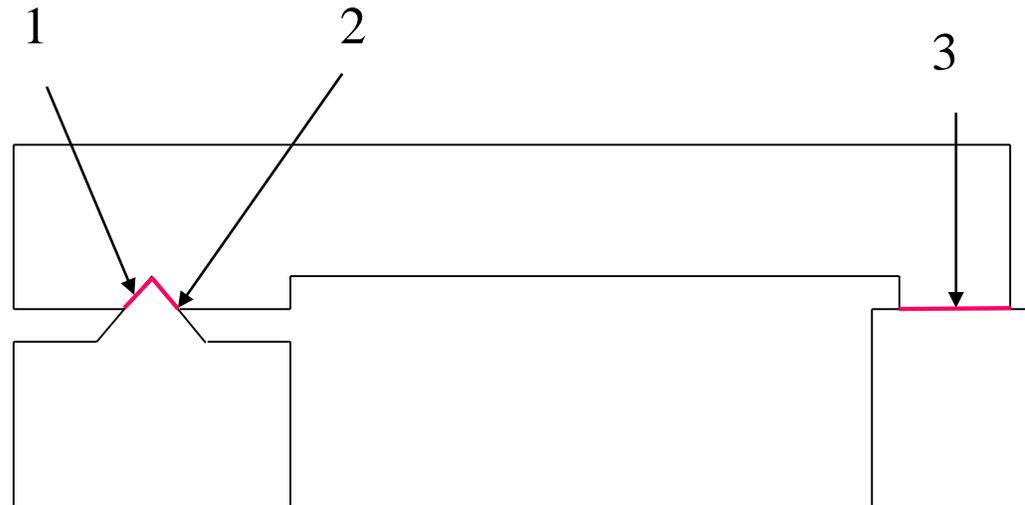
Glissière à queue d'aronde



Cale de rattrapage de jeu

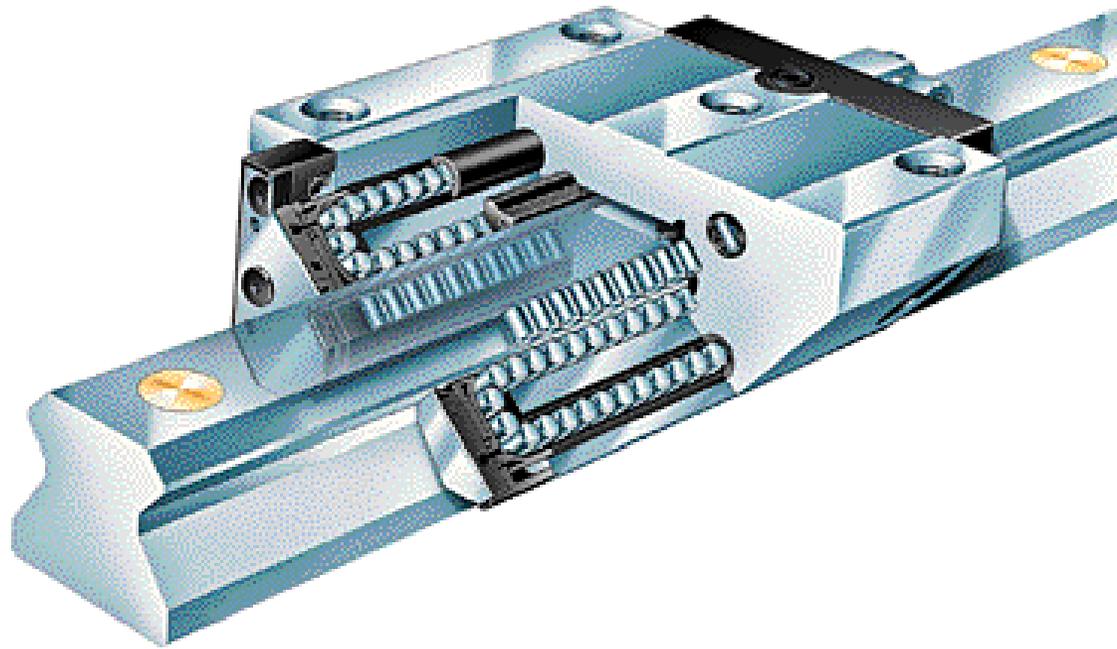
6.3.2. Guidages Lisses en Translation

Exemples de Glissières a Frottement



Banc de tour et chariot longitudinal

6.4. Guidages Roulants



6.4. Guidages Roulants

Fonctions

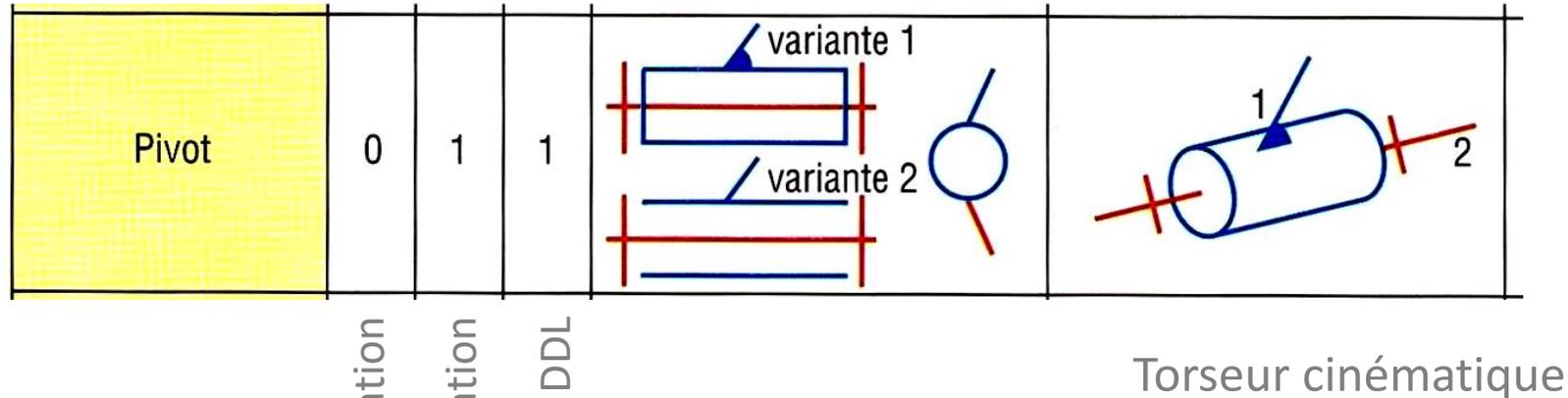
- Retirer des degrés de liberté à un arbre ou un axe
 - Le nombre de DDL et leur nature dépendent du type de roulement et du montage
- Réduire le frottement

Principes physiques

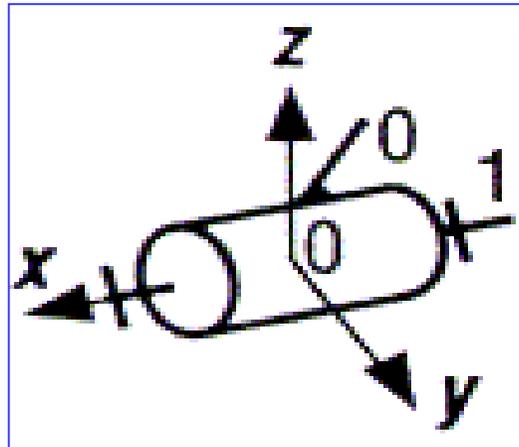
- Transmission d'effort par obstacle
- 3^{ème} corps entre surface: roulement sans glissement

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Liaison normalisée: pivot



- Pas de frottement
- Pas de jeu
- Géométrie parfaite

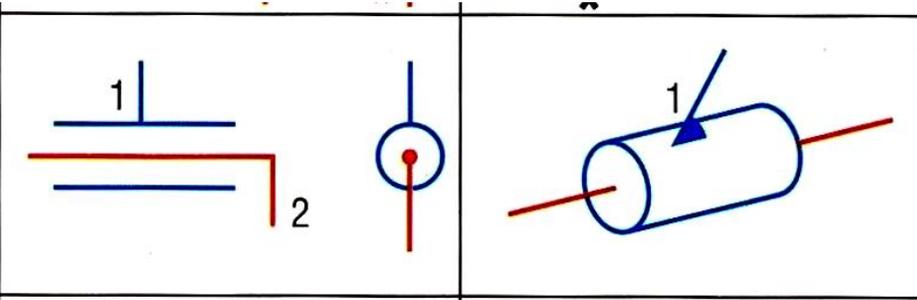
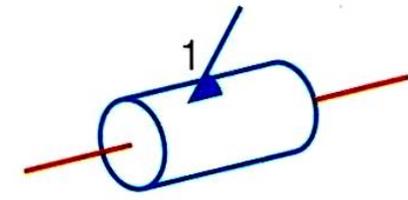


$$V_{1/0} = \begin{Bmatrix} \Omega_x & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_O$$

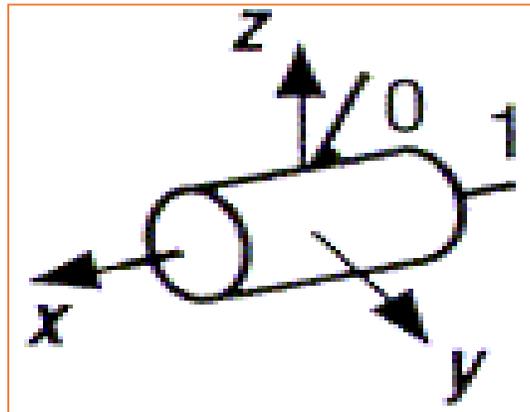
Rotation Translation

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Liaison normalisée: pivot glissant

Pivot glissant	1	1	2		
	Translation	Rotation	DDL		Torseur cinématique

- Pas de frottement
- Pas de jeu
- Géométrie parfaite



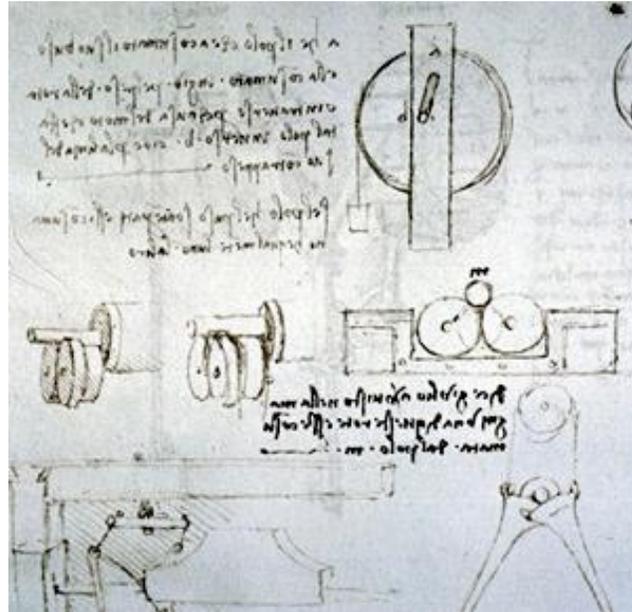
$$V_{1/0} = \begin{Bmatrix} \Omega_x & V_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_O$$

Rotation

Translation

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Un peu d'histoire . . .



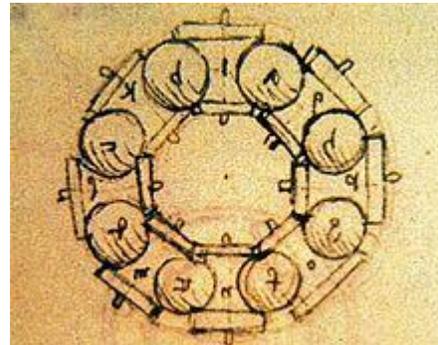
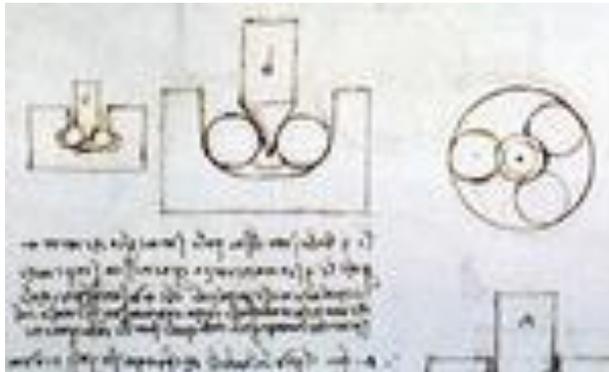
Depuis les Egyptiens en Antiquité
Rome en 40BC

Leonardo da Vinci
1452-1519

Galileo
1564-1642

1^{er} brevet: Philip Vaughn en 1794

Révolution Industrielle XIXe siècle



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Principaux fabricants et inventeurs depuis la fin du XIXe:



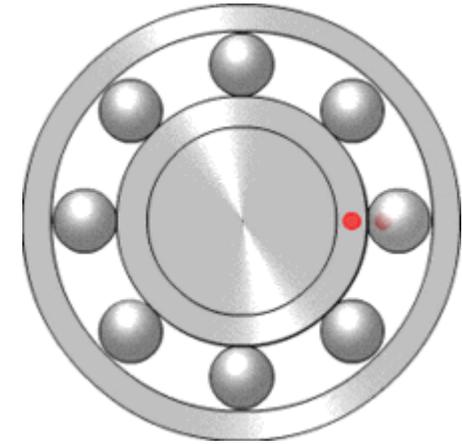
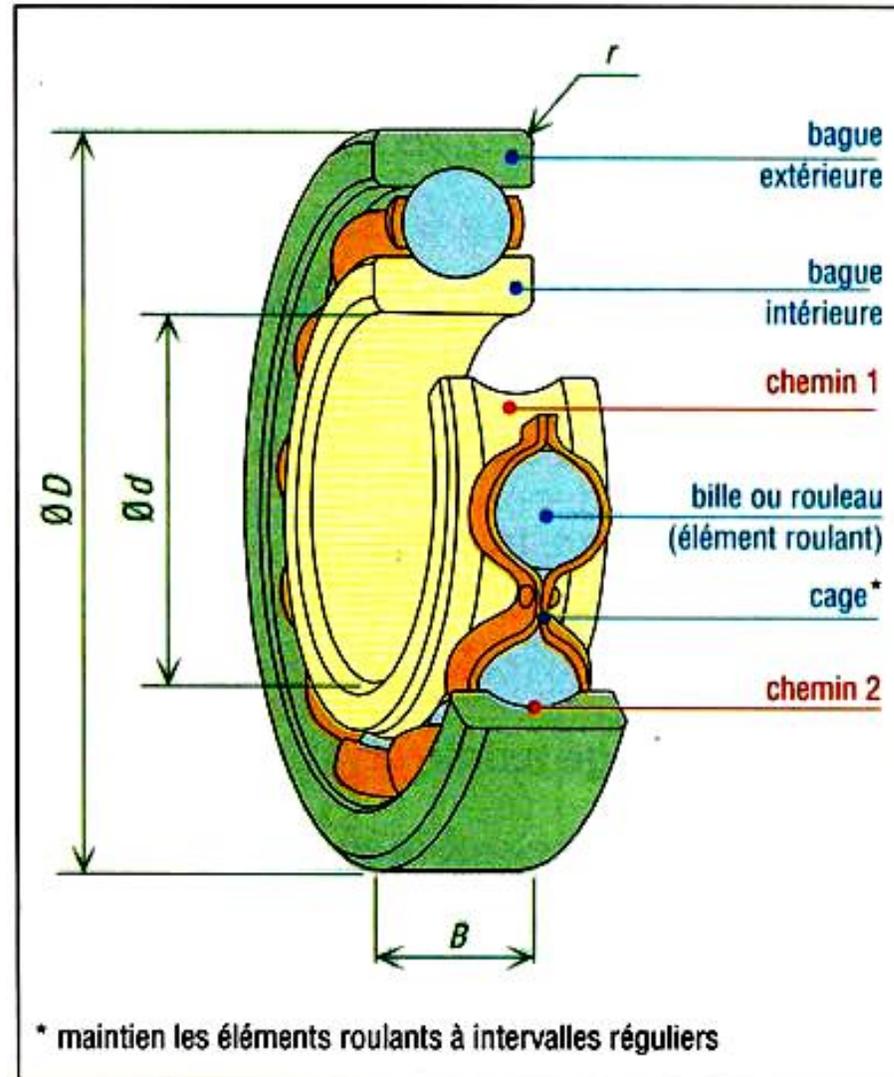
TIMKEN

SKF

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

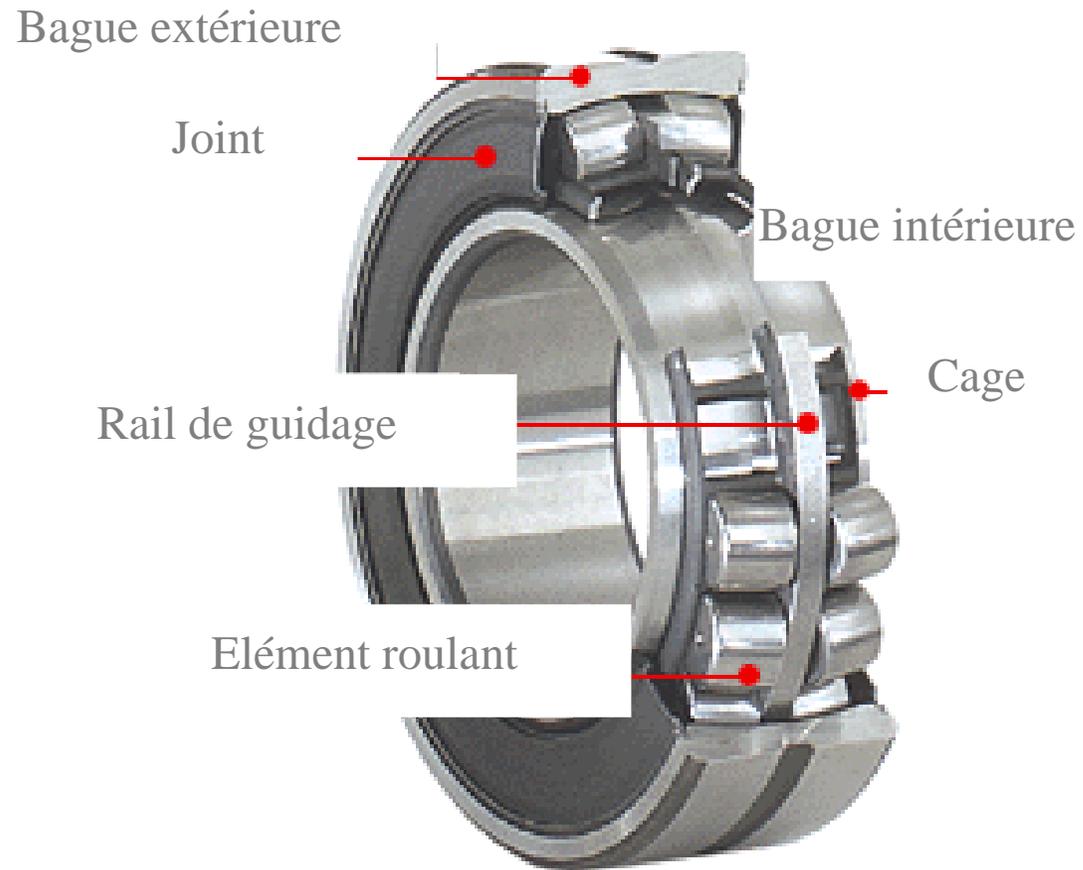
Constitution des roulements

- Différentiation:
 - Géométrie des corps roulants
 - Géométrie de la bague: direction de la normale au plan tangent bague – corps roulants
 - Éléments additionnels
 - Flasques
 - Joints
 - Tolérances et jeux
 - Lubrification



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Constitution des roulements



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Constitution des roulements

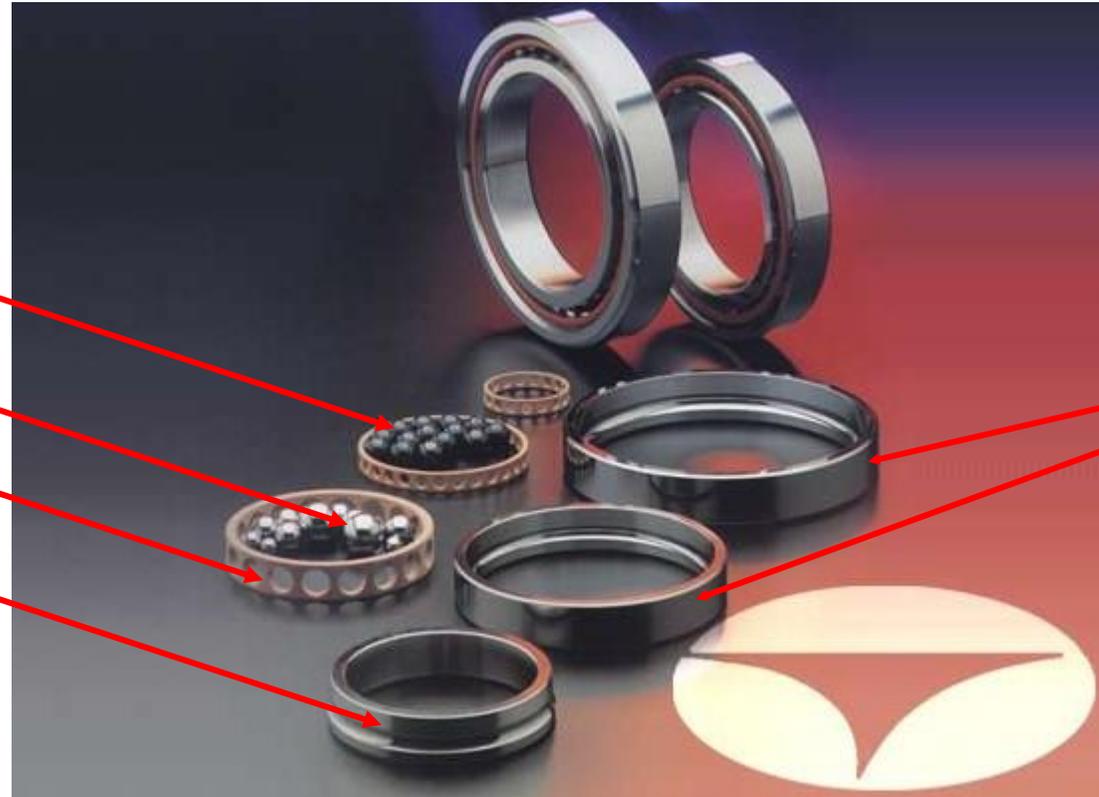
Billes en Si_3N_4

Billes en acier

Cage

Bague intérieure

intérieure



Bagues
extérieures

<http://www.snfa.com/index.php?id=7>

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Matériaux Utilisés

CORPS ROULANTS

- Aciers d'amélioration
- Céramique:
 - Nitru de silicium Si_3N_4
 - Zirconia ZrO_2

CAGE

- Polyamide 6.6 renforcé de fibres de verre
- PEEK 450 CA 30: Polyester ester cétone et fibres de carbone
- Laiton
- Acier

BAGUES

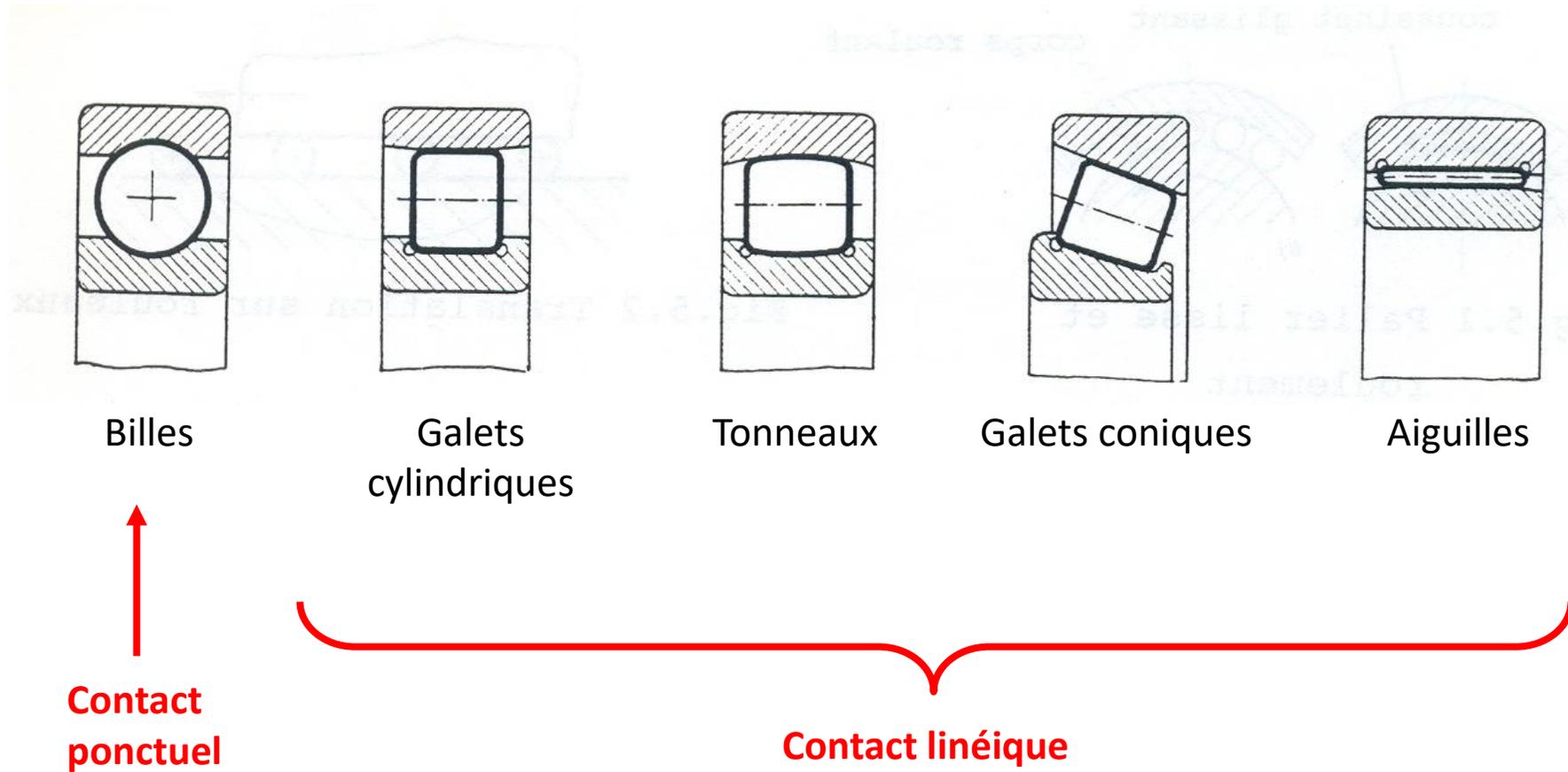
	<i>440C AMS 5618</i>	<i>CHROMEX ® 40 AMS 5925</i>
<i>Correlation 440C/CHROMEX® 40</i>		
<i>Tempering Temperature</i>	204°C 480°C	180°C 500°C
<i>Grain Size (index)</i>	8	8
<i>Max. Carbides size</i>	80µm	<30µm
<i>Carbides distribution</i>	Banding	Uniform
<i>Carbides Morphologie</i>	Angular	Spherical
<i>Retained Austenite</i>	<10%	<10%
<i>Corrosion Resistance (in salt spray)</i>	Medium	Excellent
<i>Hardness</i>	>58 HRc	>58HRc

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Fabrication

<http://www.youtube.com/watch?v=b6svVy1IYOA>

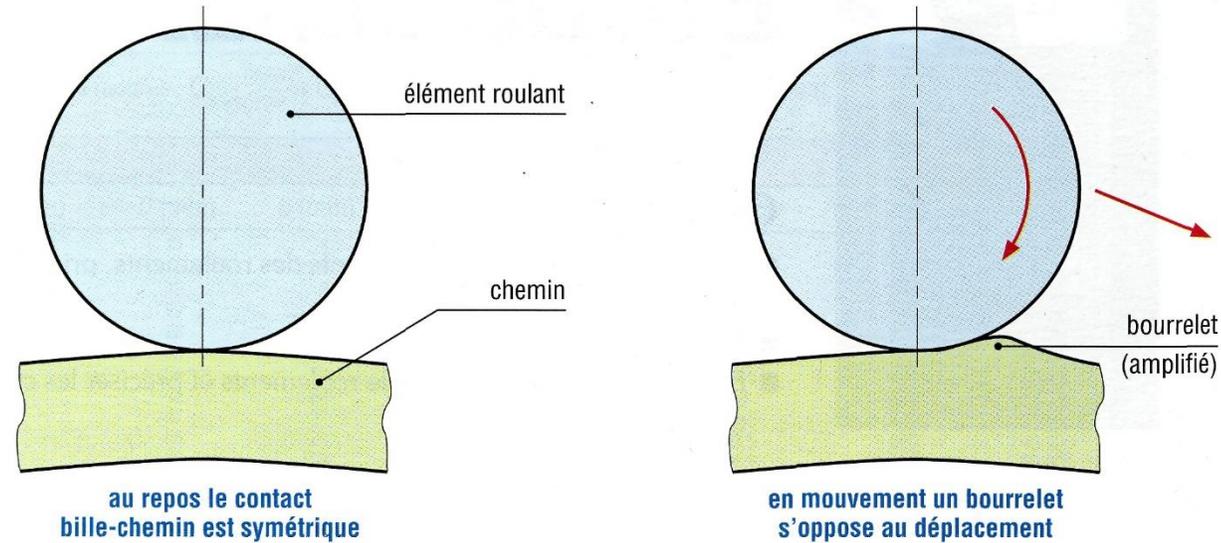
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Géométrie des Corps Roulants



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

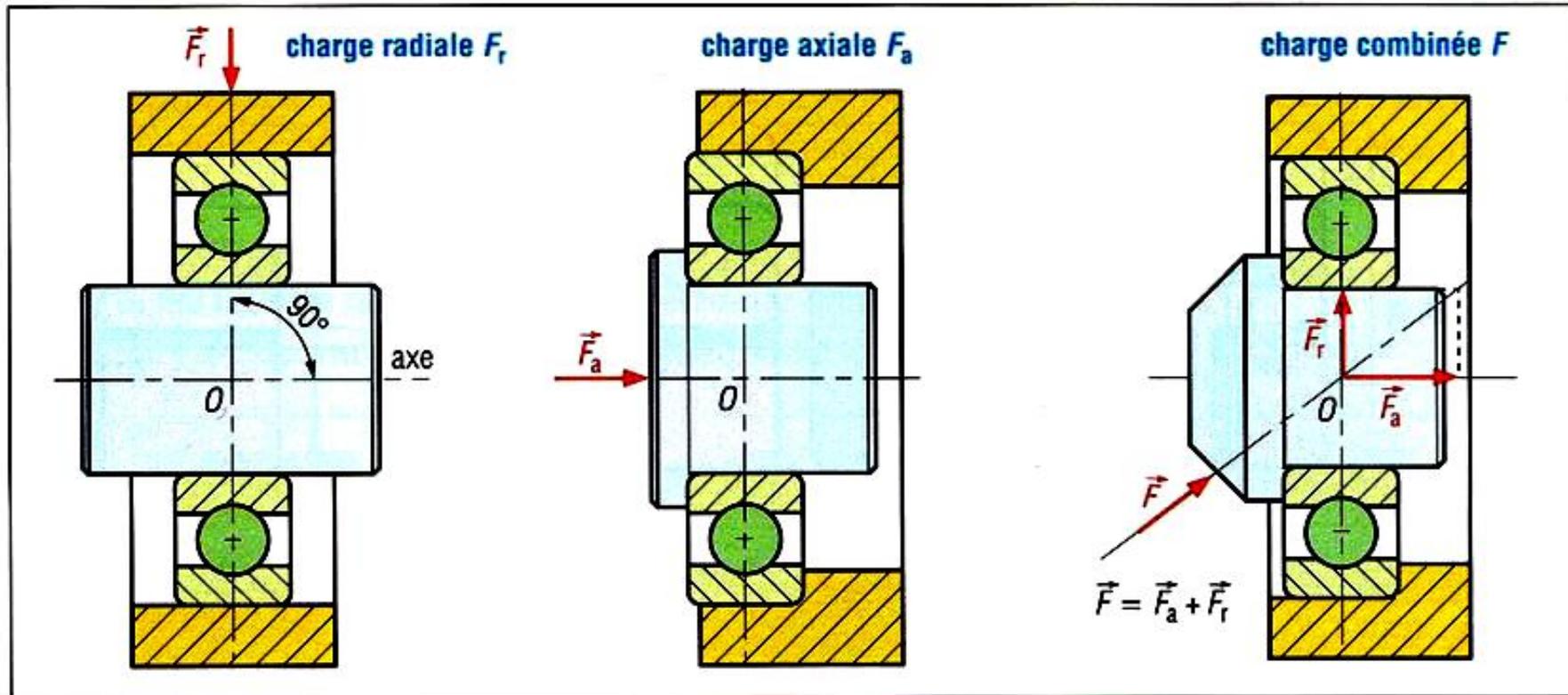
Résistance au roulement



roulements	rigides à billes	billes contact obl.	rouleaux cyl.	rouleaux coniq.	à aiguilles
f ou μ	0,0015	0,0020	0,0011	0,0020	0,0025

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

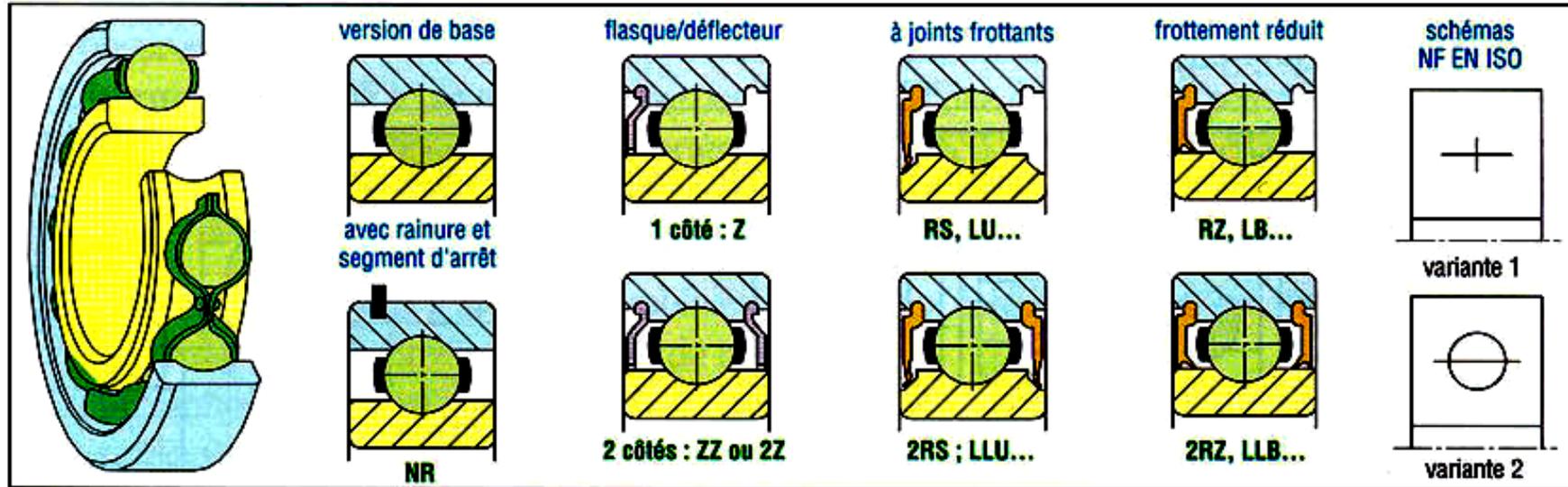
Charges supportées par les roulements



- Le montage et le type de roulement doivent être adaptés à la charge appliquée.
- La charge sur les corps roulants dépend de l'orientation de la charge et des tolérances

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:
à billes à contact radial (gorges profondes)



