

Conception & Analyse

Guidage en rotation : roulements

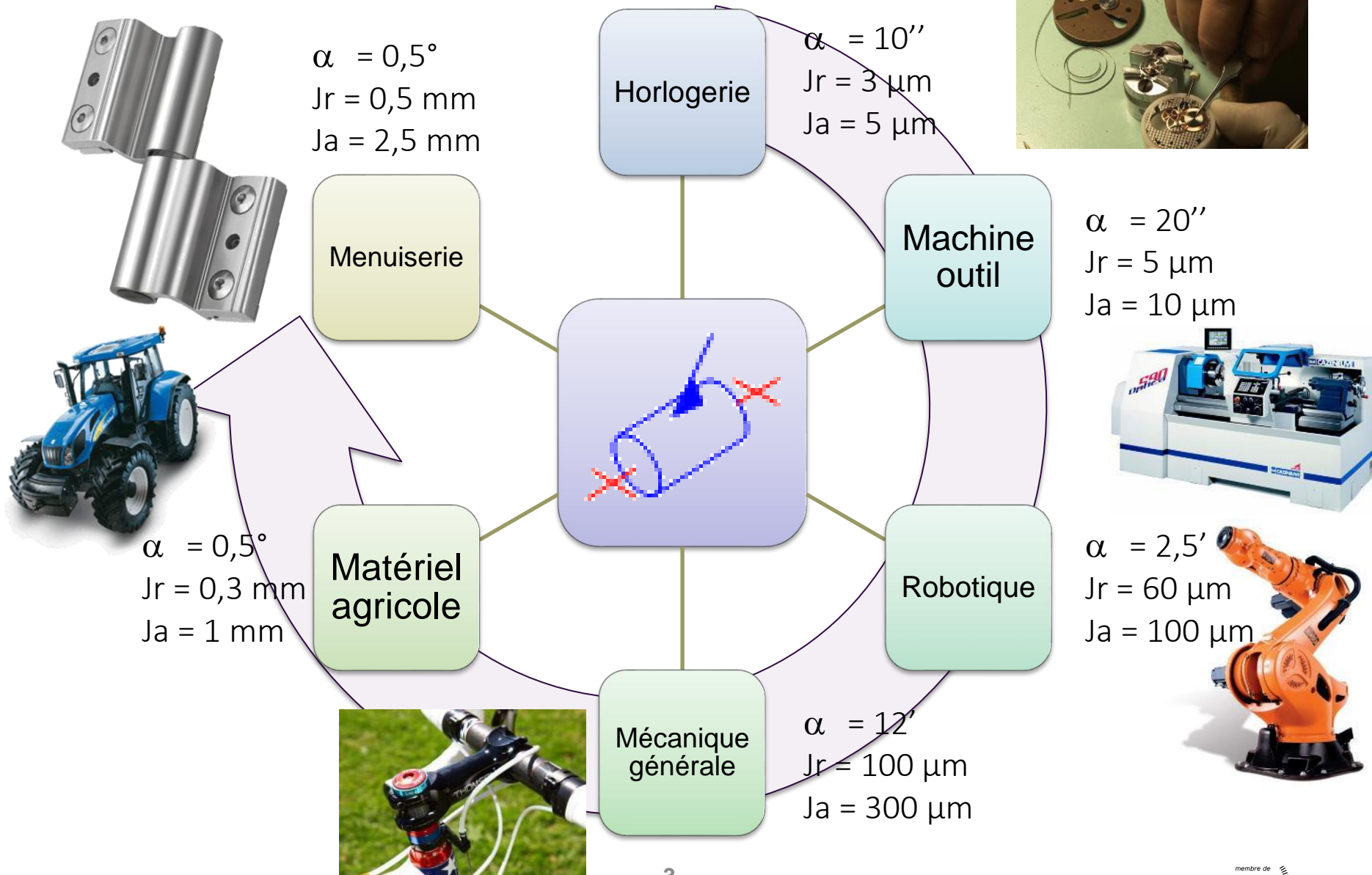
Équipe pédagogique CONAN

Objectifs

- Analyser la liaison pivot d'un point de vue fonctionnel sous ses 4 aspects : précision, efforts transmissibles, rendement, fiabilité
- Connaître les **principales solutions constructives** associées à la liaison pivot : contact direct, paliers lisses, roulements, coussinets, paliers hydrodynamique et hydrostatique, paliers magnétiques, paliers aérodynamique...
- Modéliser **une liaison par contact direct** afin d'en obtenir un dimensionnement.
- A partir du torseur d'actions transmissibles et des exigences de précision de la liaison, **choisir un composant de type coussinet ou roulement**
- Associer au composant choisi **les jeux et surfaces fonctionnelles appropriées**, savoir en préciser les **conditions de montage** compatible avec le cahier des charges (rigidité, maintenabilité, outillage...)
- Connaître les conditions **de lubrification et d'étanchéité** nécessaires pour assurer la durée de vie et la fiabilité de la liaison dans le temps.



Rappel : objectif de réalisation d'une liaison pivot



Rappel : notion de durée de vie des systèmes



Petit outillage	< 150h	Hydraulique fixe	10000 à 20000	Concasseur, broyeur	15000 à 40000
Outillage pro	100 à 500	Machine bureau	1500 à 13000	Réducteurs	20000 à 50000
Appareils ménagers	200 à 2200	Appareil manuel	2000 à 15000	Machine textile	50000 à 65000
Machine agricole	500 à 16000	Laminoir	2000 à 20000	Machine outil	20000 à 80000
Automobile	900 à 10000	Compresseur, 8h/jour	2600 à 20000	Machine impression	40000 à 100000
Travaux publics	1000 à 10000	Machine construction	10000 à 50000	Machine 24h/24	50000 à 60000
Machine intermittente	4000 à 80000	Machine 8h/jour	12000 à 30000	Machine papeterie	> 75000 h

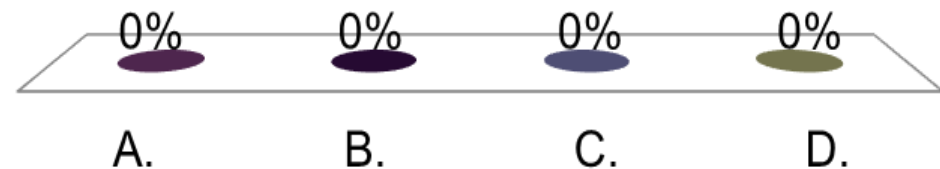


Paliers

bilan

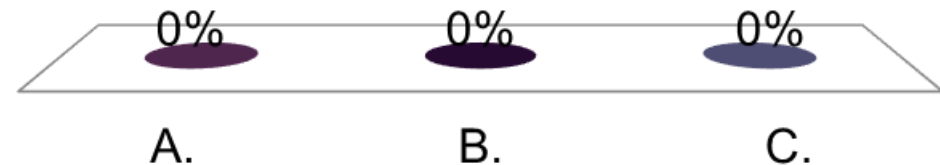
Un palier lisse est monté serré

- A. Sur le diamètre intérieur
- B. Sur le diamètre extérieur
- C. Sur l'arbre
- D. On ne peut pas dire cela dépend de la direction de la charge



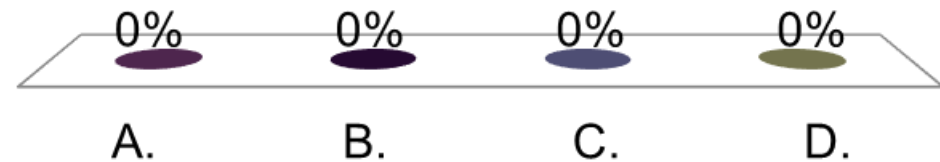
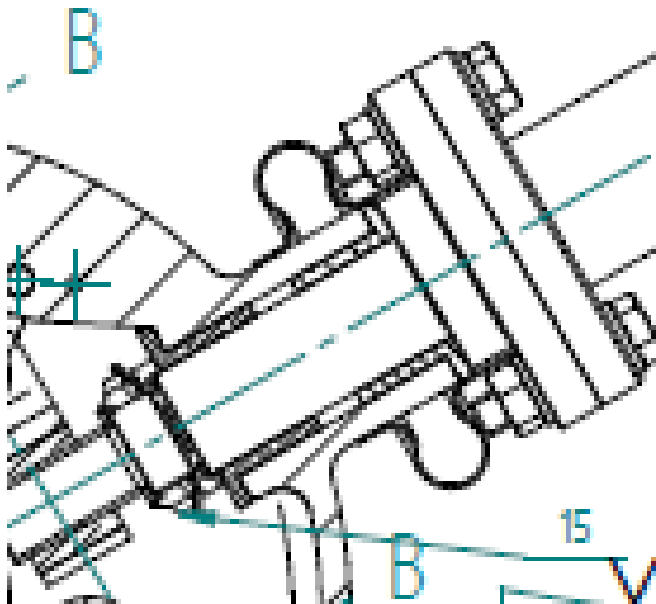
Quel est l'intérêt d'un palier lisse à collerette?

- A. Limiter le couple résistant de la liaison
- B. Encaisser l'effort axial
- C. Augmenter la charge radiale admissible



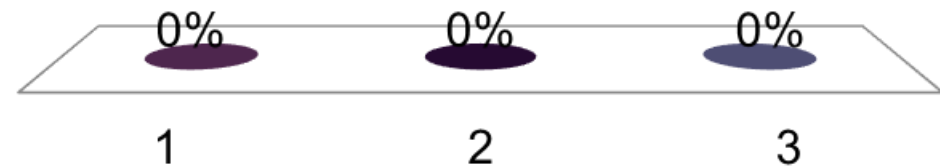
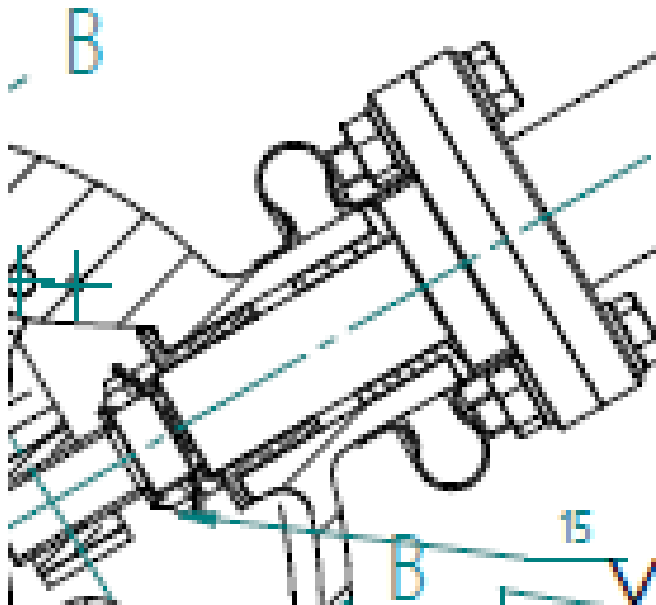
Quel modèle retenir pour les paliers?

- A. Pivot glissant
- B. Pivot
- C. 2 linéaires annulaires
- D. 2 rotules



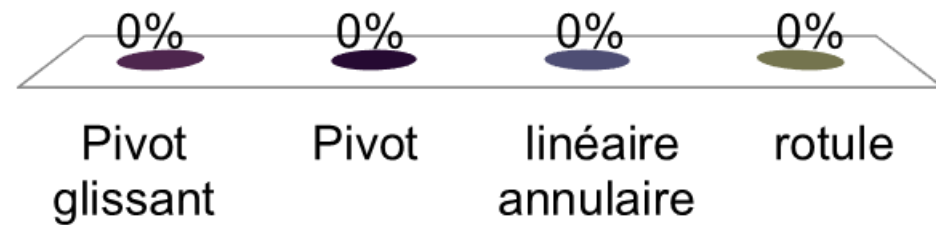
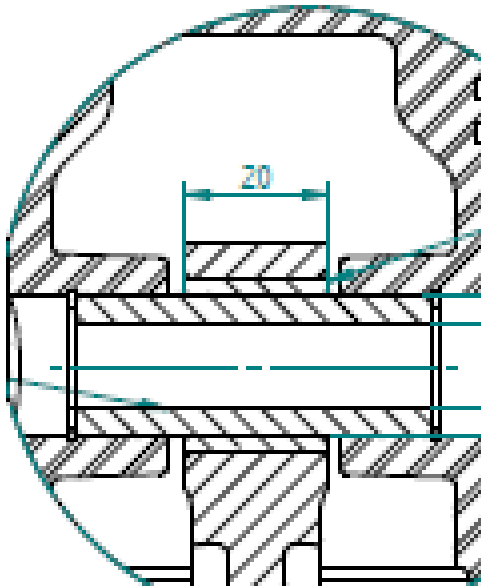
Du coup quelle formule permet de déterminer Pd?

- A. 1 $p_M = 1,5 \frac{Fr}{L.d}$
- B. 2 $p_D = \frac{Fr}{L.d} + \frac{6C}{dL^2}$
- C. 3 $p_M = \frac{Fr}{2.L.d} + \frac{C}{d.L.L_0}$



Quel modèle retenir pour les paliers?

- A. Pivot glissant
- B. Pivot
- C. linéaire annulaire
- D. rotule



Du coup quelle formule permet de déterminer Pd?

A. 1

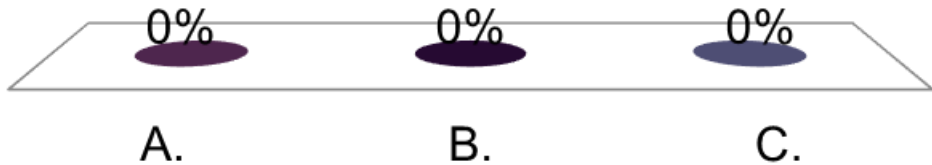
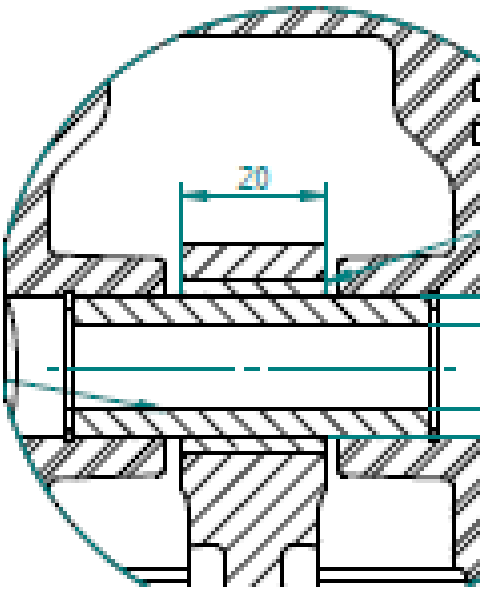
$$p_M = 1.5 \frac{Fr}{L \cdot d}$$

B. 2

$$p_D = \frac{Fr}{L \cdot d} + \frac{6C}{dL^2}$$

C. 3

$$p_M = \frac{Fr}{LD}$$



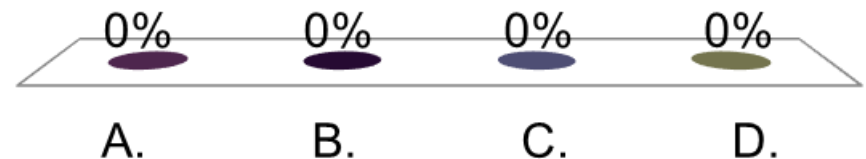
Pour calculer le couple résistant d'une liaison pivot réalisée par palier lisse, j'utilise les formules

A. $C_f = \frac{\pi}{2} r \cdot f \cdot N$

B. $C_f = 6r \cdot f \cdot \frac{C}{2L}$

C. $C_f = \frac{2}{3} \cdot f \cdot Fa \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$

D. $C_f = \frac{Fa \cdot f \cdot (R + r)}{2}$



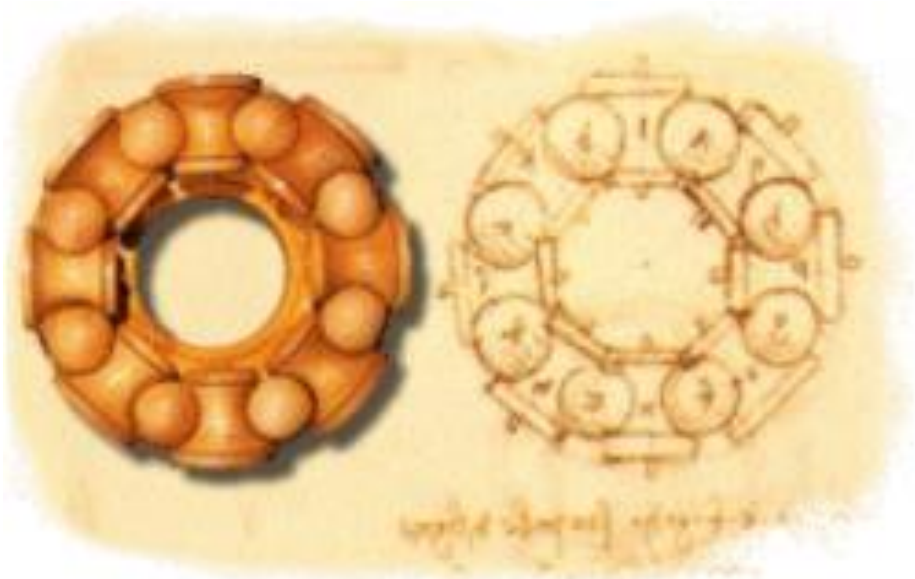
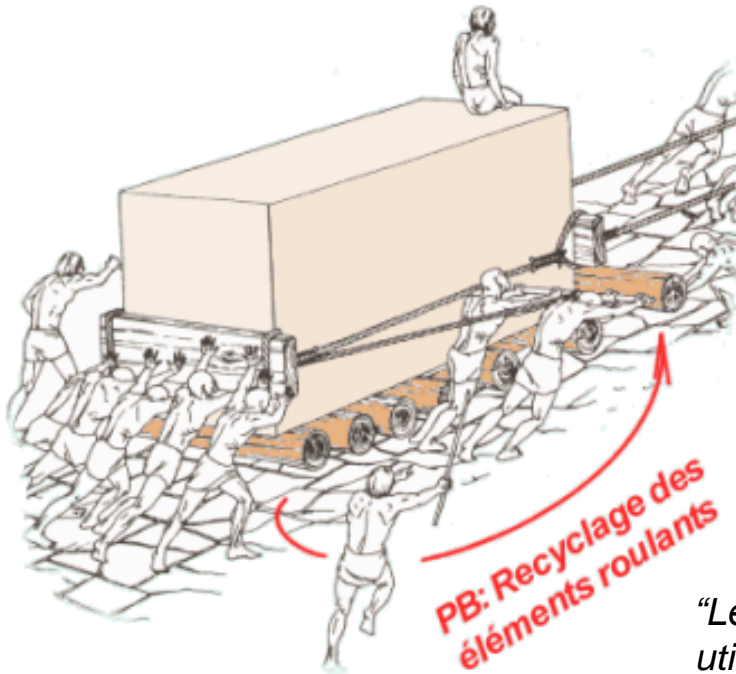


Roulements

Généralités

Roulements : généralités

- **PRINCIPE** : remplacer le **GLISSEMENT** avec frottement par du **ROULEMENT**.
- Dès l'antiquité, on utilise des **ELEMENTS ROULANTS** dans le transport de lourdes charges essentiellement pour la construction d'édifices.
- **LEONARD DE VINCI** met au point les premiers roulements



"Les sciences mécaniques sont les plus nobles et les plus utiles d'entre toutes, car par leur biais tous les corps animés exécutent l'opération pour laquelle ils ont été conçus."

Résistance au roulement : ordre de grandeur

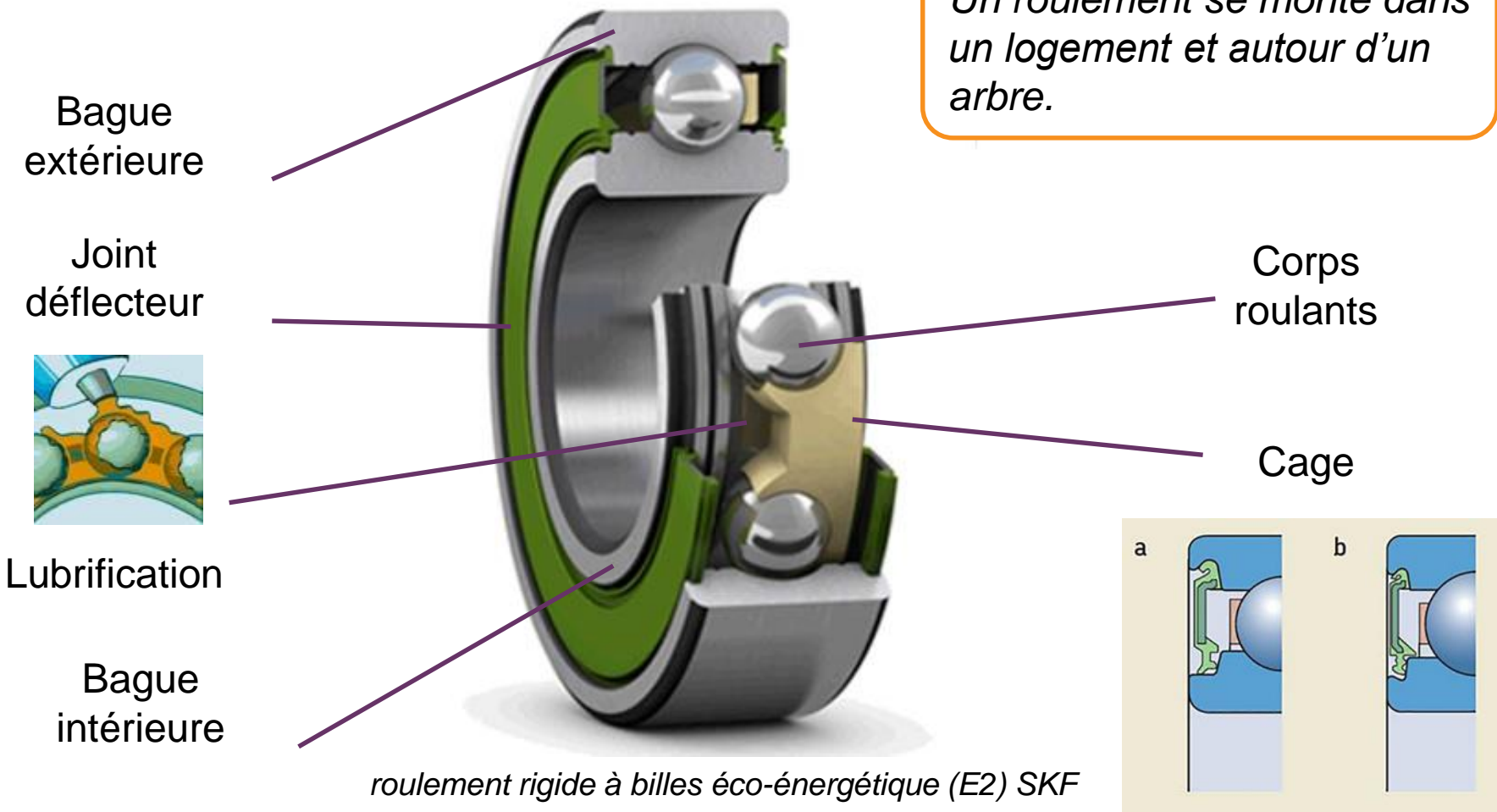
Coefficient μ

• Rlt billes à gorge profonde	0.0015
• Rlt rouleaux cylindrique coniques	0.002
• Rlt à aiguilles	0.004
• Butées à billes	0.0015
• Butées rouleaux conique	0.002
• Butées rouleaux cylindriques	0.008



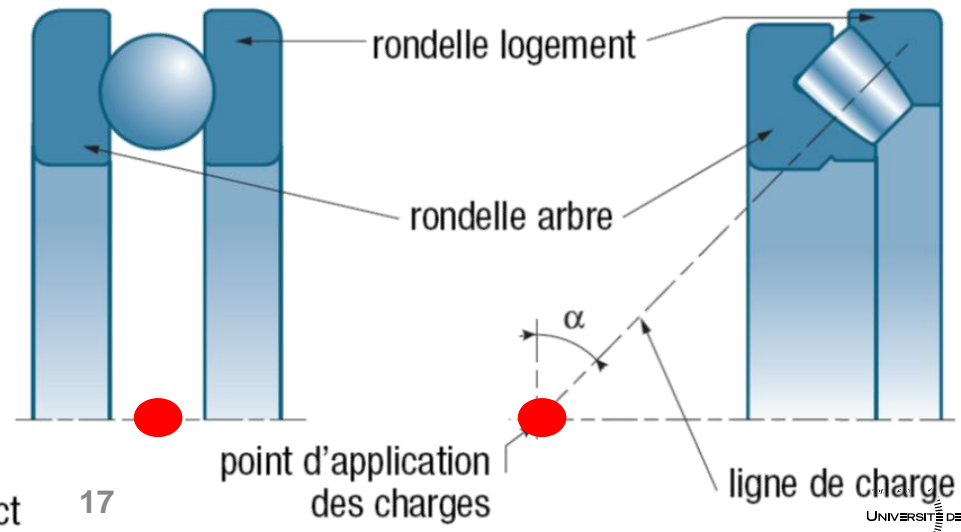
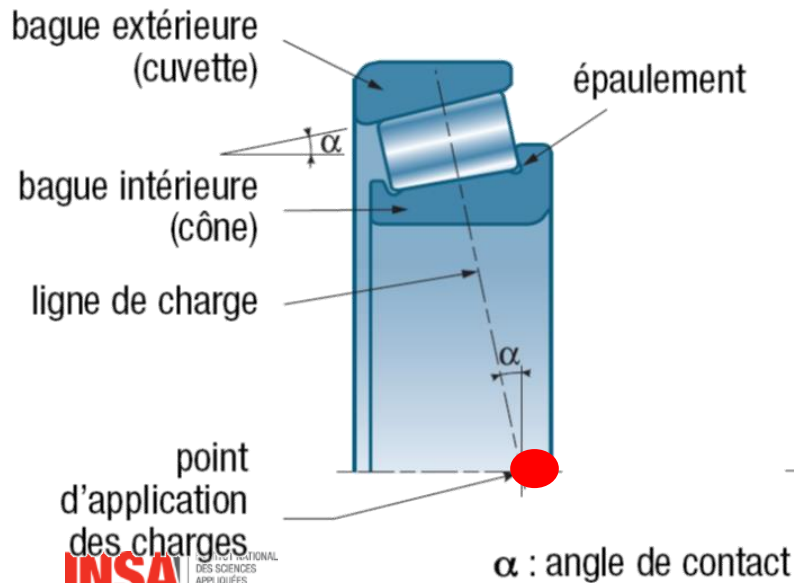
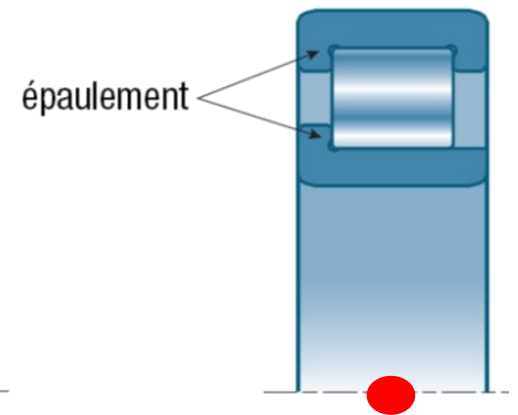
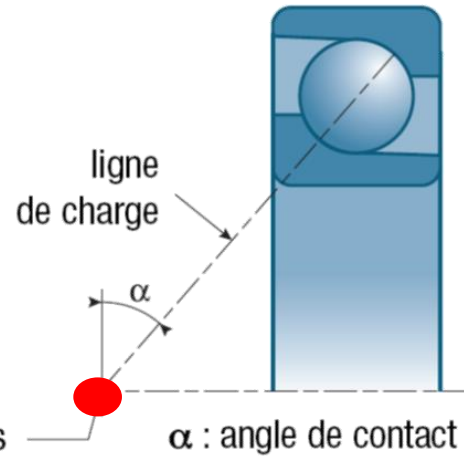
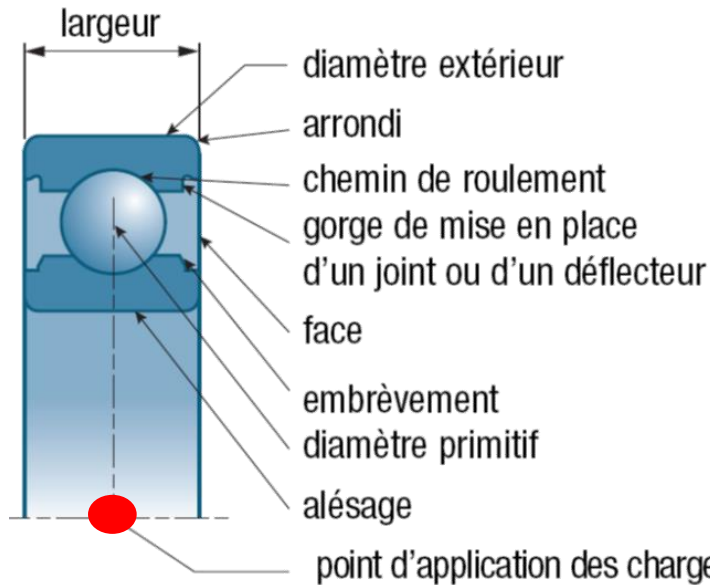
Constitution générale d'un roulement

Un roulement se monte dans un logement et autour d'un arbre.

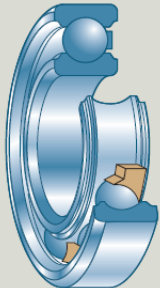
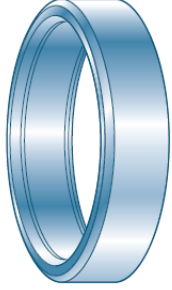
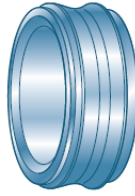
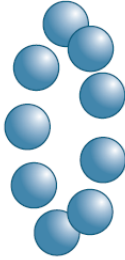
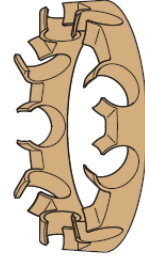

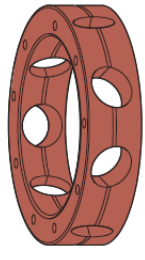


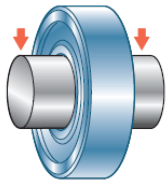
Vocabulaire spécifique du roulement : Norme ISO 5593

Point d'application des charges!

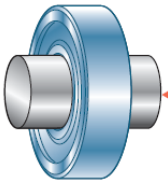


Roulements à billes et cas d'application

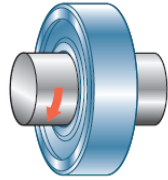
Type	Bague extérieure	Bague intérieure	Corps roulants	Matière synthétique	Tôle emboutie	Massive usinée
 <p>Roulement à billes</p>						



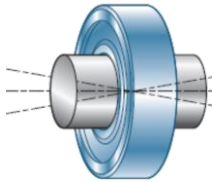
+



+



+++



+/-

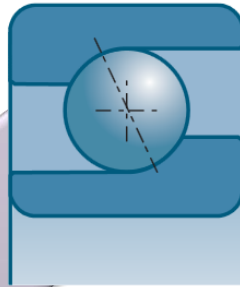


*Moteur électrique
Roue de remorque
Electroménager
Broche de machine à bois
Petit réducteur
Boîte de vitesses...*

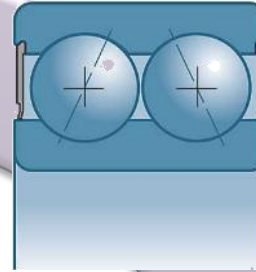


Roulements à billes et cas d'application

Roulements à billes à contact oblique à une rangée de billes

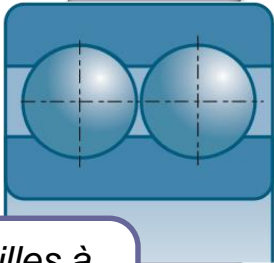


Roulements à billes à contact oblique à deux rangées de billes

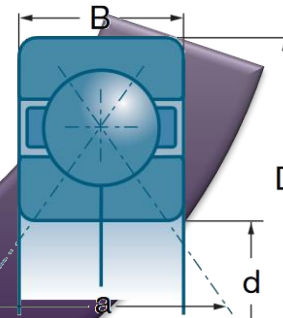


Excellent rapport prix/performance, nombreuses variantes

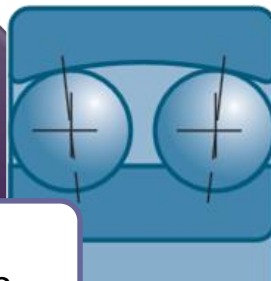
Roulement à billes à contact radial à deux rangées de billes



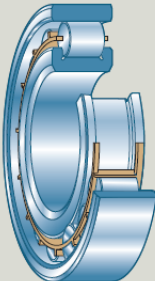
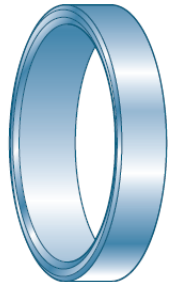

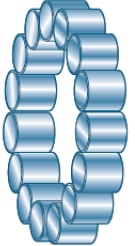
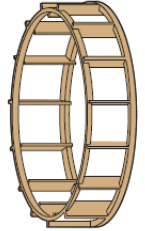
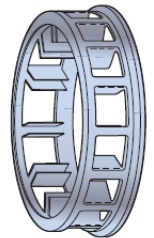
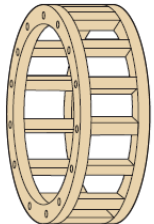
Roulements à billes à quatre points de contact

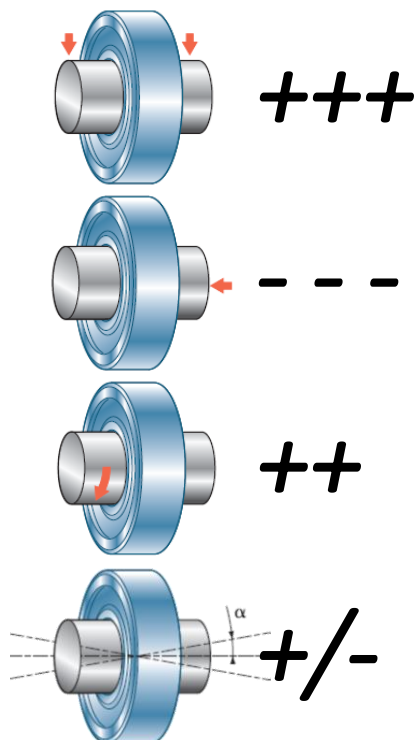


Roulement à rotule sur billes



Roulements à rouleaux et cas d'application

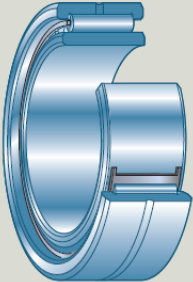
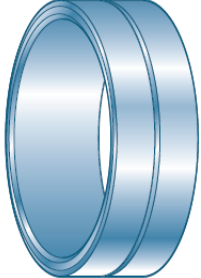
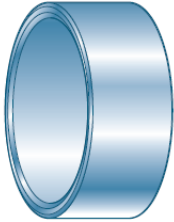
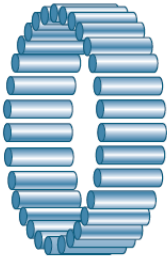


Type	Bague extérieure	Bague intérieure	Corps roulants	Matière synthétique	Tôle emboutie	Massive usinée
 <p>Rlt à rouleaux cylindriques</p>						

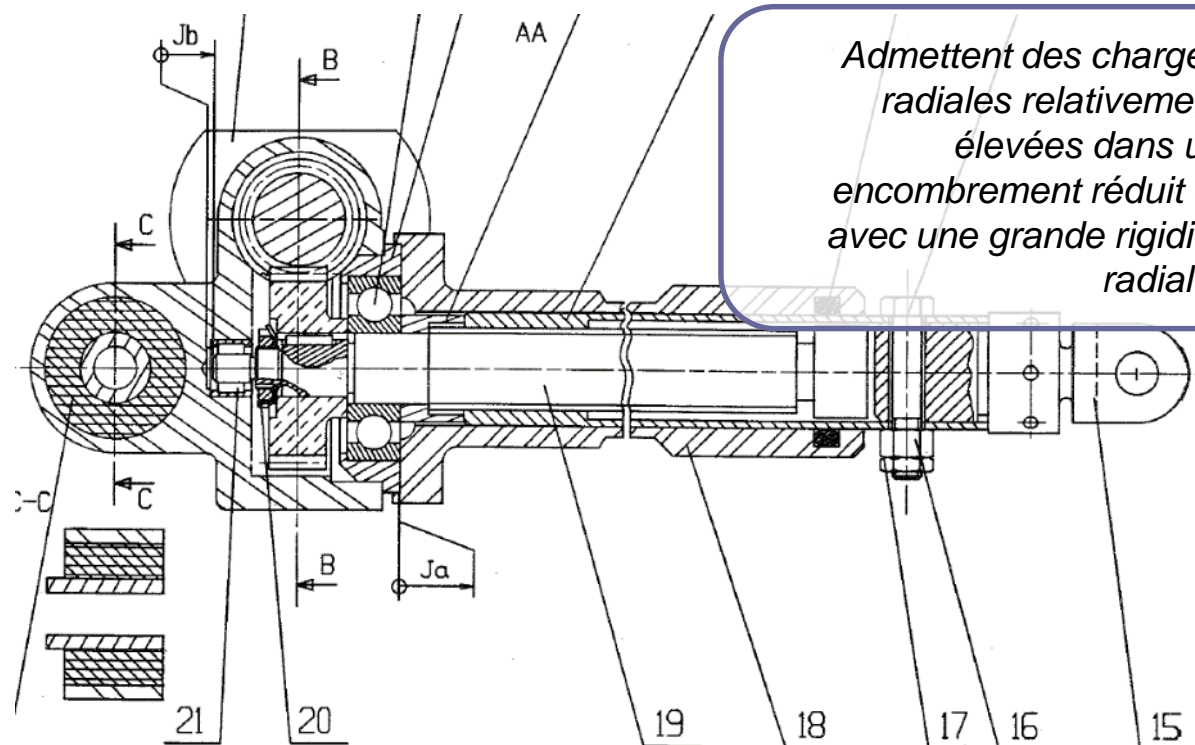
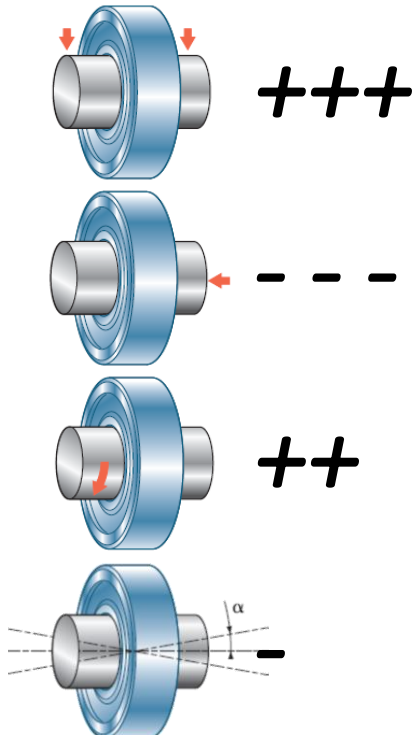


Gros moteur électrique
Boîte d'essieux de wagon
Galet de pression
Cylindre de laminoir...



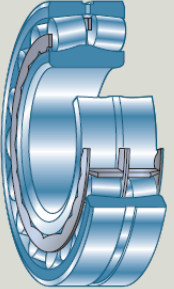
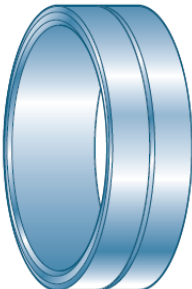
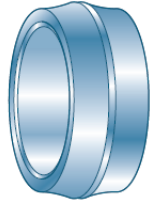
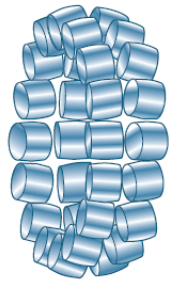
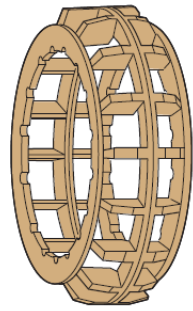
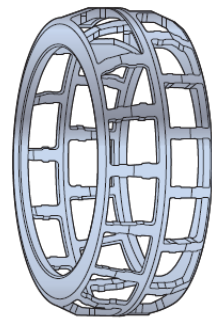
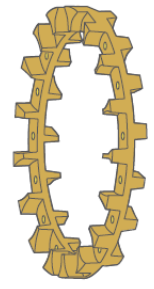
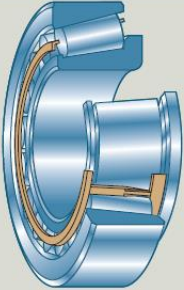





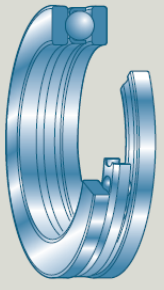
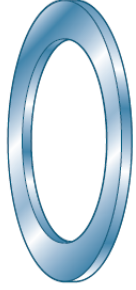

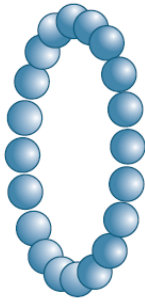

Roulements à aiguilles

Type	Bague extérieure	Bague intérieure	Corps roulants	Matière synthétique	Tôle emboutie	Massive usinée
 Roulement à aiguilles						



Admettent des charges radiales relativement élevées dans un encombrement réduit et avec une grande rigidité radiale.