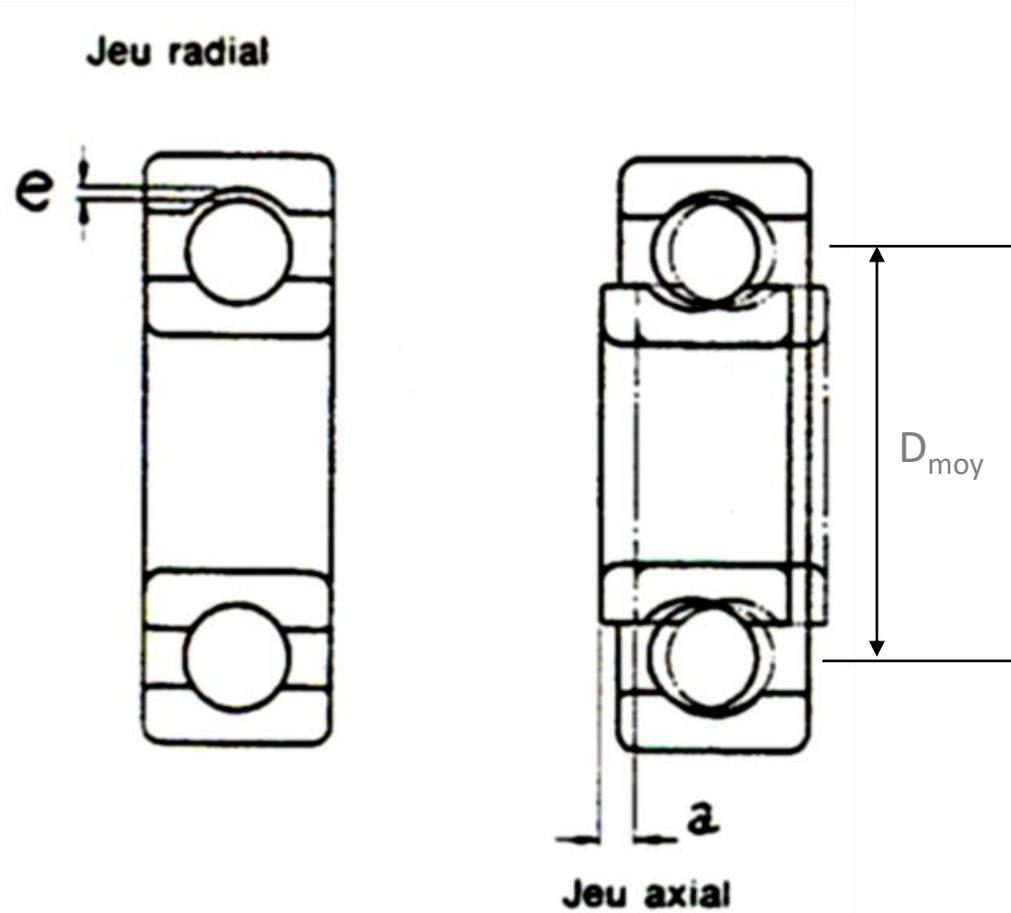
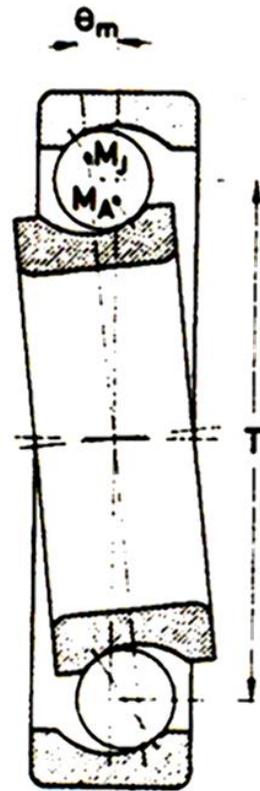
- Supportent des charges
 - d'orientation quelconque
 - modérées à moyennes
- Permettent des vitesses de rotation élevées
- Permettent les meilleures précisions cinématiques
- Diverses exécutions



Normale au
plan de
contact

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Jeux interne des roulements

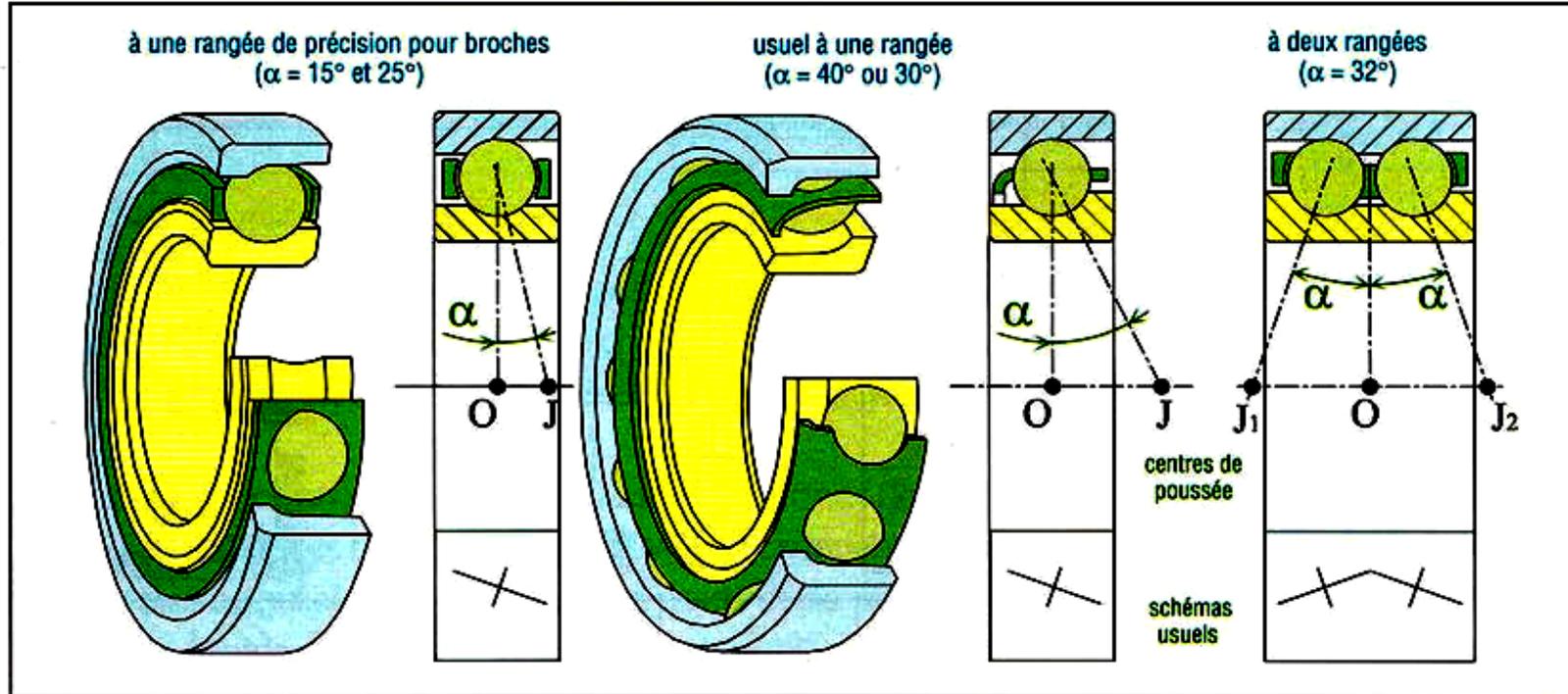


Vitesse caractéristique :

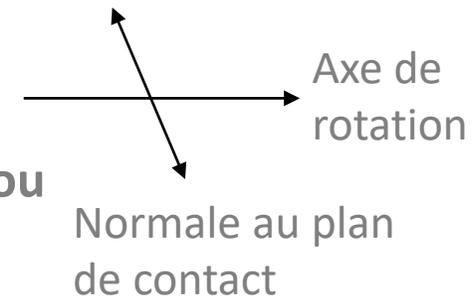
NDm: diamètre moyen (mm) x vitesse de rotation en t/min

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:
à billes à contact oblique

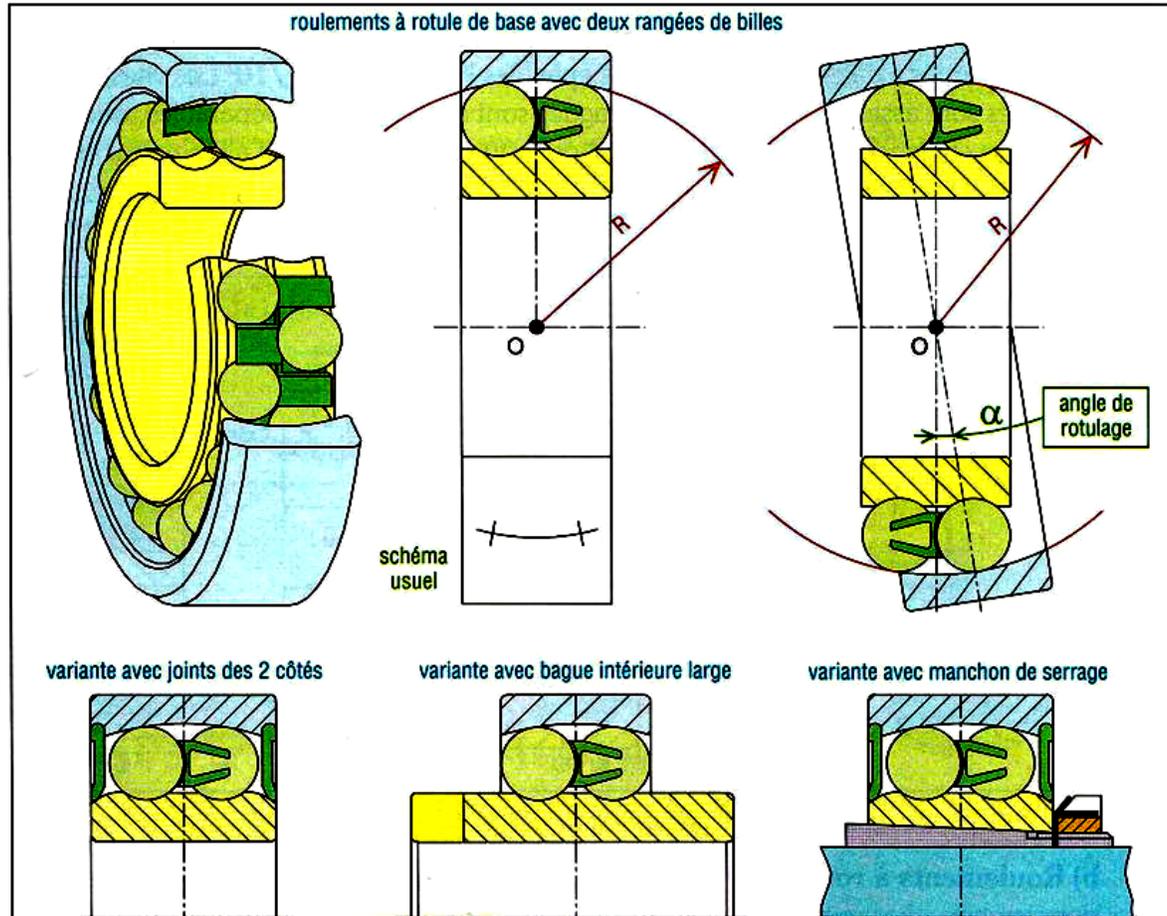


- Ne supportent des charges axiales que dans une direction
- Deux roulements montés en opposition (précharge) ou un roulement à deux rangées



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

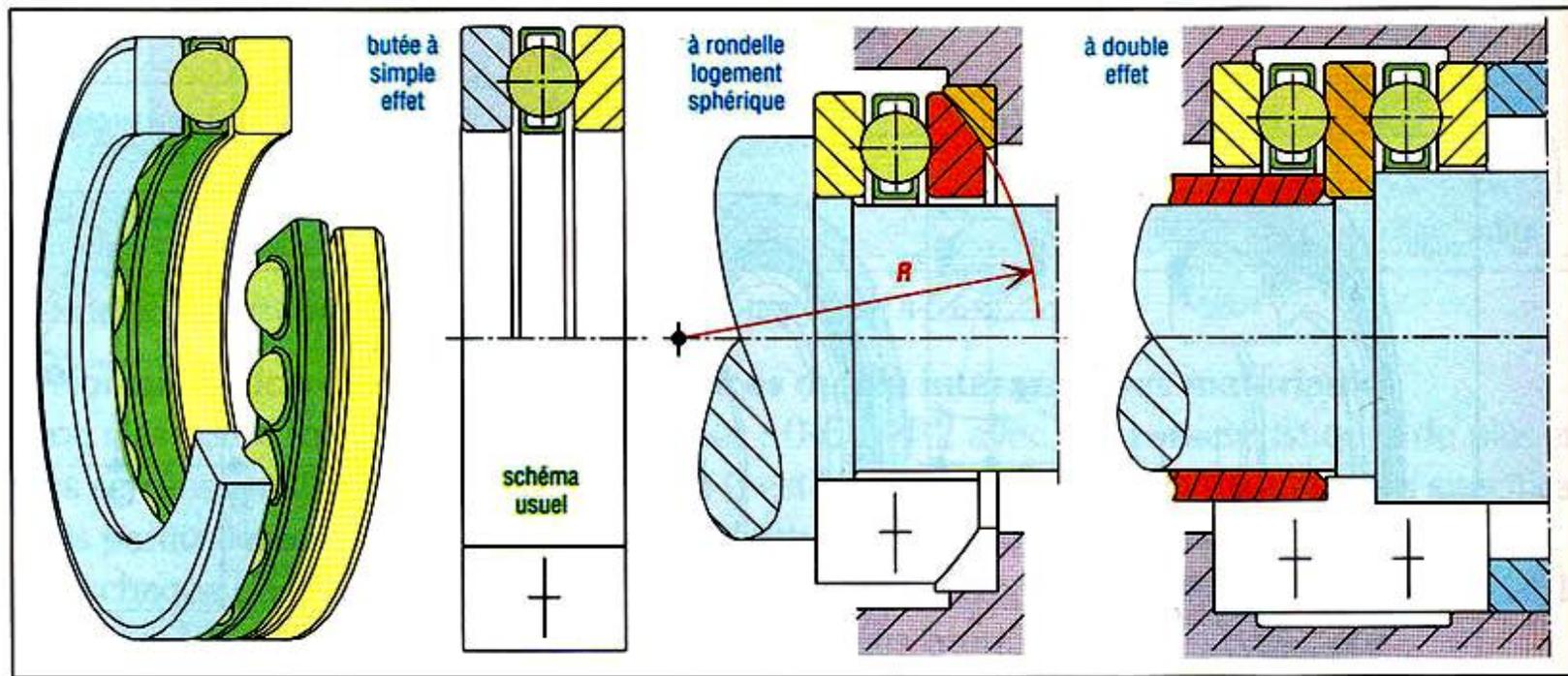
Différents types de roulements: à rotule sur billes



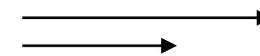
- Permettent le rotulage (flexion de l'arbre et défaut d'alignement des portées de palier)
- Angle de rotulage: $2,5 - 4^\circ$
- Ne supportent que de faibles charges axiales

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:
butées à billes



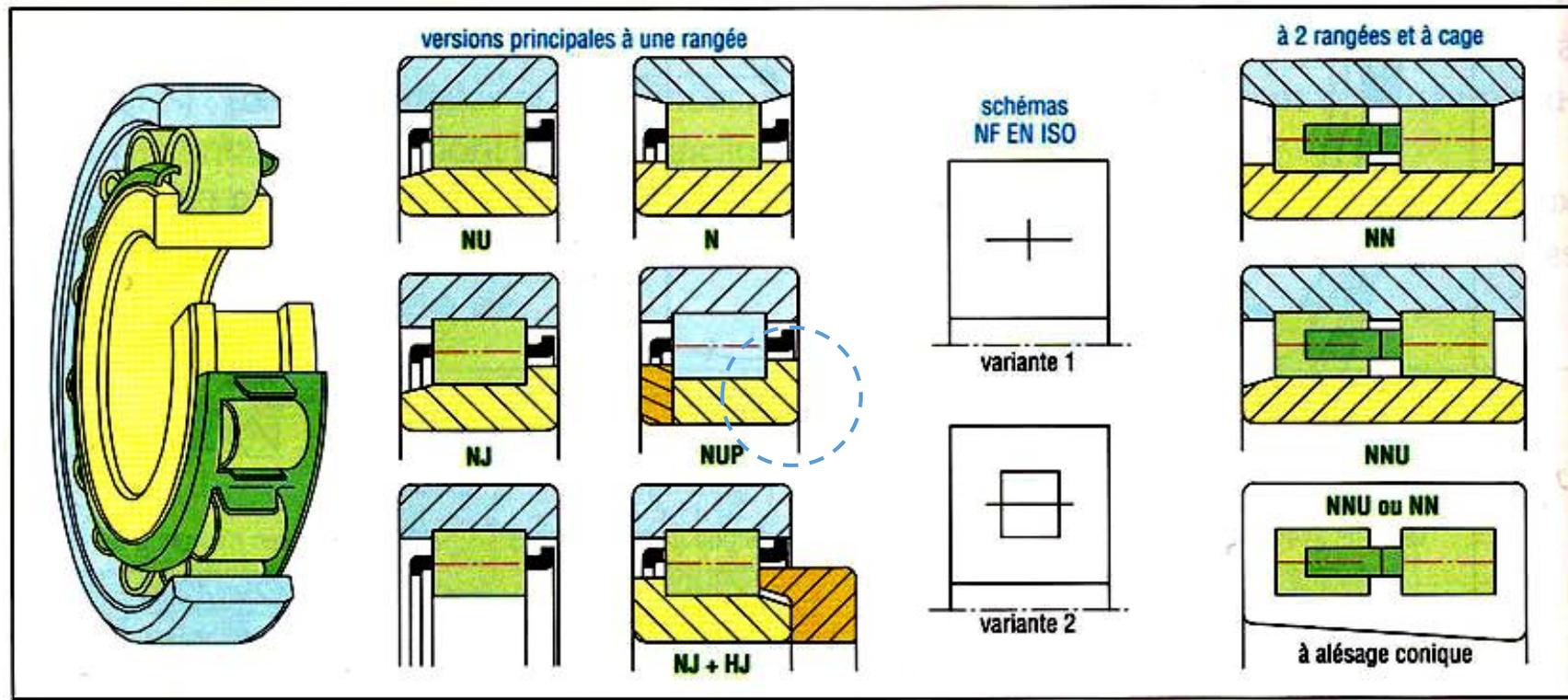
- Ne supportent des charges axiales que dans un sens
- Vitesse limitée
- Pas de centrage de l'arbre



Axe de rotation et normale au plan de contact coïncident

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

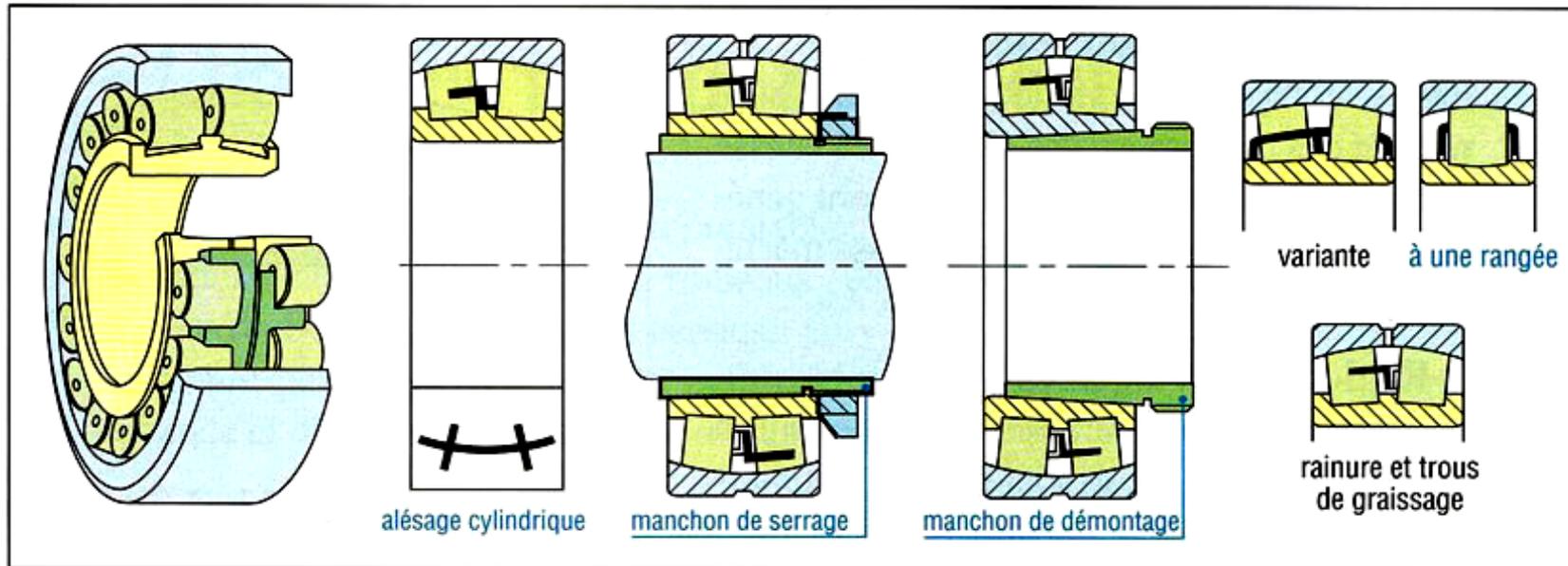
Différents types de roulements:
à rouleaux cylindriques



- Capacité de charge radiale élevée,
- Pas de charge axiale
- Vitesse et précision réduites
- Ne permettent ni rotulage ni désalignement des alésages

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

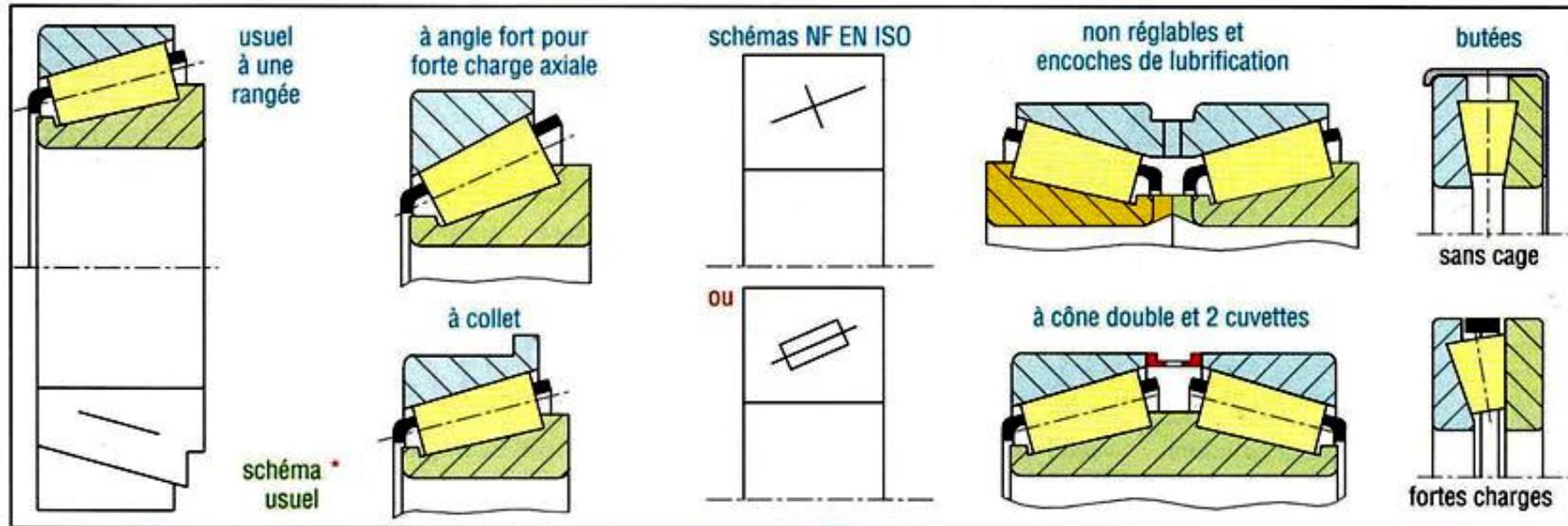
Différents types de roulements:
à rotule sur rouleaux (tonnelets)



- Capacité de charge radiale élevée,
- Pas de charge axiale
- Vitesse et précision réduites
- Permettent rotulage et désalignement des alésages
- Demande une lubrification à l'huile

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

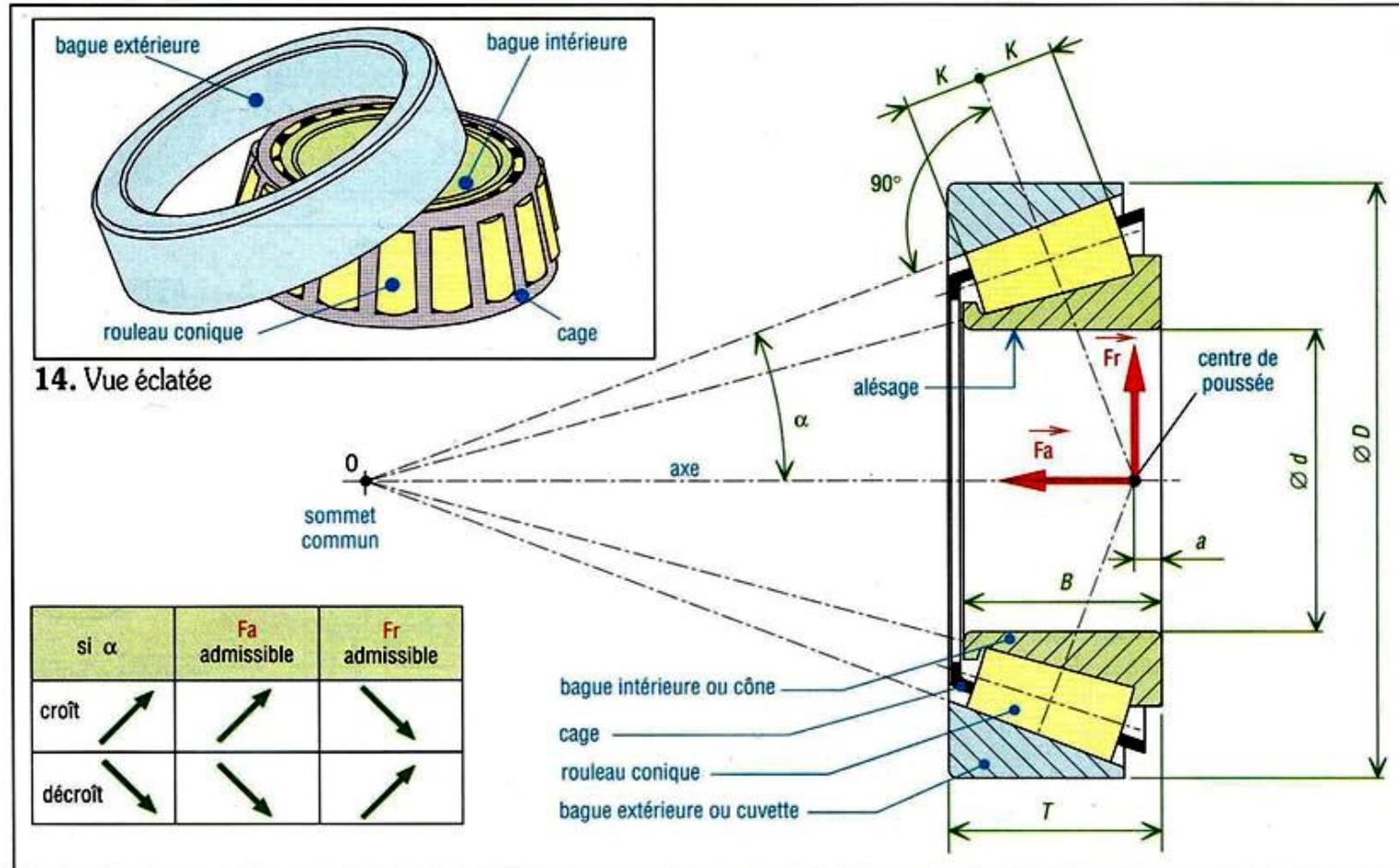
Différents types de roulements:
à rouleaux (galets) coniques



- Ne supportent des charges axiales que dans une direction
- Deux roulements montés en opposition (précharge) ou un roulement à deux rangées
- Vitesses de rotation moyennes

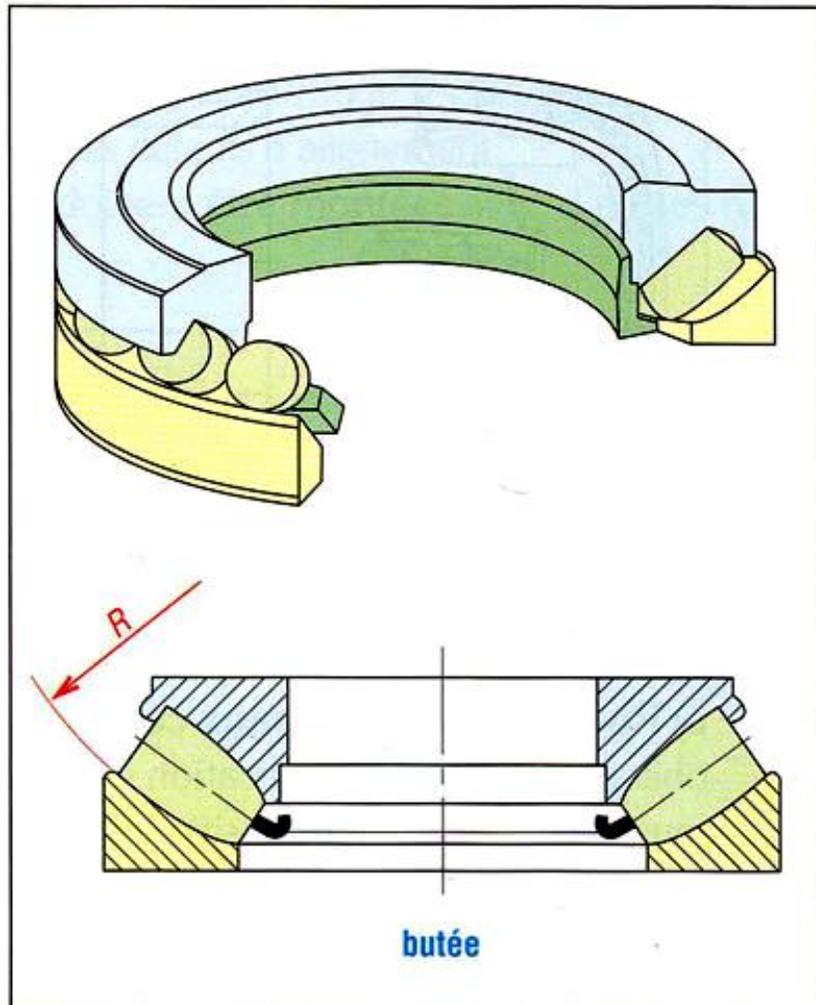
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:
à rouleaux (galets) coniques



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:
Butées à rotule sur rouleaux

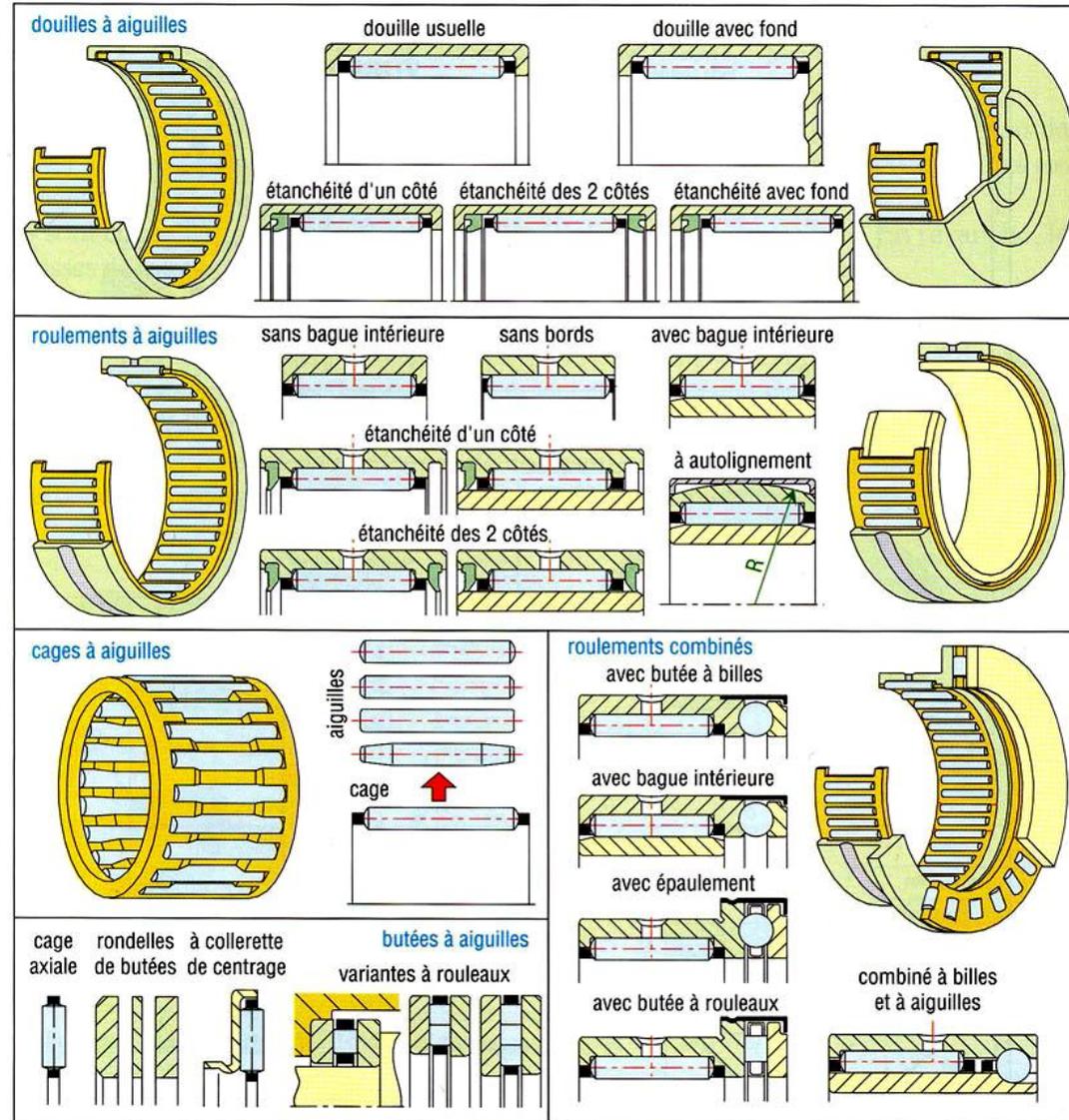


- Réalisent une rotule
- Capacité de charge axiale élevée
- Vitesses de rotation moyennes
- Lubrification à l'huile

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

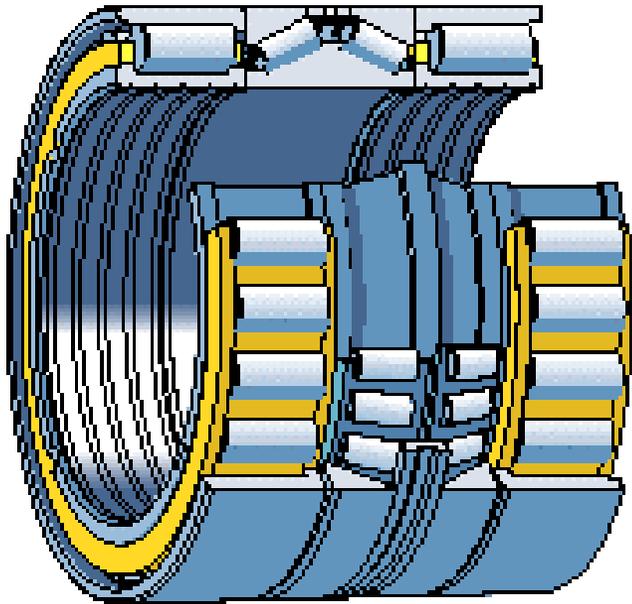
Différents types de roulements à aiguilles

- Utilisation similaire à celle des rouleaux cylindriques
- Ne reprennent que des charges radiales
- Encombrement radial faible



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

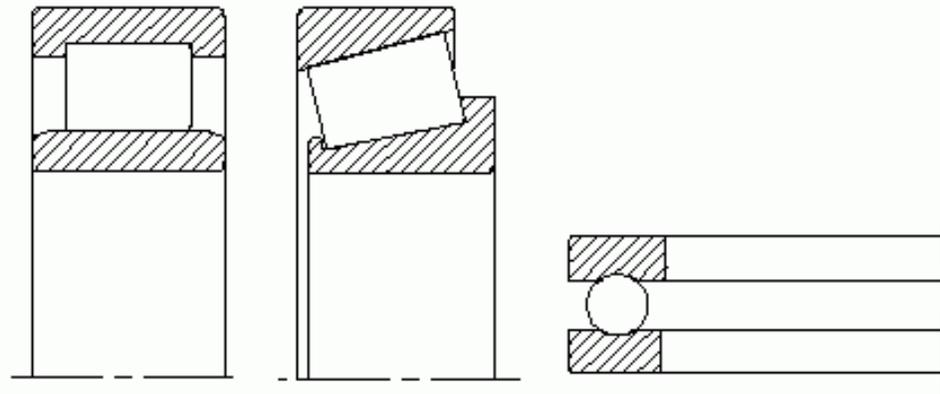
Différents types de roulements:
Roulements combinés



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:

Roulements séparables:

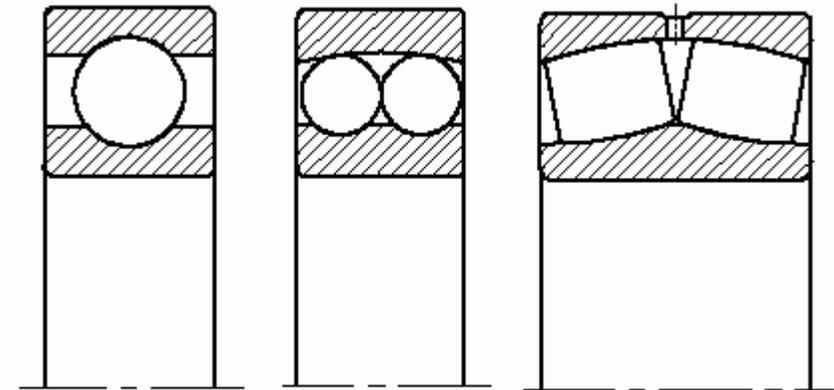


a

b

c

non séparables:



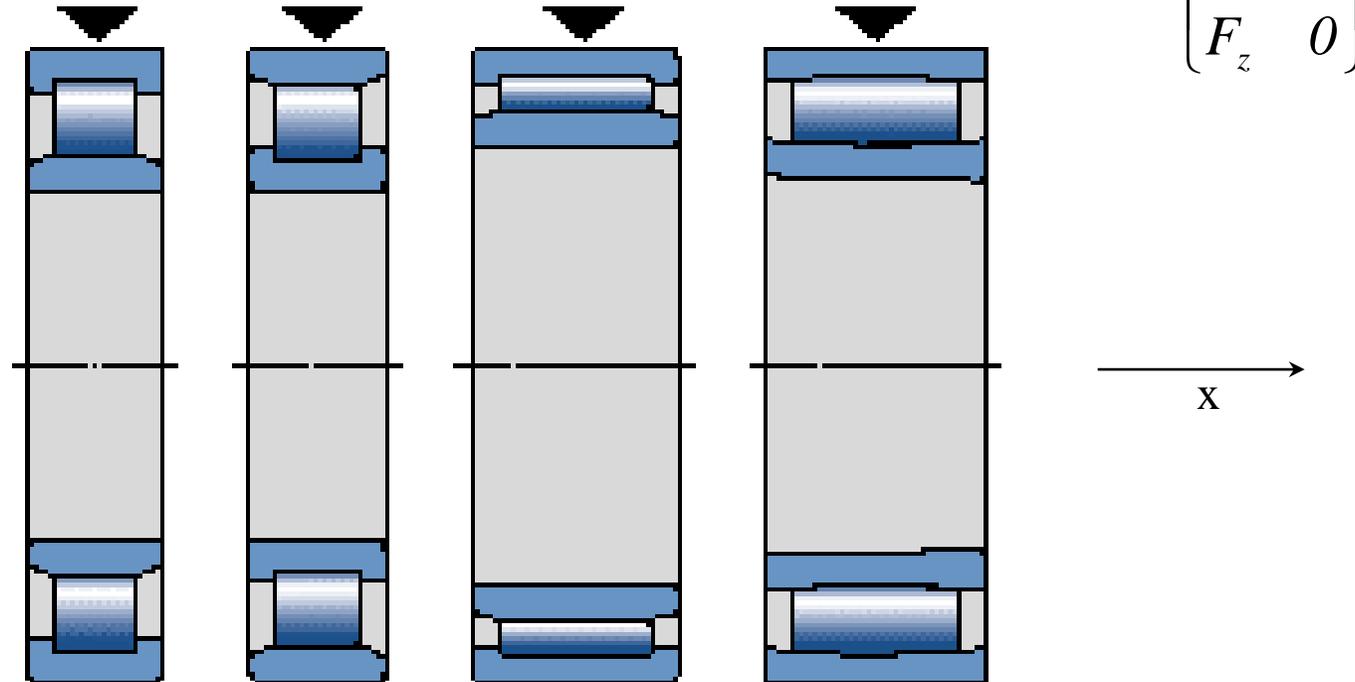
a

b

c

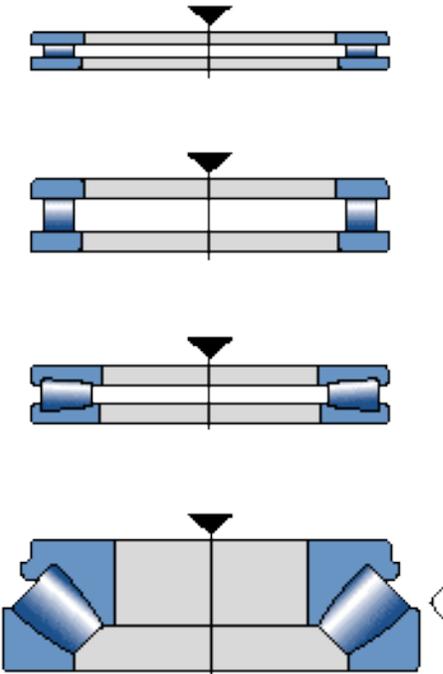
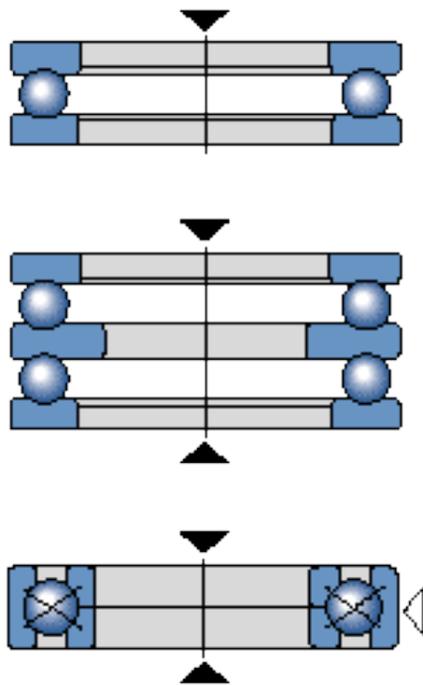
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:
Charges radiales

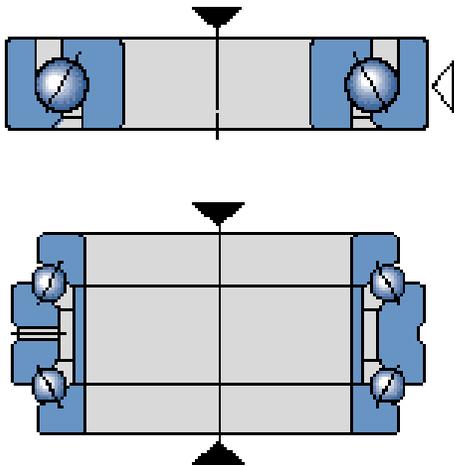


6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:
Charges axiales



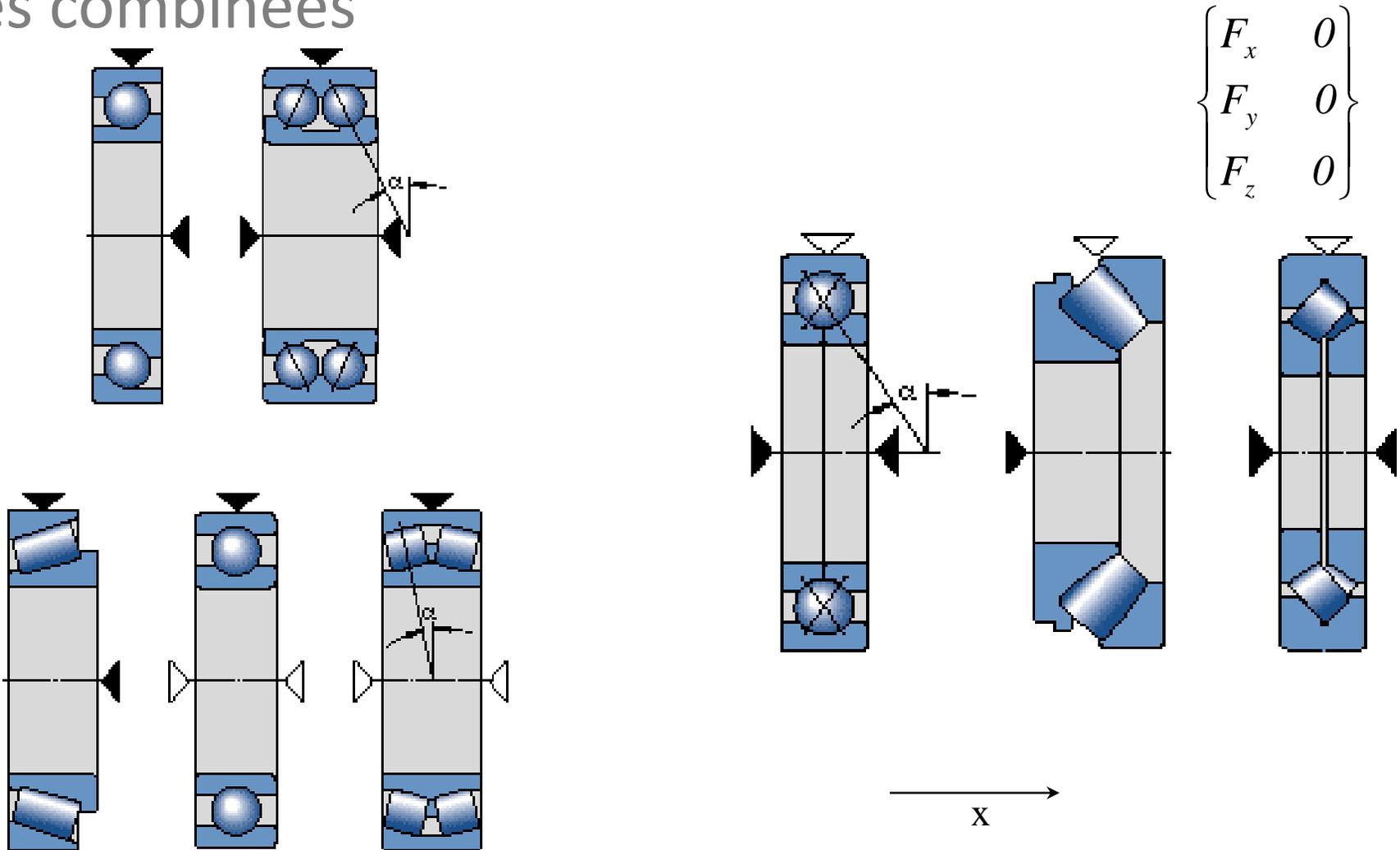
$$\begin{Bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$



x

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Différents types de roulements:
Charges combinées



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Choix d'un type de roulement

Selon calcul des roulements

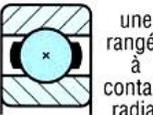
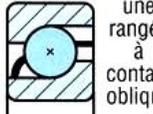
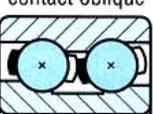


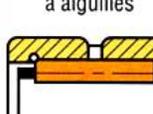
Critères de choix

- Nature des charges : axiale, radiale ou combinée.
- Importance des charges (intensité).
- Vitesse de rotation.
- Perturbations : chocs, vibrations, niveau sonore...
- Montage et démontage : mise en place, accessibilité, réglage...
- Précision exigée : coaxialité, faux rond, précision de rotation...
- Rigidité exigée : déformations admissibles, désalignement des paliers...
- Encombrement, place disponible, dimensions des roulements.
- Longévité, durée de vie souhaitée.
- Conditions ambiantes : pollution, températures, lubrification, prix et disponibilité...

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Choix d'un type de roulement

Guide comparatif des principaux roulements de base	charges admissibles			aptitude à la vitesse	fonctionnement silencieux	rigidité élevée	aptitude au désalignement	angle de rotulage
	radiale	axiale	combinée					
 une rangée à contact radial	**	* ↔	**	*****	*****	*	*	2 à 16°
 une rangée à contact oblique	**	15° ** ← *** 40°	15° ** 40° ***	*****	***	*	*	1 à 2°
 deux rangées à contact oblique	***	** ↔	***	**	*	**	0	≈ 0
 sphérique à auto-alignement	*	* à ≈ 0 ↔	*	**	*	0	***	2 à 4°
 butée à une rangée	0	** ←	0	*	*	*	0	0

Guide comparatif des principaux roulements de base	charges admissibles			aptitude à la vitesse	fonctionnement silencieux	rigidité élevée	aptitude au désalignement	angle de rotulage
	radiale	axiale	combinée					
 cylindrique à une rangée	****	0	0	****	**	***	*	1 à 7°
 conique à une rangée	***	*** ←	****	***	**	**	*	1 à 4°
 sphérique à auto-alignement	****	** ↔	****	**	*	***	***	0,5 à 2°
 à aiguilles	***	0	0	***	**	**	0	0 à 2°

↔ 2 sens ← 1 sens **** excellent *** bon ** moyen * faible 0 inadapté

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Exercice: types et fonctions des roulements

- Le réducteur à train planétaire et vis sans fin illustré ci-contre comporte 5 paliers.
- Indiquer le type de chaque palier et la nature de la charge qu'il peut supporter.

Palier 1: _____

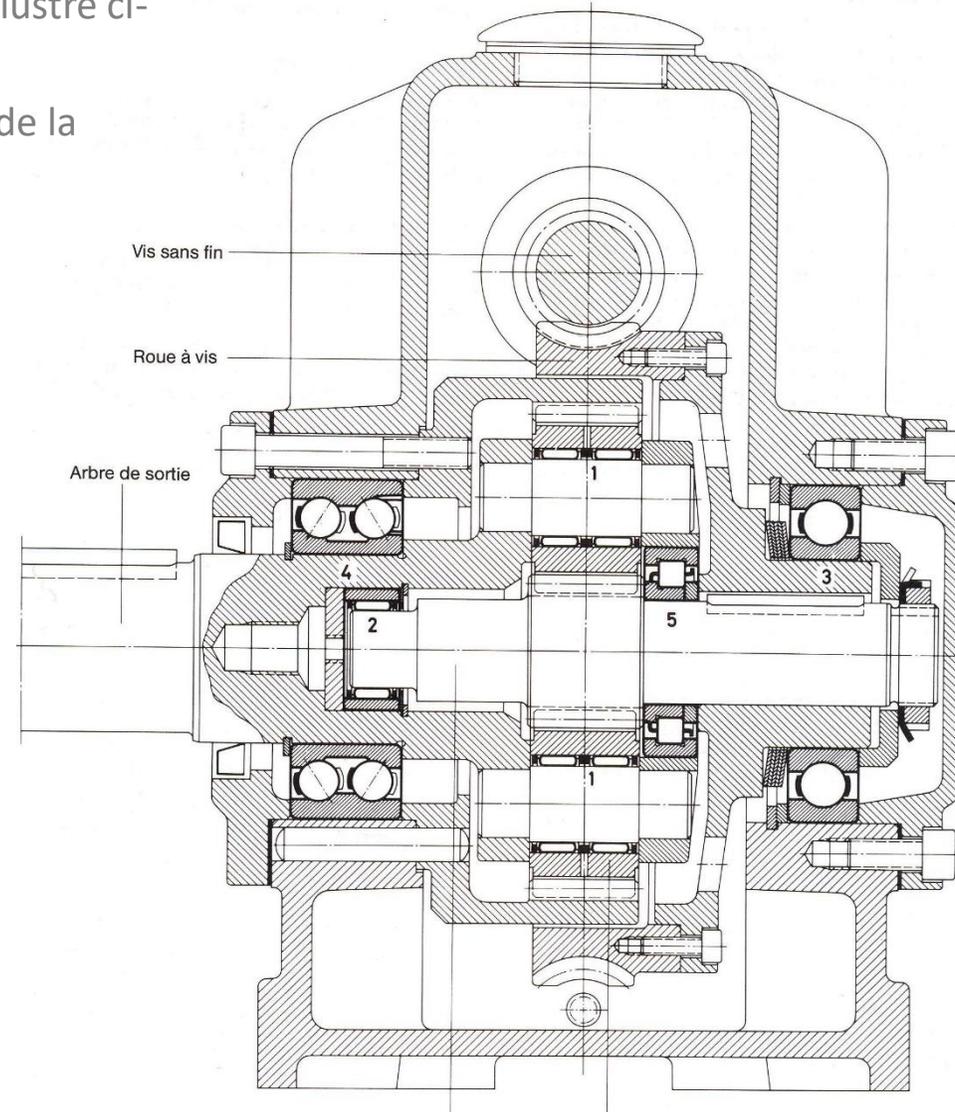
Palier 2: _____

Palier 3: _____

Palier 4: _____

Palier 5: _____

Quels roulements ne comportent pas de bague intérieure?



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Exercice: types et fonctions des roulements

- Le réducteur à train planétaire et vis sans fin illustré ci-contre comporte 5 paliers.
- Indiquer le type de chaque palier et la nature de la charge qu'il peut supporter.

Palier 1: Cages a aiguilles

Charges radiales

Palier 2: Douille a aiguilles

Charges radiales

Palier 3: Roulement a billes a contact radial

Charges radiales et axiales

Palier 4: Roulement a deux rangées a contact oblique

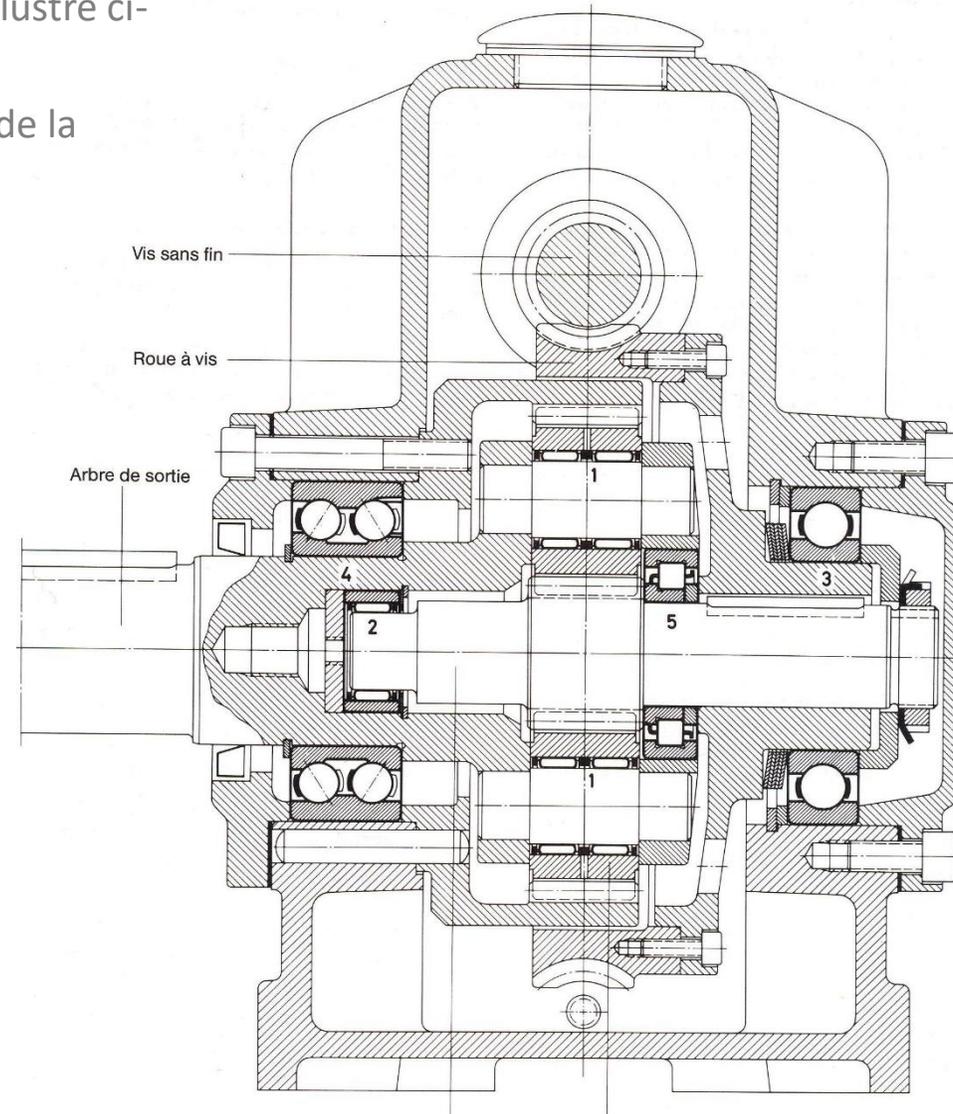
Charges radiales et axiales

Palier 5: Roulement cylindrique a une rangee

Charges radiales

Quels roulements ne comportent pas de bague intérieure?

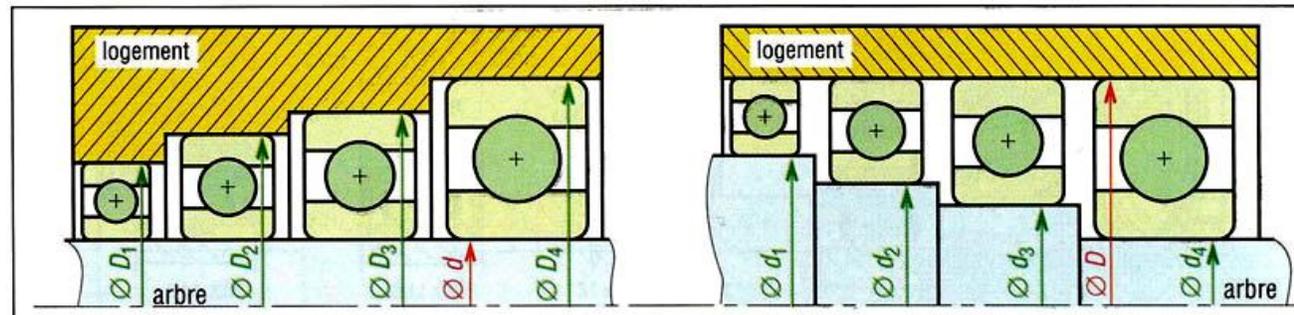
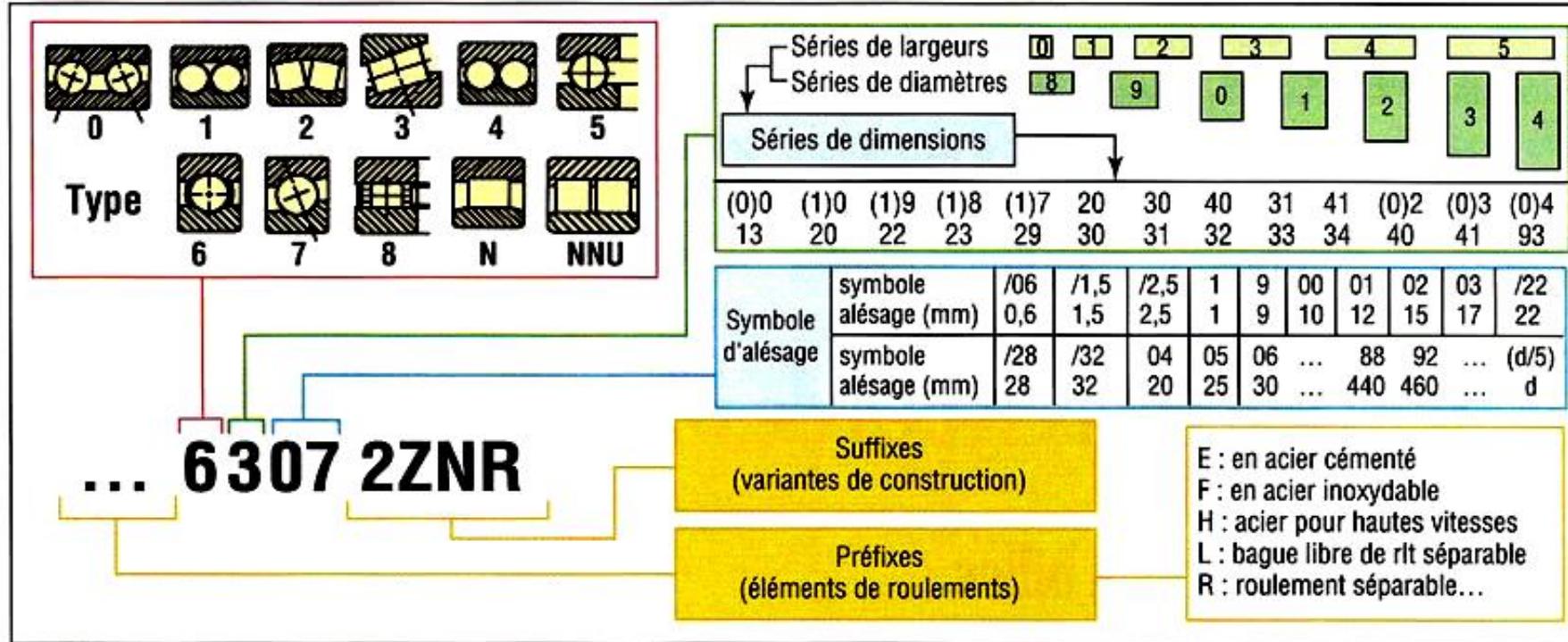
1, 2



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

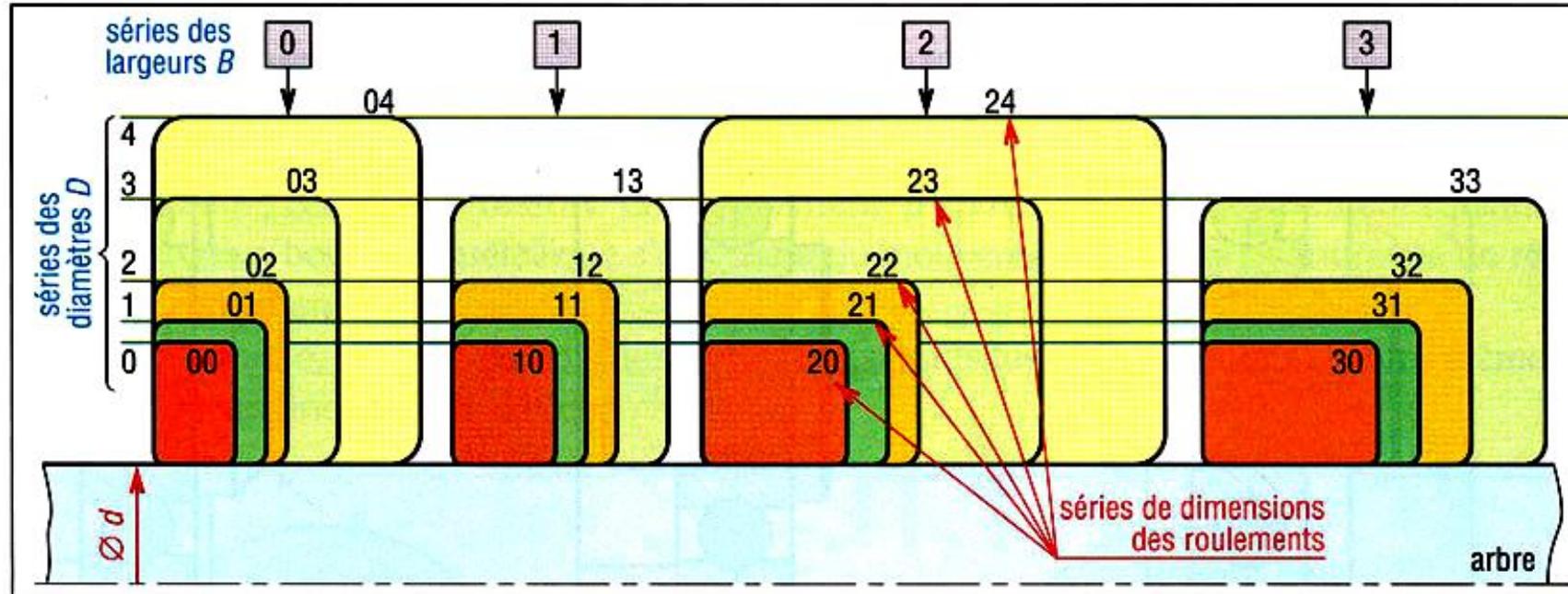
Normalisation internationale des roulements (ISO 492, 199, 578, 1224)

6=Rlt a billes a contact radial, 3=(0)3: largeur=0 d=3, 07=D/5: D=35



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

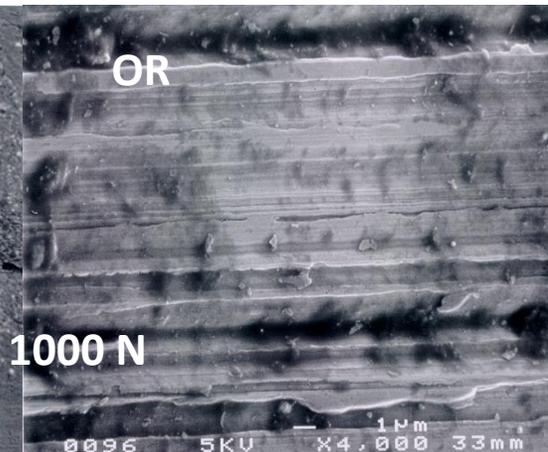
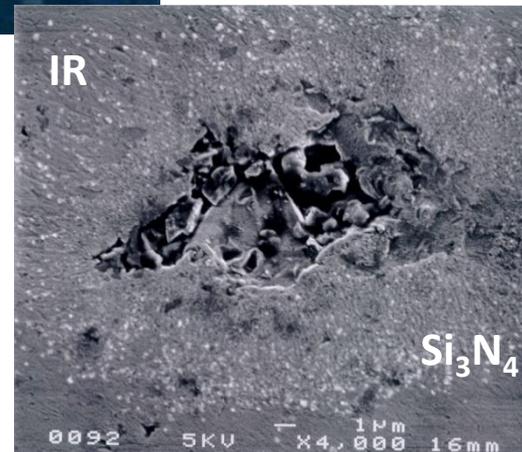
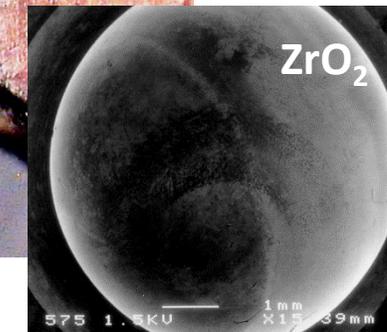
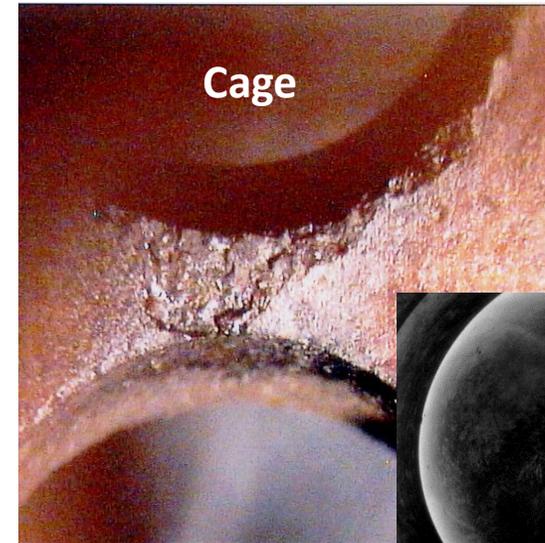
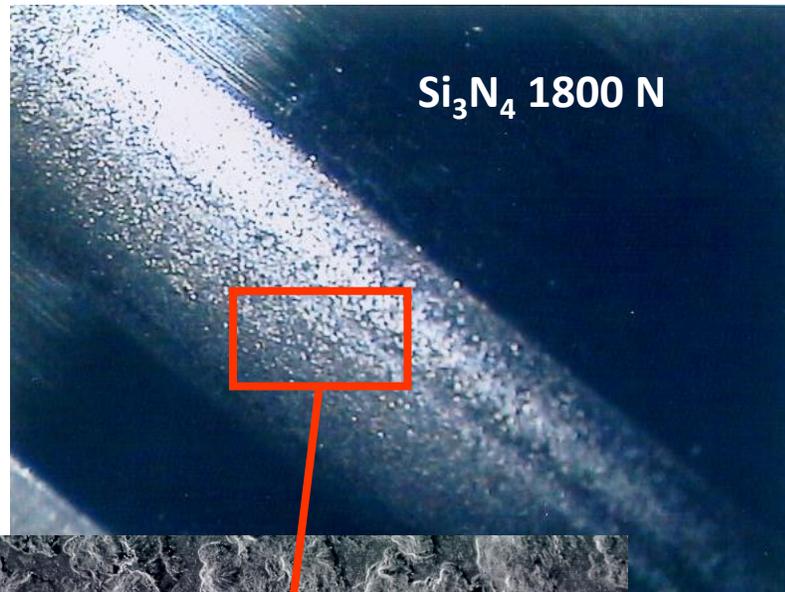
Normalisation internationale des roulements (ISO 492, 199, 578, 1224)



- Normalisation des classes de tolérance et du jeu interne
 - Tolérances: 0-6-5-4-2 (- serrées au + serrées)
 - Jeux radial interne: C1 – C2 – CN – C3 – C4 – C5 (du + petit au + grand)
- ABEC: standard de tolérances US

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation

Endommagement des roulements



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Problématique et principes généraux

- Choix
 - Du roulement
 - Des ajustements
 - Fixation latérale des bagues de roulement
 - Etanchéité
 - Lubrification
- Principes de conceptions
 - Conception simple avec peu de pièces
 - Pièces normalisées et disponibles
 - Peu de pièces « spéciales » à fabriquer
 - Prendre en compte le montage (possibilité, facilité, ordre)

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Choix des ajustements: règles générales

1. Règle

Chaque roulement d'un même montage a

- Une bague ajustée serrée
- Une bague ajustée avec jeu

Le jeu:

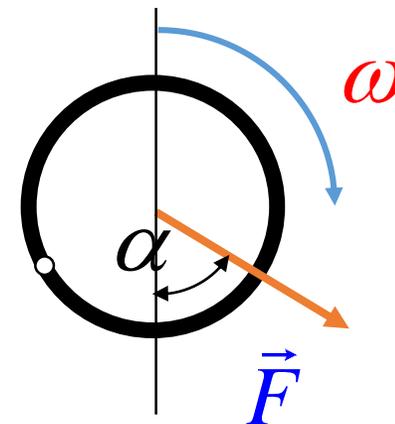
- Simplifie les assemblages
- Compense les dilatations
- Evite les « oppositions mutuelles entre roulements » (blocage)

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Choix des ajustements: règles générales

2. Règle:

Si une bague tourne par rapport à la direction de la charge appliquée au roulement, elle doit être ajustée avec serrage. Si elle est fixe ou ne tourne pas par rapport à la direction de la charge, elle doit être ajustée avec jeu.



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Effet d'un mauvais ajustement: corrosion de contact (fretting corrosion)



← Jeu excessif

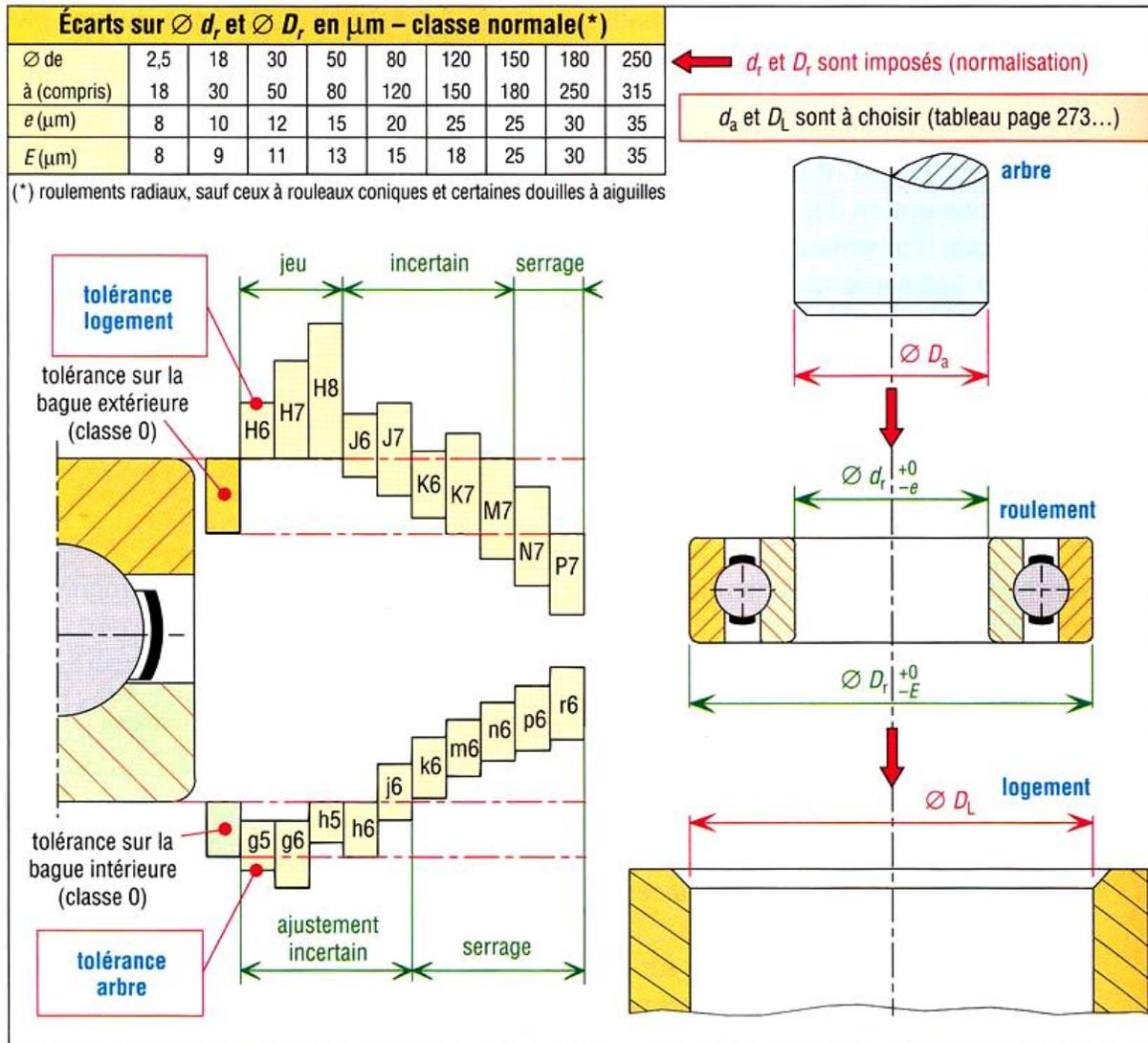
Montage ~ correct →

Jeu excessif →



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Choix des ajustements: normalisation



- Normalisation dimension roulements par les fabricants:

d_r = diamètre intérieur

D_r = diamètre extérieur normalisés par fabricants

- Seuls choix des tolérances, par le concepteur:

d_a = diamètre arbre

D_L = diamètre logement

- Pour classe 6, tolérances normales les plus courantes

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Ajustements usuels des roulements

Ajustements usuels des roulements (fabricants)												
	particularités de la charge		roulements à billes (tous)		roulements à rotule sur rouleaux				roulements à rouleaux coniques			roulements à aiguilles sans bague intérieure
					$d \leq 40$	$40 < d \leq 100$	$100 < d \leq 140$	$140 < d \leq 400$	$d \leq 120$	$120 < d \leq 180$	$180 < d \leq 400$	
					roulements à rlx cylindr. + aiguilles avec b.i.							
		$d \leq 100$	$100 < d \leq 200$	$d \leq 40$	$40 < d \leq 140$	$140 < d \leq 200$	$200 < d \leq 400$					
tolérance des arbres	charge tournante par rapport à la bague intérieure	faible $\frac{C}{P} > 10$	j6	k6	j6	k6	m6		m6	n6	n6	h5 (h6) si $d \leq 80$ g5 ($d > 80$)
		normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	k6 (k5)	m6 (m5)	k6 (k5)	m6 (m5)	n6	p6	m6	n6	p6	
		forte $\frac{C}{P} \leq 5$	k6	m6 $d > 200$ n6	-	n6	p6	r6	n6	p6	r6	
	charge fixe par rapport à la bague intérieure	g6 (BC) h6 (BNC)		g6 (BC) h6 (bague intérieure non coulissante)				g6 (BC) h6 (BNC)			g5	
tolérance des logements	charge tournante par rapport à la bague extérieure	faible $\frac{C}{P} > 10$	M7	M7				P7 ou R7 (forte charge)			M7	N7 doublées
		normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	N7	N7							N7	
		forte $\frac{C}{P} \leq 5$	P7	P7							P7	
	charge fixe par rapport à la bague extérieure	H7 (BC) K6 (PR) G7 (EA)	H7 (bague coulissante) K6 (PR) G7 (EA)				bague ext. réglable	J7	H7 (bague coulissante) ou J7			
								bague ext. non réglable	P7 (R7)			

BNC : bague non coulissante ; BC : bague coulissante ; PR : précision de rotation ; EA : si échauffement de l'arbre.

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Ajustements usuels des roulements

- Les ajustements ont toujours une justification fonctionnelle
- Le choix de l'ajustement dépend:
 - Du mouvement relatif bague – charge
 - Du niveau de charge C/P
 - C = charge dynamique de base
 - P = charge équivalente exercée sur le roulement
 - Du type de roulement
 - De la taille du roulement
 - Du régime thermique
 - De la précision de rotation désirée

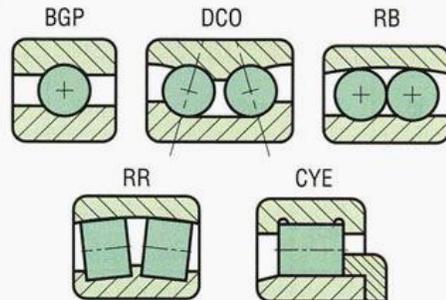
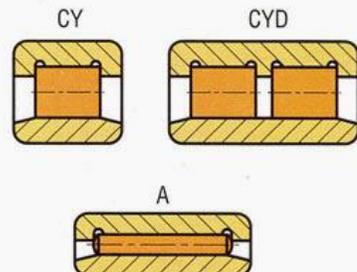
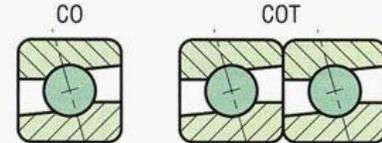
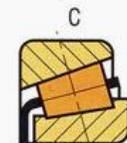
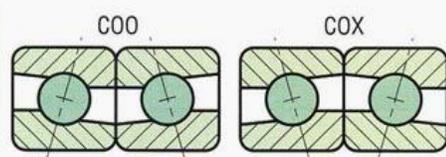
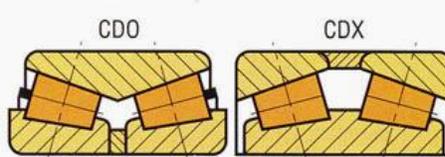
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Ajustements usuels des butées

Ajustements : cas des butées ou roulements axiaux				
particularités de la charge	tolérance des arbres		tolérance des logements	
	butées à billes et à rouleaux cylindriques	à rotule sur rouleaux	à billes et à rouleaux cylindriques	à rotule sur rouleaux
axiale pure (centrée)	h6	h6	H8 (billes) H7 (rouleaux)	E8 G7 (charge forte)
charge fixe sur rondelle arbre (tourne % logement)		j6		K7 (usuel) M7 (forte charge)
charge tournante sur rondelle arbre ou indéterminée		k6	$d \leq 200$	J7 ou H7
		m6	$200 < d \leq 400$	
		n6	$d > 400$	

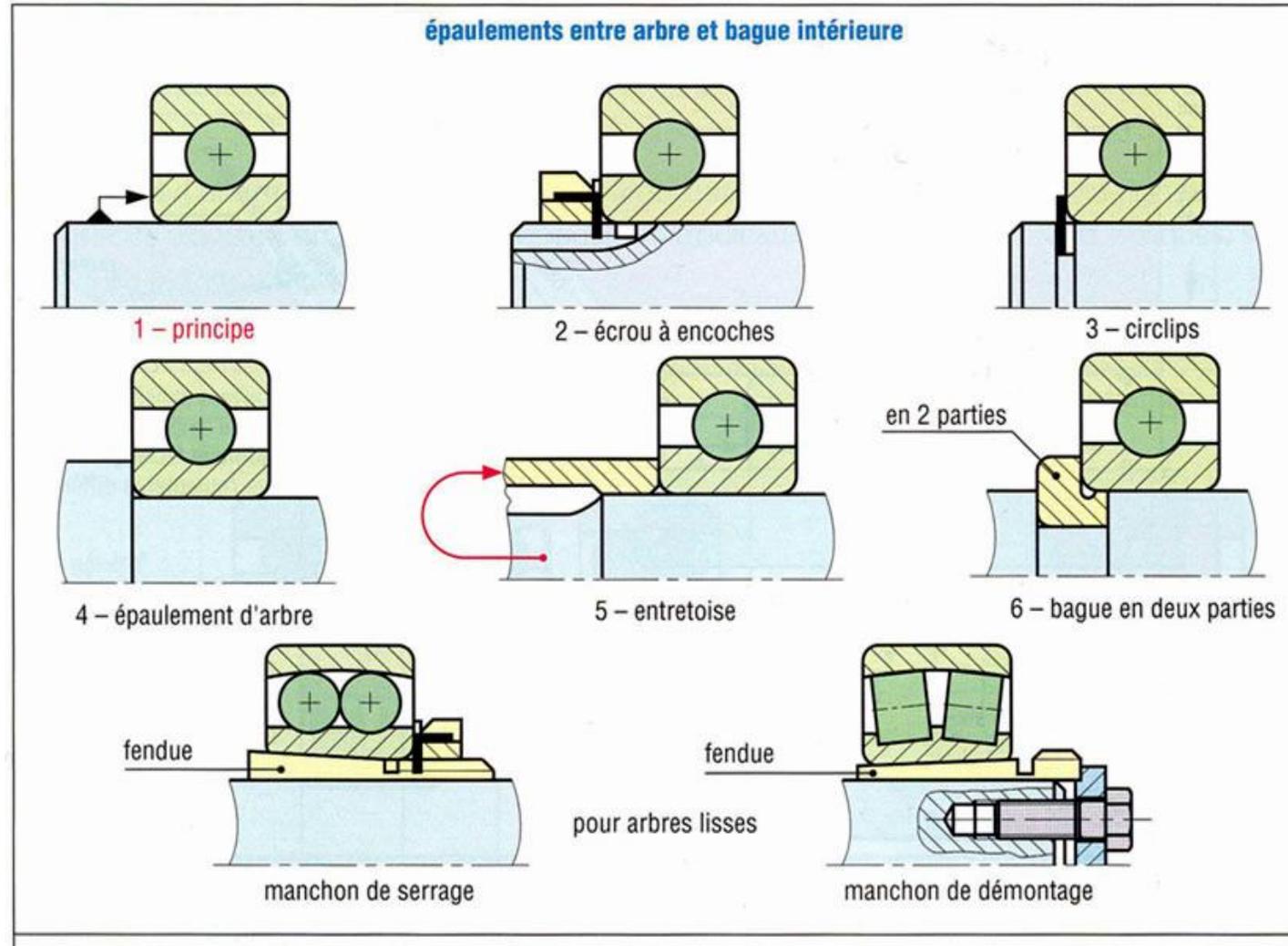
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements

Règles de montage		
règles	roulements à bagues non séparables	roulements à bagues séparables
cas général (pages 274 à 279)	 <p>BGP DCO RB</p> <p>RR CYE</p>	 <p>CY CYD</p> <p>A</p> <p>(règles pages 282 et 283)</p>
cas exigeant un montage en opposition (pages 280 à 282)	 <p>CO COT</p> <p>en tandem (T)</p>	 <p>C</p>
groupements particuliers (combinaison des deux cas précédents)	 <p>COO COX</p> <p>duplex en O duplex en X</p> <p>O X</p>	 <p>CDO CDX</p>

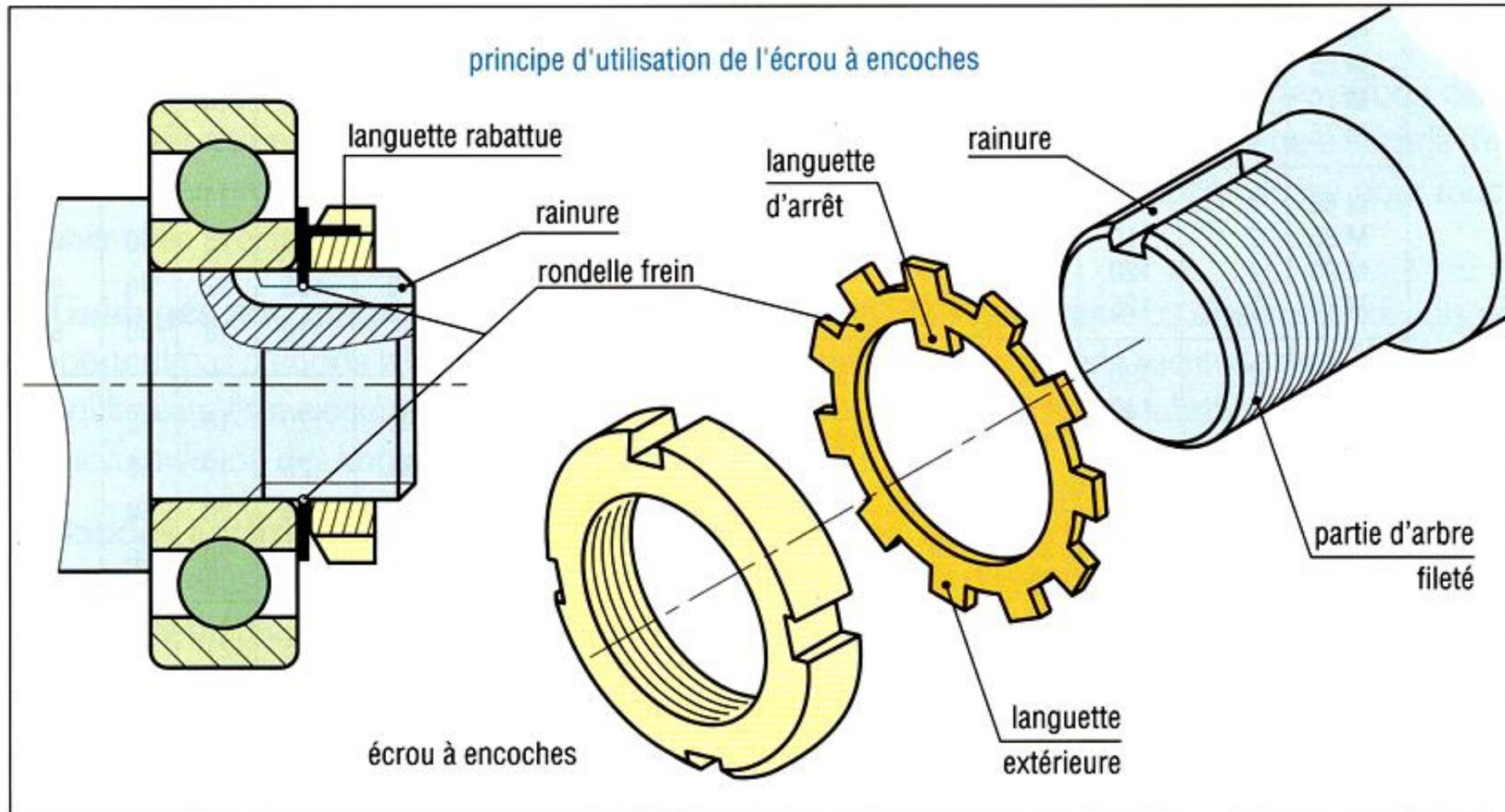
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements



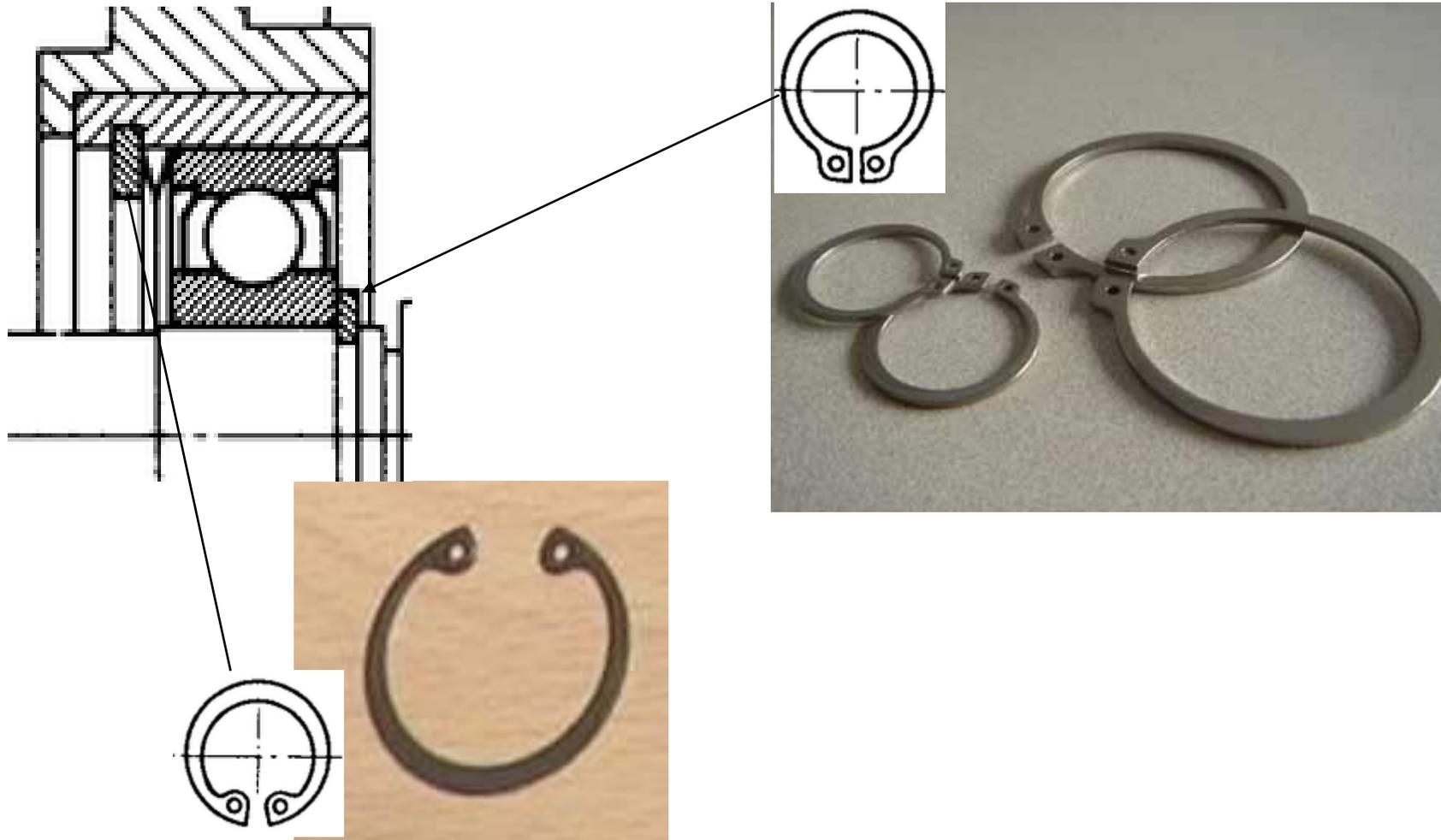
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Montage avec écrou à encoches



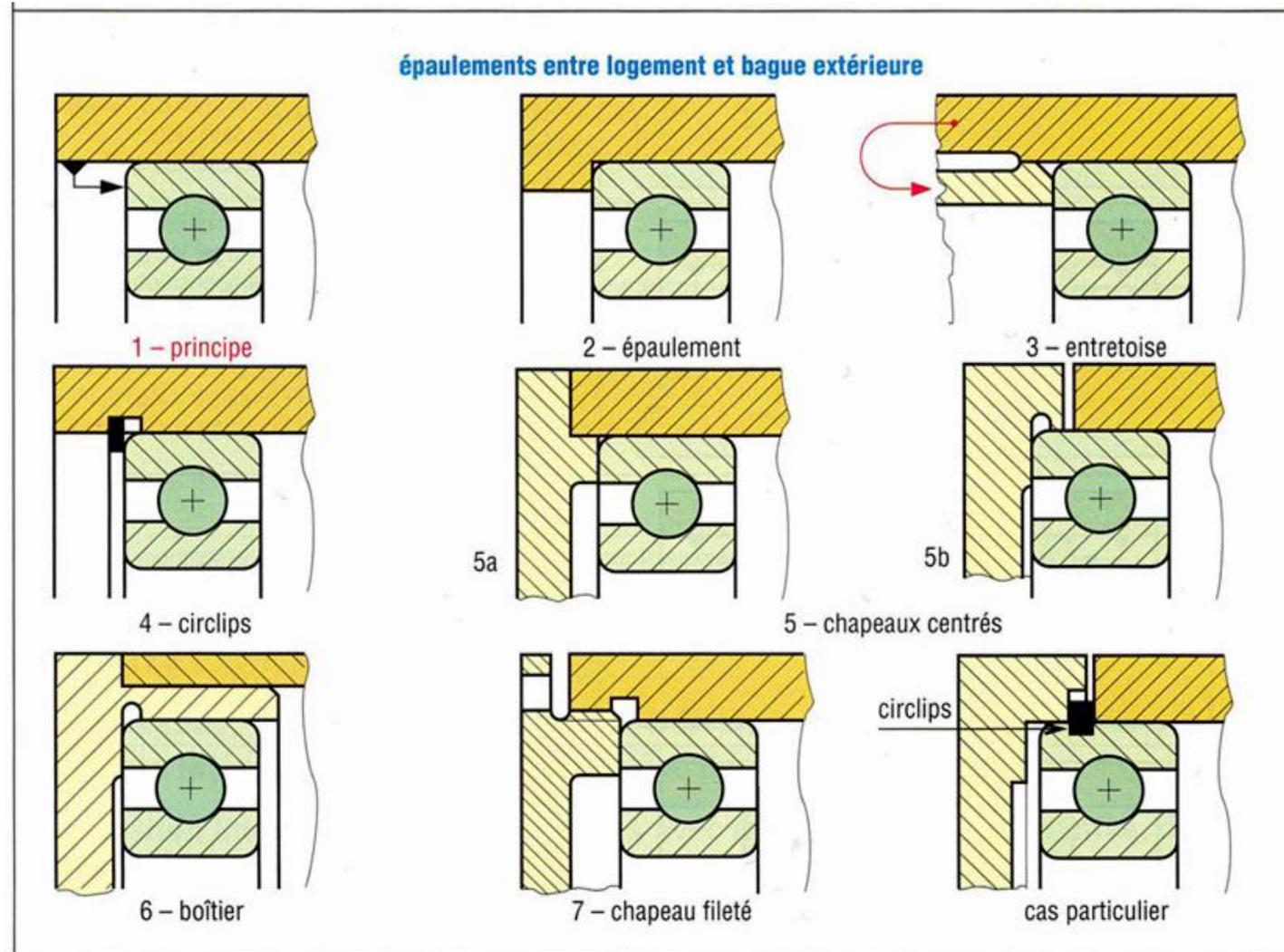
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Circlips



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements

1. Règle (exceptions possibles)

Les bagues tournantes par rapport à la charge et ajustées serrées, doivent être fixées latéralement (épaulées) des deux cotés

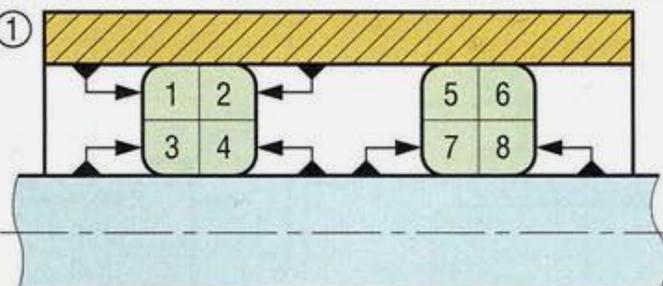
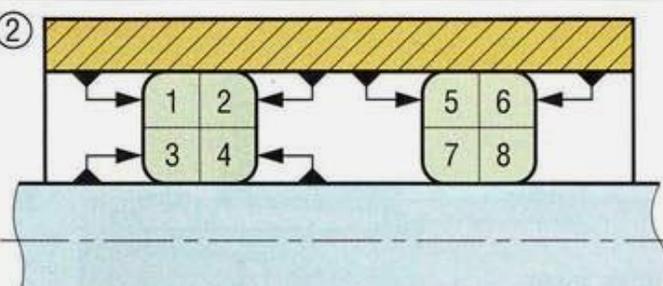
2. Règle

La fixation latérale des bagues ajustées avec jeu ou montées glissantes doit tenir compte des points suivants

- Eliminer la translation de l'arbre par rapport au logement
- Eviter les oppositions mutuelles des roulements (hyperstatismes donnent détériorations rapide)
- Eliminer les mouvements internes parasites
- Supporter au mieux les charges axiales

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Solutions 1 et 2

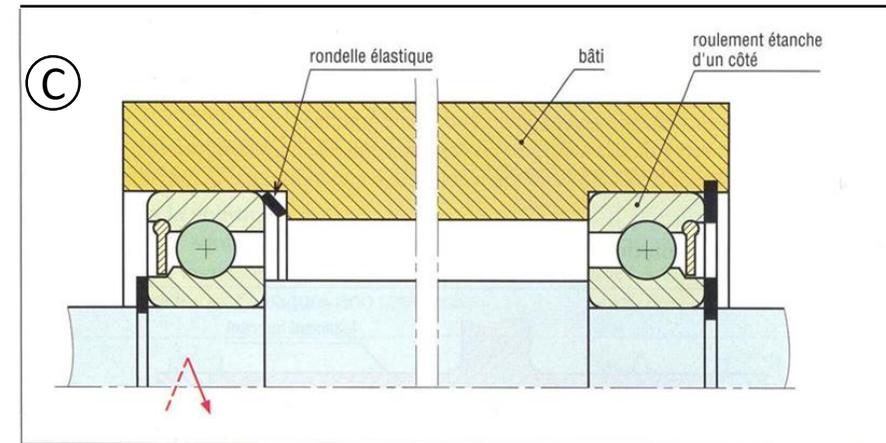
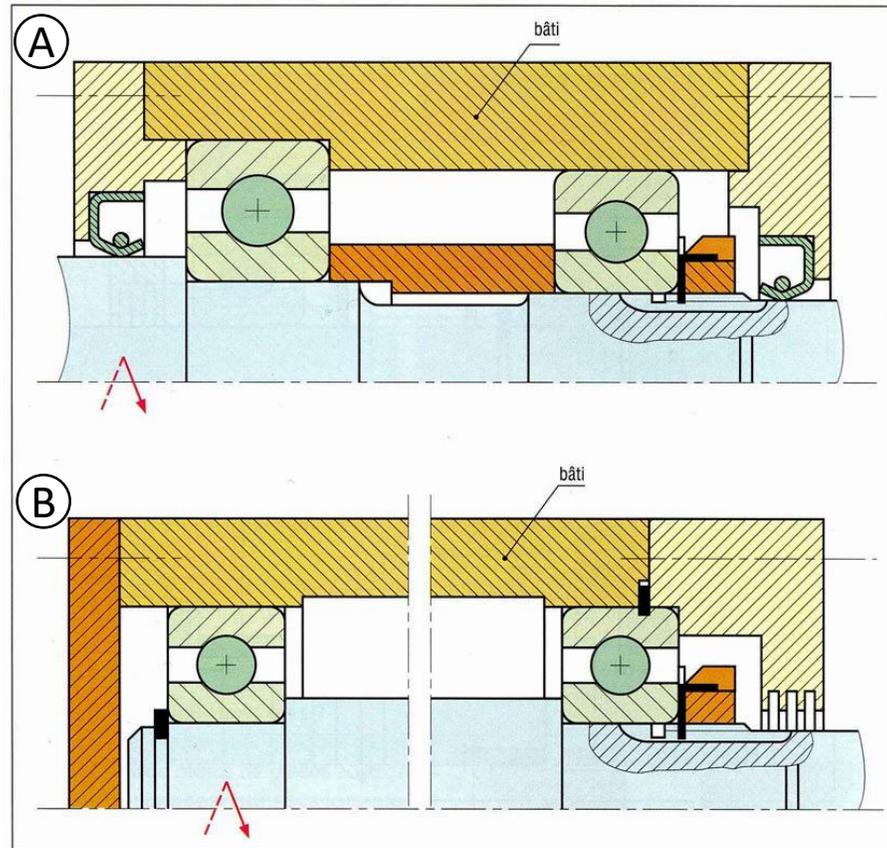
solutions N° ↓	Combinaisons usuelles des épaulements (cas général)	bagues			remarques
		interne	extérieure	à bagues non séparables	
①		●	●		souvent utilisé, n'exige pas un jeu axial de fonctionnement, montage facile avec des roulements différents
②		●	●		idem ci-dessus mais moins utilisé

exemples : BGP + BGP
BGP + DCO
RB + RB , COO + COO

exemples : BGP + CY
DCO + CY
COO + CY

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

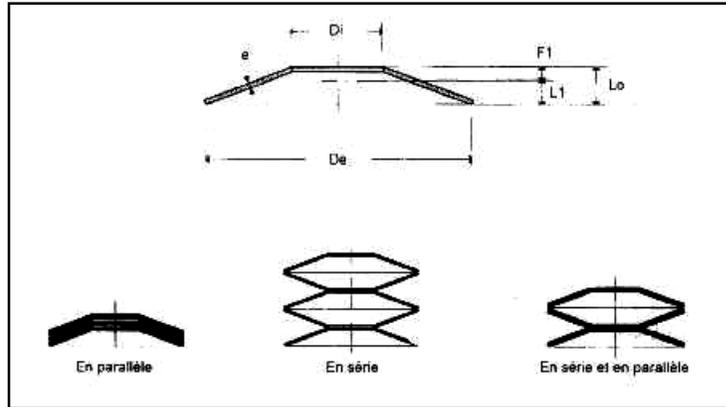
Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Solutions 1 - Exemples



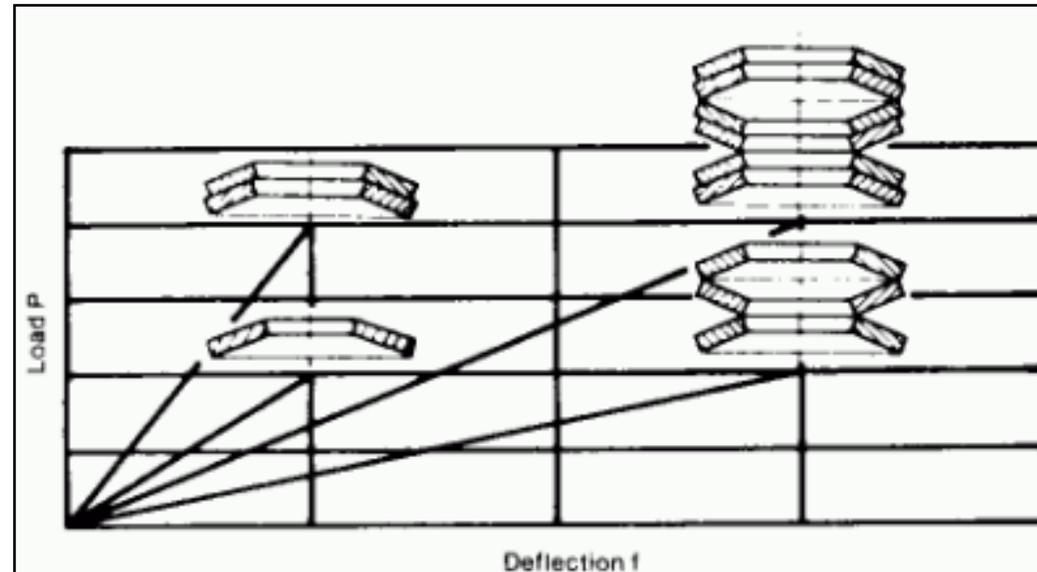
- *Arbre tournant, charge fixe par rapport au bâti.*
- *Bagues intérieures serrées, bagues extérieures glissantes*
- *Efforts axiaux sur 1 roulement*
- *A et B: prémontage sur l'arbre possible*

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements: Rondelles élastiques cuvettes, Belleville ou Schnorr

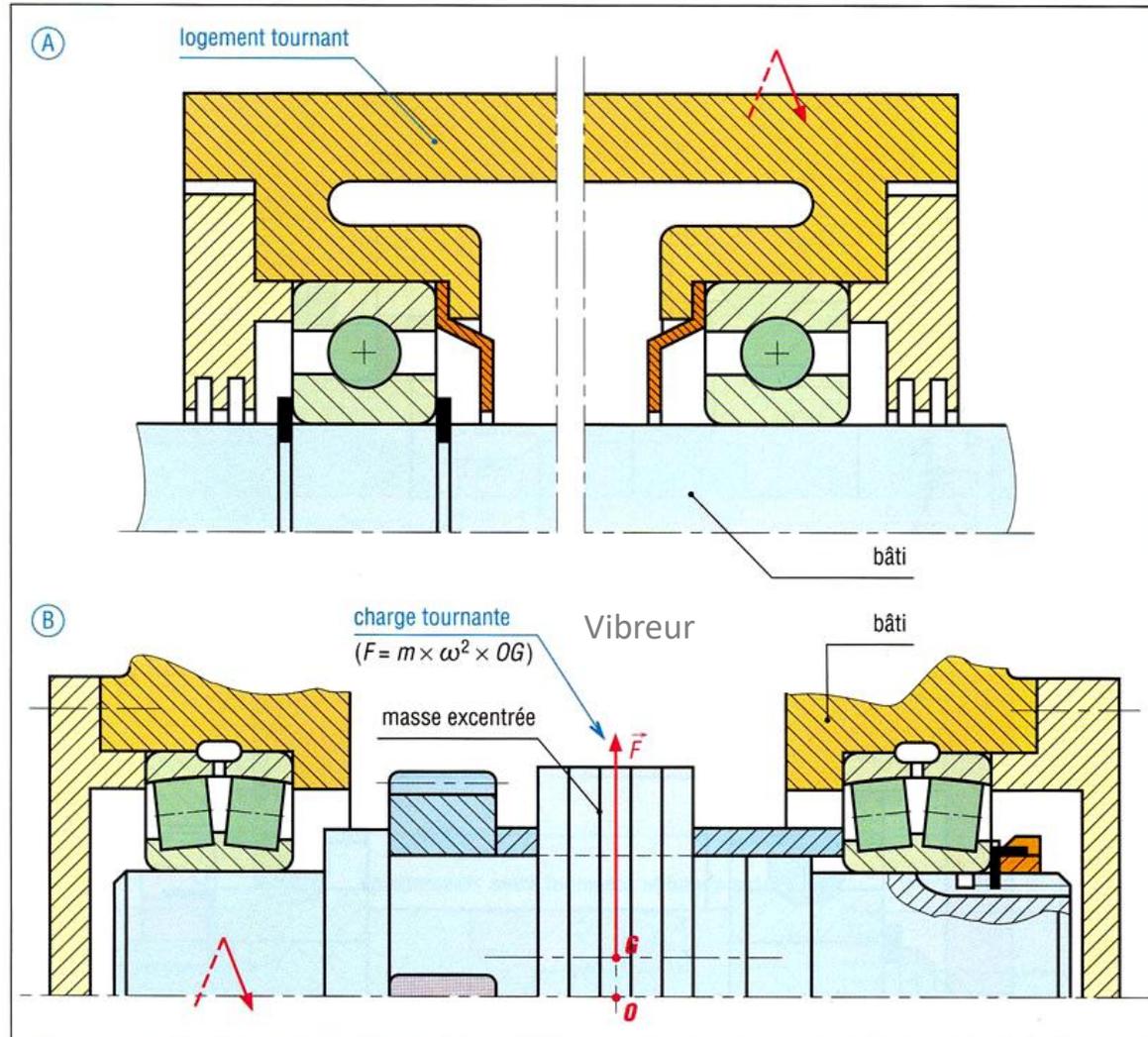


D_i = Diamètre intérieur, en mm
 D_e = Diamètre extérieur, en mm
 L_0 = Hauteur libre approximative, en mm
 L_1 = Hauteur sous charge P_1 , en mm
 P_1 = Charge à L_1 , en Newton
 F_1 = Flèche sous charge P_1 , (déflexion) = $L_0 - L_1$, en mm
 e = Epaisseur, en mm



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements: Combinaison des épaulements – Solutions 2 - Exemples



- Logement tournant, charge fixe par rapport à l'arbre
- *Bagues intérieures glissantes, bagues extérieures serrées*
- Charge centrifuge tournante par rapport au logement

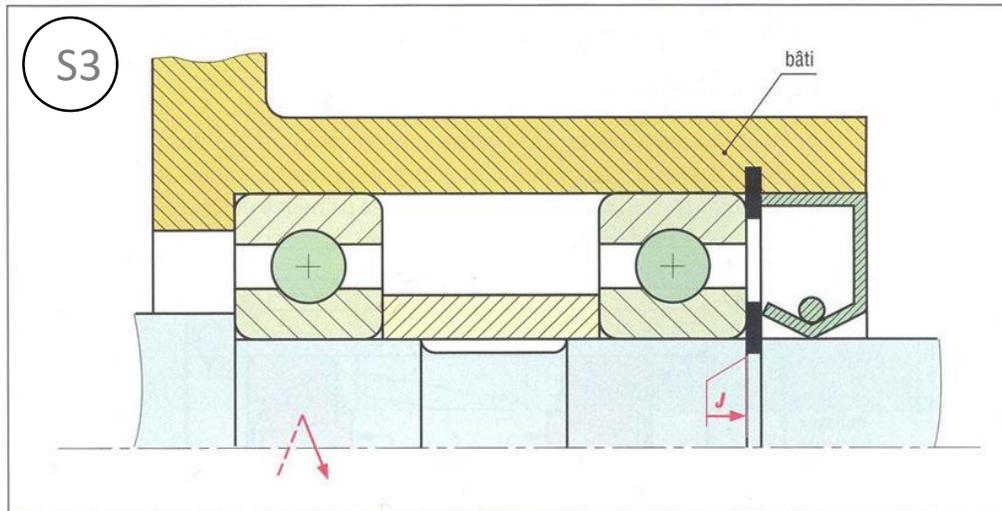
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Solutions 3 et 4

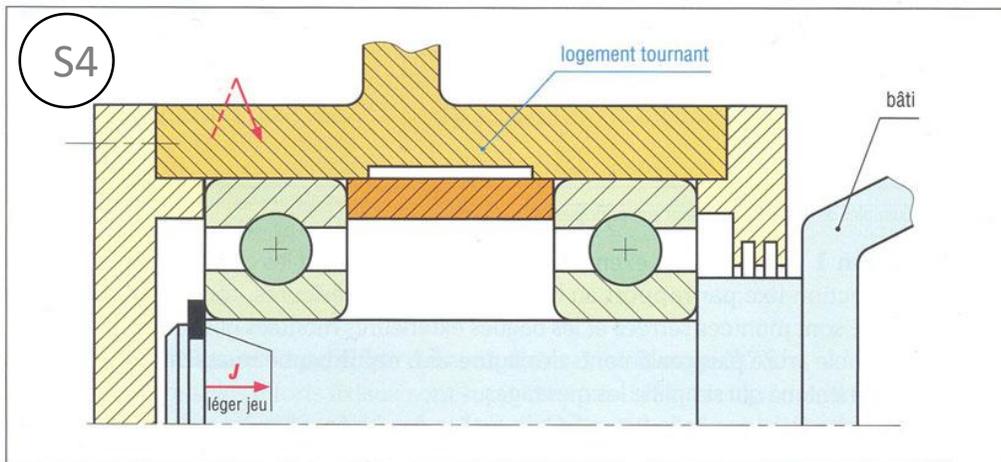
solutions N° ↓	Combinaisons usuelles des épaulements (cas général)	bagues intérieure tournante/charge			bagues extérieure tournante/charge			cas de 2 roulements à bagues non séparables			cas où l'un des 2 roulements est à bagues séparables			remarques
		exemples : BGP + BGP BGP + DCO RB + RB , COO + COO			exemples : BGP + CY DCO + CY COO + CY									
③		•		•									<p>solution 3 : les épaulements 1 et 6 peuvent être remplacés par des épaulements sur 2 et 5</p> <p>avec la charge axiale dans un seul sens, les résultats sont meilleurs</p>	
④				•		•							<p>assez utilisés, exigent un léger jeu J pour éviter les oppositions mutuelles et compenser les dilatations ou une rondelle élastique</p> <p>à utiliser avec des liaisons courtes</p>	