Quelques autres type de roulements

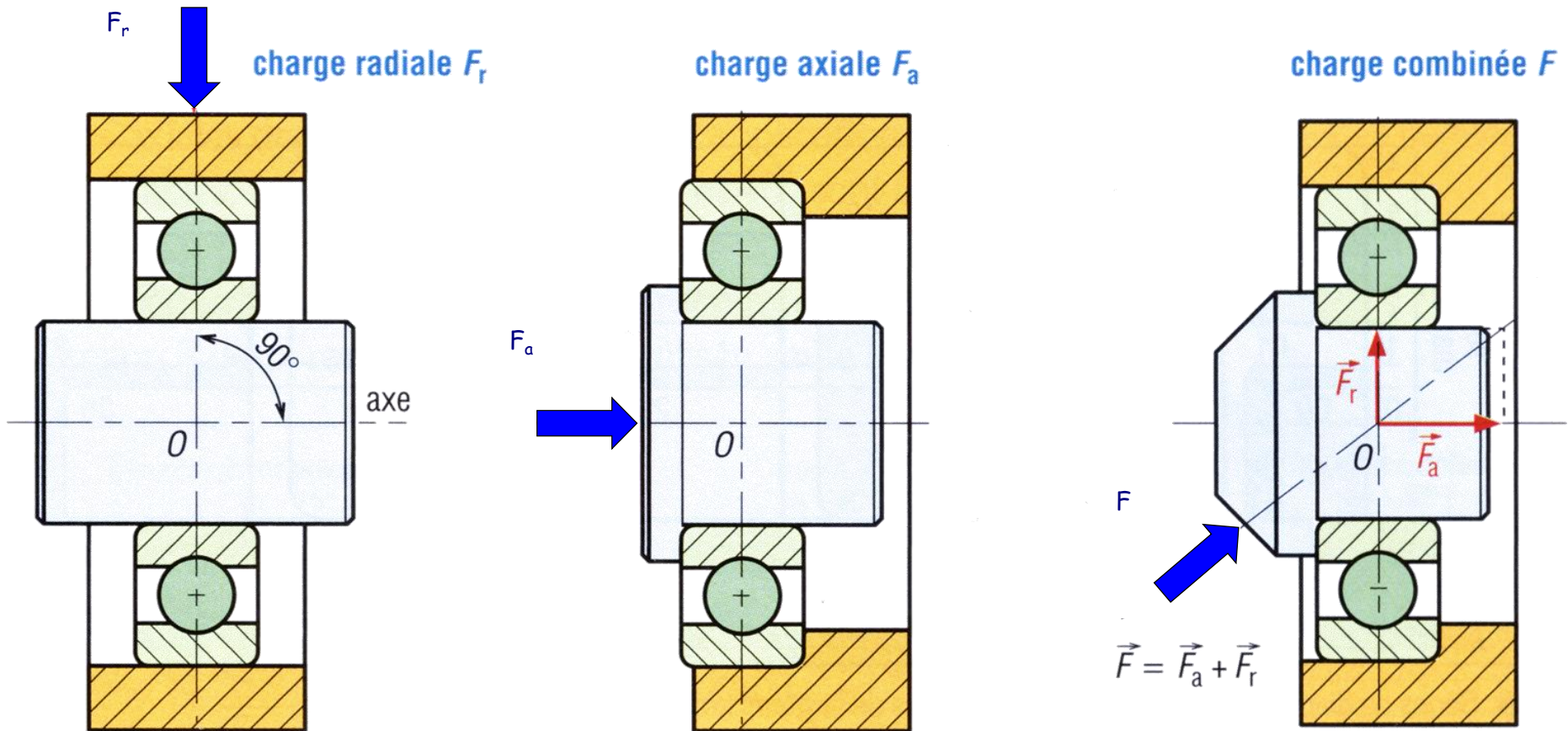
Type	Bague extérieure	Bague intérieure	Corps roulants	Matière synthétique	Tôle emboutie	Massive usinée
 Rlt à rotule sur rouleaux						
 Rlt à rouleaux coniques		 (cône)				
 Butée à billes	 (rondelle logement)	 (rondelle arbre)				

Quelques autres type de roulements

Type	Bague extérieure	Bague intérieure	Corps roulants	Arbre	Tôle emboutie	Massive usinée
Rit à rotule sur rouleaux						
Rit à rouleaux						
Butée à billes						

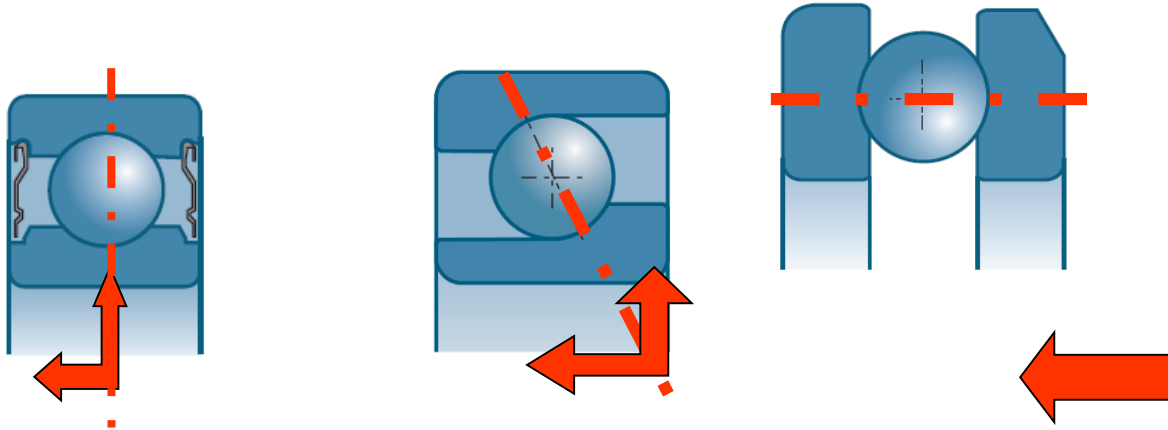
Et bien d'autres...

Direction de la charge



Choix du roulement vis-à-vis de la charge

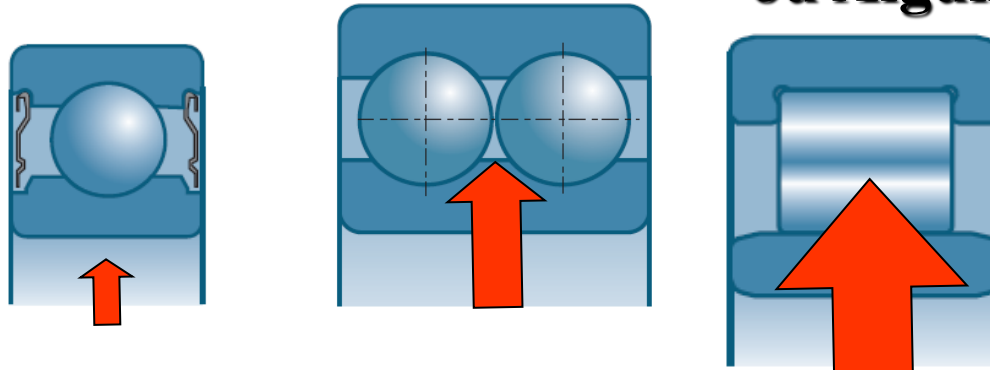
Choix de la position du centre de poussée



Choix de la géométrie et du nombre d'éléments roulants

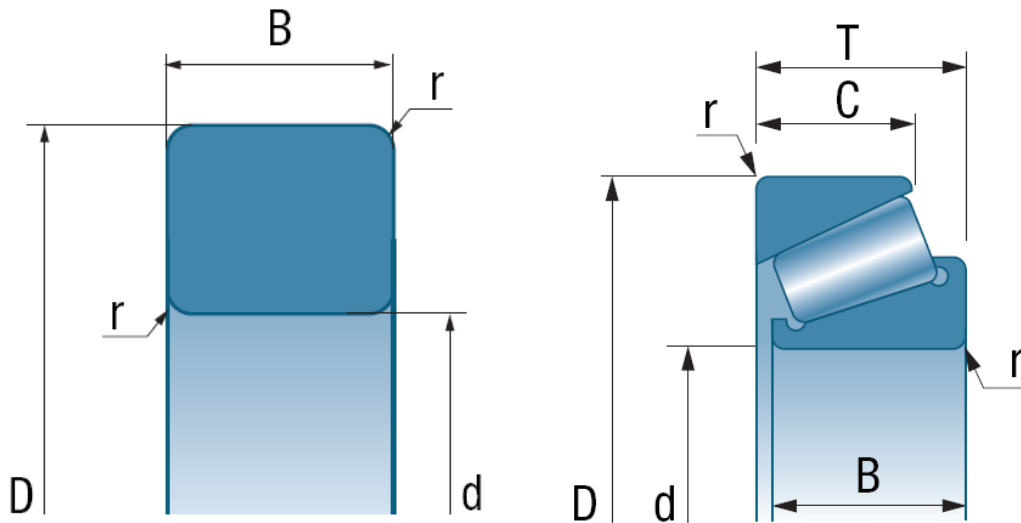
2 rangées

**Rouleaux
ou Aiguilles**



Normalisation des roulements

L'interchangeabilité dimensionnelle est garantie par les valeurs et tolérances portant sur les dimensions d'encombrement du roulement : d , D , B , C , r et T .



L'application des normes dans la fabrication des roulements permet d'obtenir une parfaite interchangeabilité entre les roulements de même symbole, quelque soit leur fabricant, le lieu ou l'époque de leur fabrication.

Les tolérances ne sont pas normalisées, il faut donc y faire attention !

Symbolisation des roulements ISO 15, ISO 355 et ISO 104.

La symbolisation générale, issue des normes ISO 15 et ISO 104, s'applique à tous les types de roulements normalisés

62 04 ZZ

Préfixe

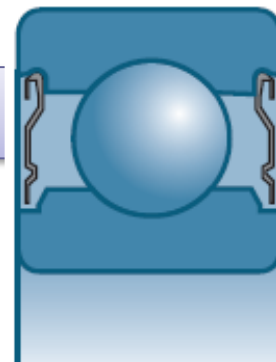
Code de série

Code d'alésage

Suffixe

Symbole de base

Symbole complet



Code de série 62

Roulement à billes contact radial 1 rangée

Code d'alésage 04

04 x 5 = 20 mm d'alésage $\varnothing d$ (diamètre intérieur)

Suffixe ZZ

protection bilatérale

Symbolisation des roulements ISO 15, ISO 355 et ISO 104.

La symbolisation générale, issue des normes ISO 15 et ISO 104, s'applique à tous les types de roulements normalisés

NU3 14

Préfixe

Code de série

Code d'alésage

Suffixe

Symbole de base

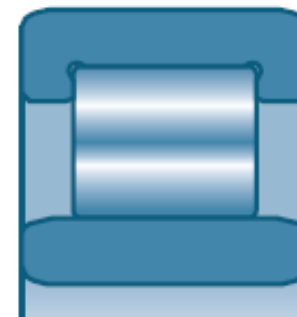
Symbole complet

Code de série NU3

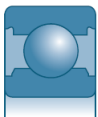

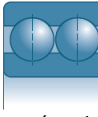

Roulement à rouleaux cylindriques

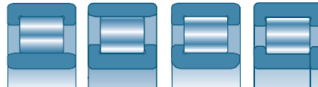
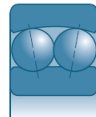
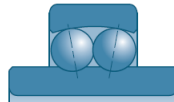


Code d'alésage 14

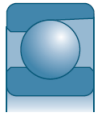

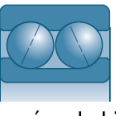
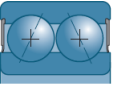

14 x 5 = 70 mm d'alésage $\varnothing d$



ISO 15 et ISO 104 : Code de série

Symbole	Type de roulement
60 X 62 X 63 XX 64 XX 160 XX 618 XX 619 XX 622 XX 623 XX	Roulement à billes à contact radial 
2 XX 3 XX	A 1 rangée de billes 
42 XX 43 XX	Avec encoche 
302 XX 303 XX 313 XX 320 XX 322 XX 323 XX 330 XX 331 XX 332 XX	A 2 rangées de billes Roulement à rouleaux coniques 

Symbole	Type de roulement
N..2 XX N..3 XX N..4 XX N..10 XX N..22 XX N..23 XX	Roulement à rouleaux cylindriques 
12 XX 13 XX 22 XX 23 XX	Roulement à rotule sur billes 
112 XX 113 XX	Bague intérieure large Butée à rotule sur rouleaux 
293 XX 294 XX	Butée à billes 
511 XX 512 XX 513 XX 514 XX	

Symbole	Type de roulement
72 XX 73 XX 718 XX	Roulement à billes à contact oblique 
QJ2 XX QJ3 XX	A 1 rangée de billes A 4 points de contact 
32 XX 33 XX	A 2 rangées de billes 
52 XX 53 XX	A 2 rangées de billes ZZ ou EE 
213 XX 222 XX 223 XX 230 XX 231 XX 232 XX 240 XX 241 XX	Roulement à rotule sur rouleaux 

ISO 15 et ISO 104 : Code d'alésage

Code	3	/4	4	5	6	/6	7	/7	8
Ød	3	4	4	5	6	6	7	7	8
Code	/8	9	00	01	02	03	/22	/28	/32
Ød	8	9	10	12	15	17	22	28	32
Code	04	05	06	07	08	09	10
Ød	20	25	30	35	40	45

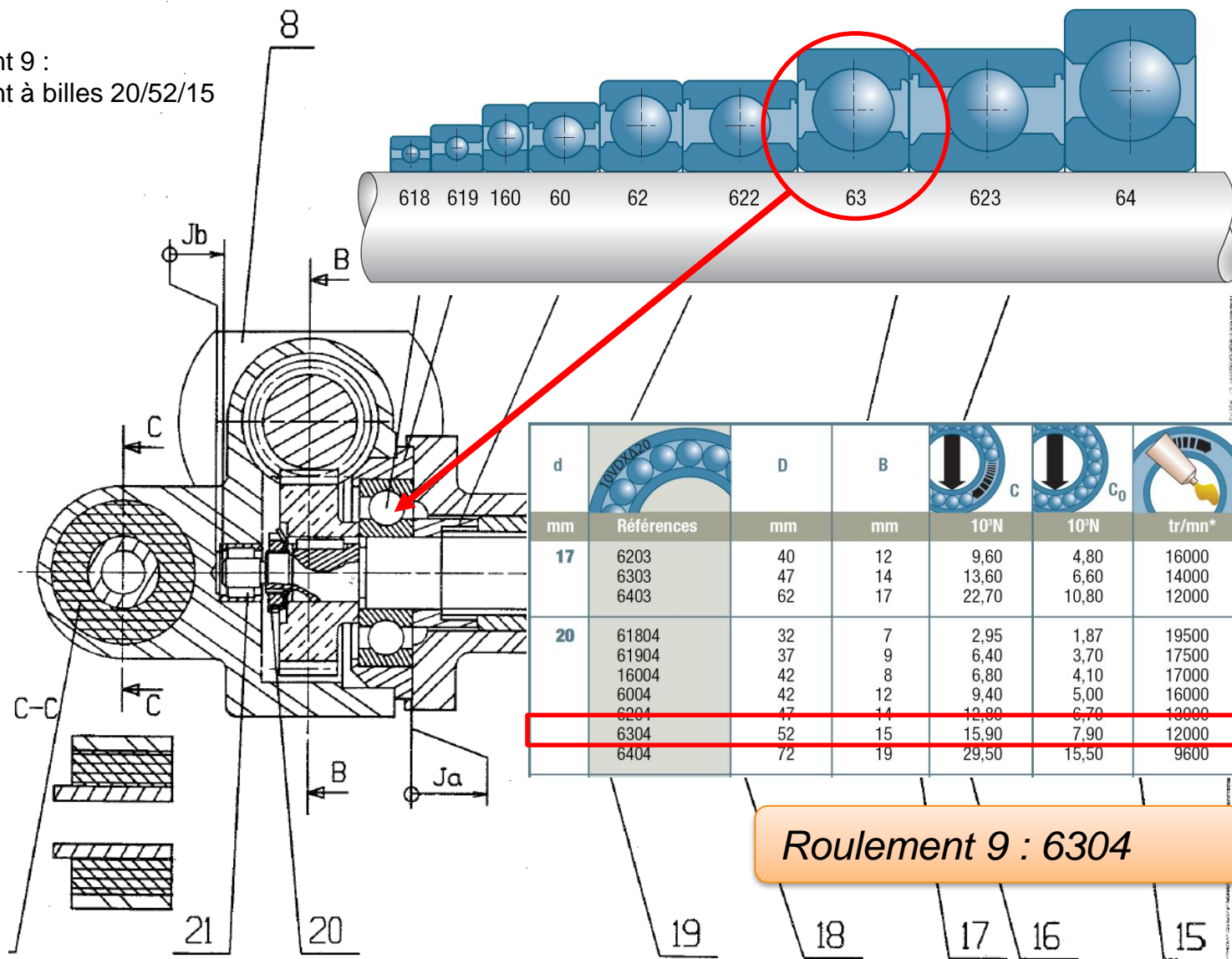
Les roulements à rouleaux coniques font l'objet d'une symbolisation spécifique issue de la norme ISO 355

Plus d'infos sur http://www.ntn-snr.com/portal/fr/fr-fr/file.cfm/01-Notions_generales.pdf?contentID=4647

La norme précise aussi la précision d'exécution des roulements : jeux axiaux, radiaux, battements...

Exemple sur le vérin

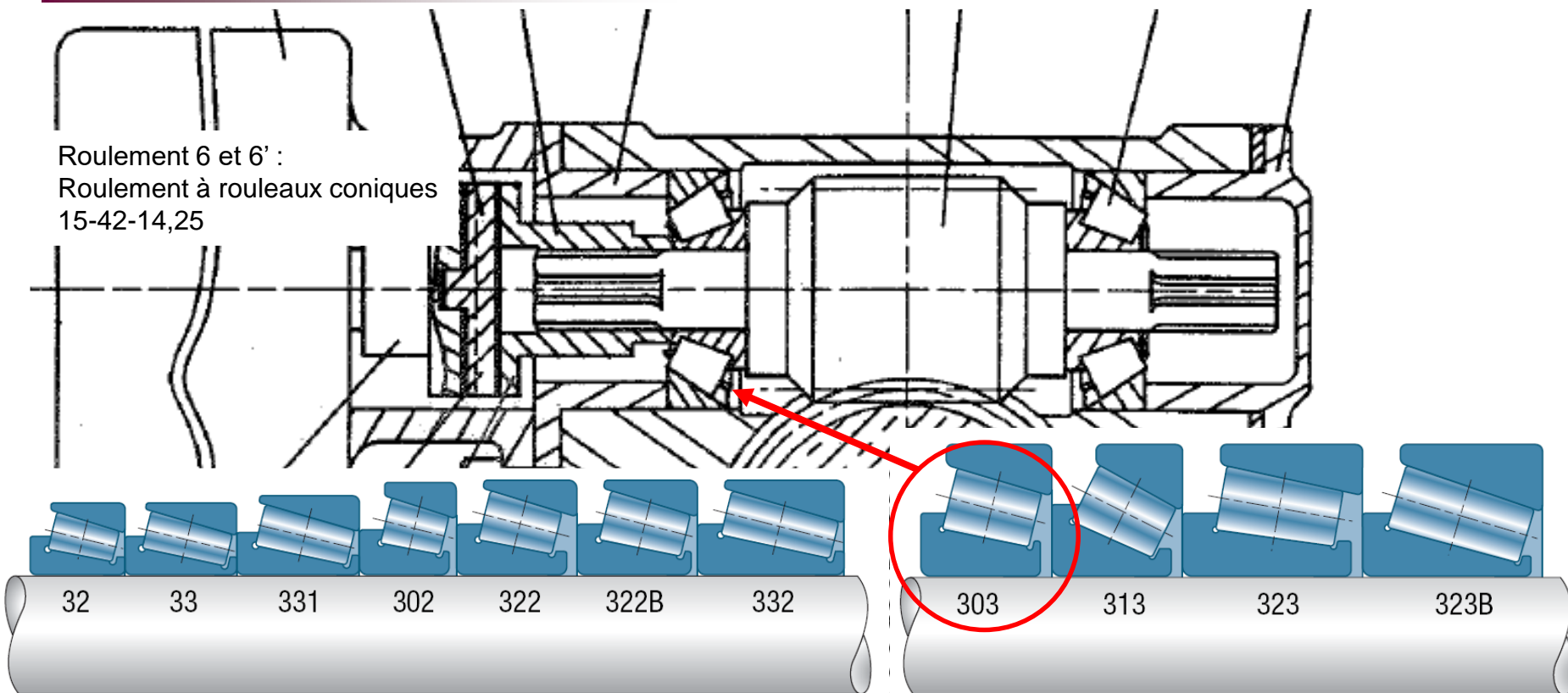
Roulement 9 :
Roulement à billes 20/52/15



Roulement 9 : 6304

Exemple sur le vérin

Roulement 6 et 6' :
Roulement à rouleaux coniques
15-42-14,25



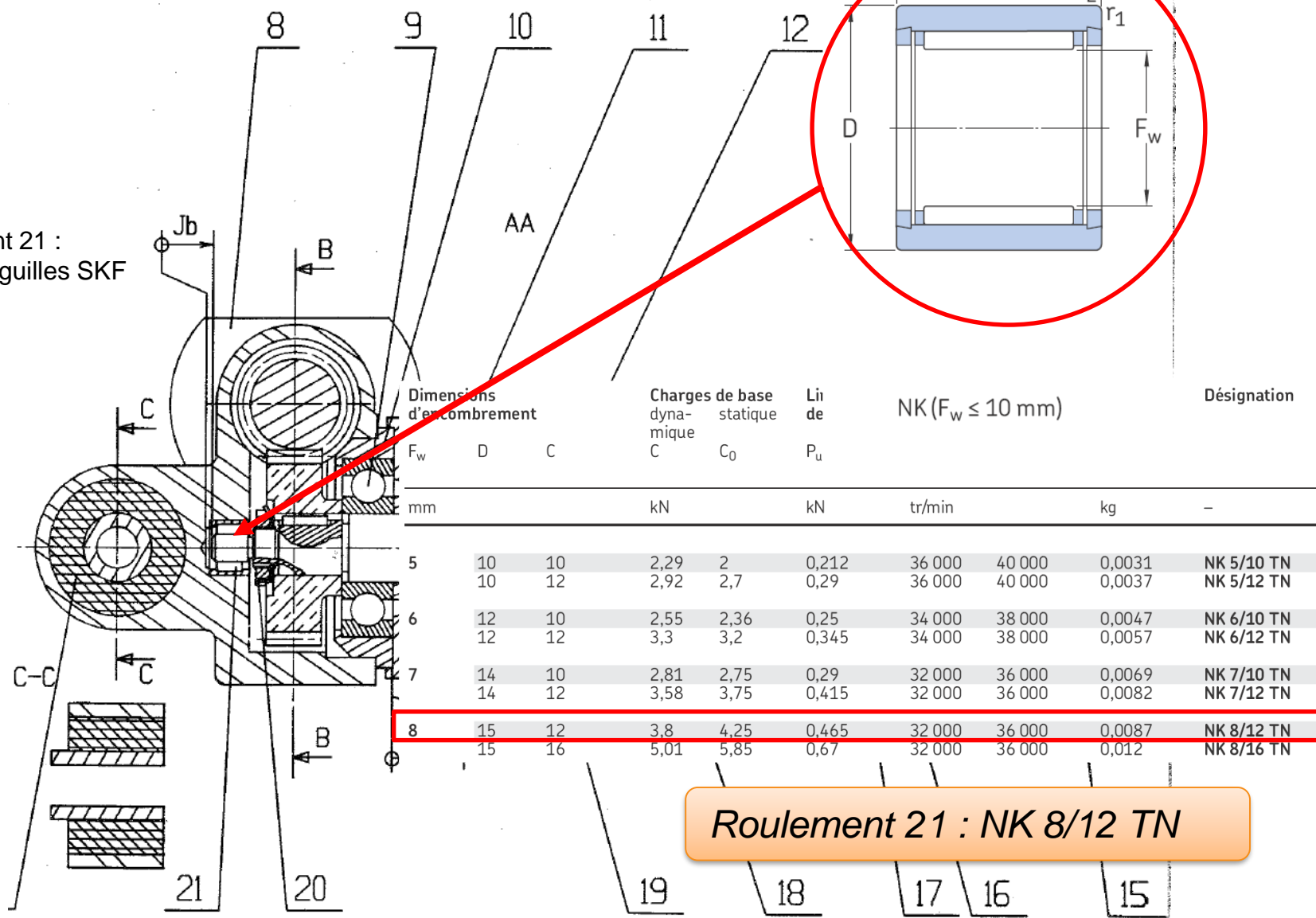
Dimensions d'encombrement			Charges de base dynamique C / statique C ₀		Limite de fatigue P _u	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	T	C	C ₀	P _u	Vitesse de référence	Vitesse limite	kg	-
15	42	14,25	22,4	20	2,08	13 000	18 000	0,094	30302 J2

Roulement 6 et 6' : 30302 J2

http://www.skf.com/binary/57-121486/Roulements---10000_2.pdf

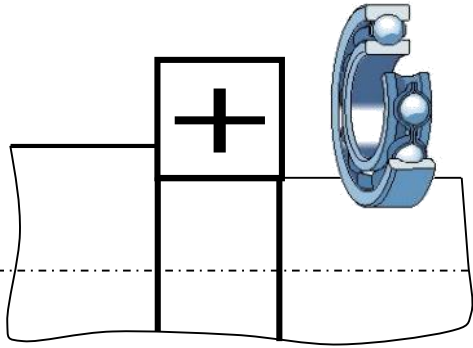
Exemple sur le vérin

Roulement 21 :
Cage à aiguilles SKF
8-15-12

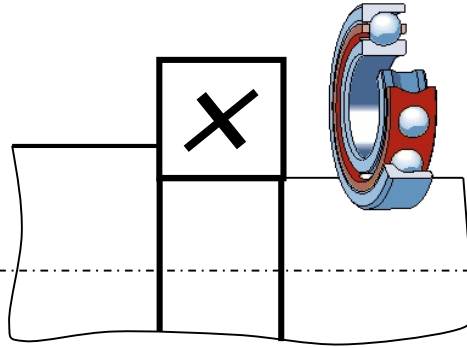


Roulement 21 : NK 8/12 TN

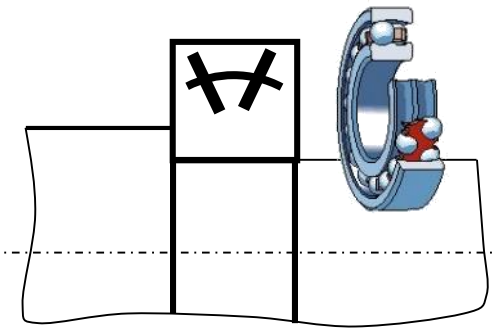
Représentation simplifiée



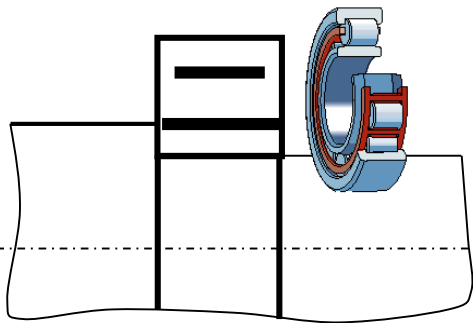
Billes à gorge profonde



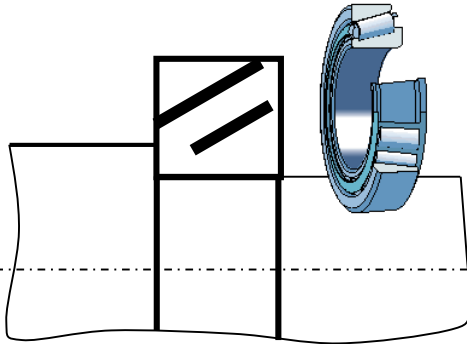
Billes à contact oblique



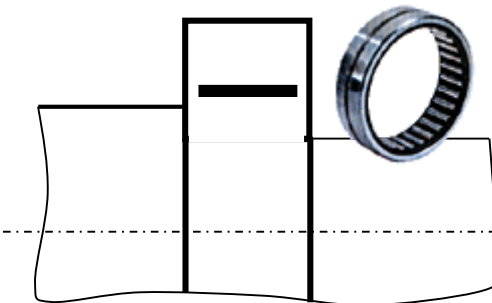
Rotule à 2 rangées de billes



*Cylindriques avec 2 épaulements
Sur la bague extérieure*



Conique



Aiguilles sans bague intérieure



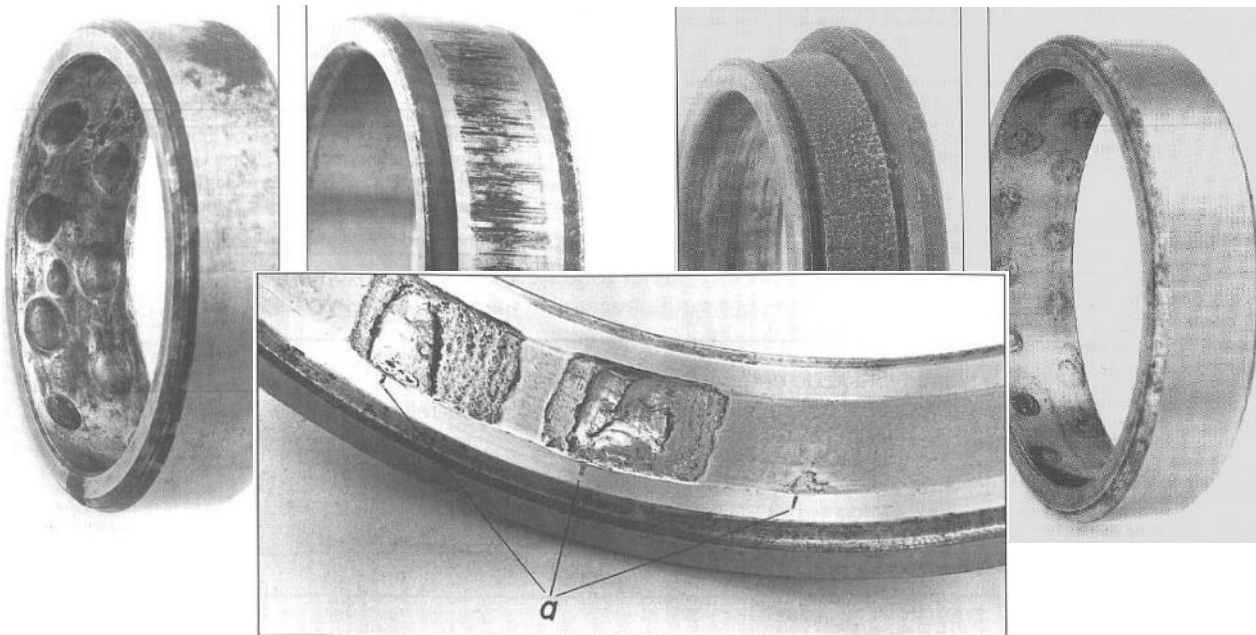
Dimensionnement

Roulements à contact radial

Dimensionnement des roulements

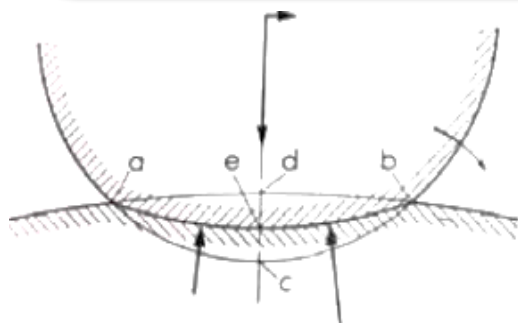
Les détériorations les plus courantes sont de deux types :

- **Déformations permanentes** aux points de contacts des éléments roulants. Ceci intervient en cas de chargement statique, à faible vitesse ou oscillant.
- **La fatigue des roulements** due aux chargements cycliques très rapides. Exemple ci-dessous d'une détérioration par écaillage du chemin de roulement



Détérioration statique

Dans les cas où le roulement est **chargé à l'arrêt** ou sous de **faibles mouvements** ou **soumis à des chocs**, il faut vérifier que la pression de contact des éléments roulants sur le chemin de roulement ne dépasse pas la valeur admissible correspondant à un **écrasement permanent total de 0,01% de D en mm**. Soit 4600 Mpa pour les rotules à billes, 4200 Mpa pour les autres billes et 4000 Mpa pour les rouleaux.



Charge statique

$$C_0 > s_0 \times P_0$$

- C_0 est la capacité de charge statique du roulement
- s_0 un coefficient d'application de la charge
- P_0 la charge radiale statique équivalente

$$P_0 = F_r \text{ si } F_a = 0 ; \text{ sinon } P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

Détérioration statique

Mode de Fonctionnement	Roulement en rotation						Roulement à l'arrêt	
	Exigences de silence de fonctionnement							
	Faible		Normales		Elevées			
	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux
Régulier sans vibrations	0.5	1	1	1.5	2	3	0.4	0.8
Normal	0.5	1	1	1.5	2	3.5	0.5	1
Chocs prononcés	≥ 1.5	≥ 2.5	≥ 1.5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Coefficient de sécurité s_0
(Source SKF)

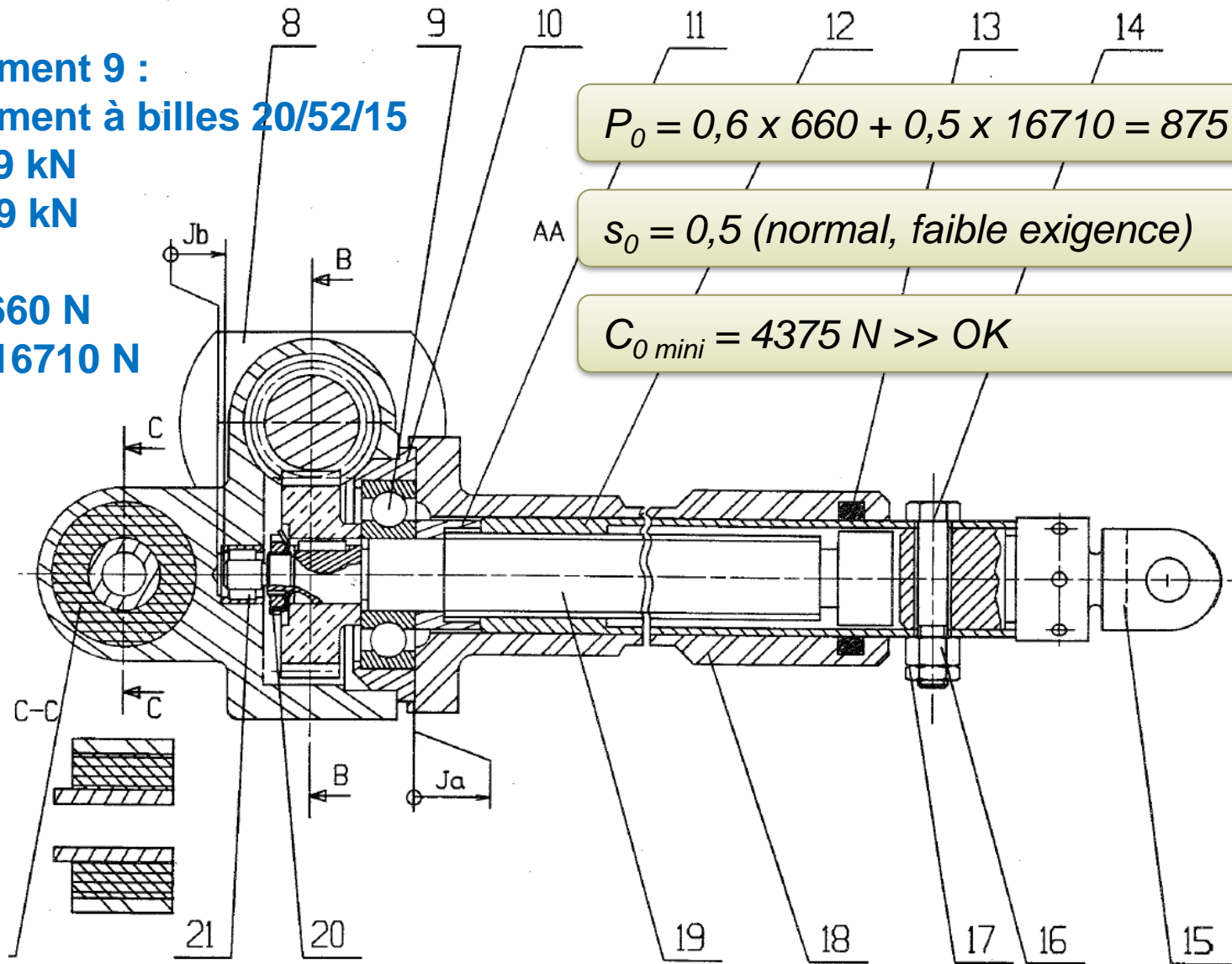
X_0 et Y_0 selon ISO 76

Type de roulements		1 rangée		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	$0.22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0.4 \cdot \cotg \alpha$	
	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
Roulements à rouleaux	à rouleaux coniques	0.5	$0.22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0.44 \cdot \cotg \alpha$	
	à rotules	0.5	$0.22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0.44 \cdot \cotg \alpha$	

Exemple sur le vérin

Roulement 9 :
Roulement à billes 20/52/15
C=15,9 kN
Co=7,9 kN

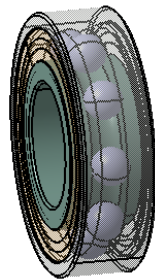
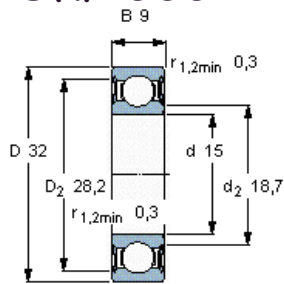
$F_{rB} = 660 \text{ N}$
 $F_{aB} = 16710 \text{ N}$



Mode de détérioration

Les roulements sont des éléments de contacts soumis à des chargements cycliques du fait de leur constitution interne.

SKF 6002-2RSL



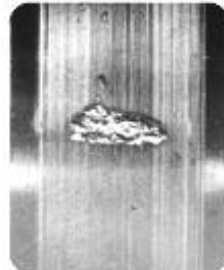
$D = 4.762$ mm
 $d_m = 23.5$ mm
 $Z = 9$
 $N_i = 1500$ tr /mn
 $N_e = 0$

Diametre du corps roulant (mm) : 4.762
Diametre moyen du roulement (mm) : 23.5
Nombre de corps roulants : 9
angle de contact (deg) : 0
Vitesse rotation bague exterieure (tr/mn) : 0
Vitesse rotation bague interieure (tr/mn) : 1500

----- Frequences caracteristiques -----

Frequence de rotation des corps roulants 9.967 Hz
Frequence de passage des corps roulants sur B: 135.2968 Hz
Frequence de passage des corps roulants sur B: 89.7032 Hz

Ce mode de chargement entraîne une détérioration par fatigue qui pose des problèmes de dimensionnement. Jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle, ce dimensionnement reste d'ailleurs largement expérimental.



Mode de détérioration

En 1947 est proposé le *Basic Rating Life Model* permettant d'obtenir les dimensions « *basique** » d'un montage en fonction de sa charge selon la loi simplifiée suivante



ARVID PALMGREN

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n$$
$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^n \frac{10^6}{60 \cdot N}$$



GUSTAF LUNDBERG

Cette relation devient la base de la norme ISO de calcul de roulement en 1962, en partie reprise dans la norme actuelle de 2007. Nous allons voir en quoi elle consiste...

**basique sous réserve de : lubrification permanente, précision d'exécution des appuis, défaut d'alignement et jeu de fonctionnement quasi nul, vitesse suffisante et inférieure à V_{max} , Temp. Entre 20° et 120°, pas de pollution...*

Données générales liées au Basic Rating Life Model

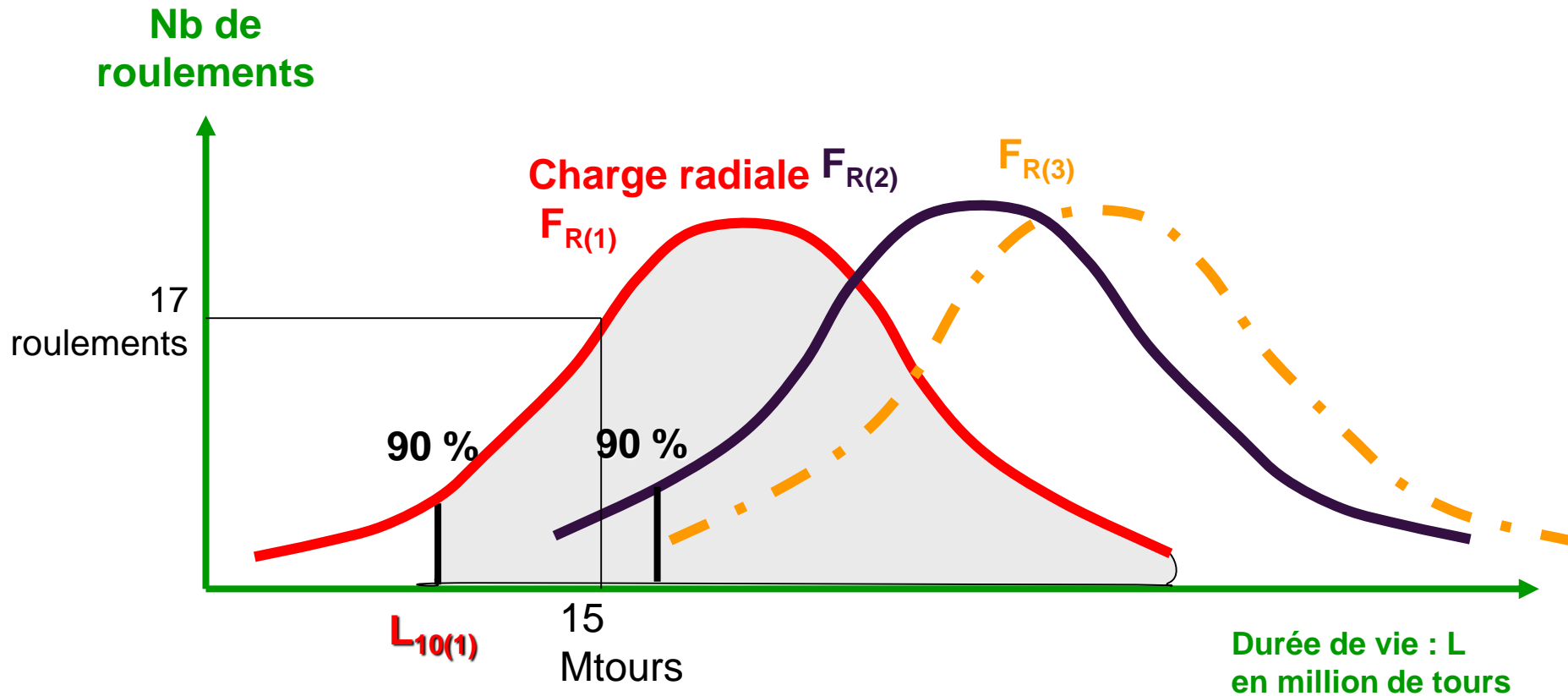
- C = Charge dynamique de base, donnée par le constructeur
C'est la charge pour laquelle la durée nominale calculée de la population de roulements avec une fiabilité de 90 % correspond à un million de tours.
- P = Charge dynamique radiale équivalente, calculée par le concepteur
- n = Exposant de durée de vie
 - éléments roulants à contact linéique : $n = 10/3$
 - éléments roulants à contact ponctuel : $n = 3$

Comment
déterminer ces
différents
paramètres ??