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Solutions 3 et 4 - Exemples

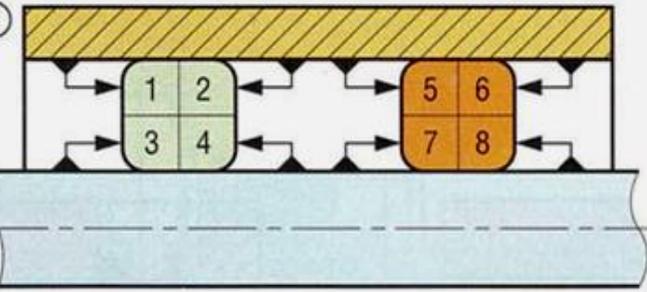


- J Jeu axial fonctionnel pour reprendre les dilatations
- Distance entre paliers courte limite ces dilatations



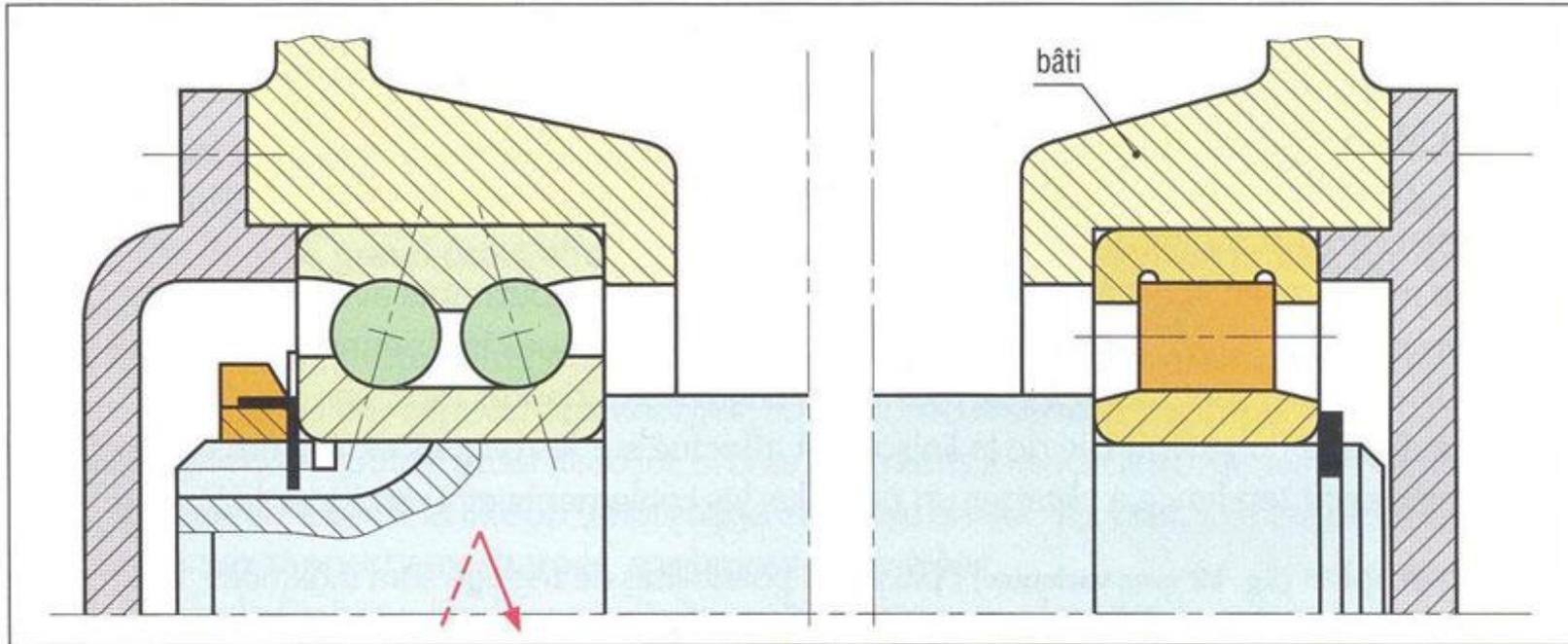
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Solution 5

solutions N° ↓	Combinaisons usuelles des épaulements (cas général)	bague intérieure tournante/charge	bague extérieure tournante/charge	cas de 2 roulements à bagues non séparables	cas où l'un des 2 roulements est à bagues séparables	exemples : BGP + BGP BGP + DCO RB + RB , COO + COO exemples : BGP + CY DCO + CY COO + CY remarques
⑤		●	●		●	liaisons rigides pouvant supporter charges élevées, chocs et vibrations

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

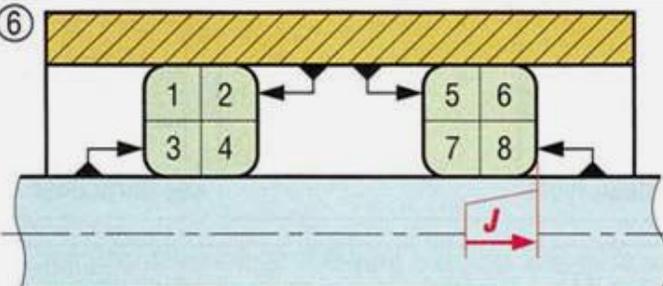
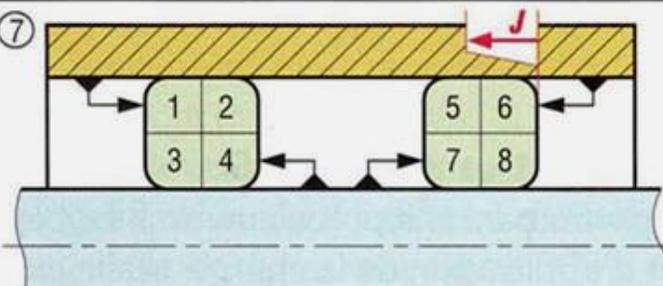
Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Solutions 5 - Exemple



- *Un roulement séparable pour compenser les dilatations*

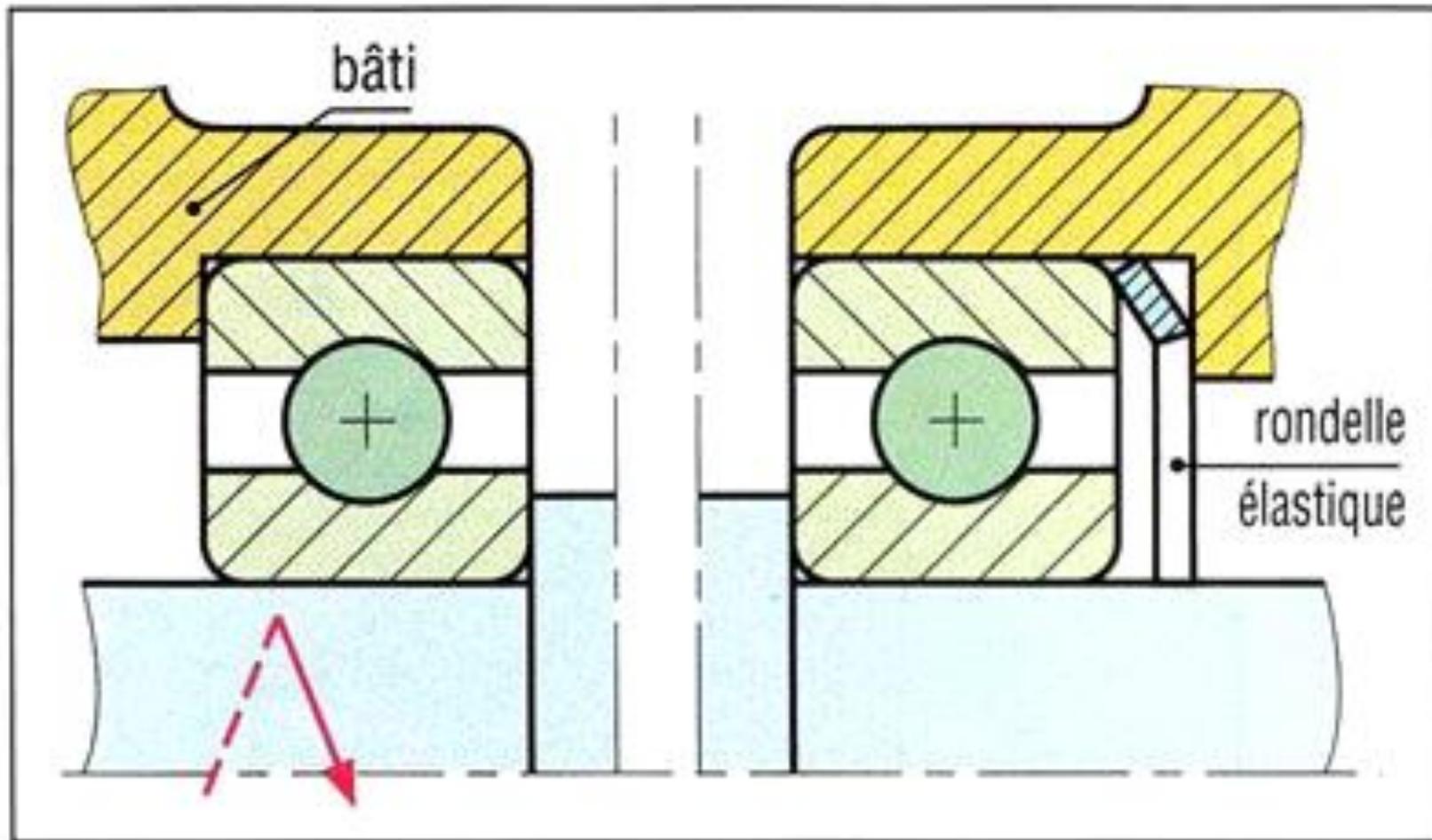
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Solution 6 et 7

solutions N° ↓	Combinaisons usuelles des épaulements (cas général)	bague intérieure tournante/charge				bague extérieure tournante/charge		cas de 2 roulements à bagues non séparables		cas où l'un des 2 roulements est à bagues séparables		remarques
		exemples : BGP + BGP BGP + DCO RB + RB , COO + COO		exemples : BGP + CY DCO + CY COO + CY								
⑥			•	•								
⑦		•		•							variante économique des cas 3 et 4 pour liaisons peu chargées (généralement sans charge axiale ou sous charge axiale faible selon type de roulements)	

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

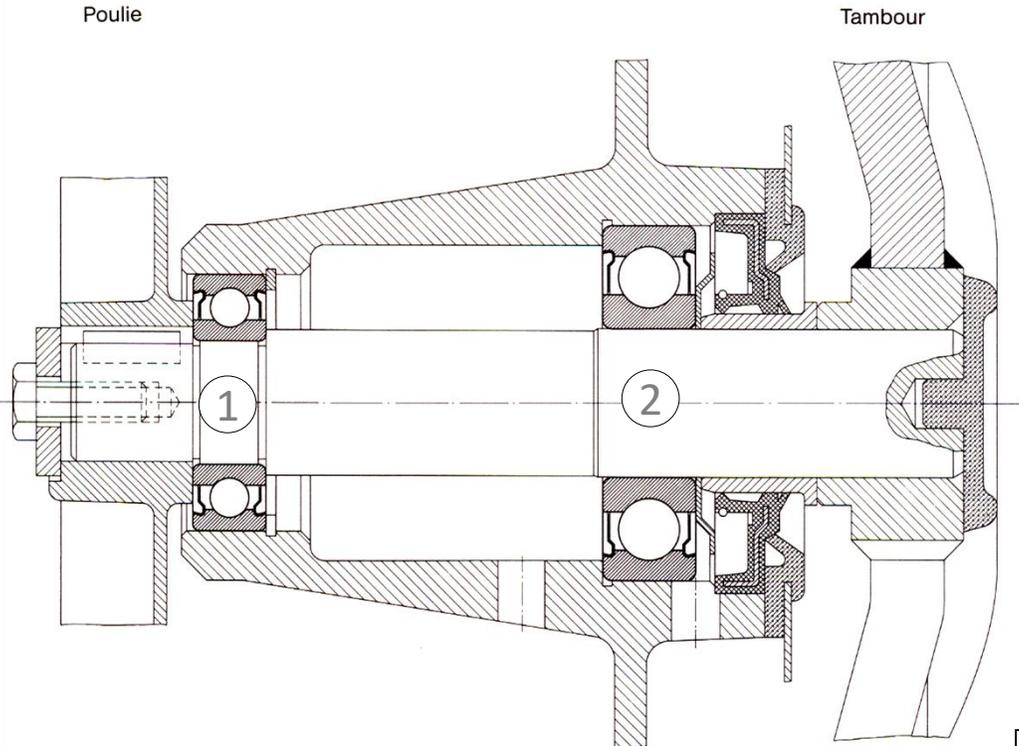
Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Solutions 7 - Exemple



Jeu axial ou rondelle élastique

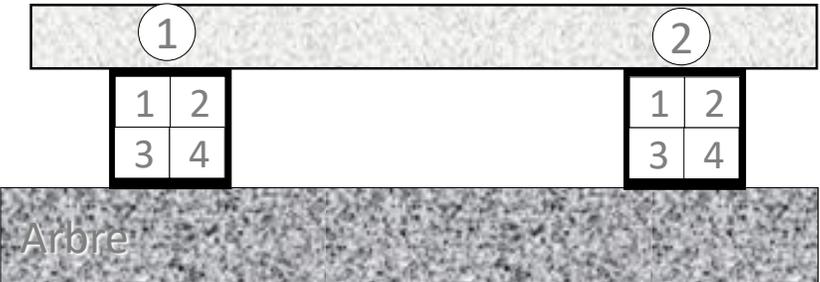
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
 Combinaison des épaulements – Exercice 1: Montage de roulements non démontables



La figure ci-contre représente le montage de l'arbre d'un tambour de machine à laver le linge.

1. Indiquer dans le schéma ci-dessous où se trouvent les épaulements
2. Indiquer le type des ajustements (serré ou avec jeu)



Palier 1 BI: _____

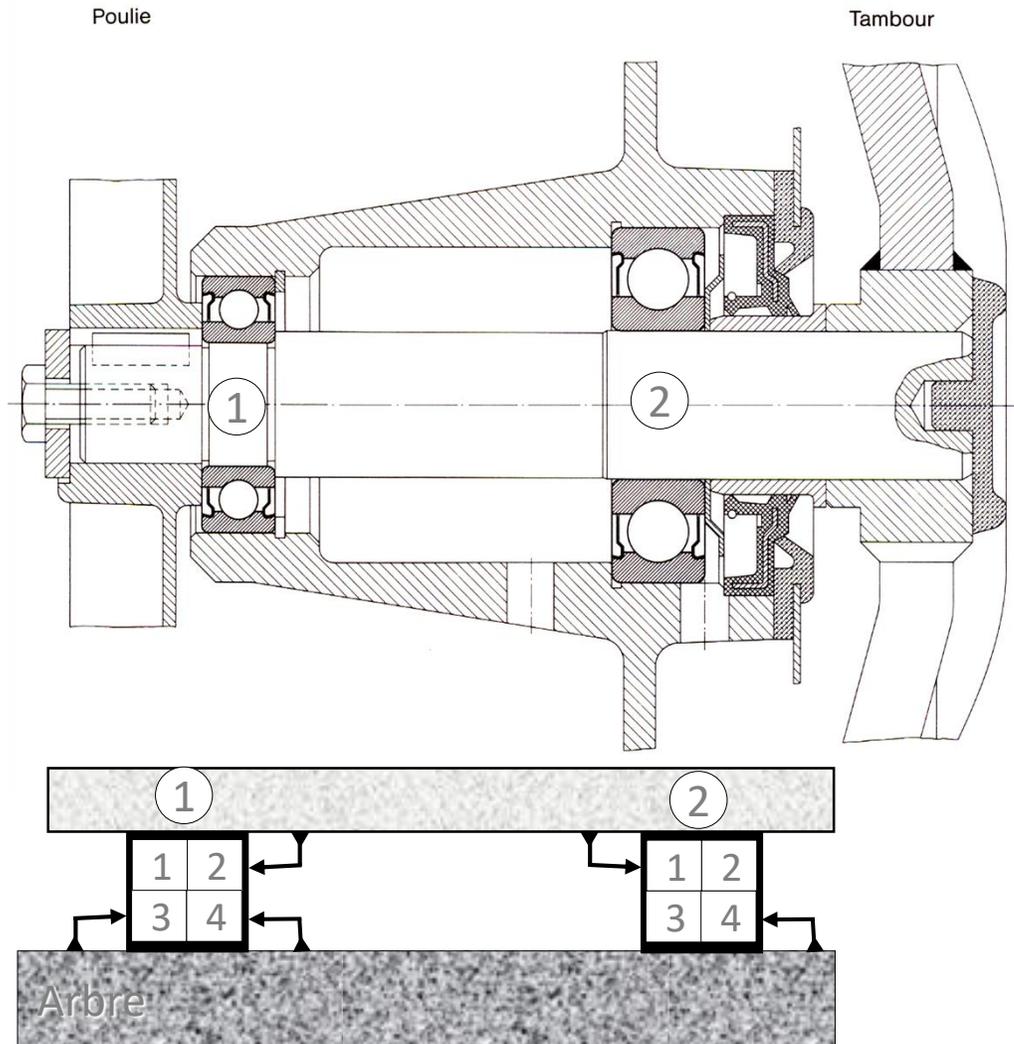
Palier 1 BE: _____

Palier 2 BI: _____

Palier 2 BE: _____

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Exercice 1: Montage de roulements non démontables



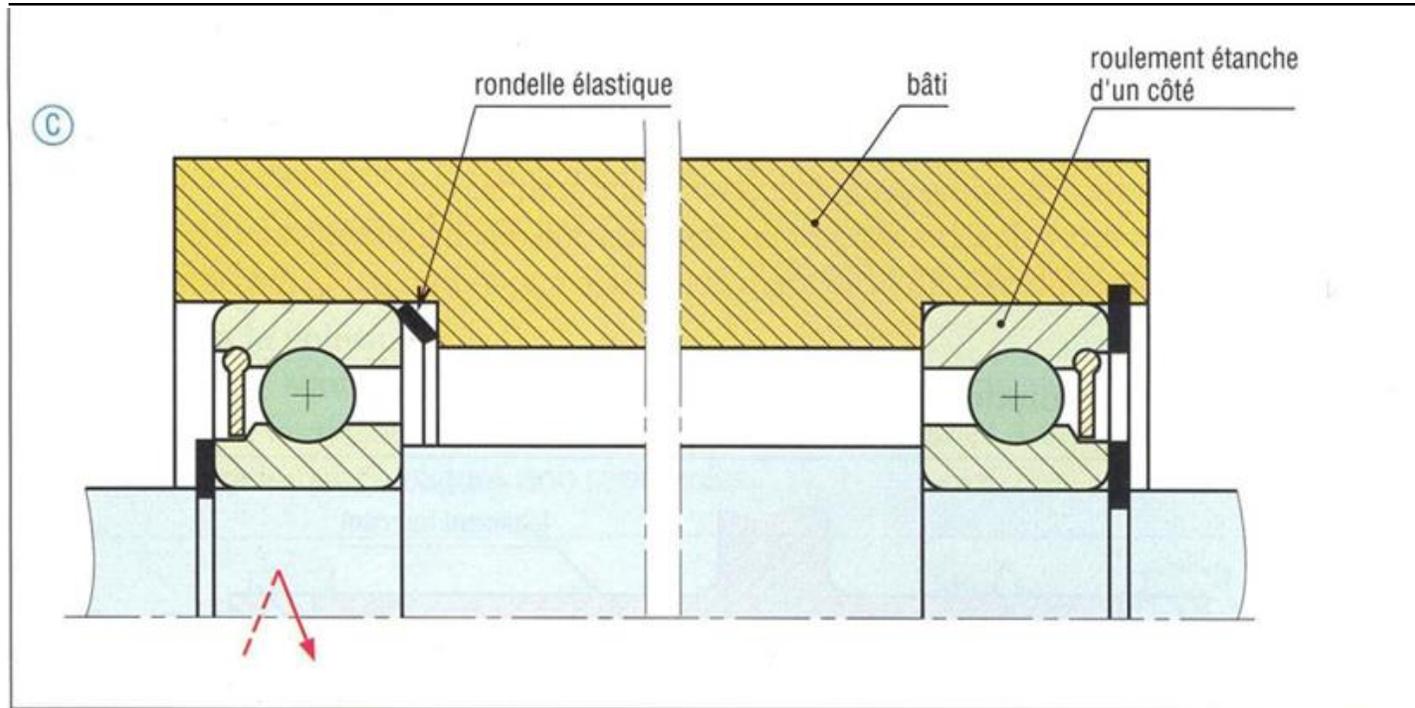
La figure ci-contre représente le montage de l'arbre d'un tambour de machine à laver le linge.

1. Indiquer dans le schéma ci-dessous où se trouvent les épaulements
2. Indiquer le type des ajustements (serré ou avec jeu)

Palier 1 BI:	serrée
Palier 1 BE:	avec jeu
Palier 2 BI:	serrée
Palier 2 BE:	avec jeu

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

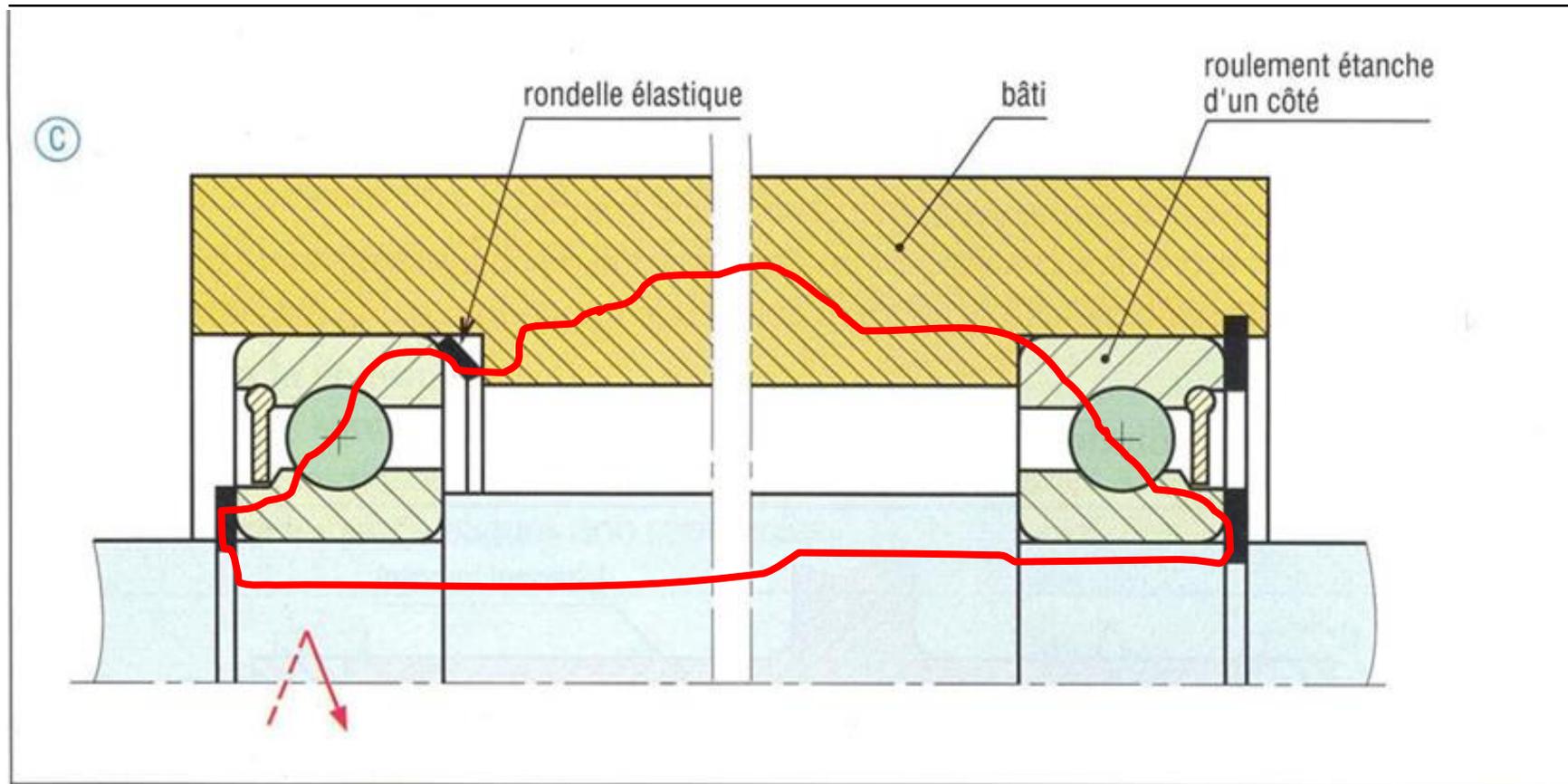
Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Exercice 2: Cheminement des efforts dans un montage



Dans la figure ci-dessus la rondelle élastique engendre un effort interne, appelé une précontrainte. Tracer une ligne continue à travers tous les éléments qui subissent (qui sont traversés par) cet effort interne. Cette ligne représente le cheminement de l'effort de précontrainte et doit former une boucle fermée.

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Fixation latérale des bagues de roulements:
Combinaison des épaulements – Exercice 2: Cheminement des efforts dans un montage

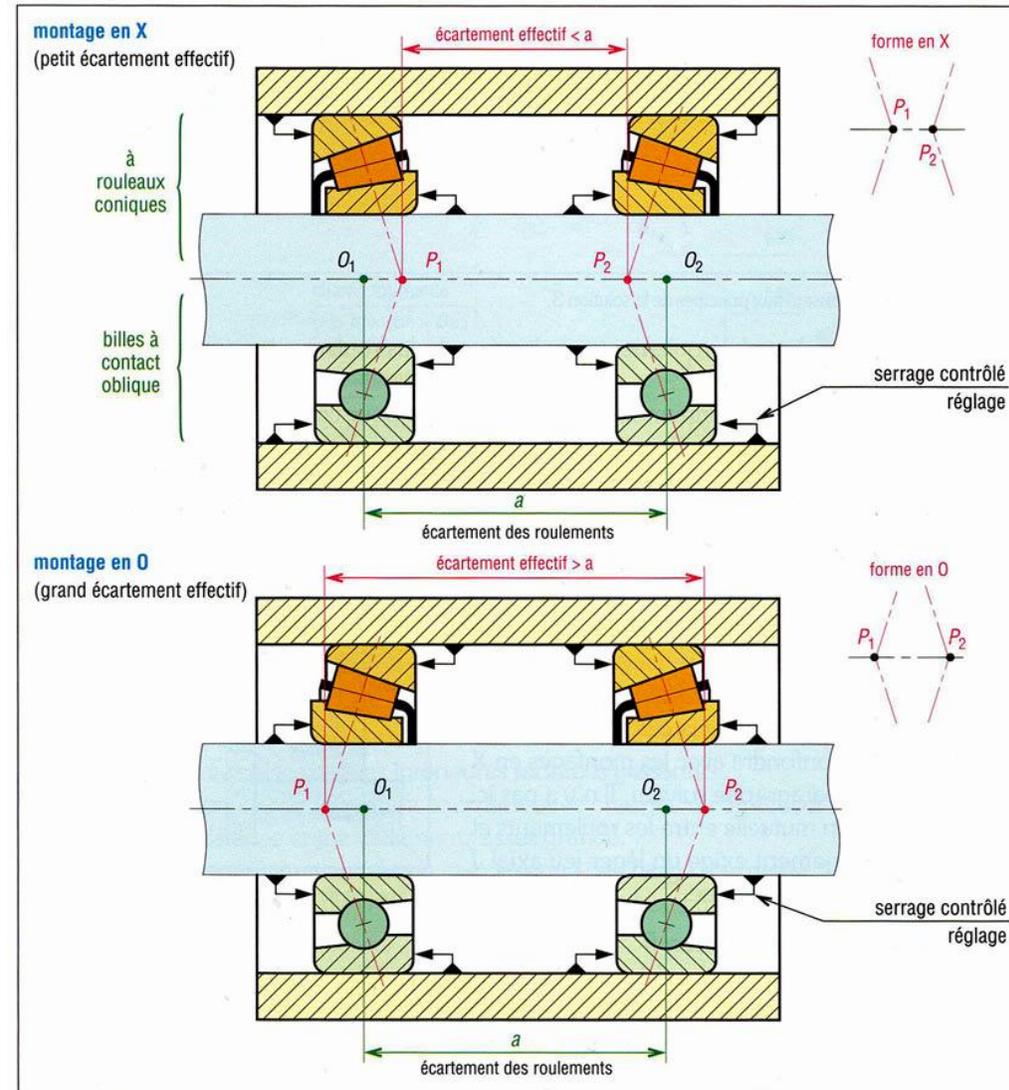


6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Montage des roulements à contact oblique ou à rouleaux coniques

Ces roulements doivent être montés par paire et en opposition

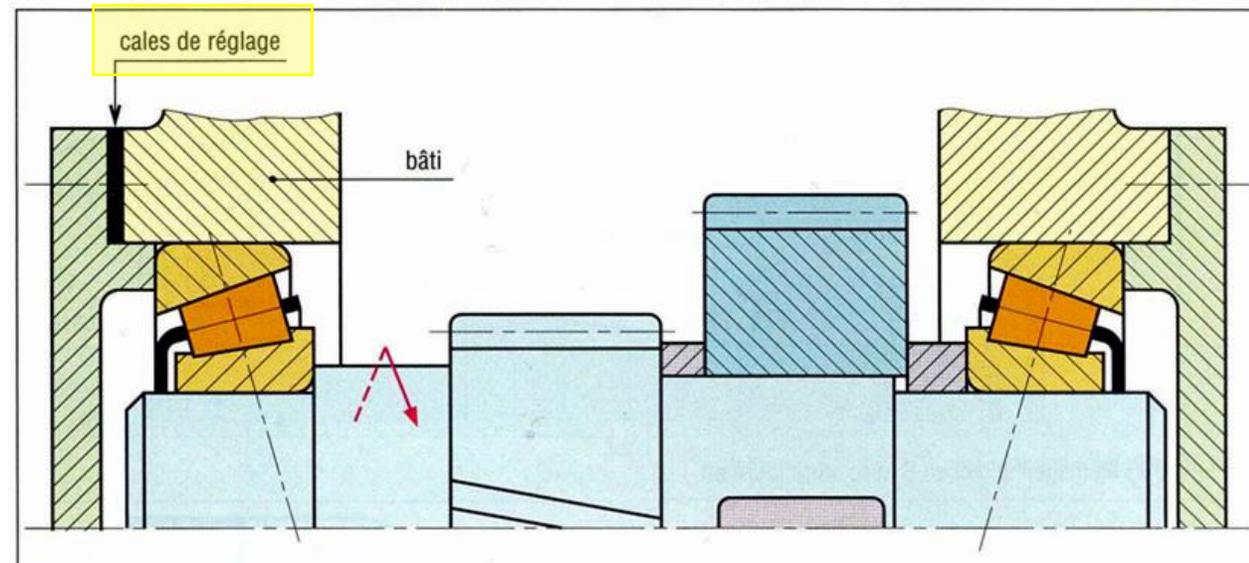
Les montages demandent des usinages précis



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Montage des roulements à contact oblique ou à rouleaux coniques
Montage en X ou montage direct

- Plus simple et économique que le montage en O
- Réglage du jeu interne sur les bagues extérieures
- Charge/transmission entre les roulements
- Dilatation charge les roulements



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

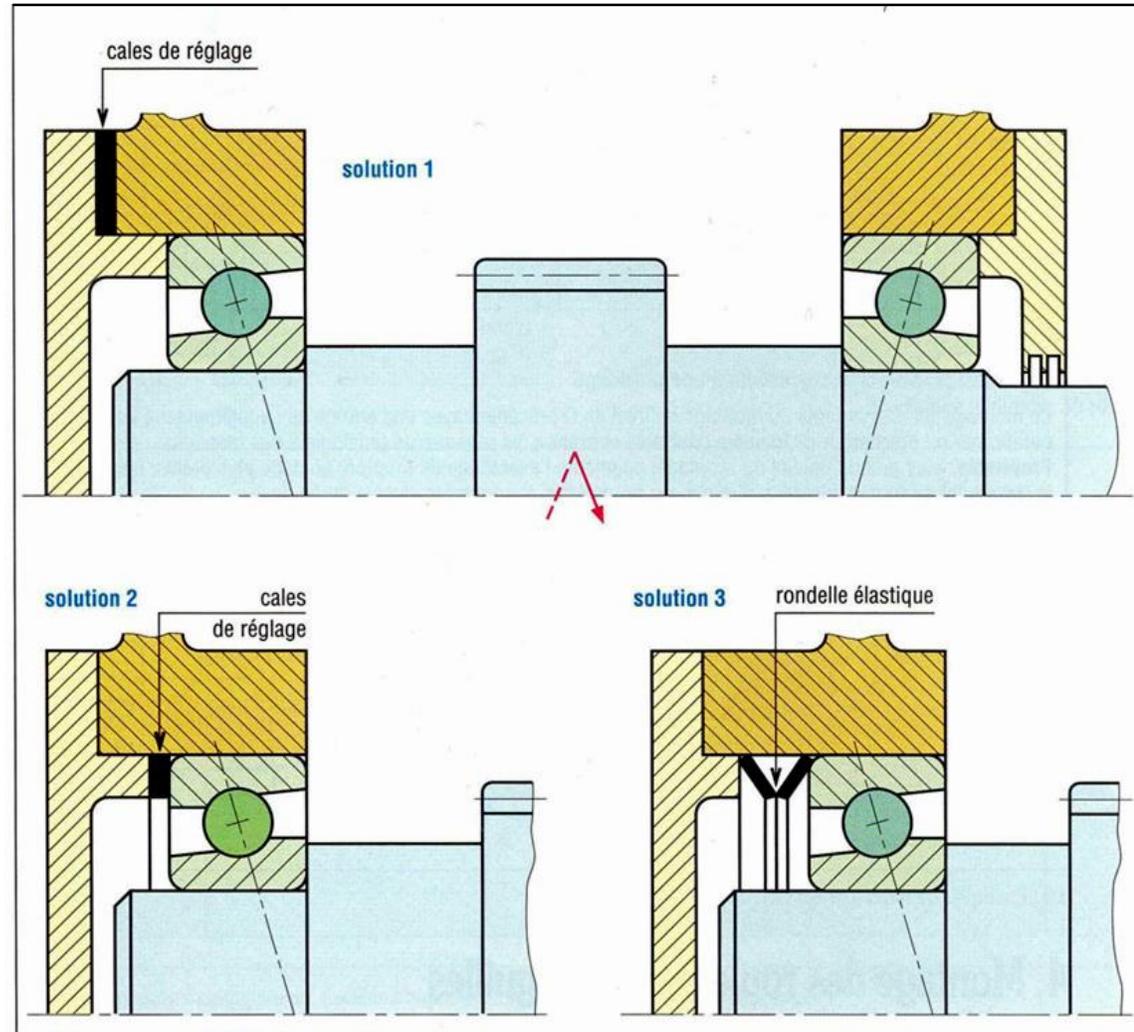
Montage des roulements à contact oblique ou à rouleaux coniques Montage en X ou montage direct - Exemples

Solutions 1 & 2:

Si l'arbre se dilate plus que
le bâti, risque de serrage

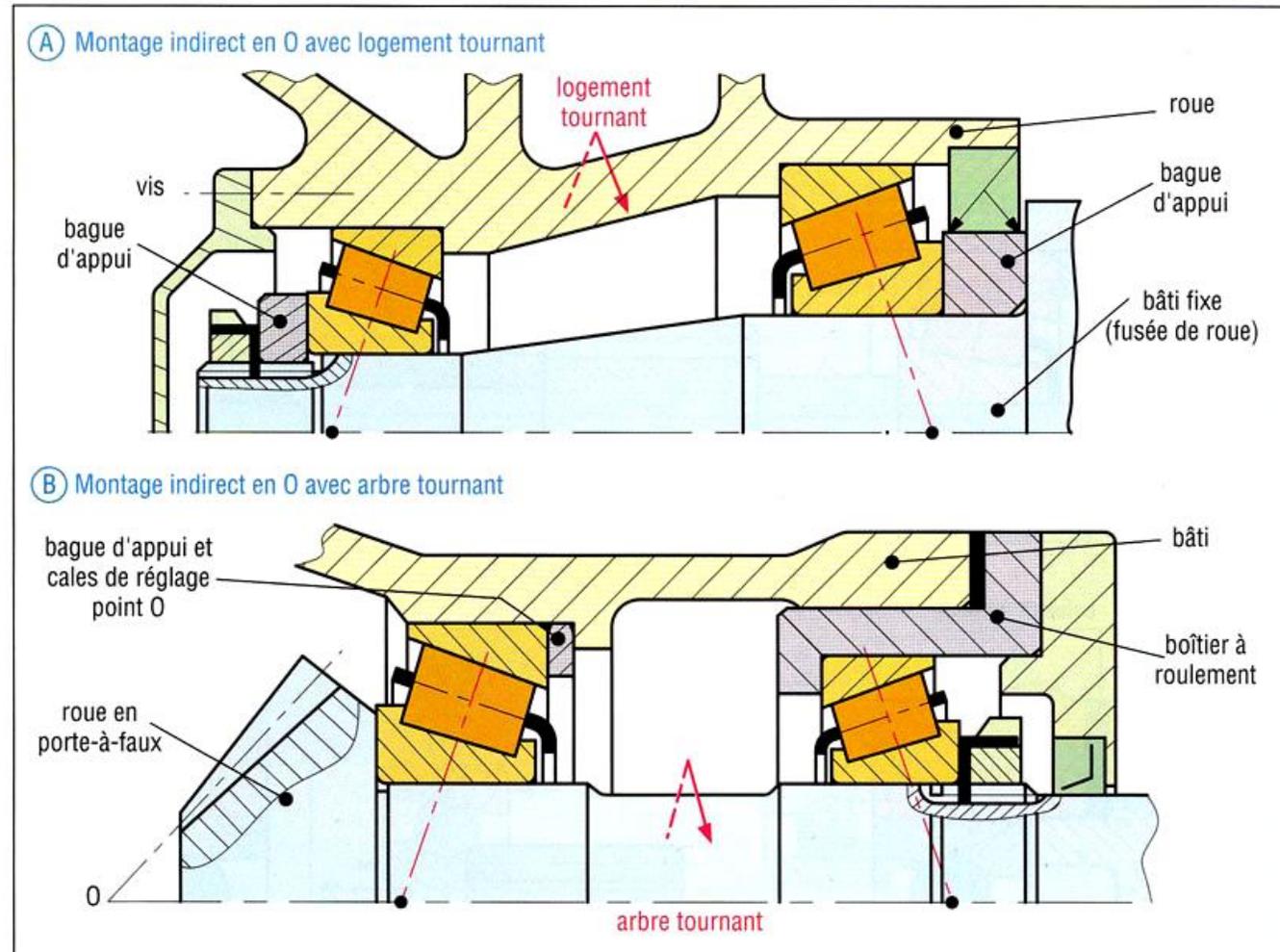
Si les arbres sont longs,
mettre des rondelles
élastiques pour reprendre
les dilatations.

**Attention aux effets
thermiques**



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Montage des roulements à contact oblique ou à rouleaux coniques Montage en O ou montage indirect



Plus rigide

Réglage sur les bagues intérieures

Préférable avec logement tournant

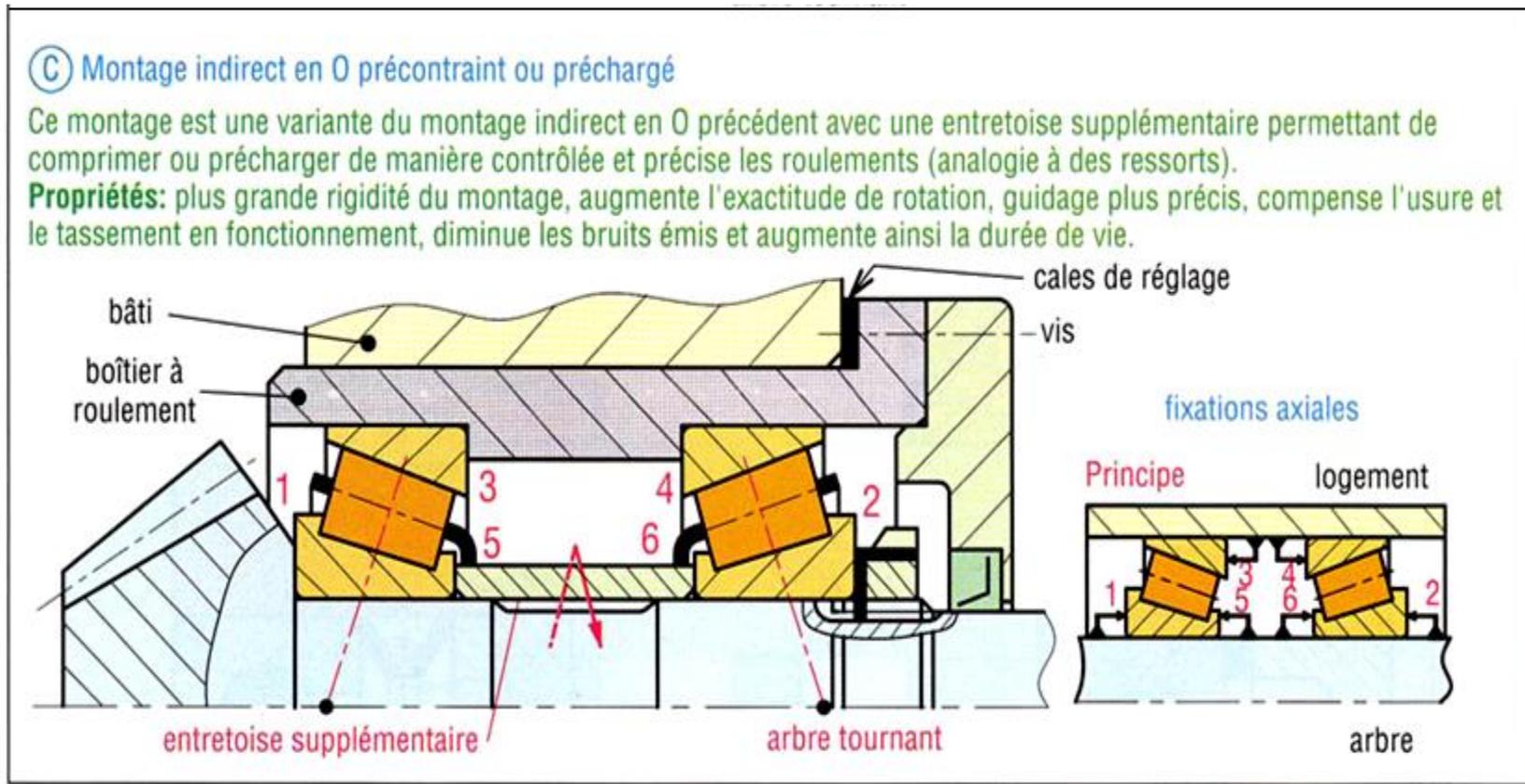
Utilisé pour arbre tournant avec porte-à faux du aux charges/transmissions

Dilatation arbre diminue les charges sur les roulements et augmente le jeu interne

Attention aux effets thermiques

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Montage des roulements à contact oblique ou à rouleaux coniques
Montage en O ou montage indirect

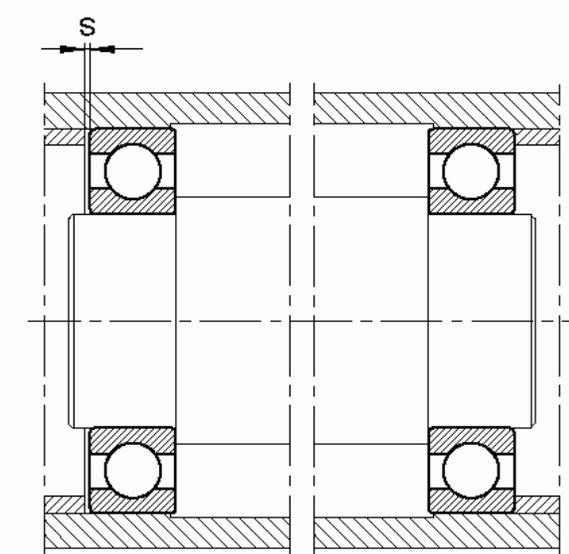


6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

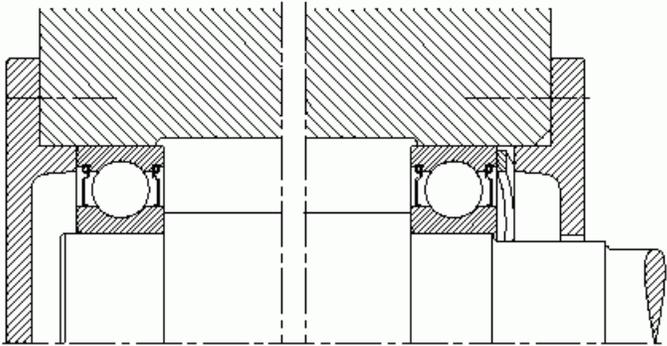
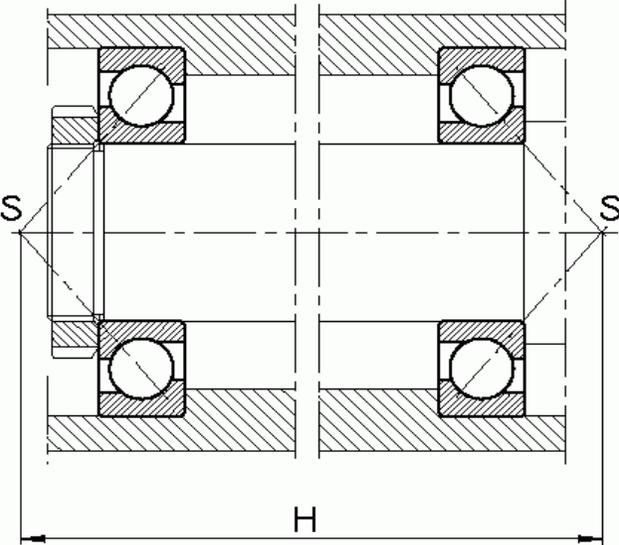
Jeu axial de montage

Courant: 0,2 - 0,3 mm

Précis: 0,05 - 0,15 mm

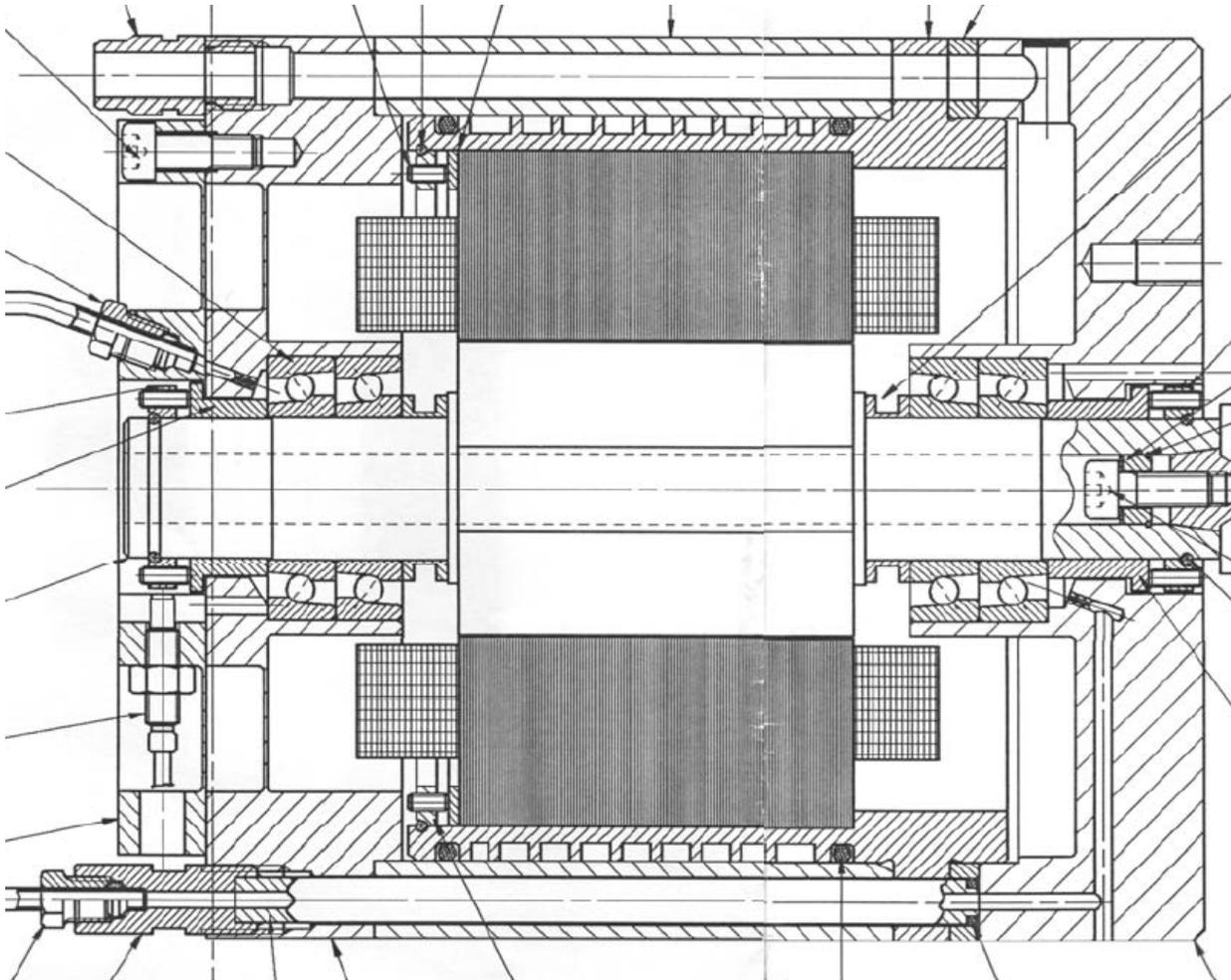


Précontrainte



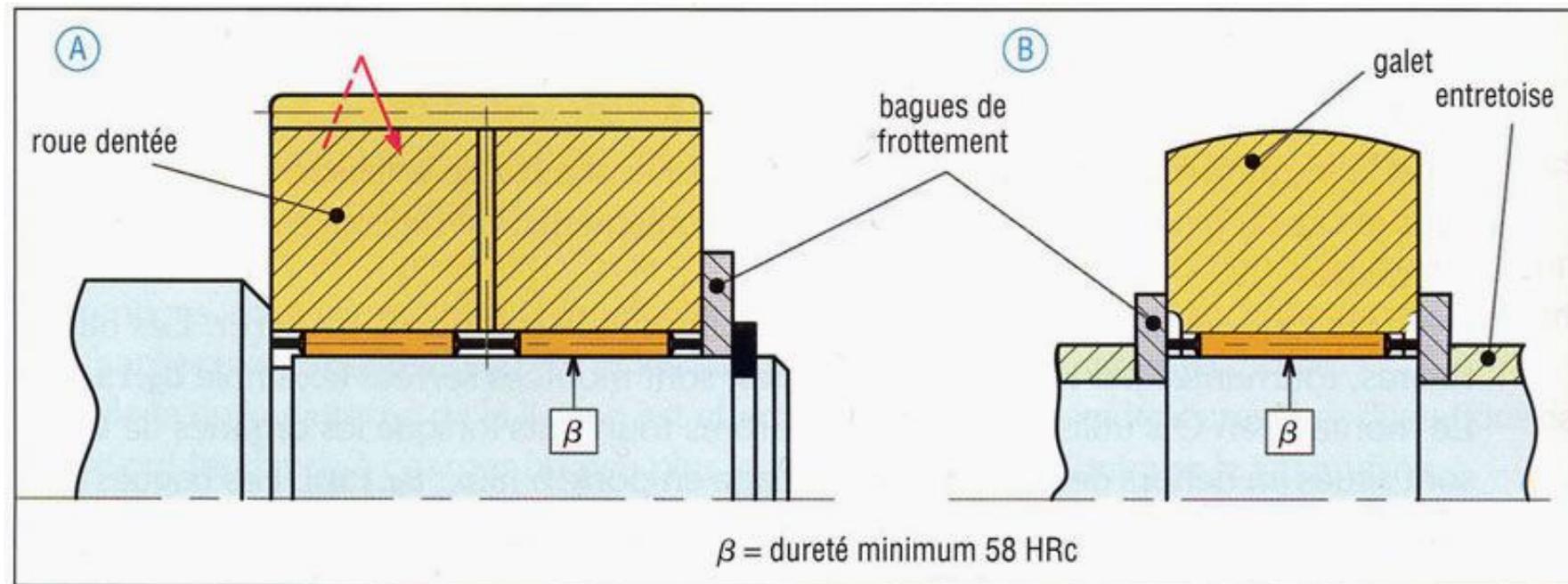
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Montage des roulements à contact oblique ou à rouleaux coniques
Application: Prototype de motobroche (moteur AC, faible vibration pour rectifieuse)



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Montage des roulements à aiguilles – Cages a aiguilles

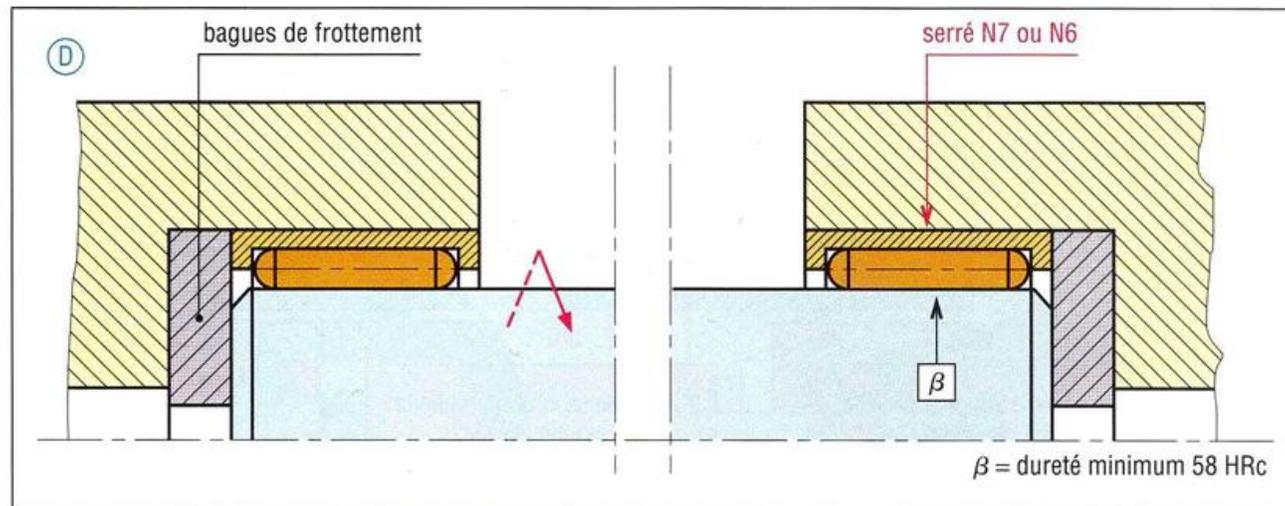
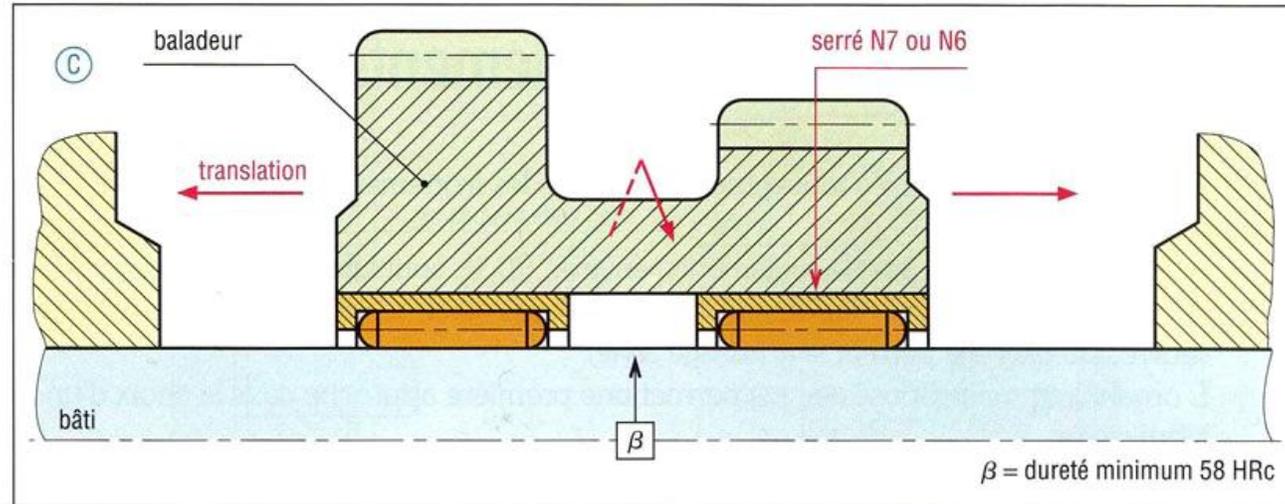


Ne tolèrent pas de charges axiales. Faibles charges axiales reprises par bagues de frottement ou par un autre roulement

Si charges axiales, introduire un roulement les tolérant.

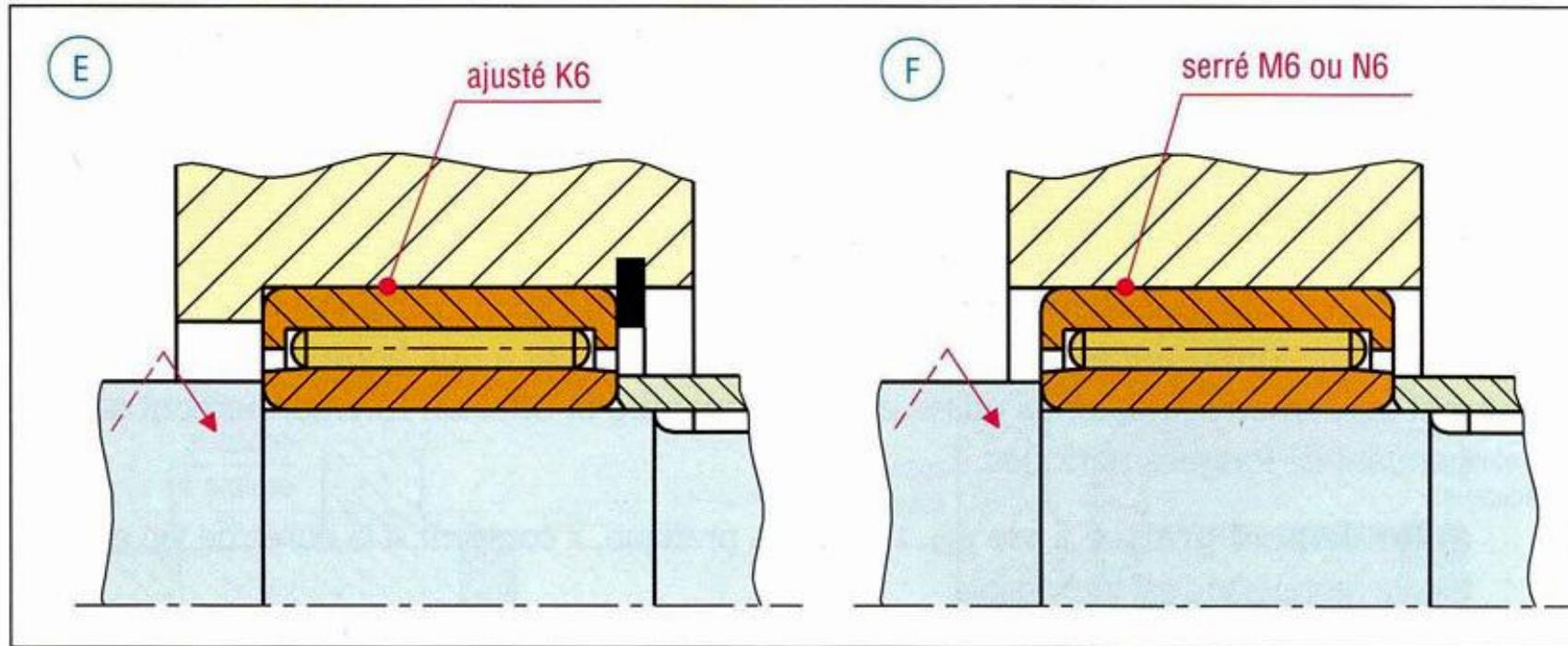
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Montage de douilles à aiguilles



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Montage

Montage de roulements à aiguilles - Exemples



Pour charges radiales élevées

Montés épaulés (E) avec charges élevées ou serrés (F) avec charges modérées

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Calculs et Dimensionnement

Durées de vie d'équipements	heures
Machines pour usage ménager, machines agricoles, équipements à usage médical	300 ... 3000
Machines utilisées pendant de courtes périodes ou intermittent : outillage à main électrique, petits appareils de levage, ...	3 000 ... 8 000
Machines utilisées pendant de courtes périodes ou intermittent, à haute fiabilité : ascenseurs, grues, ...	8 000 ... 12 000
Machines utilisées 8 h par jour en intermittent : engrenages, moteurs électriques, Broyeurs, ...	10 000 ... 25 000
Machines utilisées 8 h par jour en permanence : machines outils, machines à bois, ventilateurs, convoyeurs, matériel d'imprimerie, ...	20 000 ... 30 000
Machines utilisées en continu 24h sur 24: laminoirs, compresseurs, pompes, machines textile, treuils de mine, ...	40 000 ... 50 000
Fours rotatifs, machines à toronner, moteurs pour bateaux, machines de traitement d'eau, ...	60 000 ... 100 000
Grosses machines électriques, usines de génération de puissance, Ventilateurs de mine, pompes de mine, paliers d'hélice bateaux	> 100 000

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Calculs et Dimensionnement

Durées de vie d'équipements 10^6 km

Véhicules routiers : roulements

Voitures particulières 0,3

Véhicules commerciaux, bus 0,6

Véhicules sur rail : roulements

Wagons de marchandises 0,8

Tramways, trains banlieue 1,5

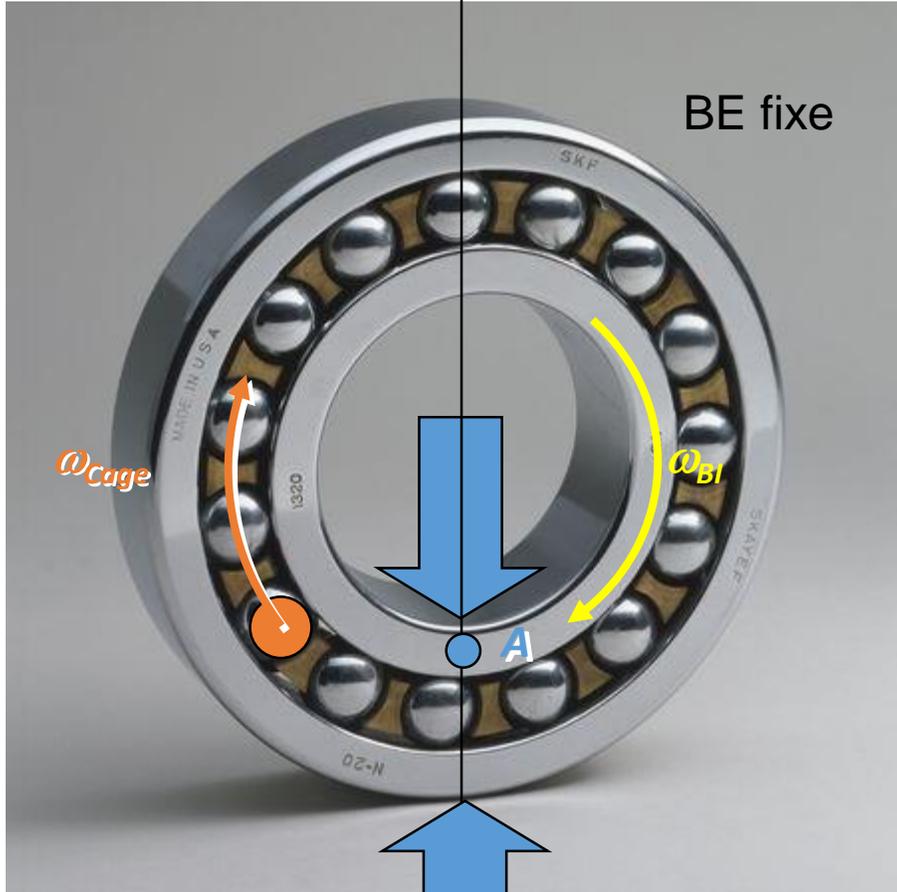
Wagons trains grandes lignes 3

Moteurs locomotives trains grandes lignes 3 ... 4

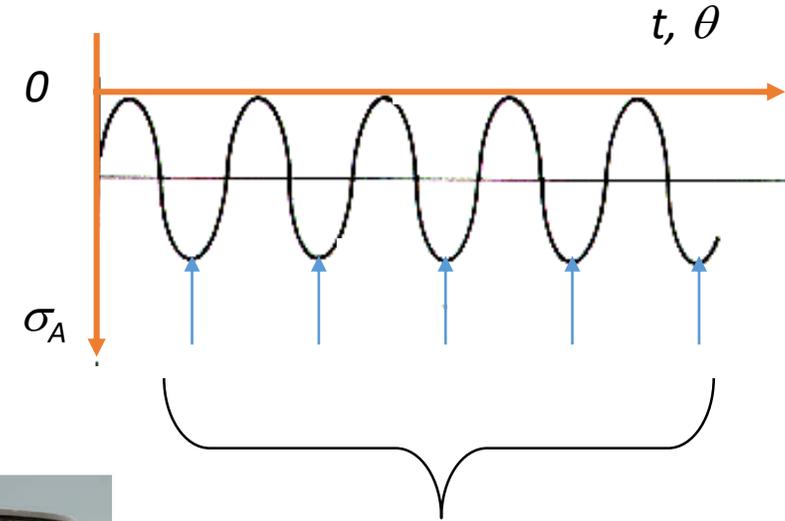
Locomotives diesel et électriques grandes lignes 3 ... 5

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Problématique: Fatigue de surface



Charge fixe par rapport à la BE



Passages de A sous la charge

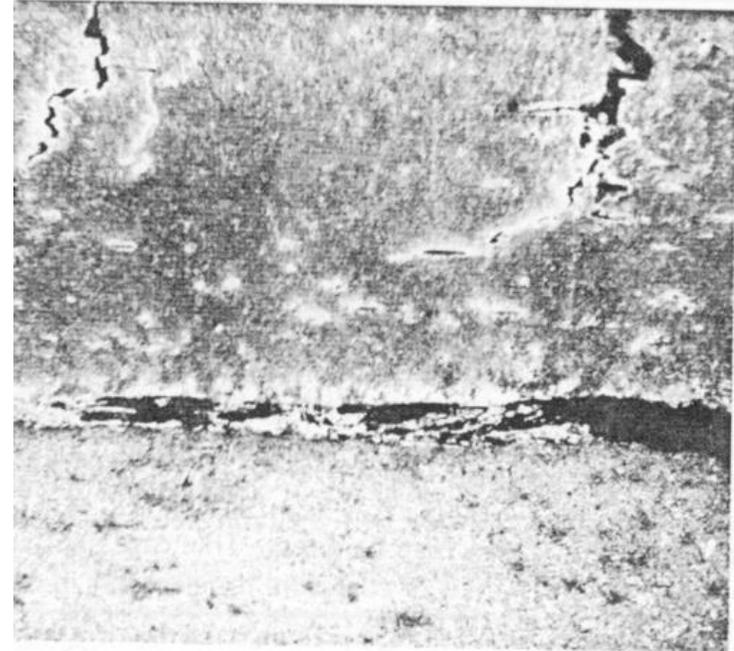
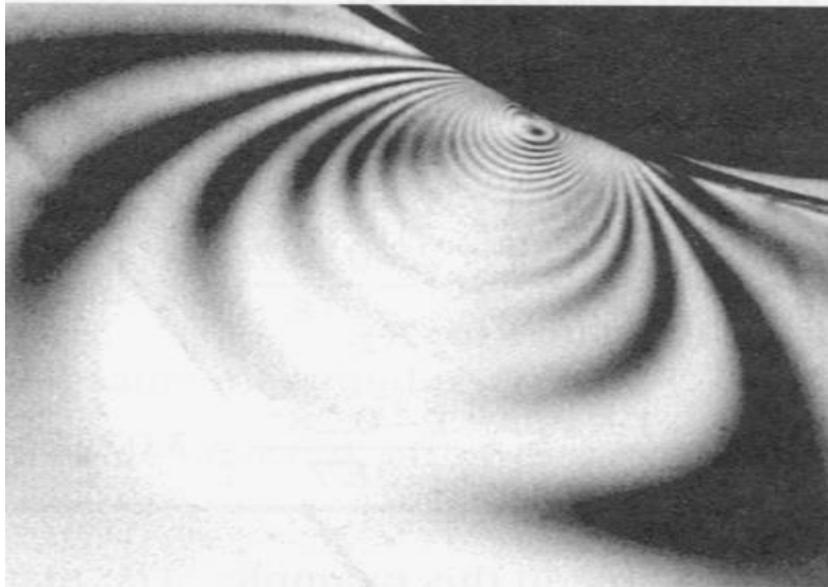
$$\omega_{Cage} \approx \frac{1}{2} \omega_{BI}$$

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Problématique: Fatigue de surface

Source: R.L. Norton, *MACHINE DESIGN, an Integrated Approach*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 1998.