Basic Rating Life Model : expérimentations

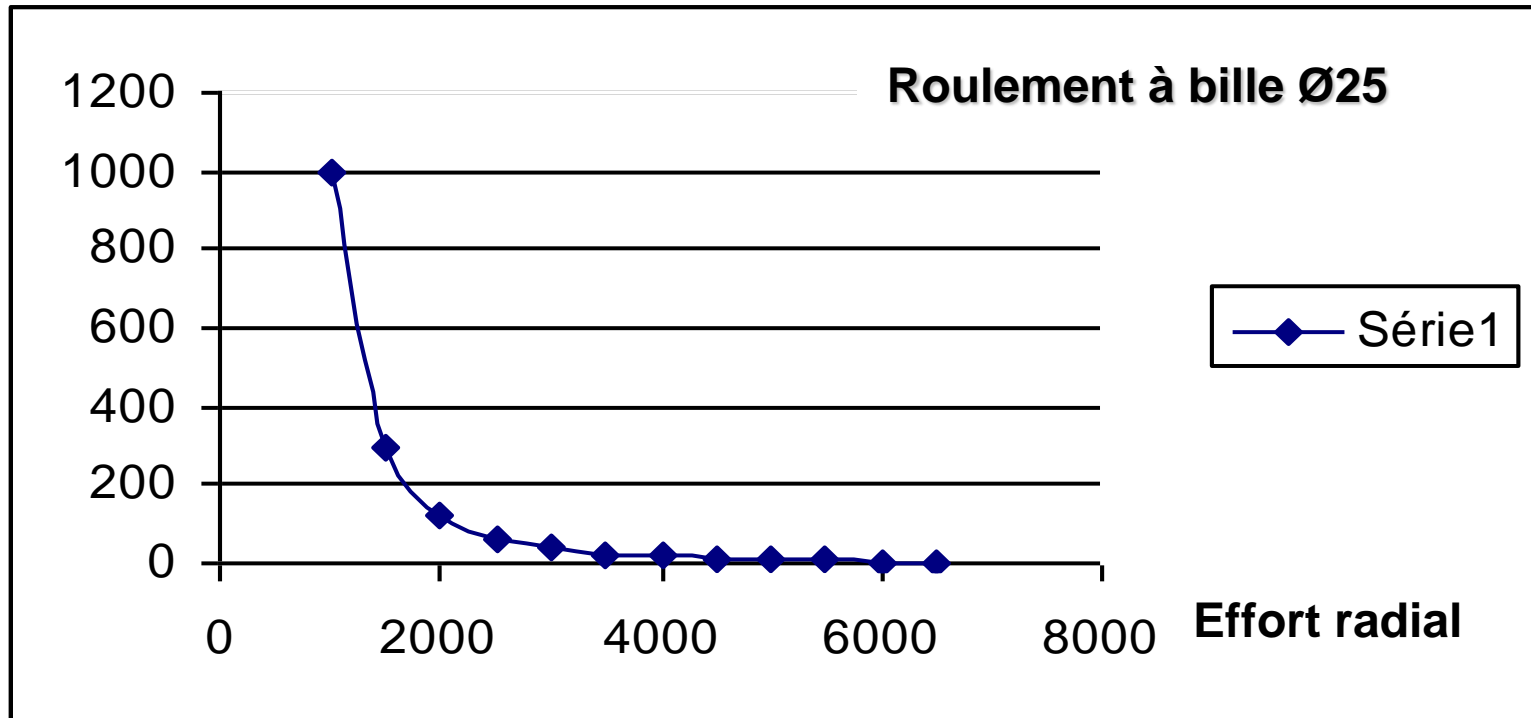
On détruit 100 roulements avec une charge radiale donnée et ce pour différentes charges F_{R1} , F_{R2} , F_{R3} ...



Basic Rating Life Model : expérimentations

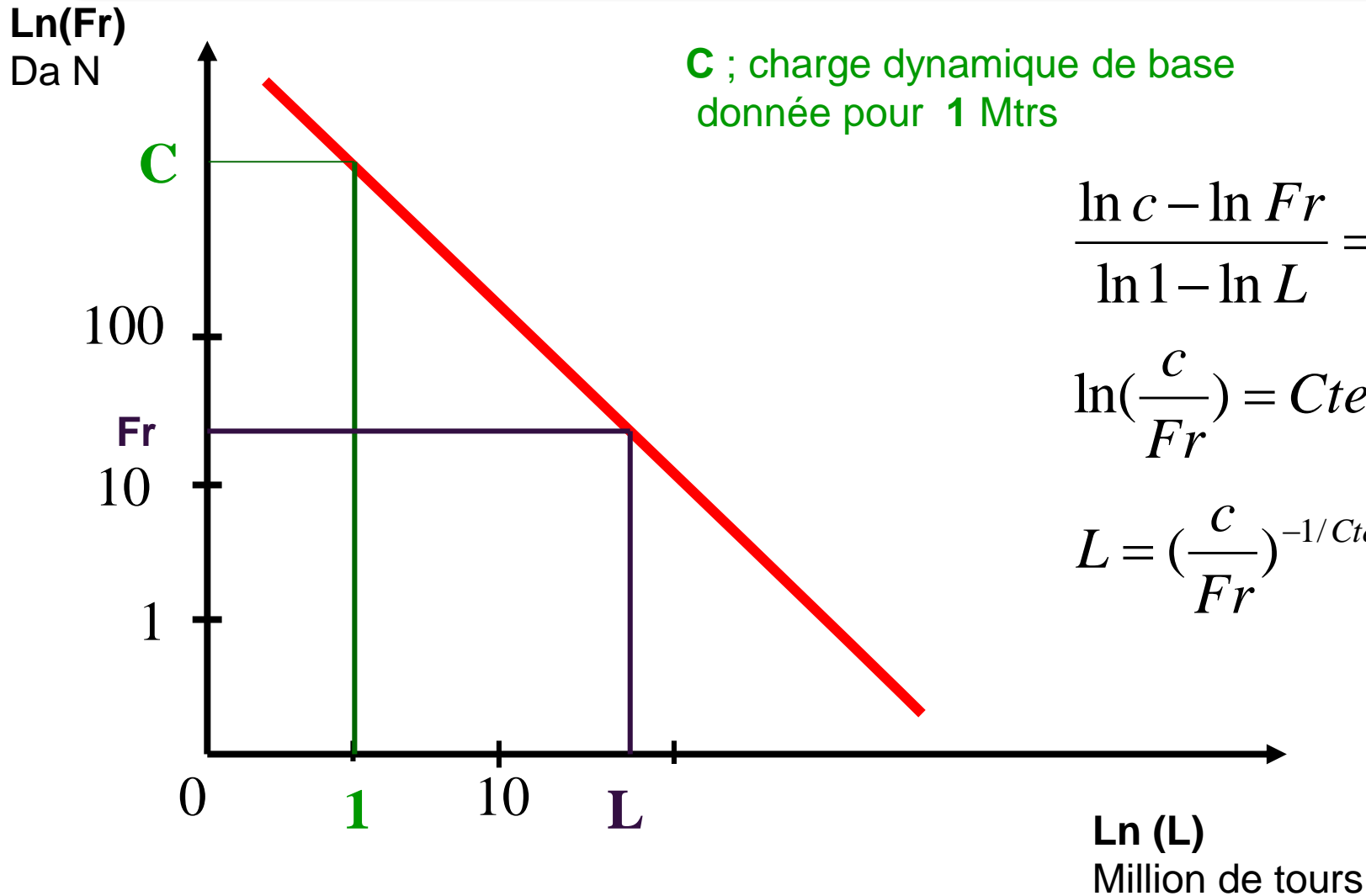
On synthétise ces résultats pour chacun des roulements du catalogue...

**Durée de vie en
M de tours**



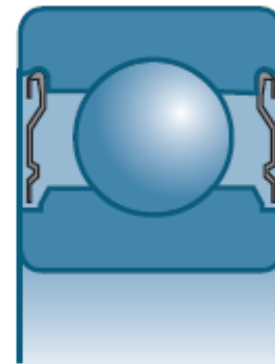
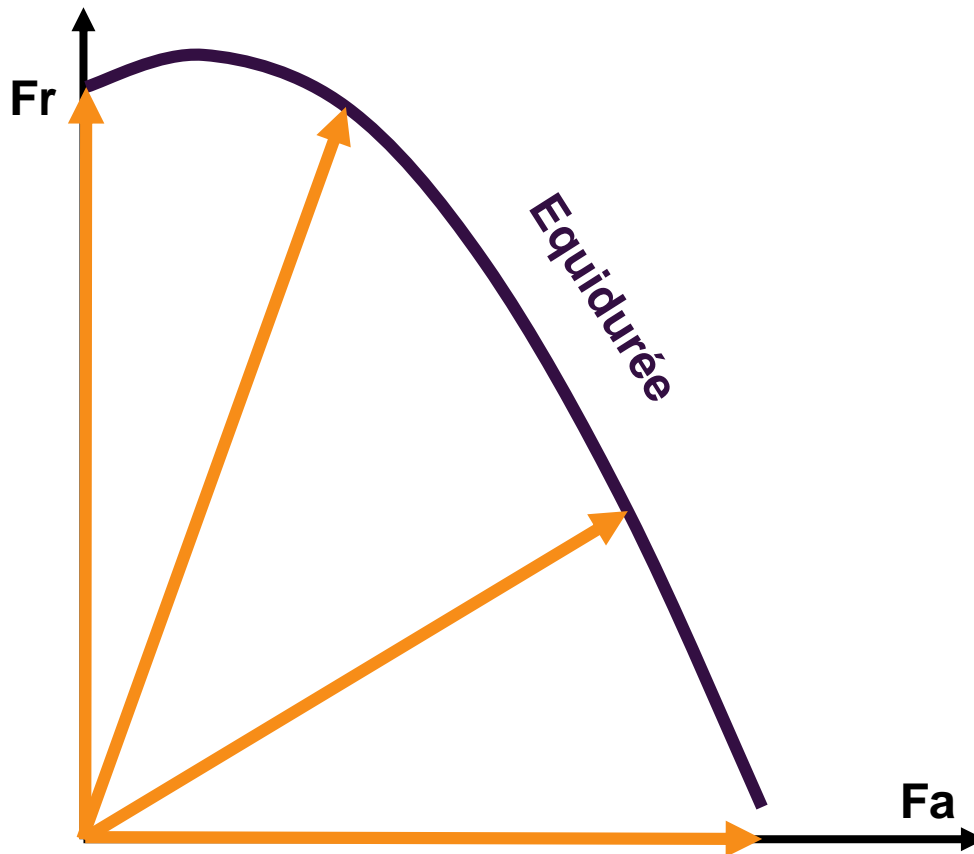
Basic Rating Life Model : expérimentations

Une relation logarithmique apparaît entre l'effort radial et la durée de vie



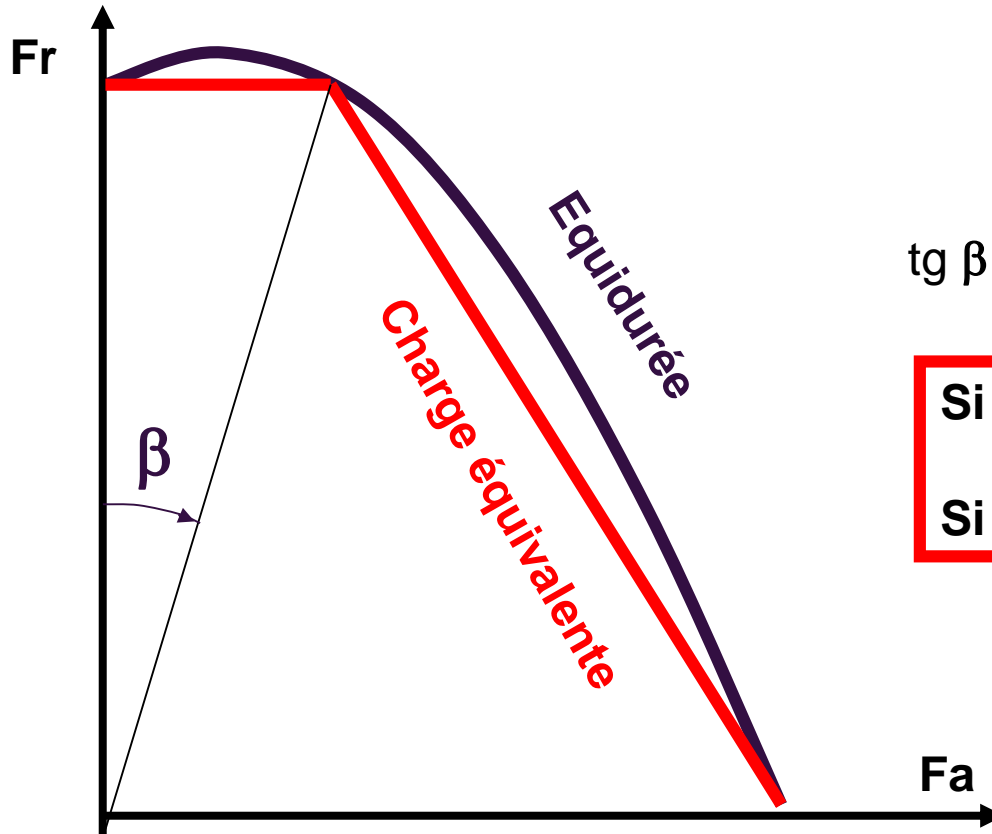
Basic Rating Life Model : expérimentations

En pratique le chargement n'est pas que radial... Etudions l'influence de l'ajout d'une charge axiale sur la durée de vie du roulement



Basic Rating Life Model : expérimentations

La courbe d'équidurée obtenue est approximée par deux segments de droite permettant de déterminer la charge équivalente P



$$\operatorname{tg} \beta = e$$

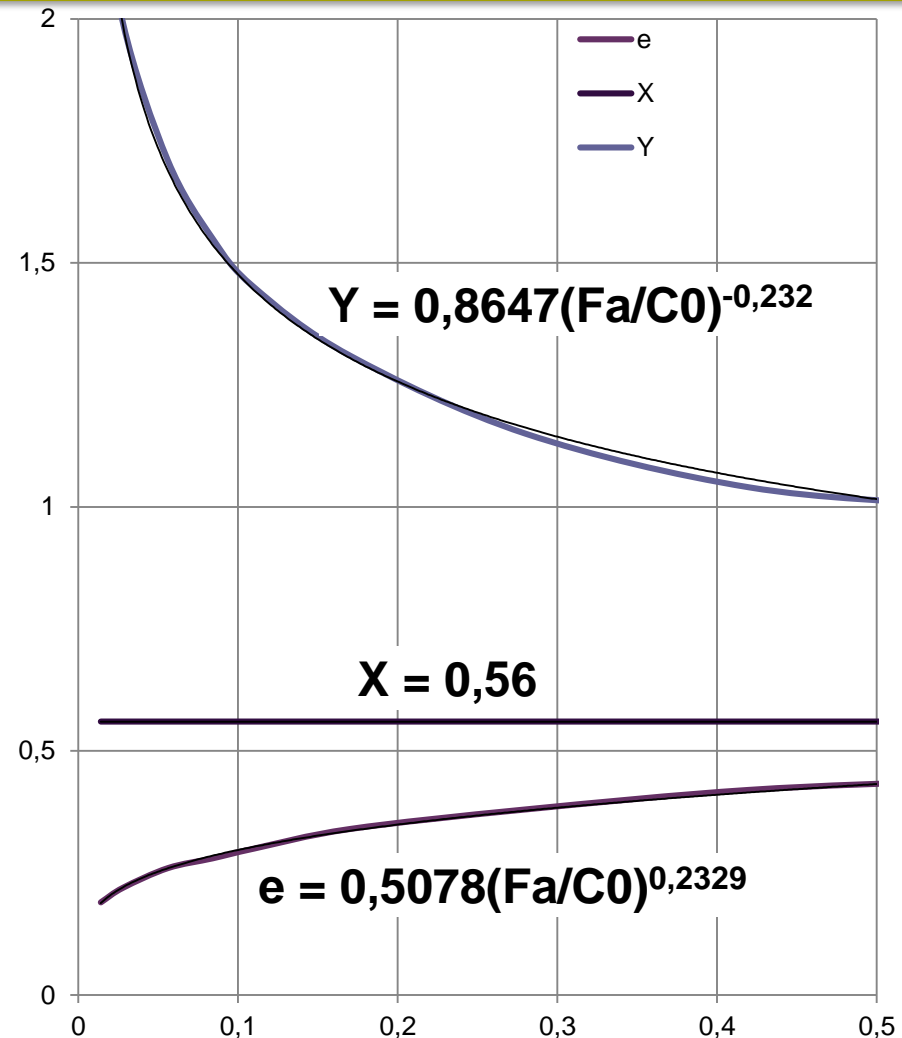
$$\text{Si } Fa/Fr > e : P = X Fr + Y Fa$$

$$\text{Si } Fa/Fr \leq e : P = Fr$$

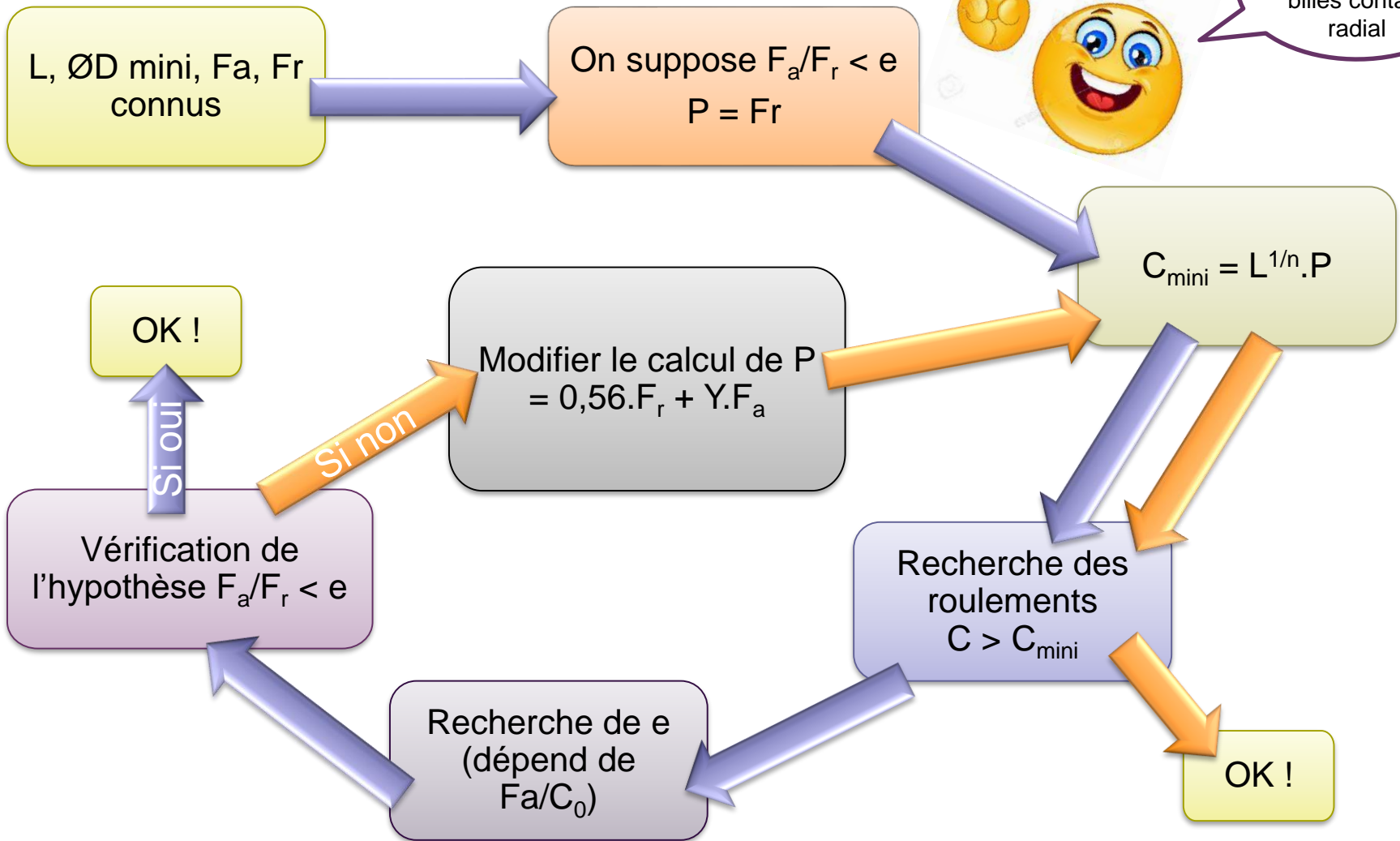
Basic Rating Life Model : expérimentations