Surface

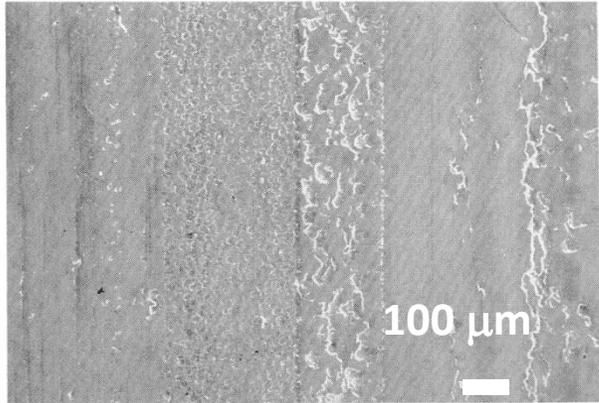


Contact Hertzien → Endommagement de contact

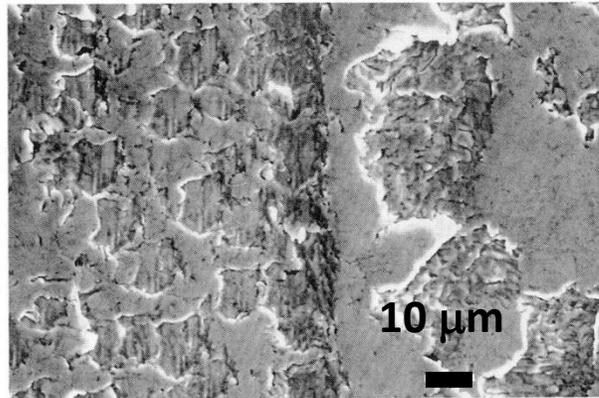
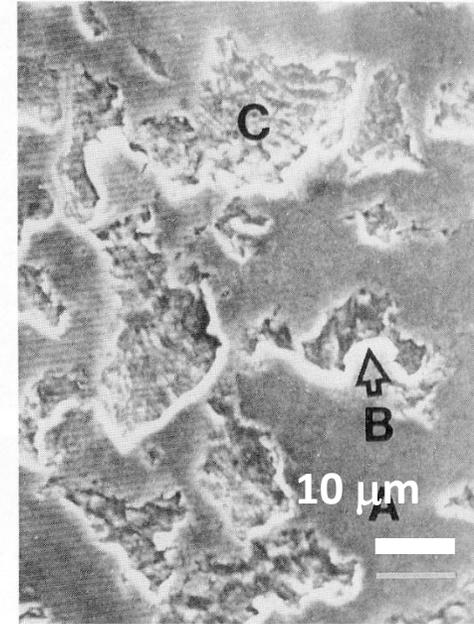
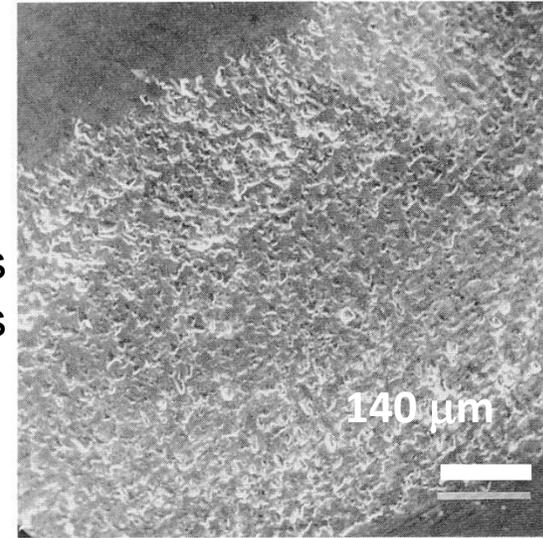
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Problématique: Fatigue de surface – Fissuration, écaillage

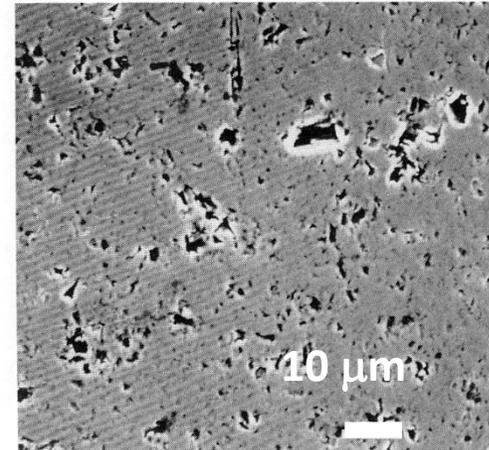
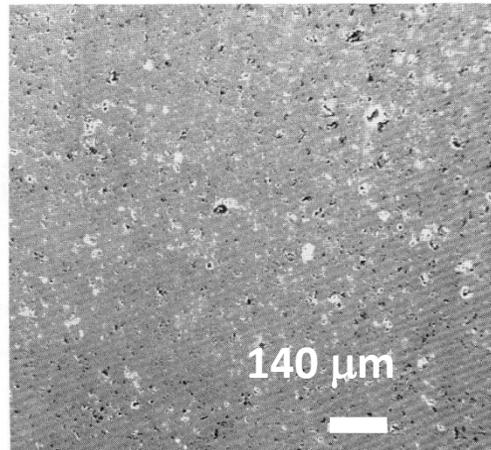
Source: Tallian, T. E., *Failure Atlas for Hertz Contact Machine Elements*, ASME Press, New York, 1992



Roulement à billes à gorges profondes



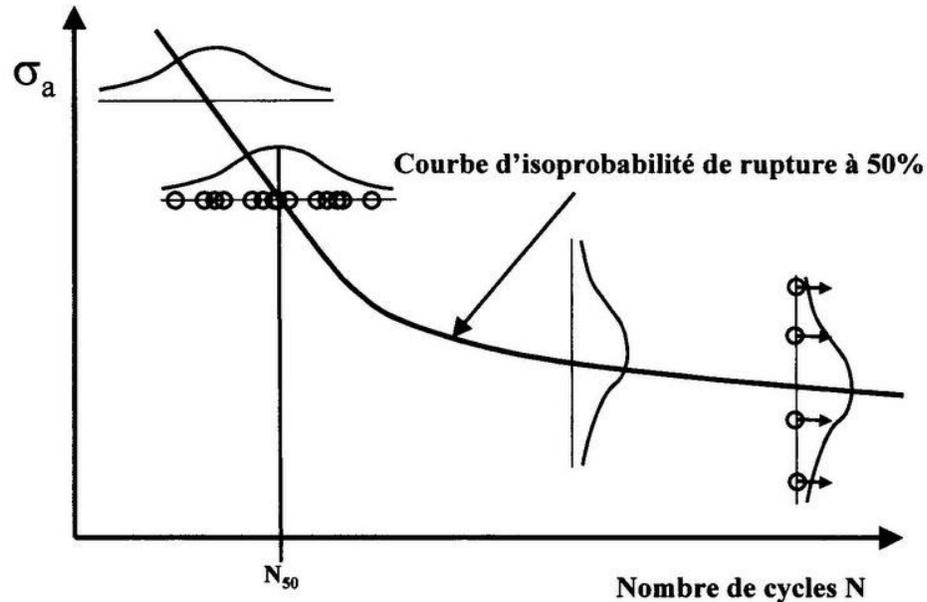
Roulement à galets cylindriques



Roulement à billes à contacts obliques

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Problématique: Fatigue de surface

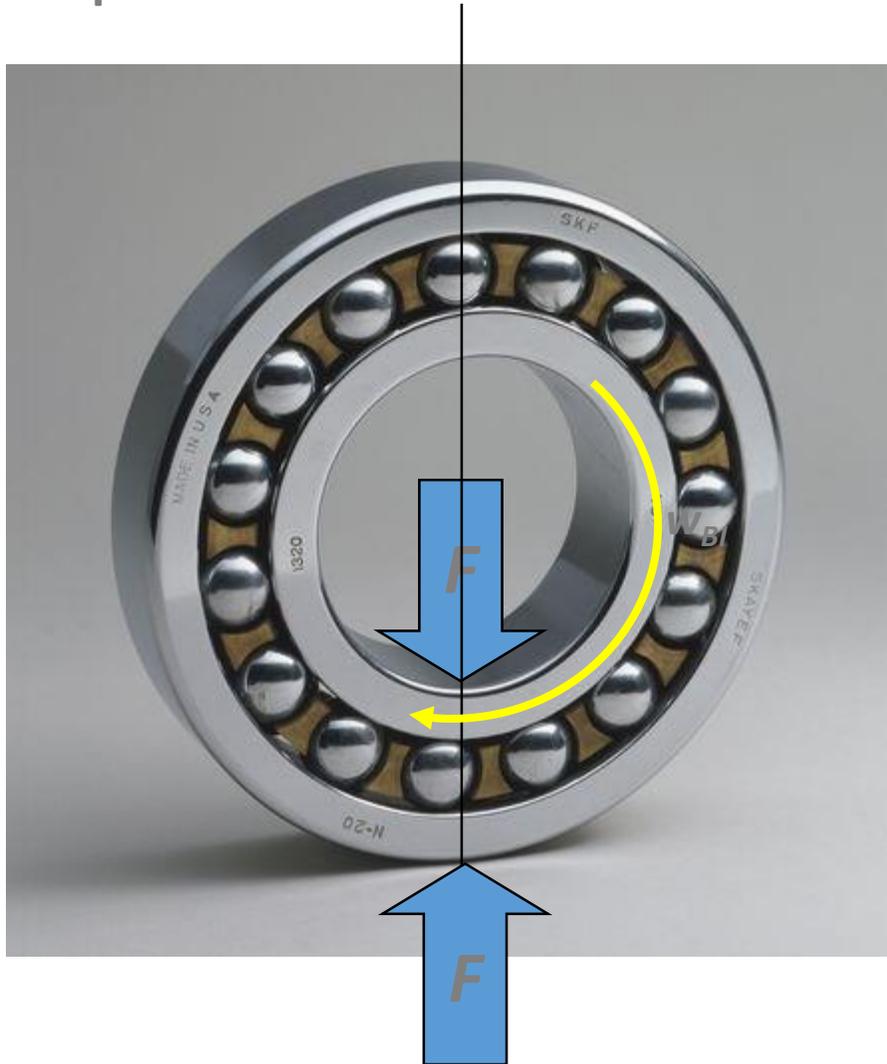


Durée de vie suit une distribution statistique dite de WEIBULL

- Durée de vie d'un roulement dépend:
 - Charge
 - Lubrification
 - Vitesse de rotation
 - Température
 - Protection
 - *Montage*
 - ...
- Durée de vie distribuée statistiquement
- Fatigue: phénomène «aléatoire»

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Approche pour l'estimation de la durée de vie des roulements



- Essais de durée de vie pour:
 - un type de roulement
 - une charge
 - une vitesse
 - des conditions de lubrification et de protection
 - Un montage
 -

donnés, par les fabricants

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

- L_{10} = durée de vie normalisée d'une série de roulements identiques soumis à la même charge (et conditions d'essais).
- L_{10} = nombre de tours réalisé par 90% des roulements de la série avant qu'apparaissent les premiers signes de fatigue.
- L_{10} = durée de vie (moyenne statistique) basée sur une fiabilité de 90%, i.e. 90% de survie après essai sur un même lot.
- L_{10} sert de référence à tous les roulements de la série
- L_{10} exprimé en millions de tours (ou en heures)
- Selon **ISO 281**: Charges dynamiques de base et durée nominale

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

Durée de vie $L =$

nombre de millions de tours sous charge appliquée

Durée de vie nominale $L_{10} =$

nombre de millions de tours atteints par 90% des roulements d'un même lot

$$L_{10} = \left[\frac{C}{P} \right]^p$$

C = capacité de charge dynamique du roulement (nombre fabricant)

P = charge radiale équivalente

p = exposant de fatigue : 3 pour billes

10/3 pour rouleaux

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

$$L_{10} = \left[\frac{C}{P} \right]^p$$

Durée de vie corrigée: $L_n = a_1 a_2 a_3 L_{10}$

a_1 = facteur de fiabilité

a_2 = facteur de matériau, géométrie, fabrication

a_3 = facteur de fonctionnement (lubrification, vitesse, température, ...)

Fiabilités différentes de 90 % $L_n = a_1 \cdot L_{10}$								
fiabilité F en %	90	95	96	97	98	99	99,5	99,9
L_n	L_{10}	L_5	L_4	L_3	L_2	L_1	$L_{0,5}$	$L_{0,1}$
a_1	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21	0,15	0,06

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Choix et détermination d'un roulement

Durée de vie corrigée:

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 \left[\frac{C}{P} \right]^p$$

$$F = e^{\left(-0,105 \frac{\frac{L_n - 0,025}{L_{10}}}{0,975} \right)^{1,5}}$$

D'après SKF

a_1 **facteur relatif à la fiabilité**
 a_2 facteur relatif au matériau
 a_3 facteur relatif au fonctionnement

F Fiabilité (%)	L_n	a_1
90	L_{10}	1
95	L_5	0,62
96	L_4	0,53
97	L_3	0,44
98	L_2	0,33
99	L_1	0,21

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Choix et détermination d'un roulement

Durée de vie corrigée: a_2 facteur relatif au matériau

Qualités de la matière et de son traitement thermique, capacité à tenir en température.

La norme admet des facteurs $a_2 > 1$ pour des roulements en acier d'une propreté particulièrement bonne.

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 \left[\frac{C}{P} \right]^p$$

Code	Température maximale d'utilisation (°C)	a_2
	100	1,00
HT1	140	0,87
HT2	200	0,68

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Choix et détermination d'un roulement

Durée de vie corrigée:

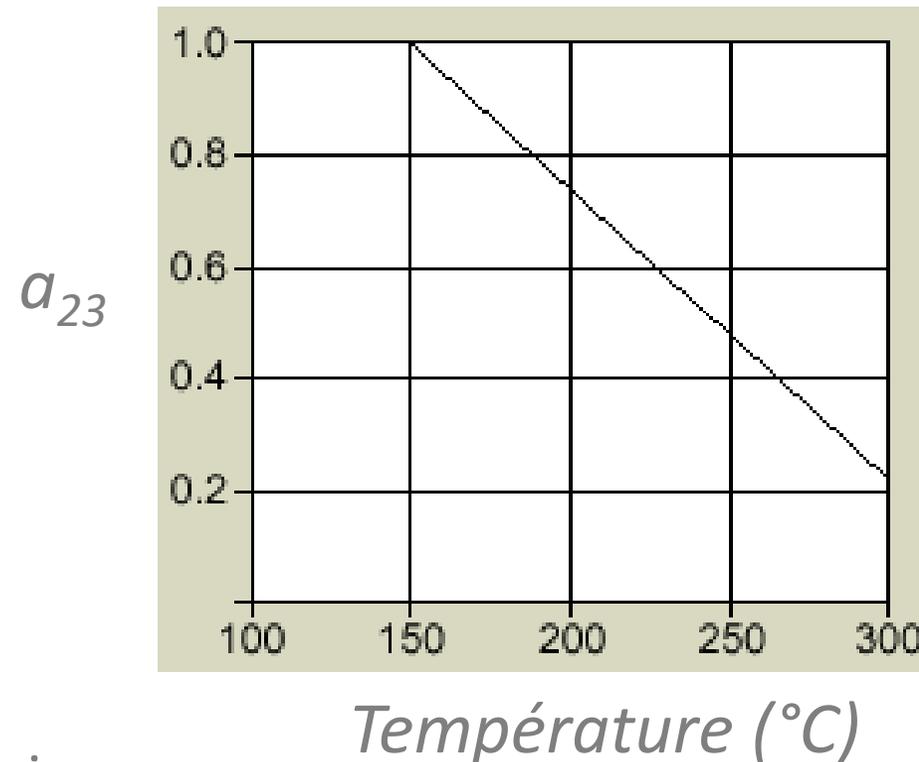
a_3 facteur relatif au fonctionnement

Facteur a_3 pour les conditions de fonctionnement:

- condition de lubrification
- à la vitesse
- à la température de fonctionnement

$$L_{na} = a_1 a_{23} \left[\frac{C}{P} \right]^p$$

La norme ne donne pas de valeur numérique pour ce facteur.



D'après NTN

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Choix et détermination d'un roulement

Durée de vie corrigée:

$$L_{na} = a_1 a_{23} \left[\frac{C}{P} \right]^p$$

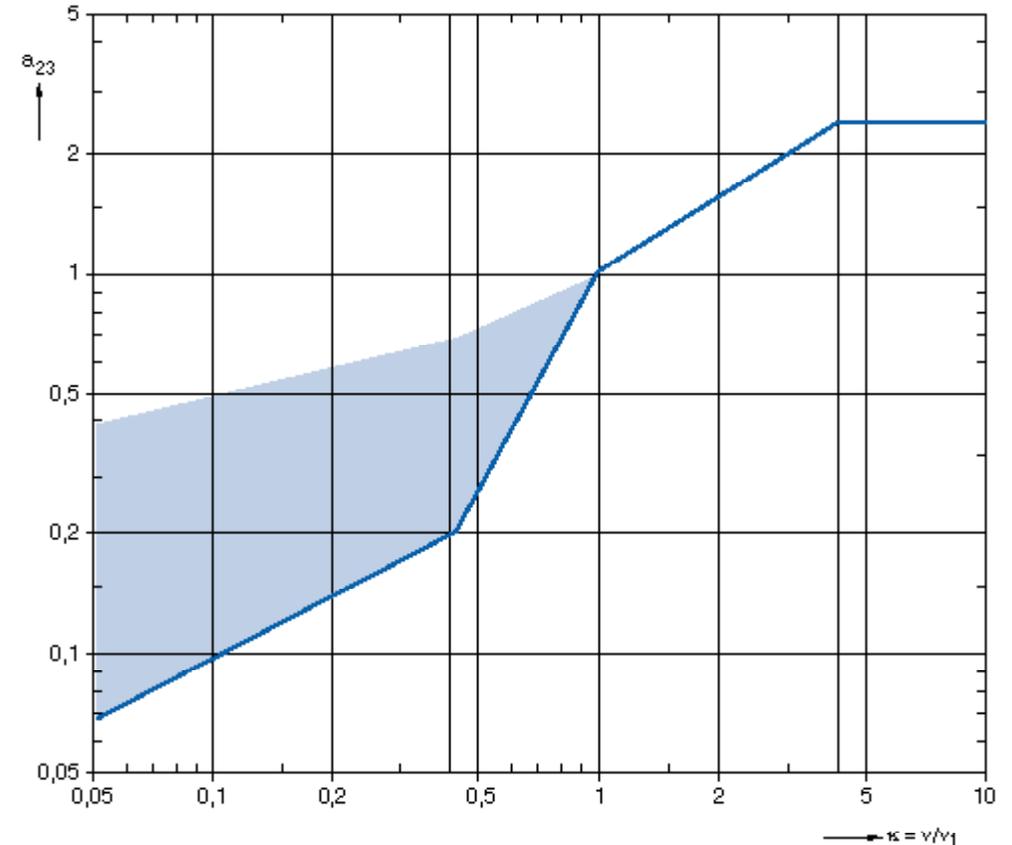
K = rapport de viscosité

ν = viscosité dynamique réelle

ν_1 = viscosité dynamique de référence

a_{23}

Diagram 1



D'après SKF

$$\kappa = \nu/\nu_1$$

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

Vitesse limite : $N \cdot Dm$

billes : $600\ 000 - 2\ 500\ 000$ ($mm \cdot tr \cdot min^{-1}$)

$63-262$ (m/s)

rouleaux : $5 - 600\ 000$ ($mm \cdot tr \cdot min^{-1}$)

Vitesse limite : $N \cdot Dm$

contact radial : $5 - 600\ 000$ ($mm \cdot tr \cdot min^{-1}$)

contact oblique : $2\ 500\ 000$ ($mm \cdot tr \cdot min^{-1}$)

Types de Roulement	Vitesse relative admissible				
	1	4	7	10	13
Roulements à Billes à Gorge Profonde	→				
Roulements à Billes à Contact Oblique	→				
Roulements à Rouleaux Cylindriques	→				
Roulements à Rouleaux Coniques	→				
Roulements à Rouleaux Sphériques	→				
Butées à Billes	→				

Selon NSK

Remarques → Lubrification à bain d'huile
 --- Avec mesures spéciales pour augmenter la vitesse limite

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

Capacité de **charge statique C_0** :

charge qui donne sur les éléments roulants une pression de :

4200 MPa roulements et butées à billes

4600 MPa roulements à rotules sur billes

4000 MPa roulements et butées à rouleaux

Capacité de **charge dynamique C** :

charge constante purement radiale (roulements) ou axiale (butées) qui permet au roulement d'atteindre une durée de vie de 1 millions de tours pour 90% des roulements

C_0 et C sont donnés par les fabricants.

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

Charge statique équivalente : $P_0 = X_0 Fr + Y_0 Fa$ ou $P_0 = Fr$ (la plus grande des 2)

X_0 : facteur statique radial

Y_0 : facteur statique axial

$C_0 \geq S_0 P_0$ S_0 : coefficient de sécurité

Pour une charge immobile, avec mouvement de faible amplitude ou faible vitesse de rotation < 10 tours/min

S_0	rlts à faibles vitesses		rlts à l'arrêt	
	rlts à billes	rlts à rouleaux	rlts à billes	rlts à rouleaux
régulier sans vibrations (si silencieux)	0,5 à 1 (2)	1 à 1,5 (3)	0,4	0,8
normal (si silencieux)	0,5 à 1 (2)	1 à 1,5 (3,5)	0,5	1
chocs prononcés (si silencieux)	$\geq 1,5$ (≥ 2)	≥ 3 (≥ 4)	≥ 1	≥ 2

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Valeurs normalisées des coefficients X_0 et Y_0 (NF ISO 76)						
type de roulements		roulement à 1 rangée		roulement à 2 rangées		
		X_0	Y_0	X_0	Y_0	
roulements à billes	à contact radial		0,6	0,5	0,6	0,5
	à rotules		0,5	$0,22 \cdot \cotan \alpha$	1	$0,44 \cdot \cotan \alpha$
	à contact oblique	$\alpha = 15^\circ$	0,5	0,46	1	0,92
		$\alpha = 20^\circ$	0,5	0,42	1	0,84
		$\alpha = 25^\circ$	0,5	0,38	1	0,76
		$\alpha = 30^\circ$	0,5	0,33	1	0,66
		$\alpha = 35^\circ$	0,5	0,29	1	0,58
		$\alpha = 40^\circ$	0,5	0,26	1	0,52
		$\alpha = 45^\circ$	0,5	0,22	1	0,44
roulements à rouleaux	à rouleaux coniques		0,5	$0,22 \cdot \cotan \alpha$	1	$0,44 \cdot \cotan \alpha$
	à rotules		0,5	$0,22 \cdot \cotan \alpha$	1	$0,44 \cdot \cotan \alpha$

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

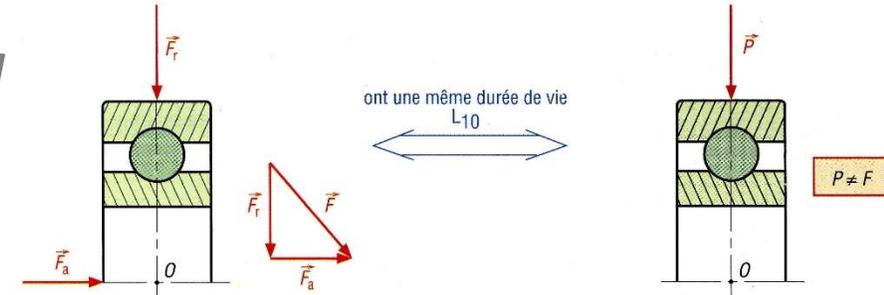
Charge dynamique équivalente : $P = X Fr + Y Fa$

X : facteur dynamique radial

Y : facteur dynamique axial

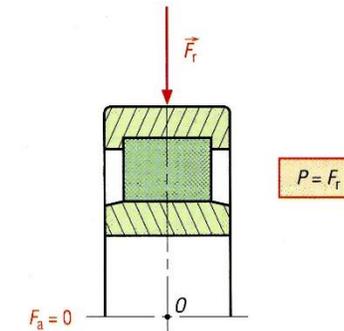
$C \geq S P$

S : coefficient de sécurité



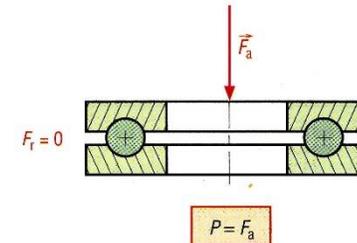
$Fa = 0$ ou Fa faible ($Fa/Fr < e$)

$$P = Fr$$



$Fr = 0$ ou Fr faible

$$P = Fa$$



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

Valeurs des coefficients X et Y suivant types de roulement

roulements rigides à billes (à contact radial)

si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ alors $P = F_r$ ($X = 1$ et $Y = 0$)

si $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = 0,56 \cdot F_r + Y \cdot F_a$

les valeurs de e et Y dépendent du rapport $\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$ ou $\frac{F_a}{C_0}$ (voir ci-dessous)

$\frac{f_0 \cdot F_a^*}{C_0}$	0,172	0,345	0,689	1,03	1,38	2,07	3,45	5,17	6,89
$\frac{F_a^{**}}{C_0}$	0,014	0,028	0,056	0,084	0,110	0,170	0,283	0,42	0,5
X^*	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Y^*	2,30	1,99	1,71	1,55	1,45	1,31	1,15	1,04	1,00
e^*	0,19	0,22	0,26	0,28	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44

* : valeurs NF ISO 281 ; ** : valeurs usuelles

roulements à rotules sur billes

si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ alors $P = F_r + Y_1 \cdot F_a$

si $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = 0,65 \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a$

avec $\begin{cases} e = 1,5 \cdot \tan(\alpha) \\ Y_1 = 0,42 \cdot \cotan(\alpha) \\ Y_2 = 0,65 \cdot \cotan(\alpha) \end{cases}$

les valeurs de e , Y_1 et Y_2 sont indiquées dans les tableaux de dimensions avec d , D , b et r .

roulements à rotules sur rouleaux

si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ alors $P = F_r + Y_1 \cdot F_a$

si $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = 0,67 \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a$

avec $\begin{cases} e = 1,5 \cdot \tan(\alpha) \\ Y_1 = 0,45 \cdot \cotan(\alpha) \\ Y_2 = 0,67 \cdot \cotan(\alpha) \end{cases}$

les valeurs de e , Y_1 et Y_2 sont indiquées dans les tableaux de dimensions avec d , D , b et r .

roulements à rouleaux coniques

si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ alors $P = F_r$

si $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a$

avec $\begin{cases} e = 1,5 \cdot \tan(\alpha) \\ Y = 0,4 \cdot \cotan(\alpha) \end{cases}$

les valeurs de e , Y sont indiquées dans les tableaux de dimensions avec d , D , b et r .

roulements à deux rangées

si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$: $P = F_r + Y_1 \cdot F_a$

si $\frac{F_a}{F_r} > e$: $P = 0,67 \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a$

avec $\begin{cases} e = 1,5 \cdot \tan(\alpha) \\ Y_1 = 0,45 \cdot \cotan(\alpha) \\ Y_2 = 0,67 \cdot \cotan(\alpha) \end{cases}$

mêmes valeurs que rotules sur billes

roulements à billes à contact oblique

α degrés	e	roulements à une rangée et roulements en tandem (duplex T)		roulements à deux rangées et duplex en X et en O					
		si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$	si $\frac{F_a}{F_r} > e$	si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$	si $\frac{F_a}{F_r} > e$	X	Y		
20	0,57	1	0	0,43	1,00	1,0	1,09	0,70	1,63
25	0,68	1	0	0,41	0,87	1,0	0,92	0,67	1,41
30	0,80	1	0	0,39	0,76	1,0	0,78	0,63	1,24
35	0,95	1	0	0,37	0,66	1,0	0,66	0,60	1,07
40 *	1,14	1	0	0,35	0,57	1,0	0,55	0,57	0,93
45	1,33	1	0	0,33	0,50	1,0	0,47	0,51	0,81

* la valeur $\alpha = 40^\circ$ est la plus courante ; pour les angles $\alpha < 20^\circ$ les valeurs de e et y dépendent de $\frac{F_a}{C_0}$.



6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

Charge effective ou de service – Coefficient de sécurité S

Type de fonctionnement	Coefficient
Machine sans à coup	1 – 1,2
Machine à piston	1,2 – 1,3
Machine sous chocs	1,5 – 3
Engrenage précis	1,05 – 1,1
Engrenage ordinaire	1,1 – 1,3
Engrenage moulé	1,6 – 2,3
Courroie trapézoïdale	2 – 2,5
Courroie plate	2,5 – 3

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Définition: durée de vie normalisée des roulements

Durée de vie d'un ensemble de roulements:

$$L_{E10} = \left[\left(\frac{1}{(L_{1.10})} \right)^{1,5} + \left(\frac{1}{(L_{2.10})} \right)^{1,5} + \dots + \left(\frac{1}{(L_{n.10})} \right)^{1,5} \right]^{-\frac{1}{1,5}}$$

En fonction des durées de vie des n roulements sur un même arbre.

$$L_{E10} < \min(L_{i.10})$$

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exercice d'application 1:

Roulement radial :

$$d = 50$$

$$D = 110$$

$$B = 27$$

$$C = 6\,200 \text{ daN}$$

$$C_0 = 3\,800 \text{ daN}$$

Conditions de travail :

$$F_R = 1\,000 \text{ daN}$$

$$N = 1\,500 \text{ tr/min}$$

Durée de vie L_{10} ?

Durée de vie L_5 ?

fiabilité	90	95	96	97	98	99	99,5	99,9	99,95
L	L10	L5	L4	L3	L2	L1	L0,5	L0,1	L0,05
a1	1	0,64	0,55	0,47	0,37	0,25	0,17	0,093	0,077

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exercice d'application 1:

$$L_{10} = \left[\frac{C}{P} \right]^p = \left(\frac{6\,200}{1\,000} \right)^3 = 238 \text{ millions de tours}$$

$$\text{soit} = \frac{238 \cdot 10^6}{1\,500 \cdot 60} = 2644 \text{ heures}$$

$$L_5 = 0,64 L_{10} = 0,64 \cdot 238 = 152 \cdot 10^6$$

$$\text{soit } 1\,688 \text{ heures}$$

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exercice d'application 2:

Déterminer le roulement a contact radial:

$$F_r = 500 \text{ daN}$$

$$N = 1\,500 \text{ tr/min}$$

$$\text{Durée de vie : } L_{10} = 500 \text{ heures}$$

On cherche la charge dynamique C mini du roulement.

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exercice d'application 2:

Déterminer le roulement radial :

$$F_r = 500 \text{ daN}$$

$$N = 1\,500 \text{ tr/min}$$

Durée de vie : $L_{10} = 500$ heures

$$L_{10} = 1\,500 \cdot 60 \cdot 500 = 45 \text{ millions de tours}$$

$$L_{10} = \left[\frac{C}{P} \right]^p \quad C = P \cdot L_{10}^{\frac{1}{p}}$$

$$C = 500 \cdot 45^{\frac{1}{3}} = 1\,778 \text{ daN}$$

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exercice d'application 2:

Roulements correspondants:

d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (daN)	C_o (daN)	N maxi (tr/min)
17	62	17	2 270	1 080	12 000
20	72	19	2 950	1 550	10 000
25	62	17	2 370	1 220	12 000
30	62	16	1 950	1 130	10 000

C et N_{maxi} vérifiées

Fanchon page 302

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Méthodologie de Choix d'un Roulement

1. Choisir un type de roulement en fonction de l'application
2. Calculer P_0 et P en fonction des charges réelles
3. Choisir la durée de vie désirée de l'assemblage
4. Déterminer charge statique C_0 et charge dynamique C
5. Vérifier la vitesse maximale permise
6. Adapter à l'espace disponible

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exercice 3: Vérification de la durée de vie d'un roulement

Roulement rigide à billes (radial)

Données constructeur

Données utilisation

$$d = 30$$

$$C_0 = 8\,200 \text{ N}$$

$$F_a = 2\,200 \text{ N}$$

$$D = 55$$

$$C = 12\,600 \text{ N}$$

$$F_r = 4\,000 \text{ N}$$

$$B = 13$$

$$100 \text{ tr/min}$$

On recherche la durée de vie du roulement.

Charge statique équivalente : $P_0 = F_r$ ou $P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$

$$P_0 = 4\,000 \text{ N} \text{ ou } P_0 = 0,6 \cdot 4\,000 + 0,5 \cdot 2\,200 = 3\,500 \text{ N}$$

On choisit donc: $P_0 = 4\,000 \text{ N}$

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exercice 3: Vérification de la durée de vie d'un roulement

Charge dynamique équivalente : $P = X Fr + Y Fa$

roulements rigides à billes (à contact radial)

si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ alors $P = F_r$ ($X = 1$ et $Y = 0$)
 si $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = 0,56 \cdot F_r + Y \cdot F_a$

les valeurs de e et Y dépendent du rapport $\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$ ou $\frac{F_a}{C_0}$ (voir ci-dessous)

$\frac{f_0 \cdot F_a^*}{C_0}$	0,172	0,345	0,689	1,03	1,38	2,07	3,45	5,17	6,89
$\frac{F_a^{**}}{C_0}$	0,014	0,028	0,056	0,084	0,110	0,170	0,283	0,42	0,5
X^*	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Y^*	2,30	1,99	1,71	1,55	1,45	1,31	1,15	1,04	1,00
e^*	0,19	0,22	0,26	0,28	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44

* : valeurs NF ISO 281 ; ** : valeurs usuelles

$$F_a / C_0 = 0,27$$

$$e = 0,38$$

$$F_a / F_r = 0,55 > e$$

$$Y = 1.15$$

6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exercice 3: Vérification de la durée de vie d'un roulement

Charge dynamique équivalente : $P = X Fr + Y Fa$

$$P = 0,56 \times 4\,000 + 1,15 \times 2\,200$$



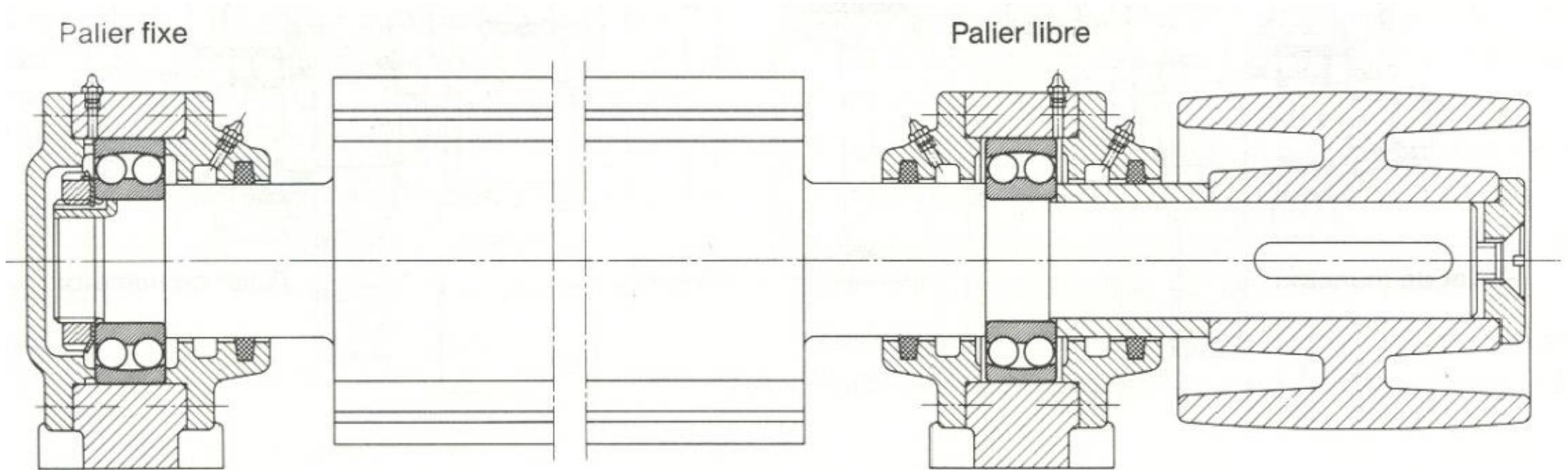
$$P = 4\,770 \text{ N}$$

Durée de vie L_{10} :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{12600}{4770}\right)^3 = 18.43 \times 10^6 \text{ tours (3072h)}$$

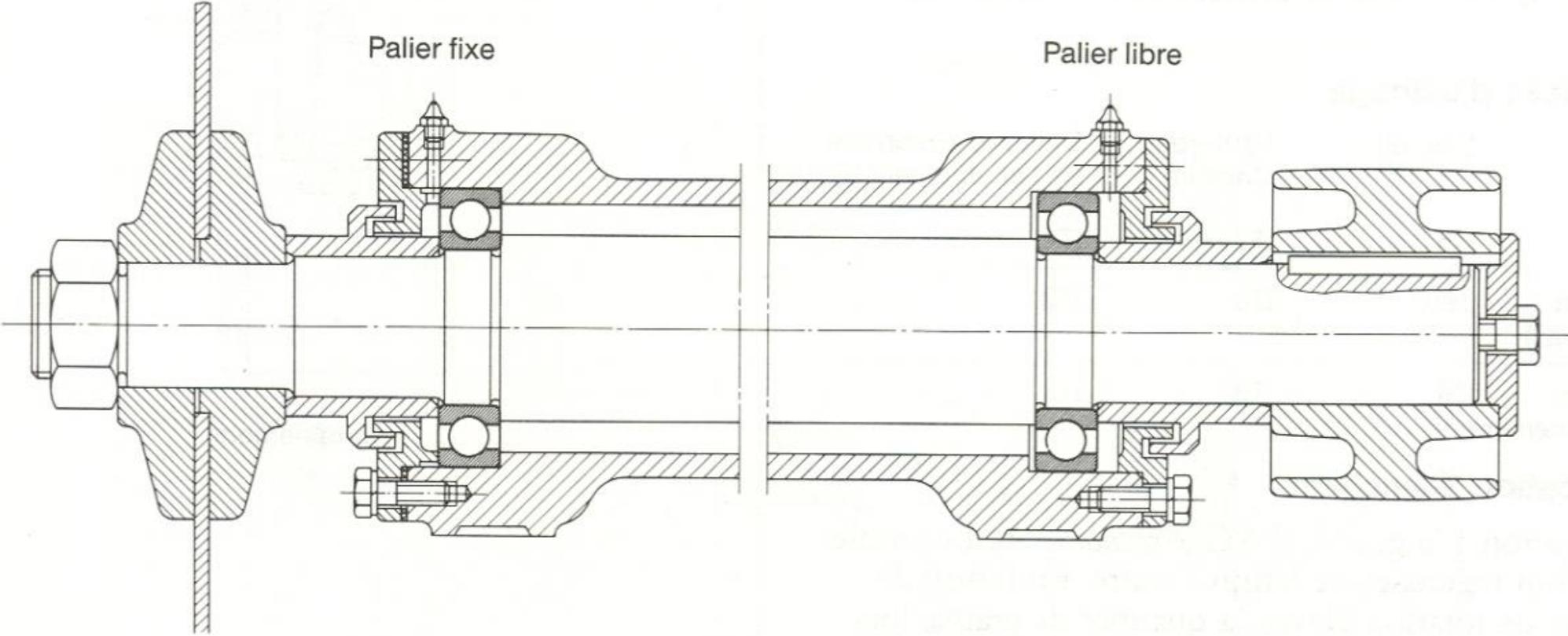
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exemples – Arbre porte-lames d'une raboteuse



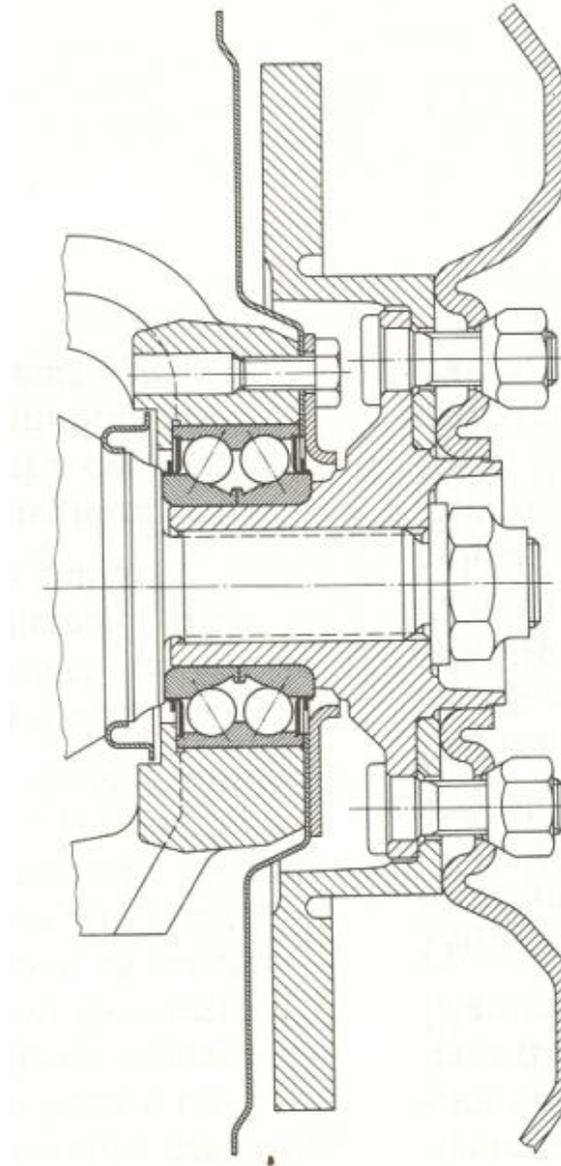
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exemples – Arbre de scie circulaire



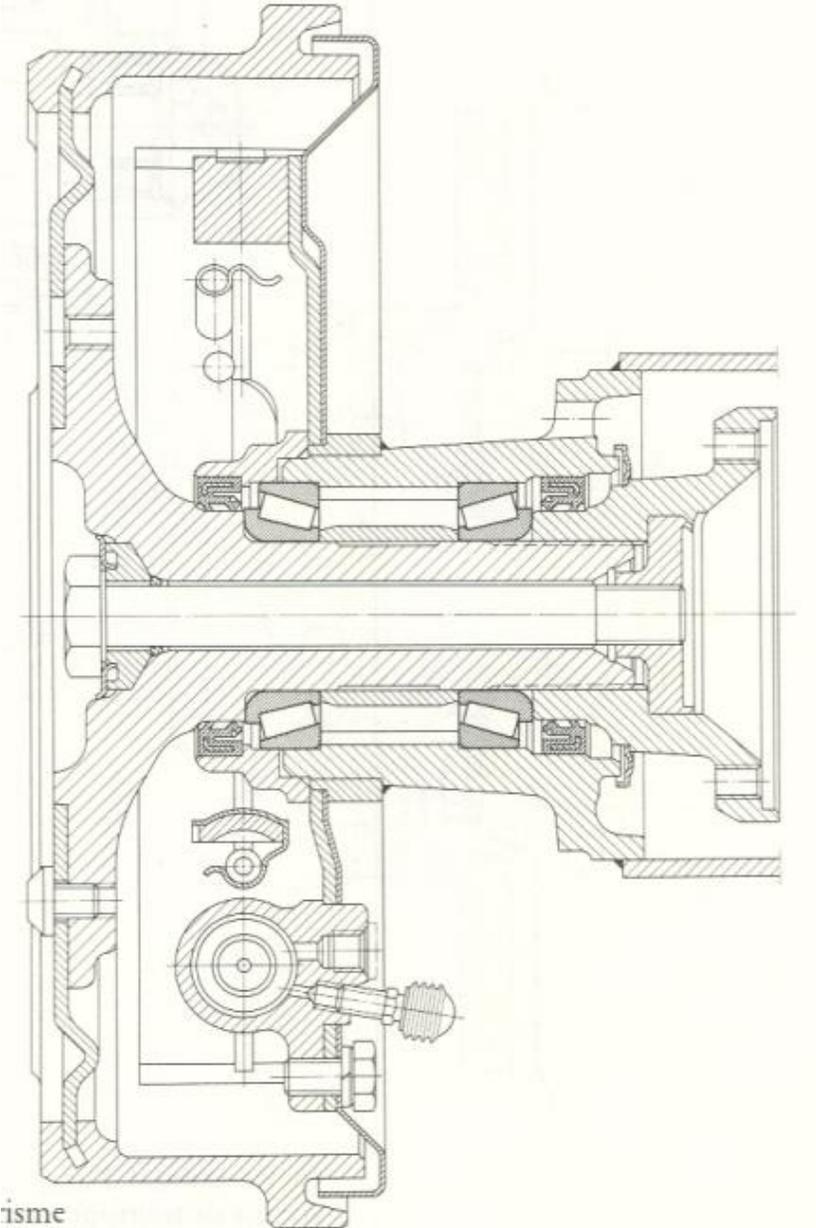
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exemples – Roue avant de voiture



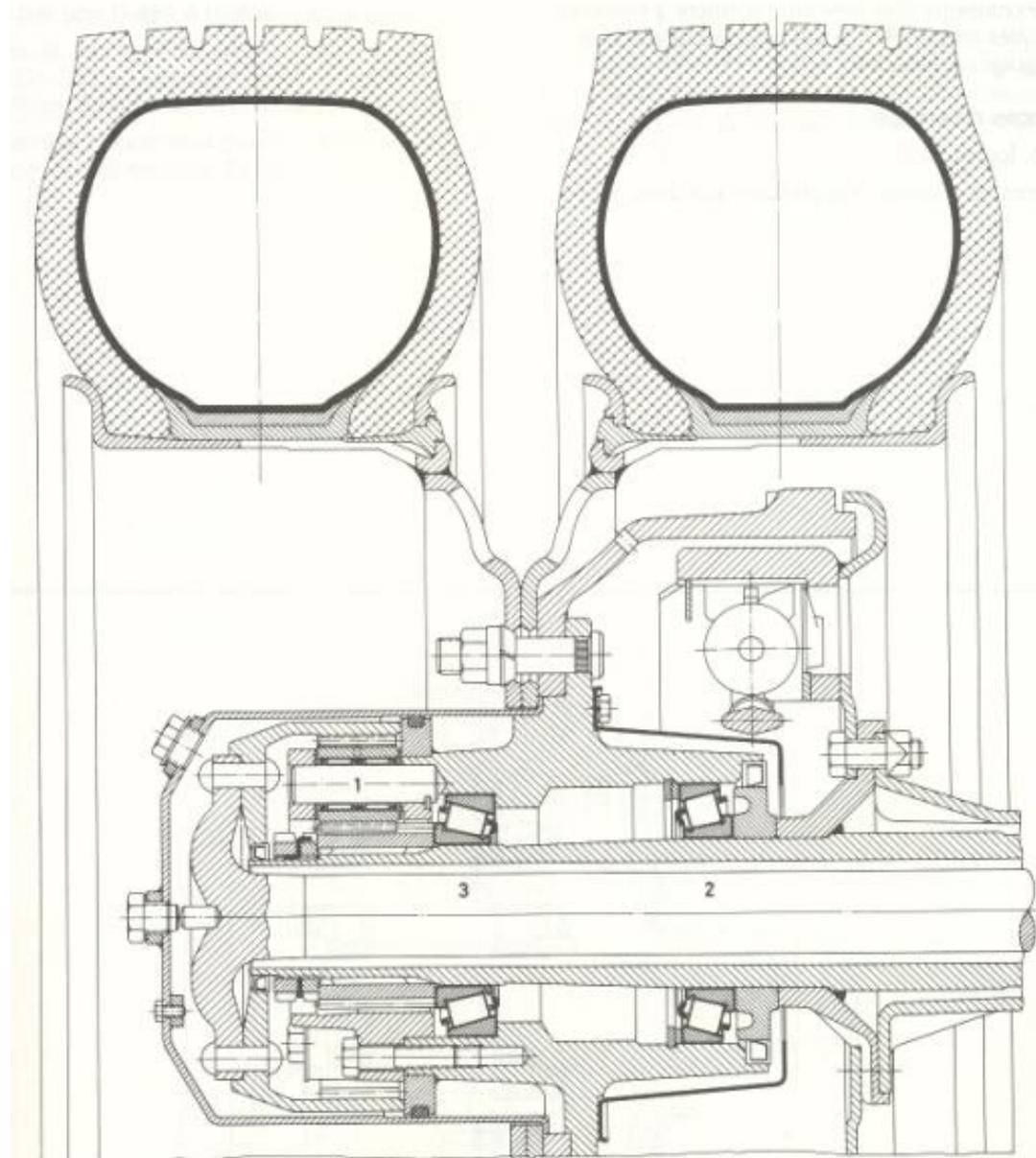
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exemples – Roue avant de voiture



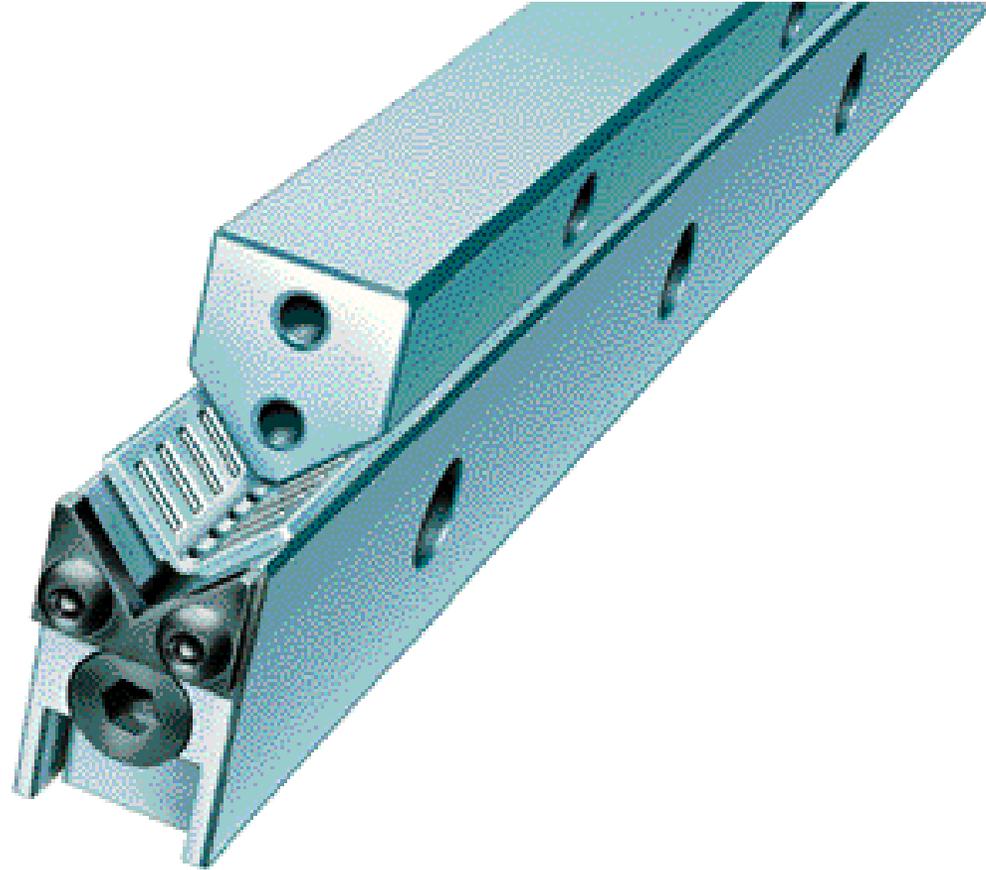
6.4.1. Guidages Roulants en Rotation - Calculs

Exemples –
Roue arrière de camion
Propulsion



6.4.2. Guidages Roulants en Translation

Glissière à roulement: Rail de guidage à course limitée



Patin à aiguilles (doc INA)

6.4.2. Guidages Roulants en Translation

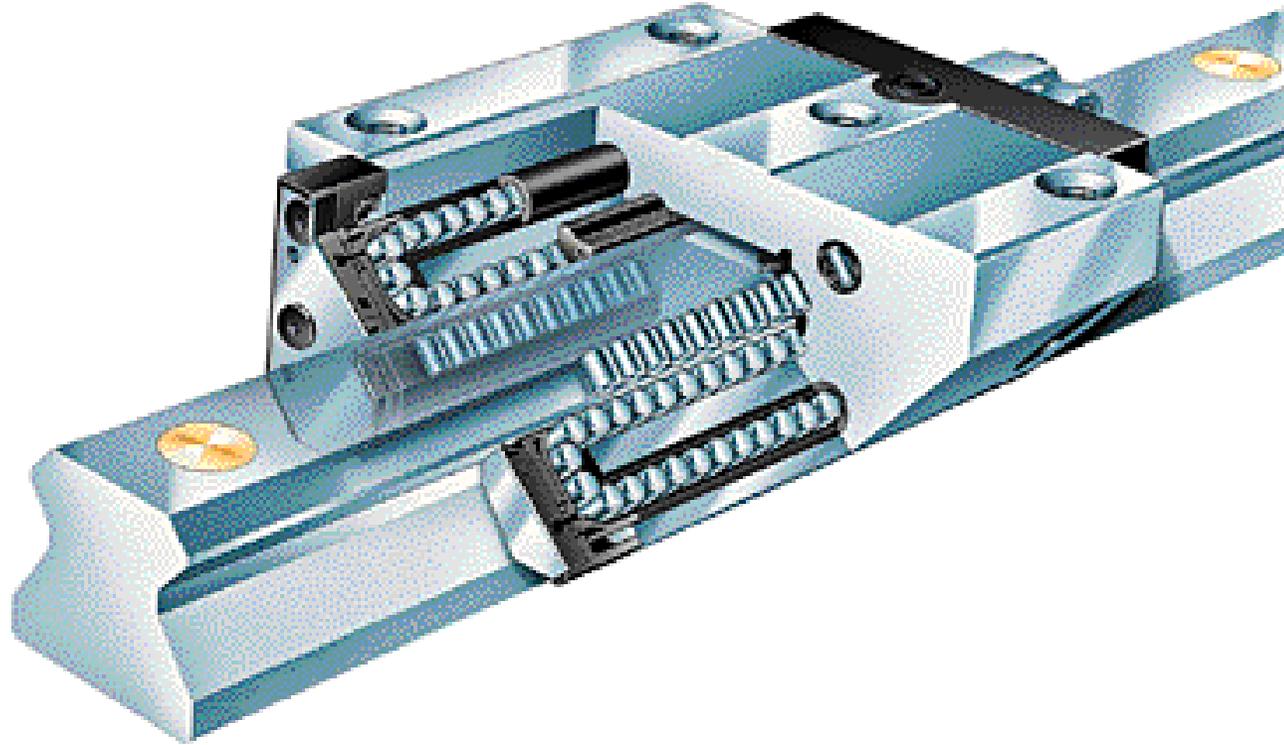
Glissière à roulement: Rail de guidage à course limitée



Patin à rouleaux (doc Schneeberger)

6.4.2. Guidages Roulants en Translation

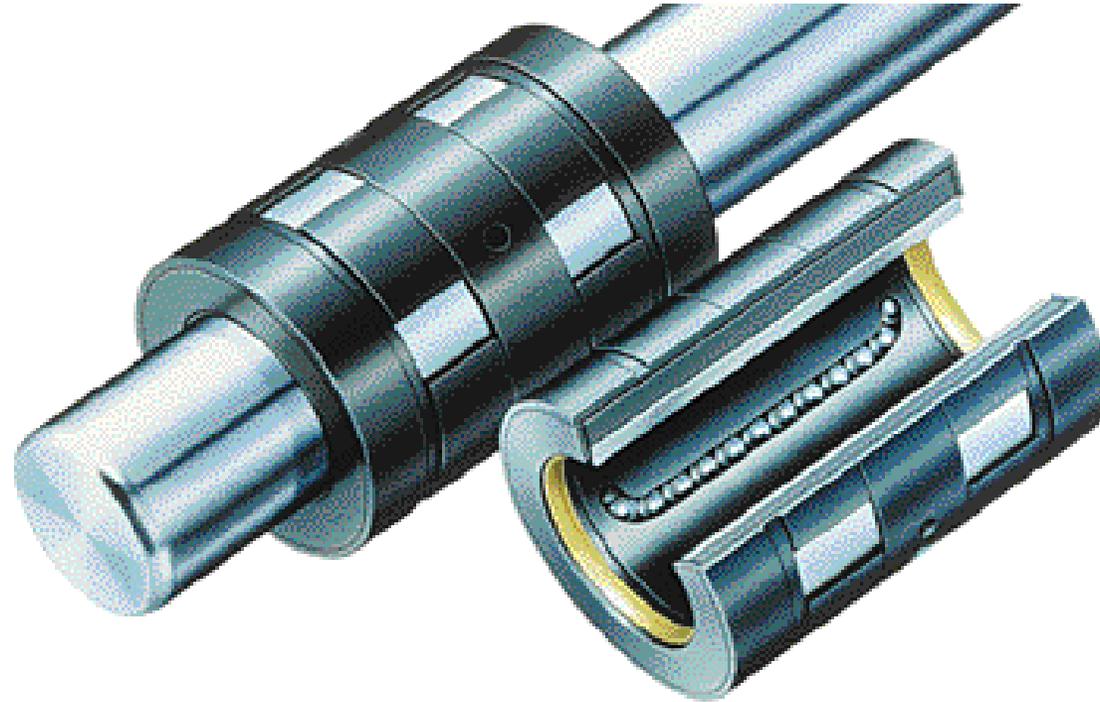
Glissière à roulement: Rail de guidage à course illimitée



Guidage linéaire à recyclage (doc INA)

6.4.1. Guidages Roulants en Translation

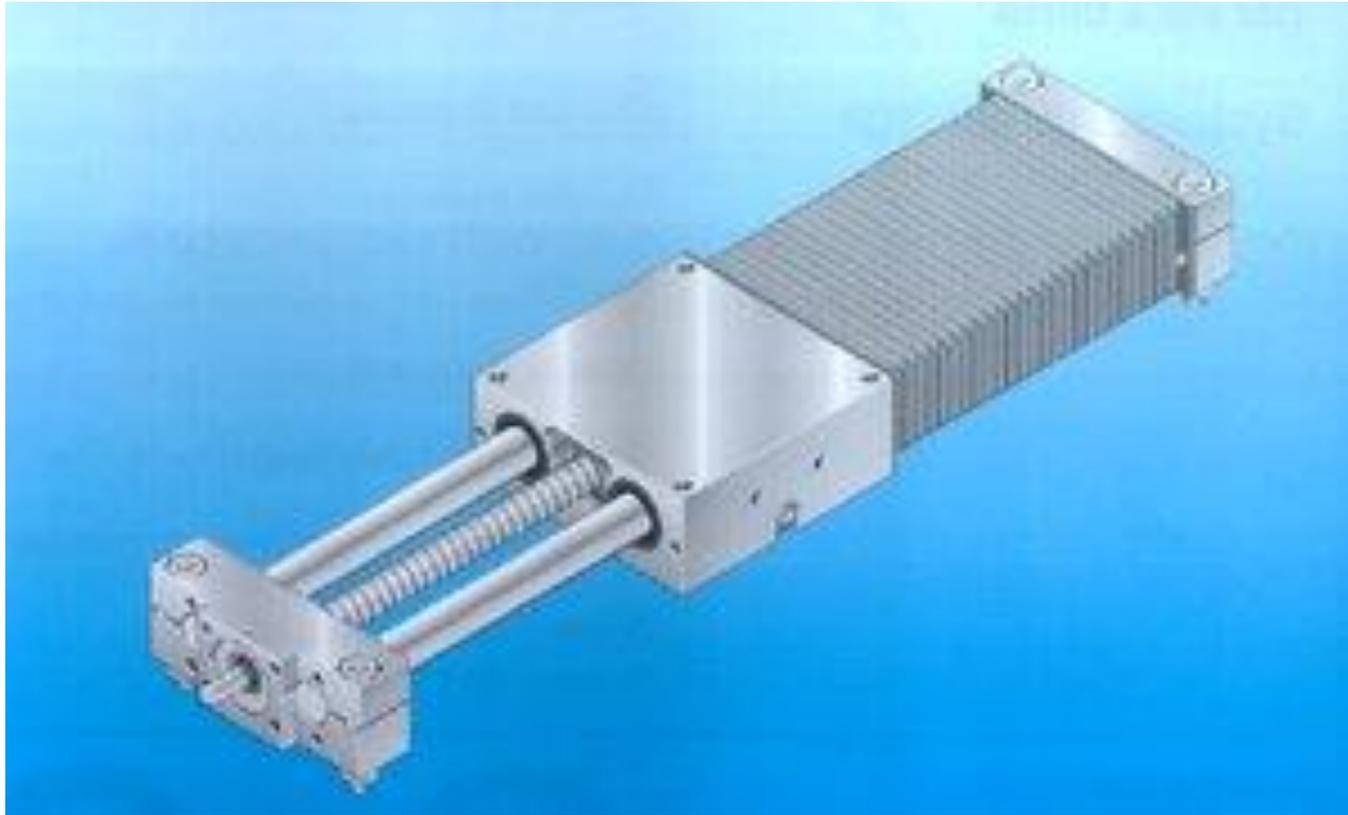
Pivot glissant à roulement: Rail de guidage à course illimitée



Douille à billes (doc INA)

6.4.2. Guidages Roulants en Translation

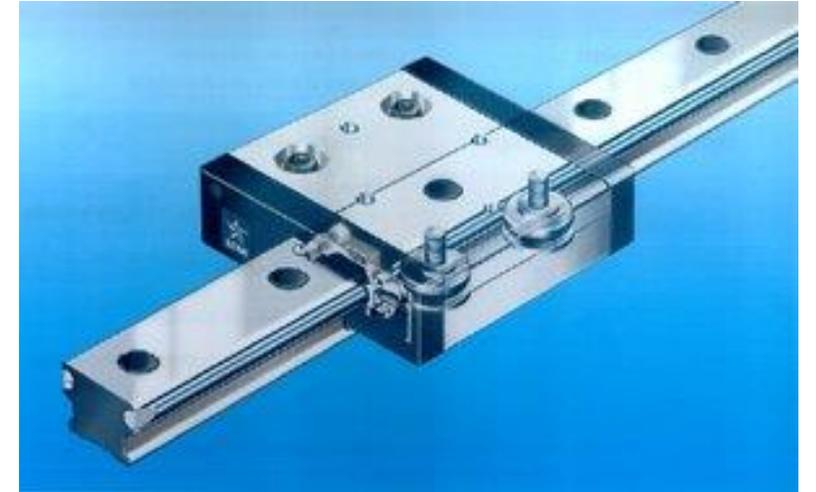
Glissière a roulement: Rail de guidage à course illimitée



Glissière avec 2 douilles à billes (doc ALME)

6.4.2. Guidages Roulants en Translation

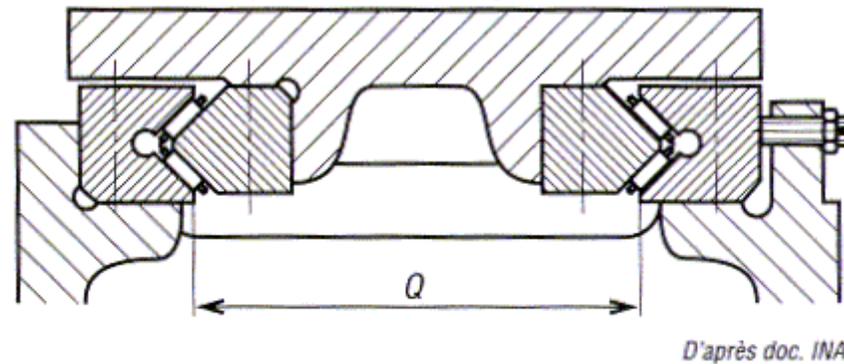
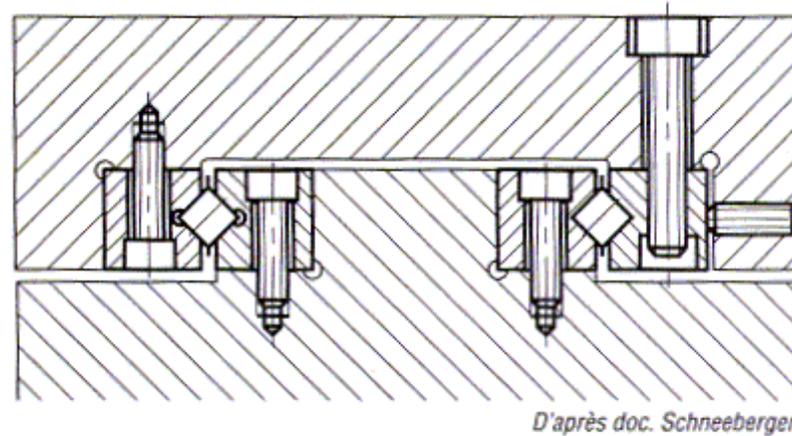
Glissière a roulement: Rail de guidage à course illimitée



Rails en V (doc NADELLA, ALME, HEPCO)

6.4.2. Guidages Roulants en Translation

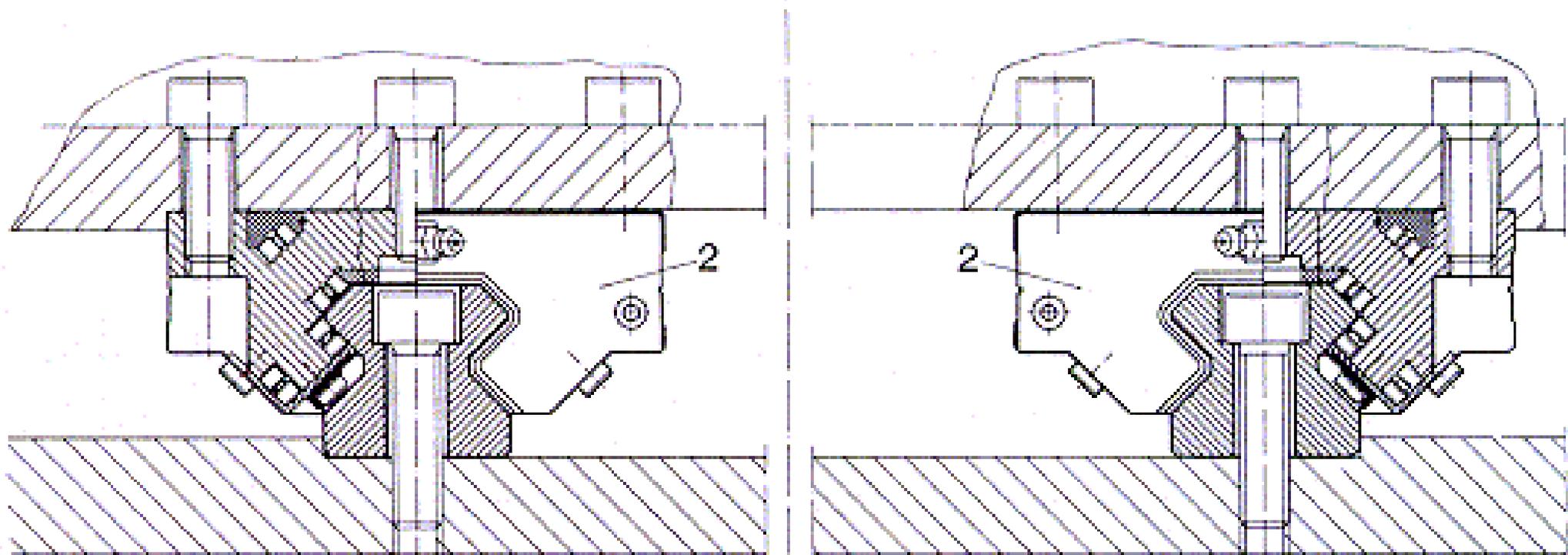
Glissière a roulement: Rail de guidage à course illimitée



Guidage réalisé à partir d'éléments roulants

6.4.2. Guidages Roulants en Translation

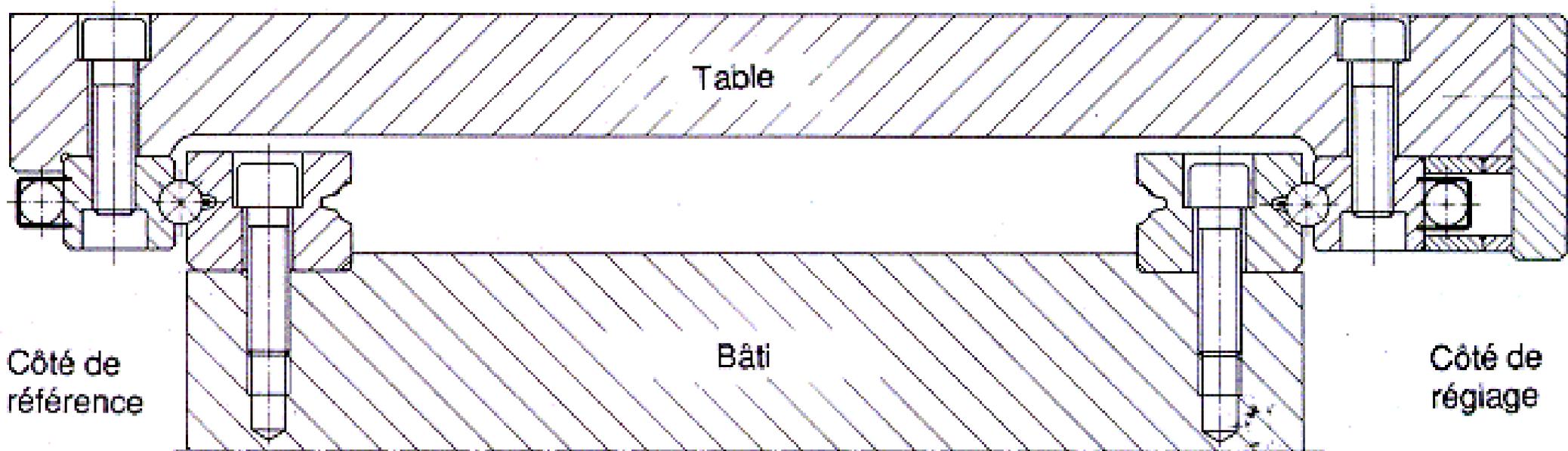
Glissière a roulement: Rail de guidage à course illimitée



Guidage réalisé à partir d'éléments roulants

6.4.2. Guidages Roulants en Translation

Glissière a roulement: Rail de guidage à course illimitée



Guidage réalisé à partir d'éléments roulants

6.4.2. Guidages Roulants en Translation

Glissière a roulement: dimensionnement

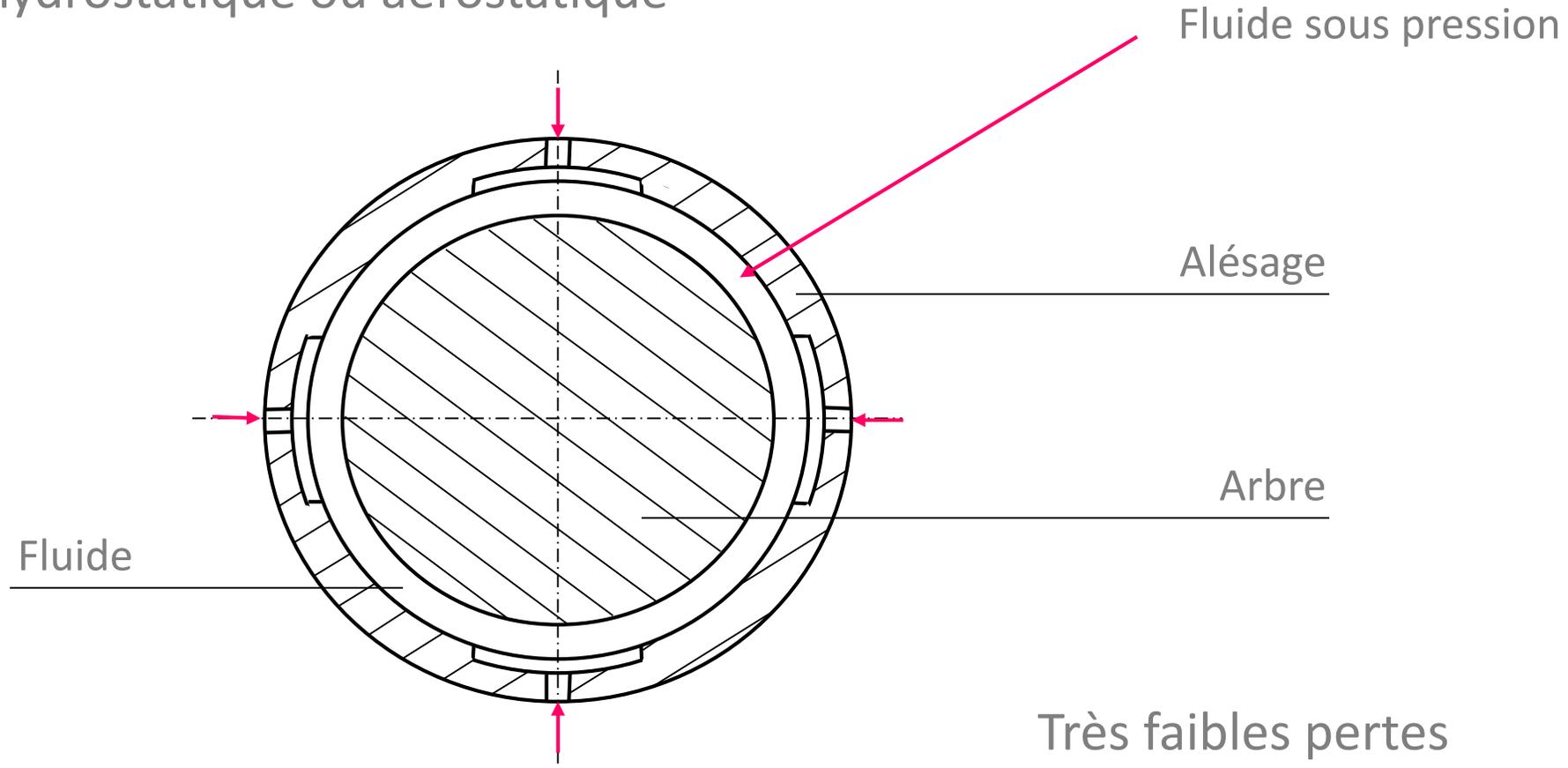
$$L = a \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{pour } 10^5 \text{ m}$$

a = coefficient de fiabilité (a = 1 pour une fiabilité de 90%)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{pour } 10^5 \text{ m}$$

6.5. Guidages sans Contact

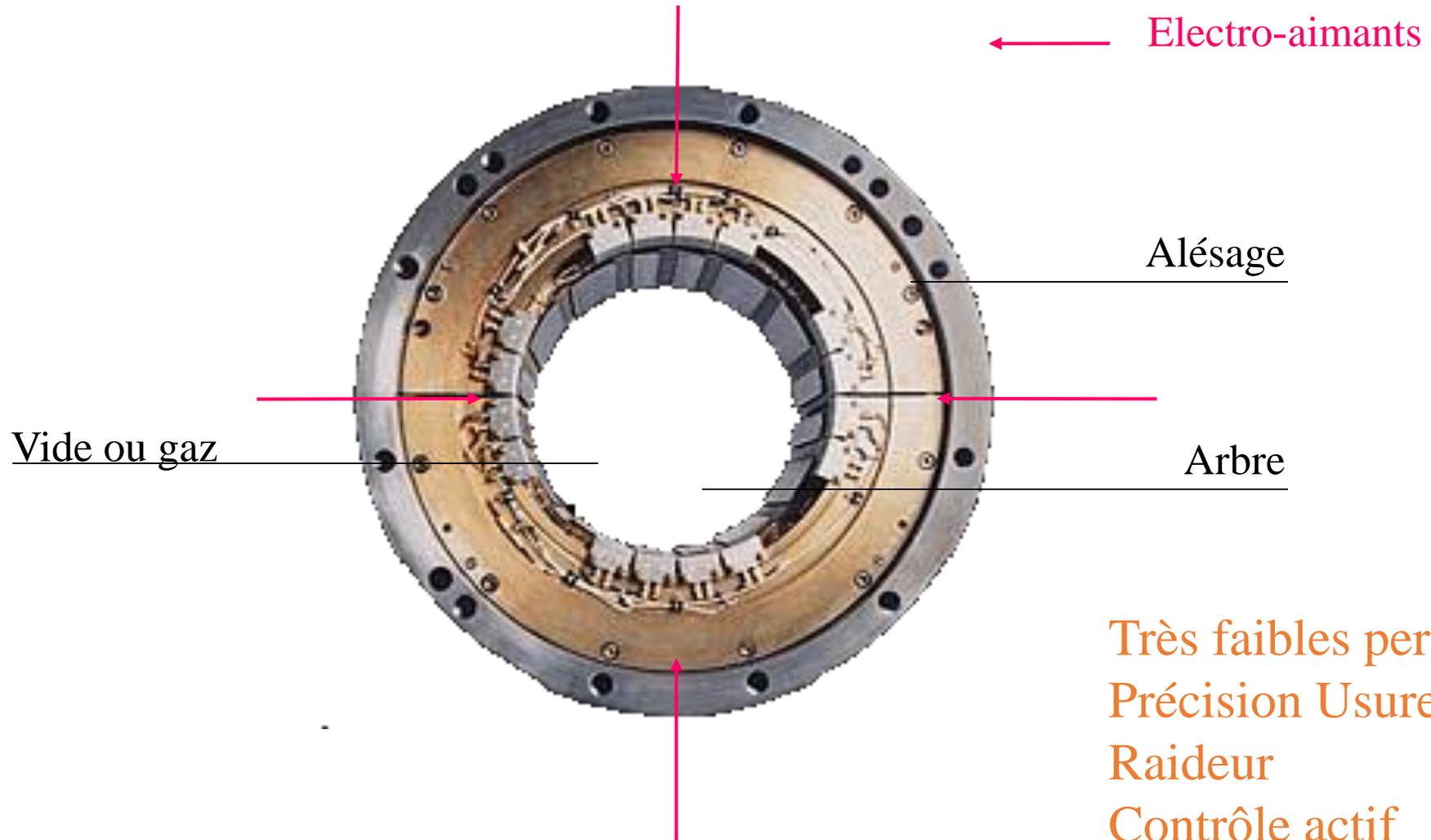
Palier hydrostatique ou aérostatique



Très faibles pertes
Précision Usure
Raideur (viscosité)

6.5. Guidages sans Contact

Palier magnétique



Très faibles pertes
Précision Usure
Raideur
Contrôle actif