Attention : X, Y et e sont des caractéristiques du roulement qui dépendent du rapport Fa/C_0

Fa/C0	e	X	Y
0,014	0,19	0,56	2,3
0,028	0,22	0,56	1,99
0,056	0,26	0,56	1,71
0,084	0,28	0,56	1,55
0,11	0,3	0,56	1,45
0,17	0,34	0,56	1,31
0,28	0,38	0,56	1,15
0,42	0,42	0,56	1,04
0,56	0,44	0,56	1



Méthode de résolution



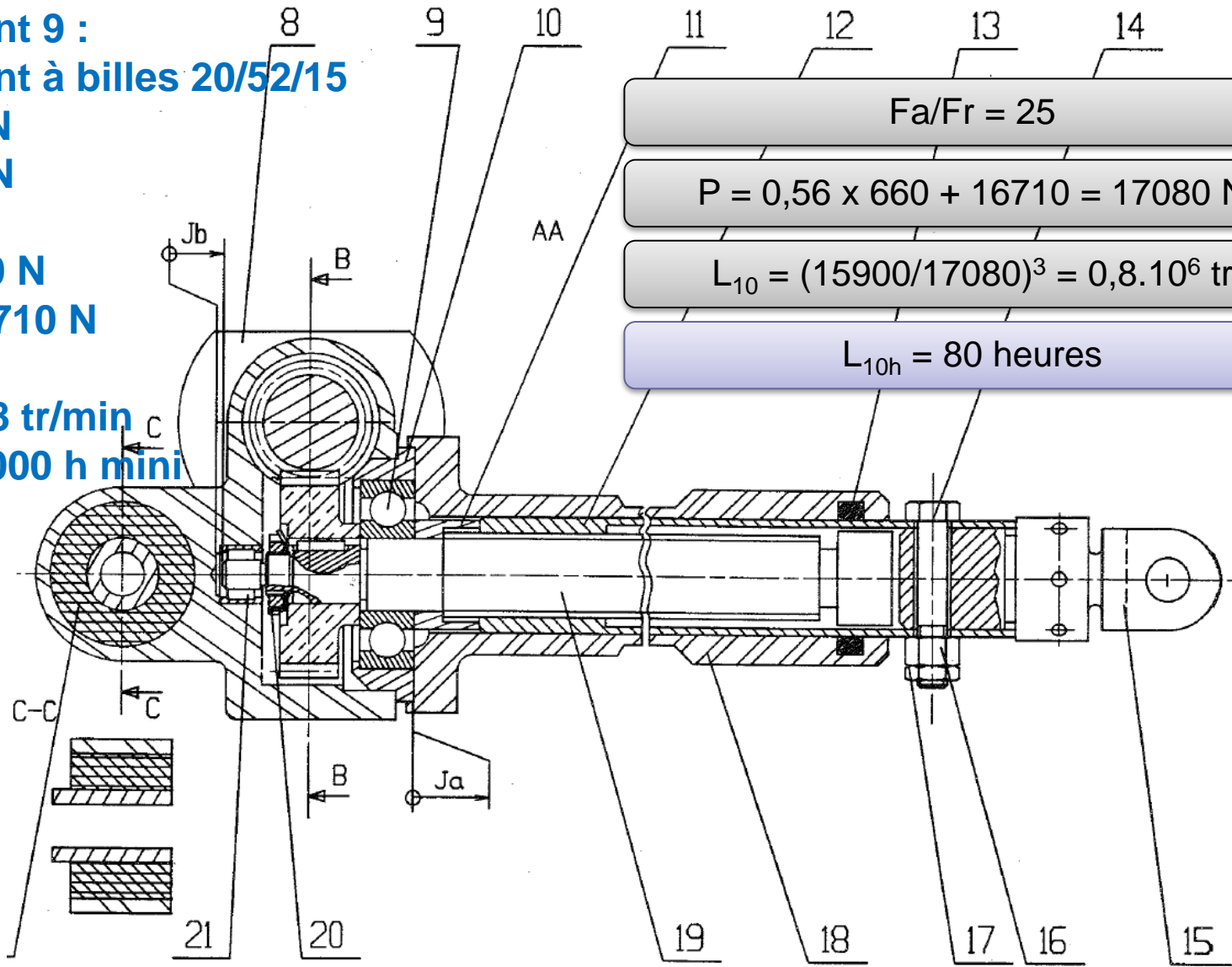
Pour les roulements à billes contact radial

Exemple sur le vérin

Roulement 9 :
Roulement à billes 20/52/15
C=15,9KN
Co=7,9KN

FrB = 660 N
FaB = 16710 N

N19 = 168 tr/min
L10h = 1000 h mini



$$F_a/F_r = 25$$

$$P = 0,56 \times 660 + 16710 = 17080 \text{ N}$$

$$L_{10} = (15900/17080)^3 = 0,8 \cdot 10^6 \text{ tr}$$

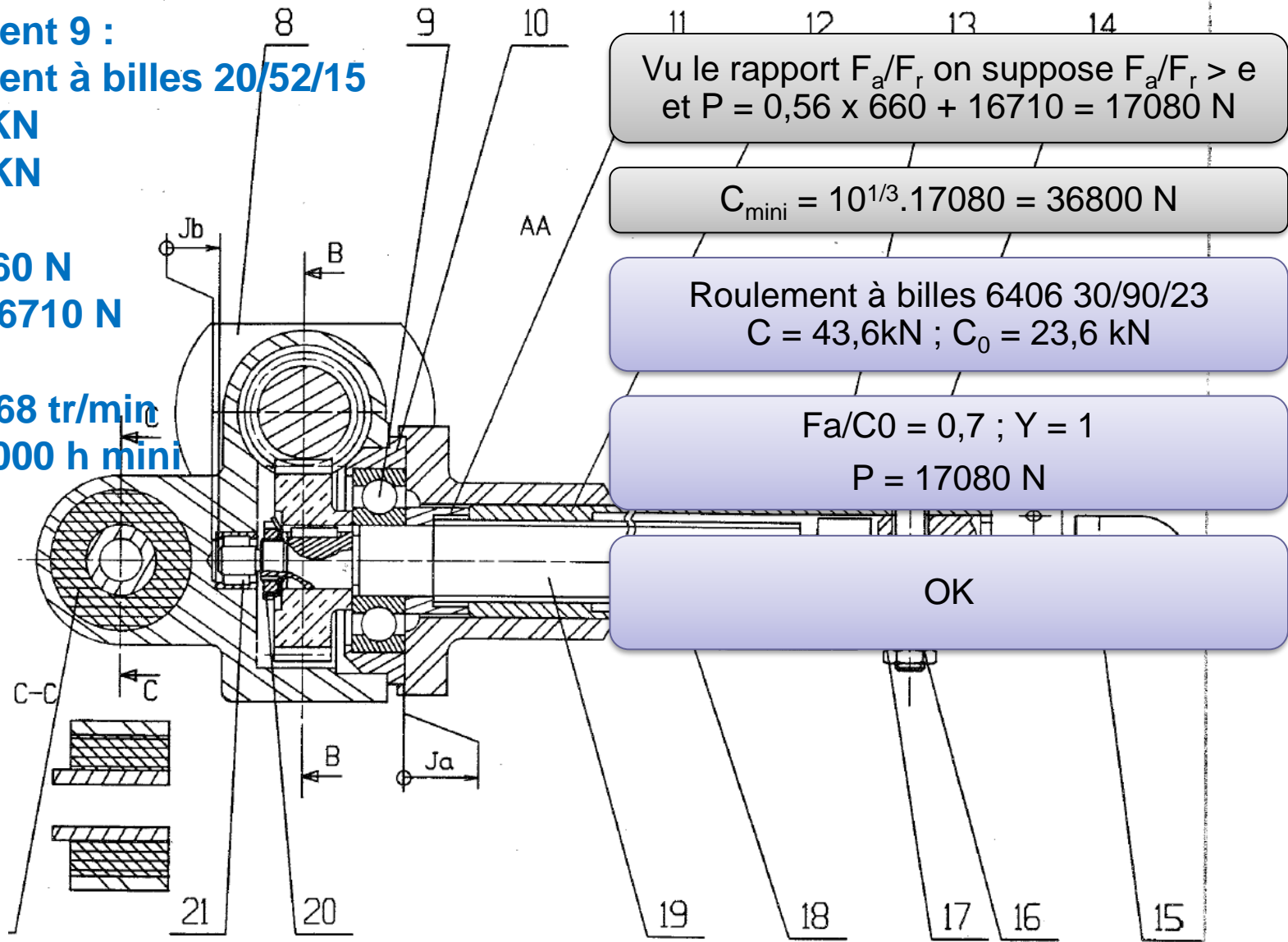
$$L_{10h} = 80 \text{ heures}$$

Exemple sur le vérin

Roulement 9 :
Roulement à billes 20/52/15
C=15,9kN
Co=7,9kN

FrB = 660 N
FaB = 16710 N

N19 = 168 tr/min
L10 = 1000 h mini



Vu le rapport F_a/F_r on suppose $F_a/F_r > e$
 et $P = 0,56 \times 660 + 16710 = 17080 \text{ N}$

$C_{\text{mini}} = 10^{1/3} \cdot 17080 = 36800 \text{ N}$

Roulement à billes 6406 30/90/23
 $C = 43,6\text{kN}$; $C_0 = 23,6 \text{ kN}$

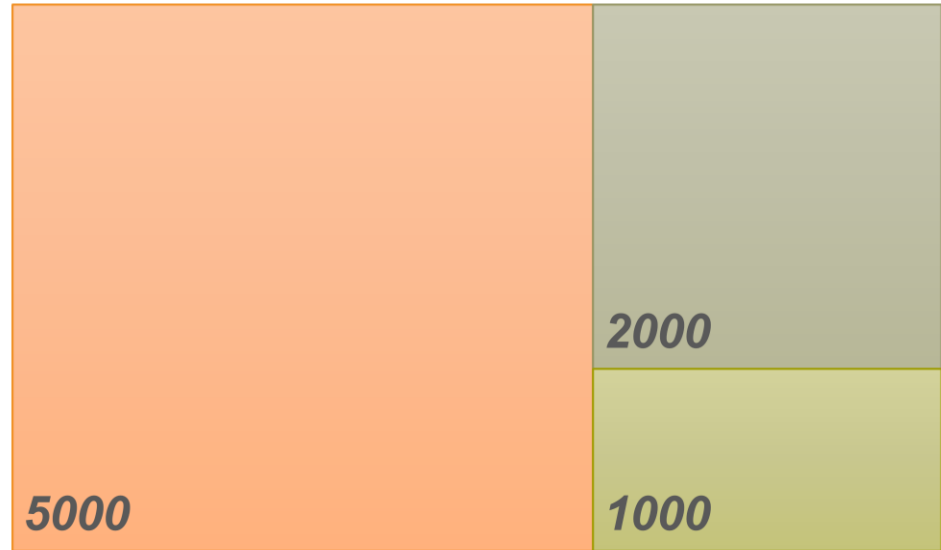
$F_a/C_0 = 0,7$; $Y = 1$
 $P = 17080 \text{ N}$

OK

Charge variable

Un arbre fait $5 \cdot 10^6$ tours sous $P_1 = 1000 \text{ N}$, $20 \cdot 10^6$ sous $P_2 = 5000 \text{ N}$ et $10 \cdot 10^6$ tours sous $P_3 = 2000 \text{ N}$.
La durée totale est $35 \cdot 10^6$ tours

Sous le chargement 1, la durée de vie est L_1 . Les $5 \cdot 10^6$ tours correspondent à une fraction de cette durée de vie $a_1 = 5/L_1$.
Idem pour 2 et 3 : $a_i = n_i/L_i$



$$\sum \frac{n_i}{L_i} = \frac{\sum n_i}{L} = 1 \quad \text{et}$$

$$L_i = \left(\frac{C}{P_i} \right)^n \quad \text{et} \quad L = \left(\frac{C}{P_{moy}} \right)^n$$

La durée de vie globale est la somme des durées de vie élémentaires

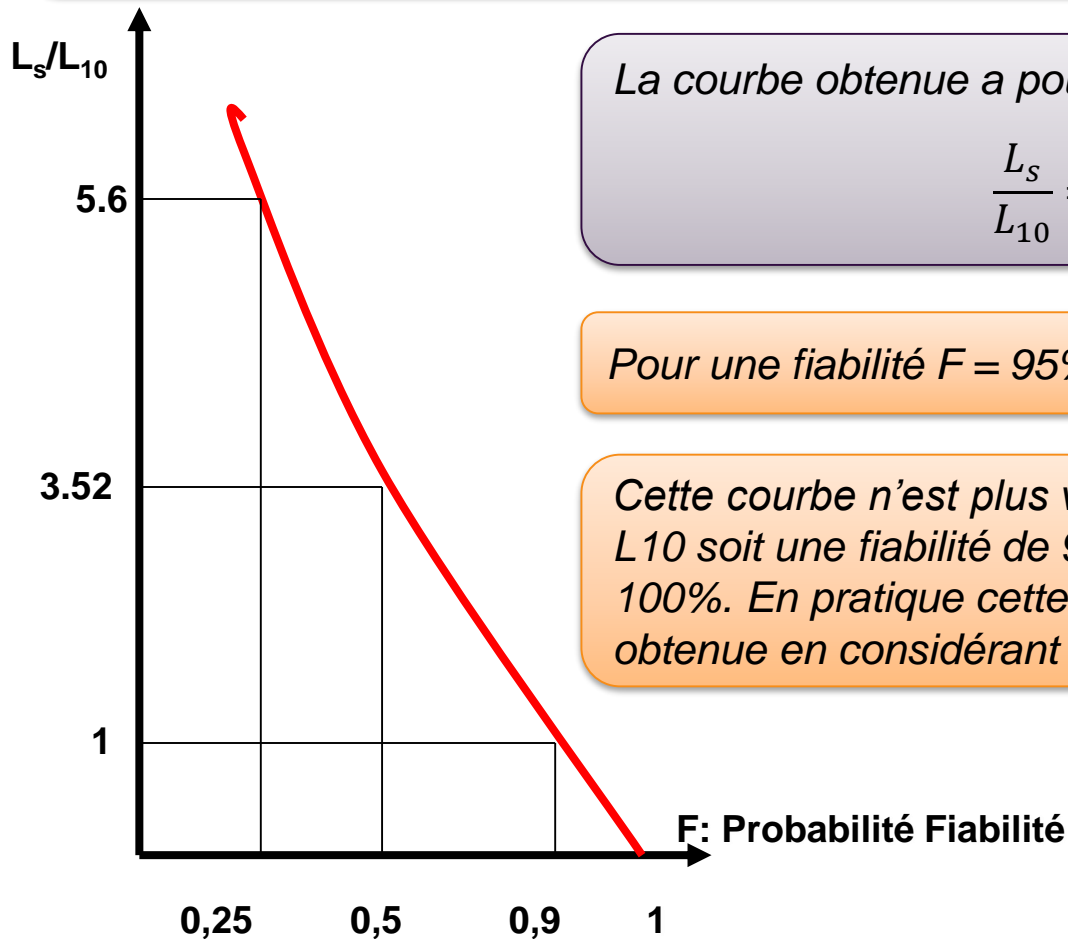
La durée de vie élémentaire dépend de la charge P_i

La charge équivalente à l'ensemble des k cas de chargement notée P_{moy} correspond à une durée de vie totale L .

$$P_{moy} = \left(\frac{\sum P_i^n \times n_i}{L} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Fiabilité

- Sur 100 roulements 90 tiennent L_{10} et 10 roulements cassent avant.
- Sur ces 90, 40 vont encore tenir jusqu'à $L_{50} = 3,52 \times L_{10}$, 50 auront cassé avant
- Sur ces 50, 25 vont même tenir jusqu'à $L_{75} = 5,6 \times L_{10}$, 75 auront cassé avant



La courbe obtenue a pour équation

$$\frac{L_s}{L_{10}} = \left(\frac{\ln(F)}{\ln(0,9)} \right)^{\frac{1}{1,5}}$$

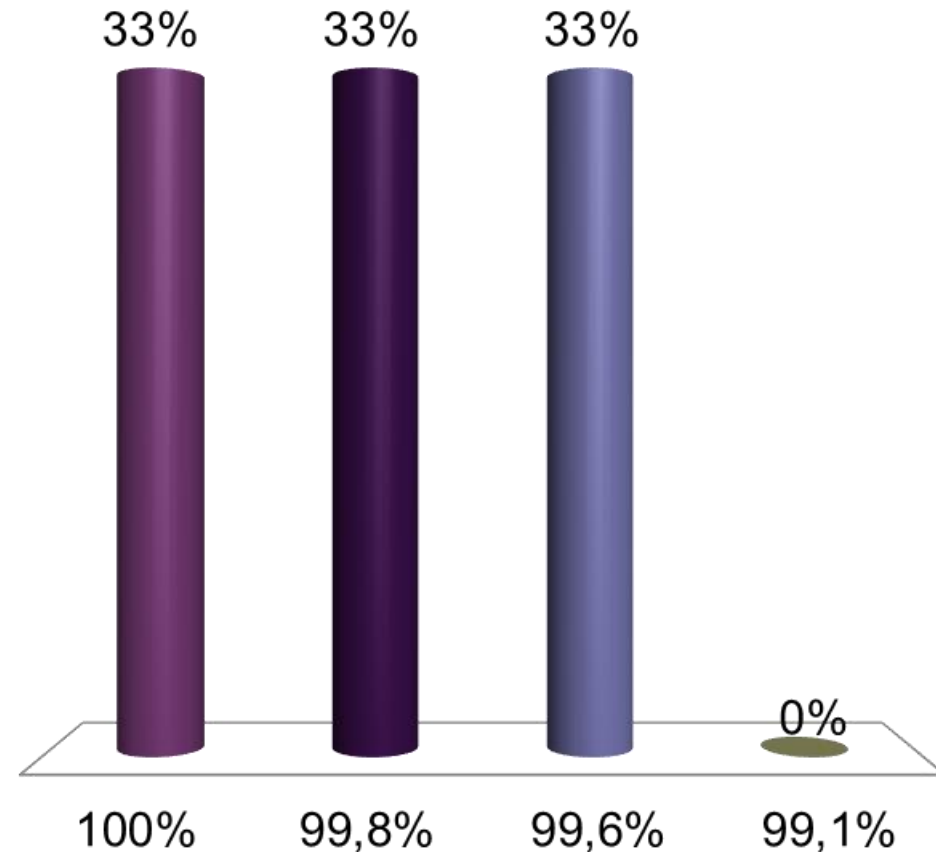
Pour une fiabilité $F = 95\% = 0,95$ on obtient $L_{05} = 0,61 \times L_{10}$.

Cette courbe n'est plus valable en dessous de 2,5% de L_{10} soit une fiabilité de 99,958%. La fiabilité est alors de 100%. En pratique cette durée de vie infinie est souvent obtenue en considérant $C = 10.P$

Fiabilité : si L_{10} vaut 19100h que vaut la fiabilité pour 2000h

- A. 100%
- B. 99,8%
- C. 99,6%
- D. 99,1%

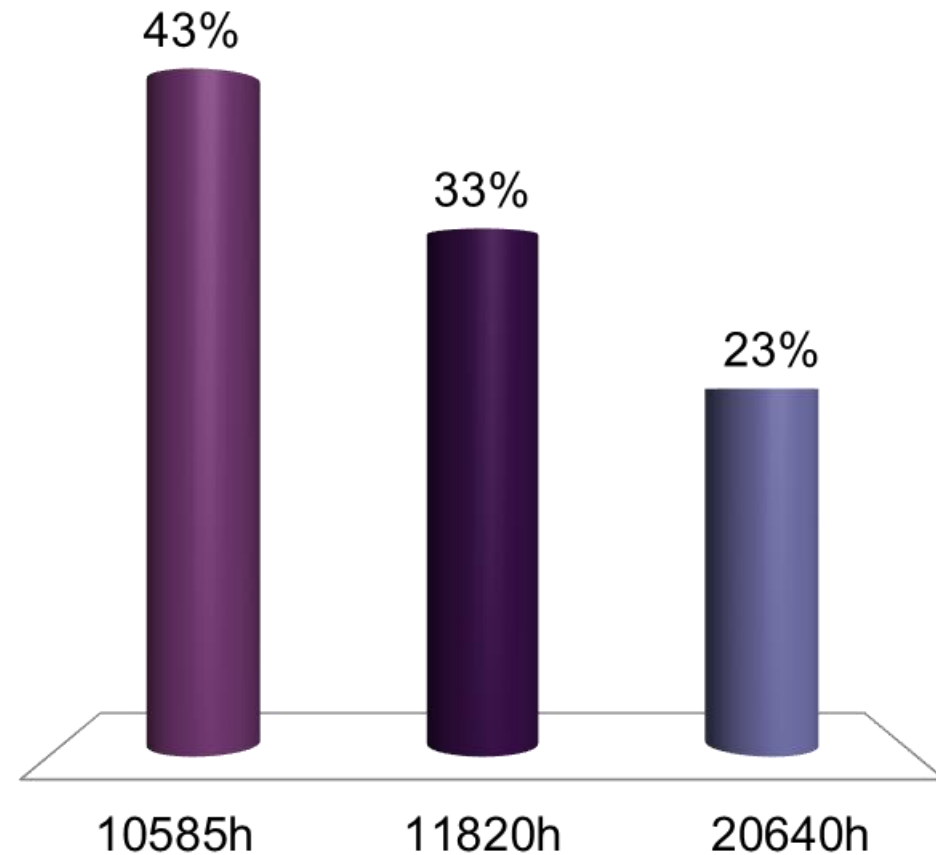
$$\frac{L_s}{L_{10}} = \left(\frac{\ln(F)}{\ln(0,9)} \right)^{\frac{1}{1,5}}$$



Fiabilité : si L_{10} vaut 19100h que vaut L_{05}

- A. 10585h
- B. 11820h
- C. 20640h

$$\frac{L_s}{L_{10}} = \left(\frac{\ln(F)}{\ln(0,9)} \right)^{\frac{1}{1,5}}$$



Roulement 9 :
Roulement à billes

20/52/15

$C=15,9KN$

$Co=7,9KN$

• 5% du temps

$FrB = 660 N$

$FaB = 16710 N$

$Y = 1$

$P = 17080 N$

• 90% du temps

$FrB = 7 N$

$FaB = 170 N$

$Y = 2,09$

$P = 359 N$

• 5% du temps

$FrB = 330 N$

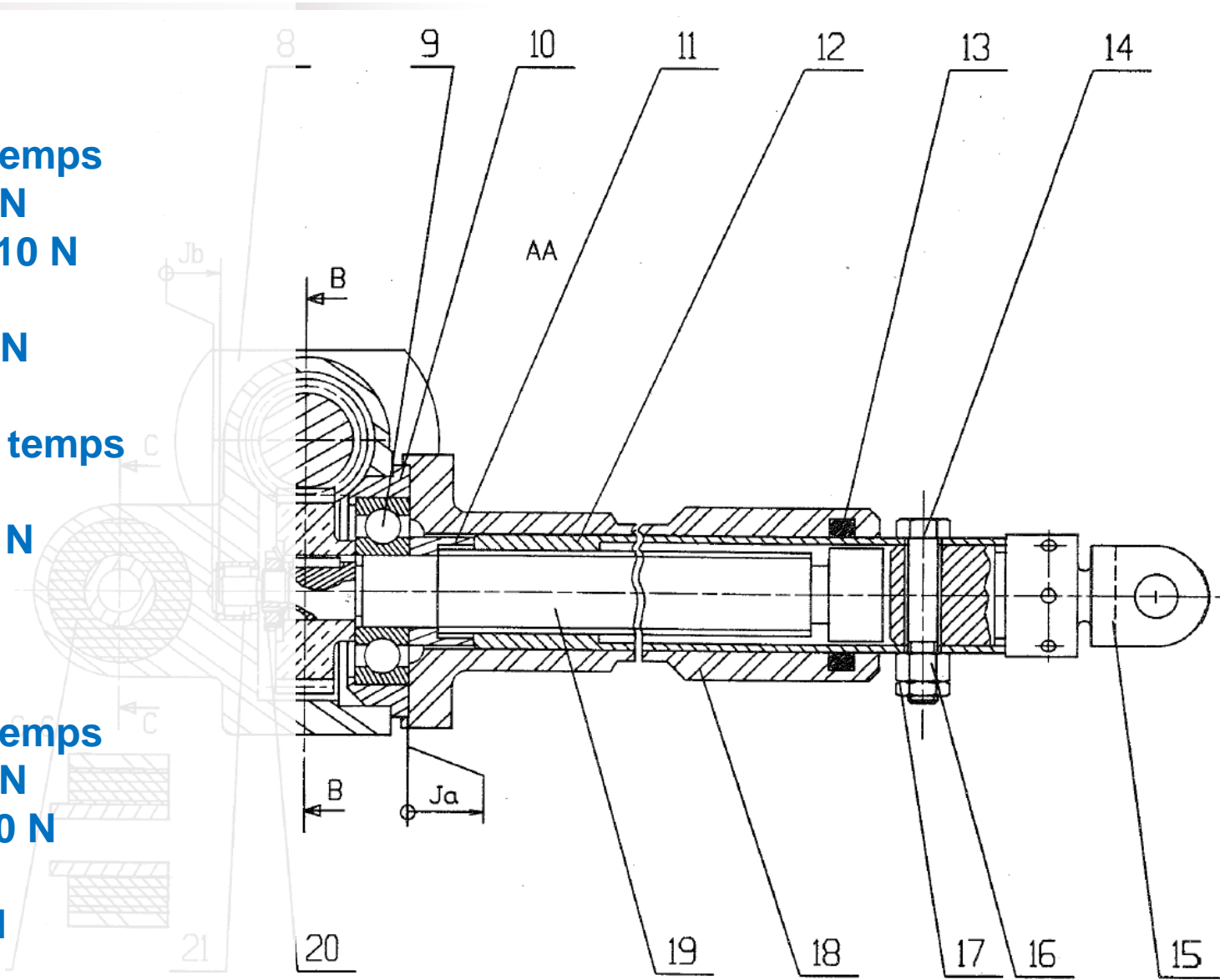
$FaB = 8350 N$

$Y = 1$

$P = 8535 N$

$N19 = 168 \text{ tr/min}$

$L10h = 1000 \text{ h mini}$



Que vaut alors la durée de vie du roulement 9?

Roulement 9 :
Roulement à billes
20/52/15

$C=15,9\text{KN}$

$C_o=7,9\text{KN}$

• 5% du temps

$F_rB = 660\text{ N}$

$F_aB = 16710\text{ N}$

$Y = 1$

$P = 17080\text{ N}$

• 90% du temps

$F_rB = 7\text{ N}$

$F_aB = 170\text{ N}$

$Y = 2,09$

$P = 359\text{ N}$

• 5% du temps

$F_rB = 330\text{ N}$

$F_aB = 8350\text{ N}$

$Y = 1$

$P = 8535\text{ N}$

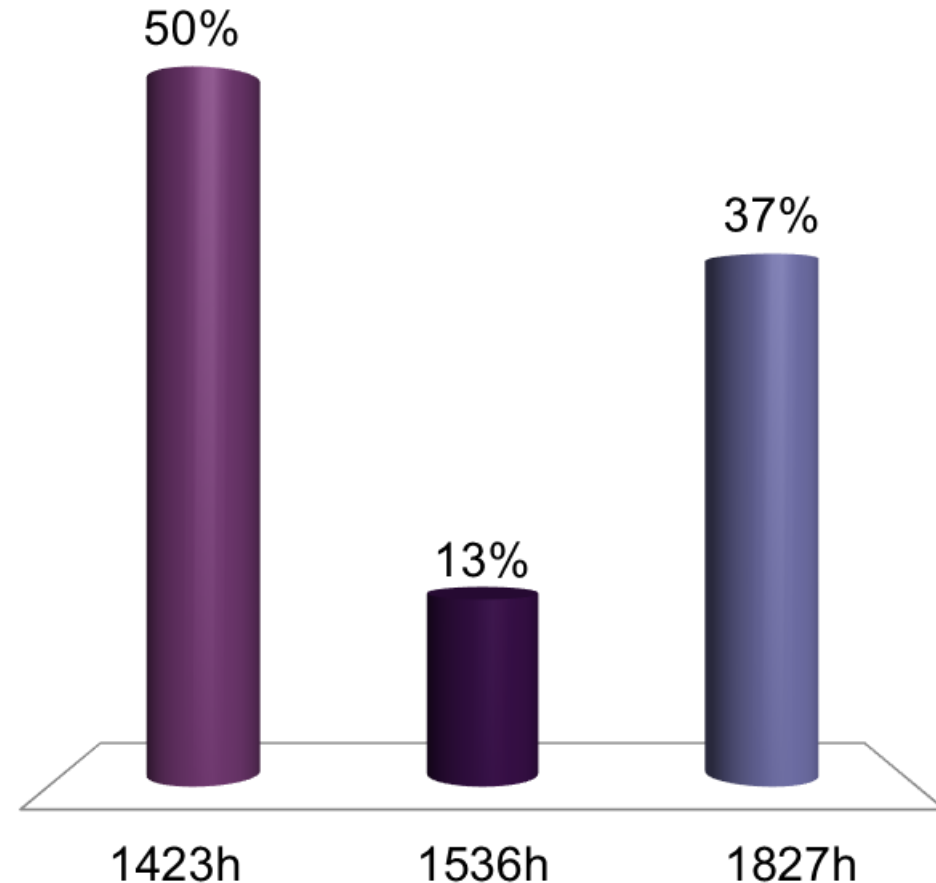
$N_{19} = 168\text{ tr/min}$

$L_{10h} = 1000\text{ h mini}$

A. 1423h

B. 1536h

C. 1827h



Roulement 9 :
Exemple sur le vérin
Roulement à billes 20/52/15

C=15,9KN

Co=7,9KN

• **5% du temps**

FrB = 660 N

FaB = 16710 N

Y = 1

P = 17080 N

• **90% du temps**

FrB = 7 N

FaB = 170 N

Y = 2,09

P = 359 N

• **5% du temps**

FrB = 330 N

FaB = 8350 N

Y = 1

P = 8535 N

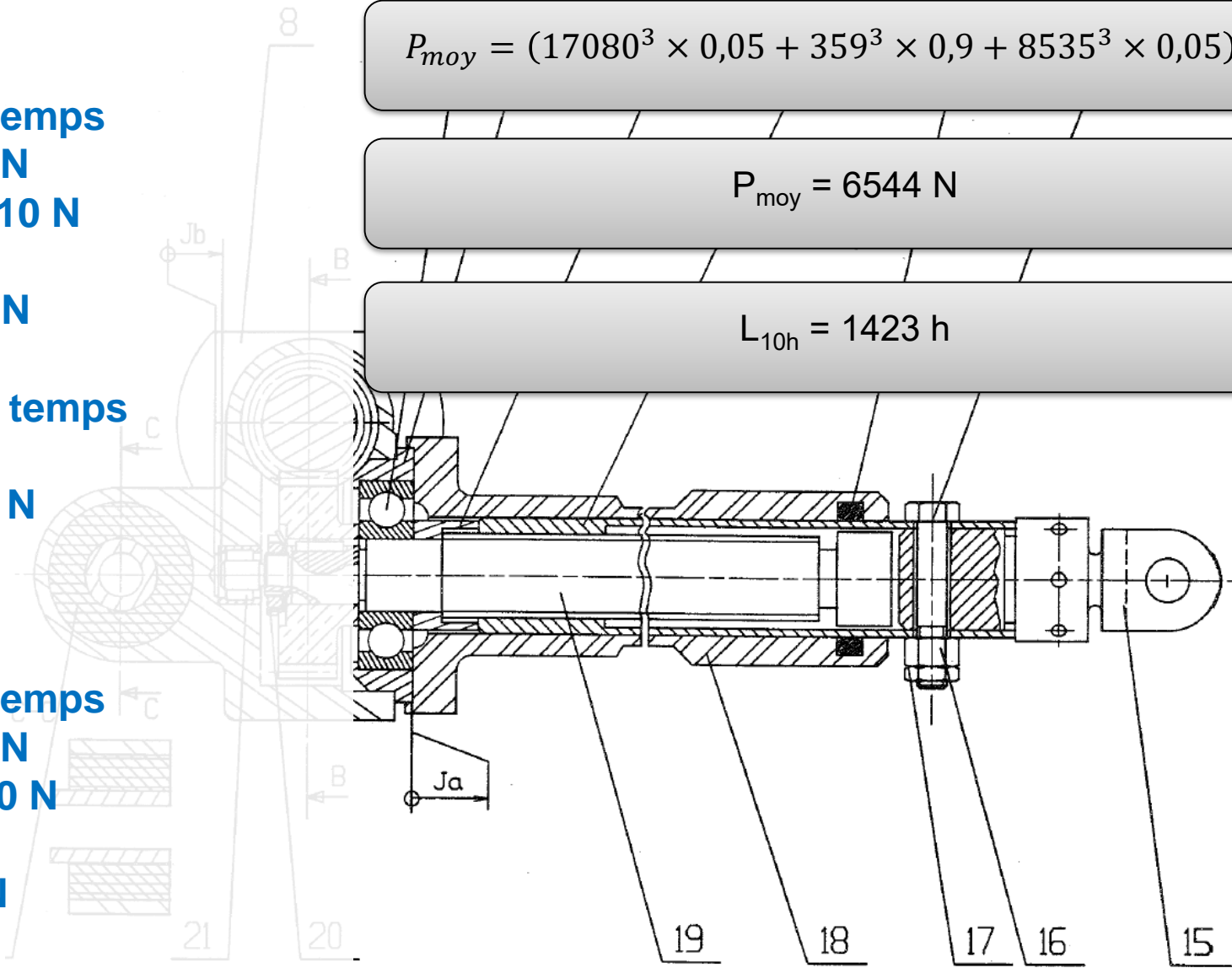
N19 = 168 tr/min

L10h = 1000 h mini

$$P_{moy} = (17080^3 \times 0,05 + 359^3 \times 0,9 + 8535^3 \times 0,05)^{1/3}$$

$$P_{moy} = 6544 \text{ N}$$

$$L_{10h} = 1423 \text{ h}$$



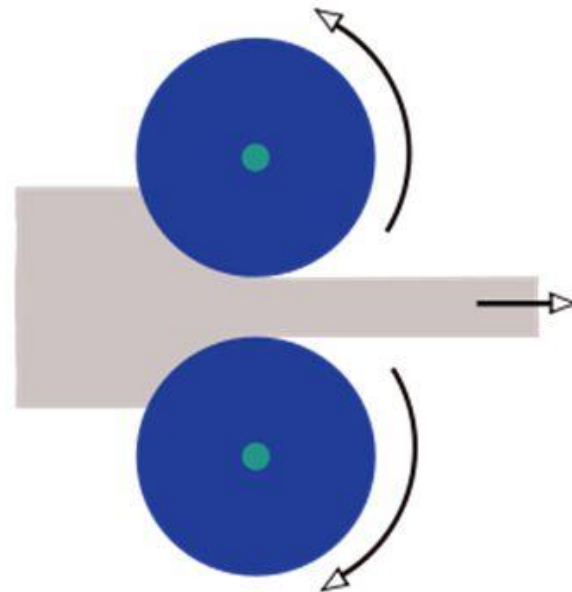


Montage

Roulements à contact radial

Le Laminage

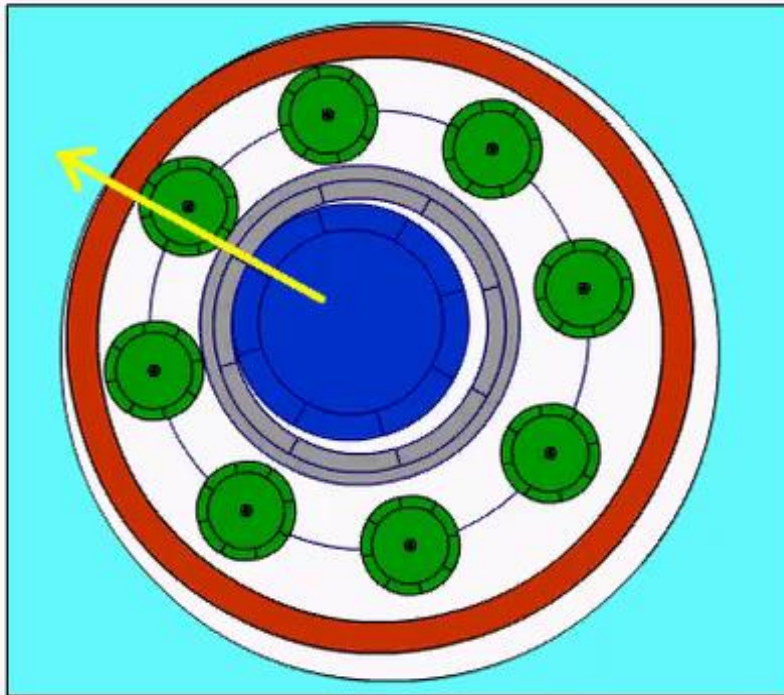
- Réduire l'épaisseur du matériau par déformation plastique
- Déformation grâce à deux cylindres : les laminoirs
- Possibilité de réaliser des profilés



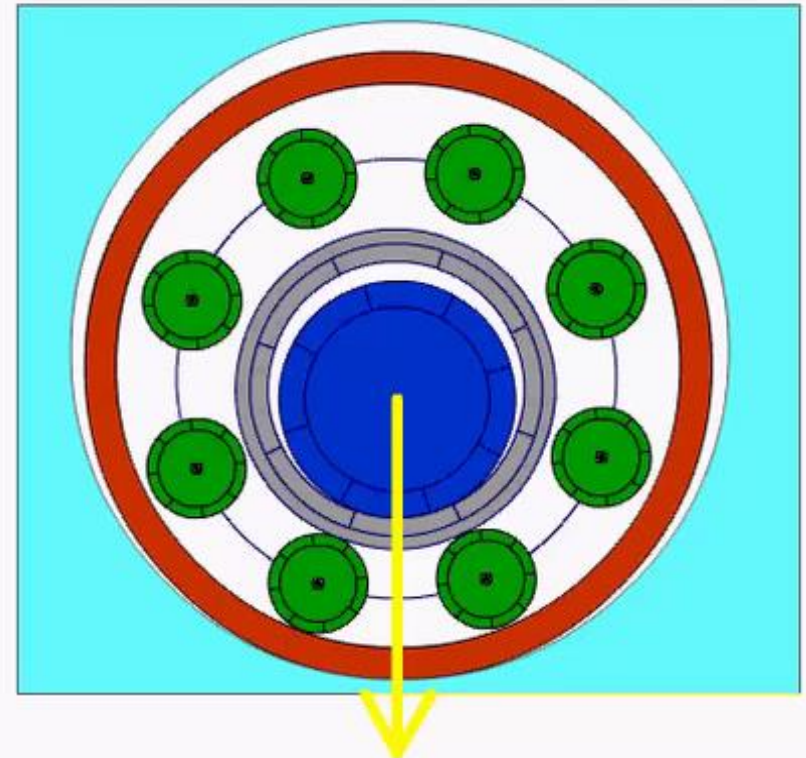
Mise en évidence du laminage des bagues montées non serrées



Laminage de la bague
extérieure



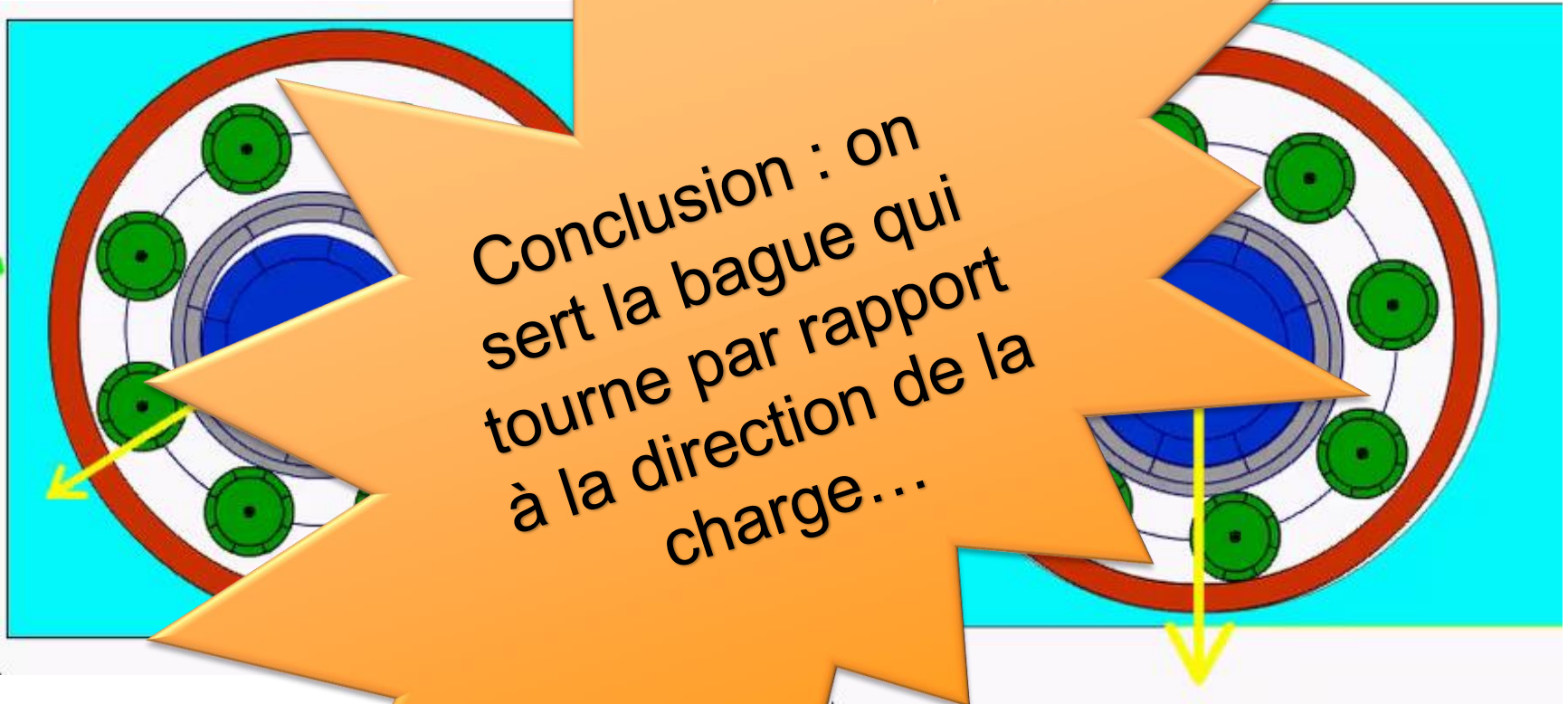
Laminage de la bague
intérieure



Solution au laminage : monter serrée la bague soumise au laminage

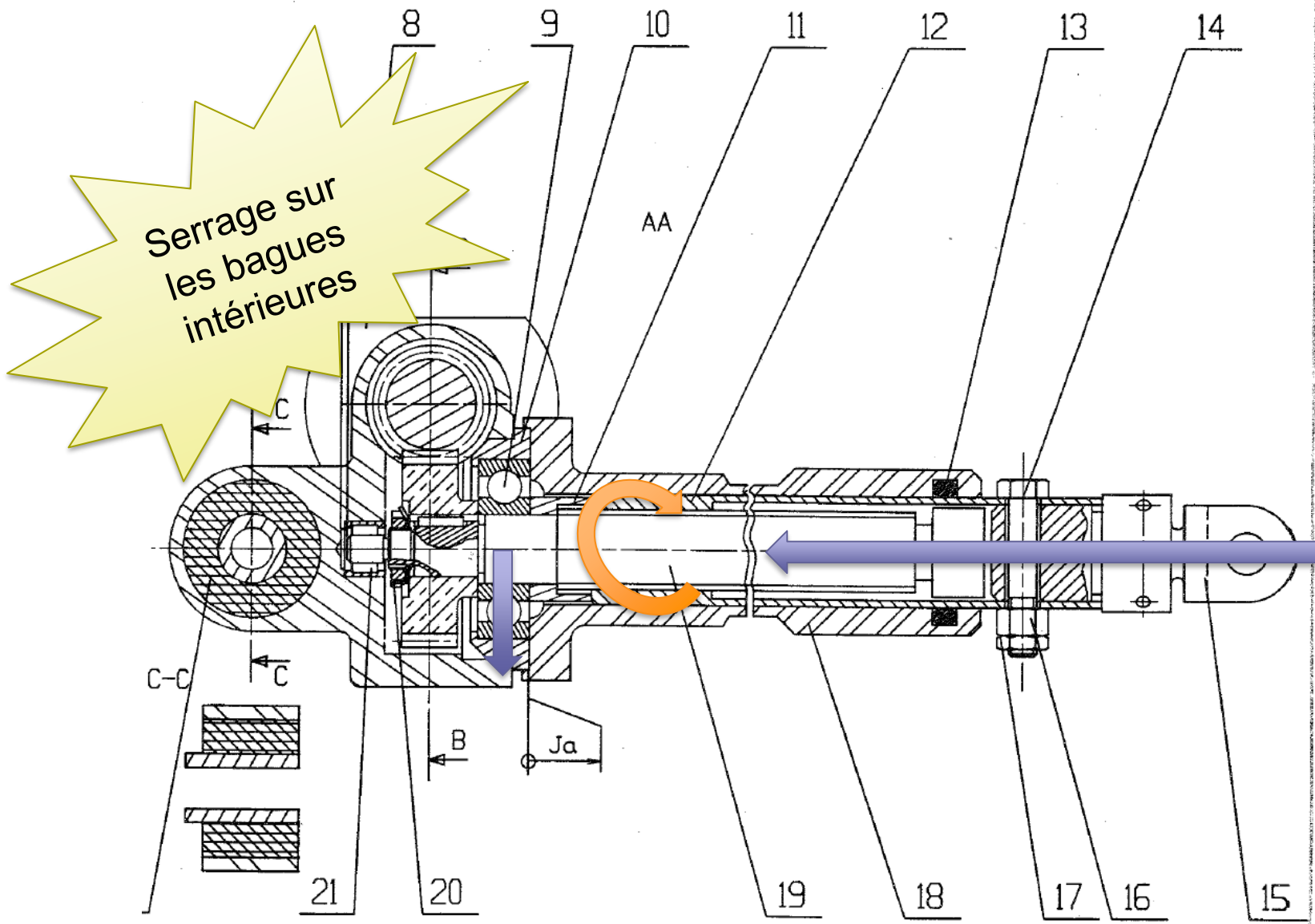
Serrage de la bague
extérieure

Serrage de la bague
intérieure



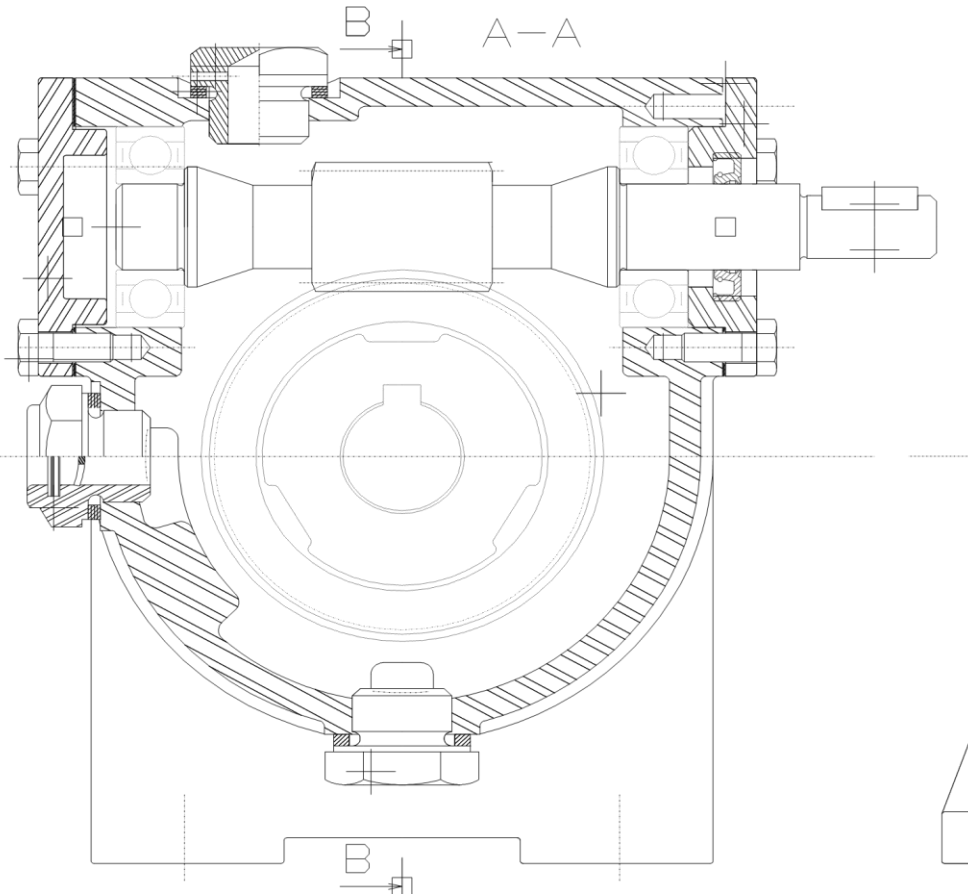
Conclusion : on sert la bague qui tourne par rapport à la direction de la charge...

Exemple sur le vérin



Exemple : réducteur

Quelle bague monte t on serrée?



A. Bague intérieure

B. Bague extérieure

57%



43%



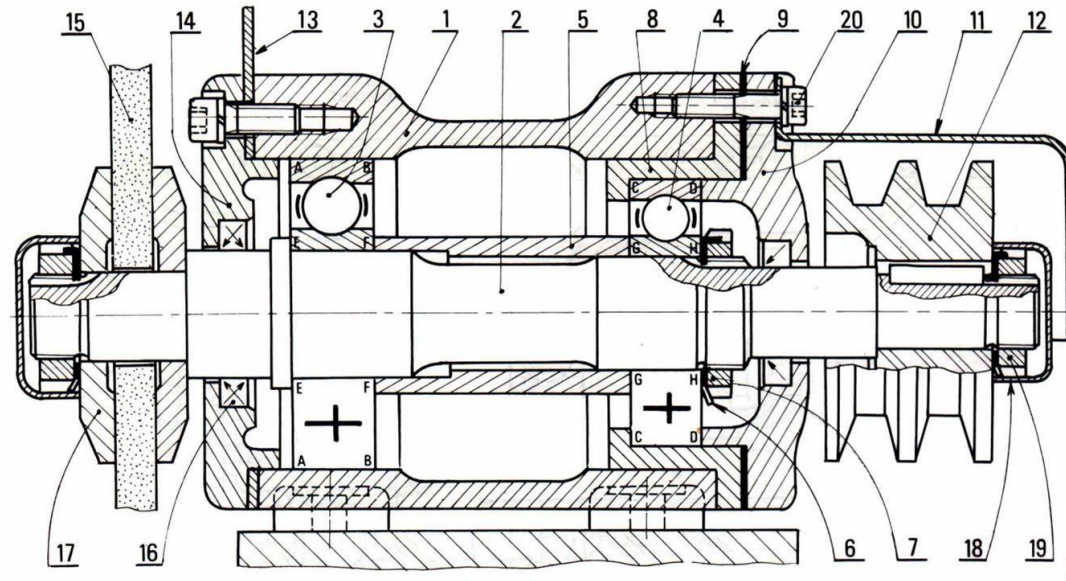
Bague intérieure

Bague
extérieure

Exemple : touret à meuler

Quelle bague monte t on serrée?

- A. Bague intérieure
- B. Bague extérieure



47%



Bague intérieure

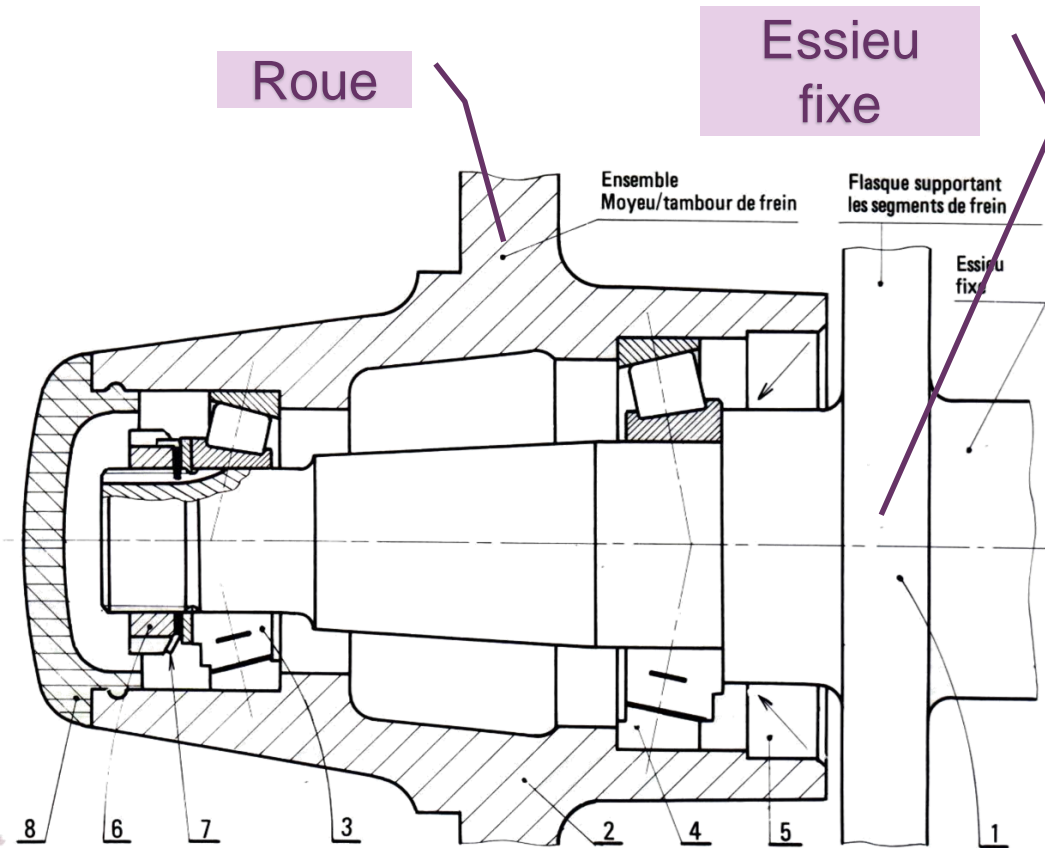
53%



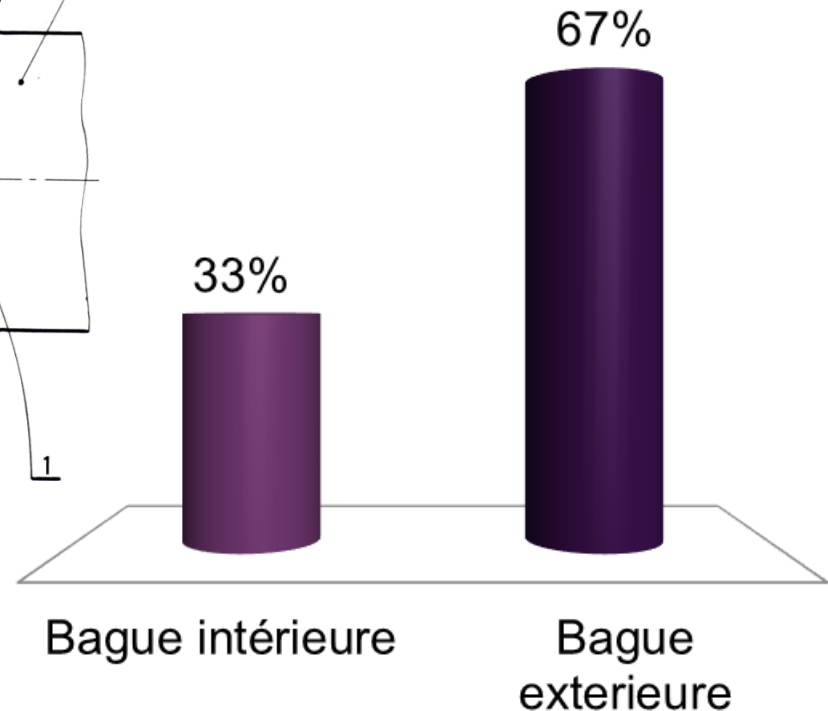
Bague
extérieure

Exemple : roue de remorque de caravane

Quelle bague monte t on serrée?



- A. Bague intérieure
- B. Bague extérieure



Maîtrise du jeu radial (d'après SNR)

SERRAGE	ARBRE		LOGEMENT	
Bague intérieure serrée sur l'arbre	Cas de charge	Ajustement	Cas de charge	Ajustement
	Charge normale $P < C/5$	j6/k6	Cas général	H7/J7
	Charge élevée $P > C/5$	m6/p6	Bague libre sur sa portée	G7/H7
Roulement à rouleaux (cylindrique et conique)			M7/P7	
Bague extérieure serrée dans le logement	Cas général	g6/h6	Charge normale $P < C/5$	M7/N7
	Bague libre sur sa portée	f6/g6	Forte charges Charge $P > C/5$	N7/P7
Autres cas	Charge axiale pure	h6/g6	Charge axiale pure	G7/H7
	Manchon de serrage	h9		

Jeu résiduel après montage :

- **Billes**
 $J_r \approx \sqrt{d} \mu\text{m}$
- **Rouleaux**
 $J_r \approx 4\sqrt{d} \mu\text{m}$

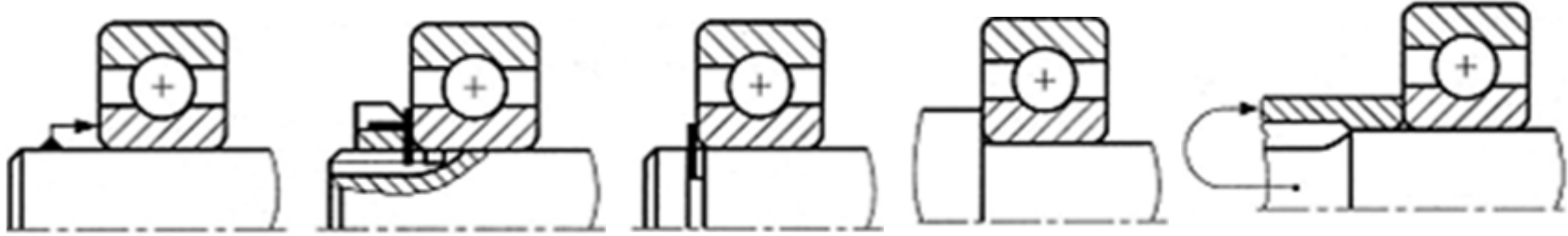
Maîtrise du jeu radial (d'après Précis de construction)

Charge s	Arbre fixe			Arbre tournant			Tournant ou fixe
	$10 < C/P$	$5 < C/P \leq 10$	$C/P \leq 5$	$10 < C/P$	$5 < C/P \leq 10$	$C/P \leq 5$	
d < 18	g6	h6	h5	j6	j6	j5	j6
30 à 120	g6	h6	h6	k6	k6	n6	j6
d > 120	g6	h6	h6	k6	m6	p6	j6

Rôle des arrêts axiaux : Empêcher le mouvement axial d'une bague (transmettre les efforts axiaux)

- Arrêt axial des bagues serrées radialement dans les deux sens afin d'éviter leur déplacement sous une charge axiale imprévue.
- Afin de faciliter le montage on ne fera qu'un arrêt axial dans chaque sens sur l'ensemble des bagues montées glissantes. Tenir compte d'une éventuelle dilatation de l'arbre pour la disposition appropriée.
- Les roulements ou butées qui n'assurent aucun positionnement axial seront arrêtés axialement dans les deux sens sur leurs bagues montées glissantes.
- Prévoir le réglage du jeu axial interne au montage : introduction de cales de réglage entre l'élément d'arrêt et la bague de roulement, écrou à encoches ou nylstop, appairage des pièces...
- Bloquer les efforts axiaux le plus près de leur point d'application pour limiter les risques de flambage
- Equilibrer les durées de vies des roulements

Solutions techniques pour les arrêts axiaux



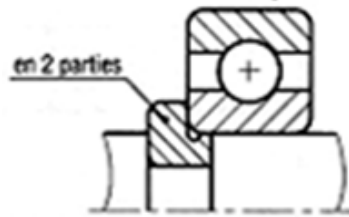
Principe

écrou à encoche

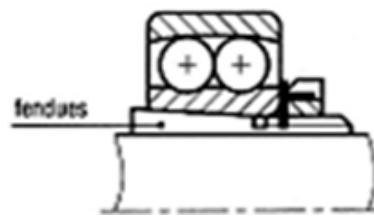
circlips

épaulement

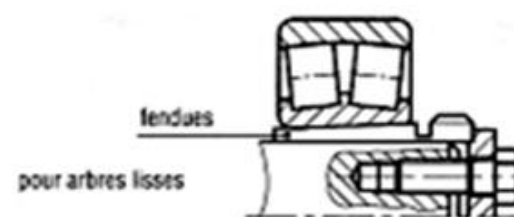
entretoise



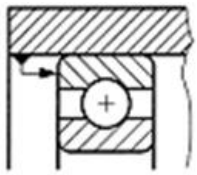
bague en 2 parties



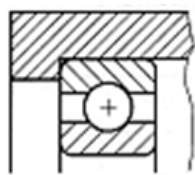
manchon de serrage



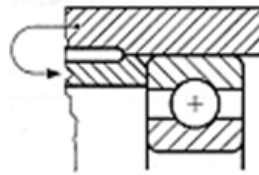
manchon de démontage



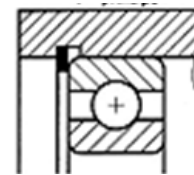
principe



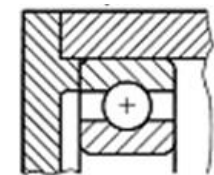
épaulement



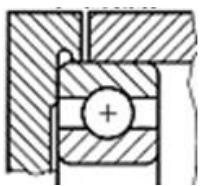
entretoise



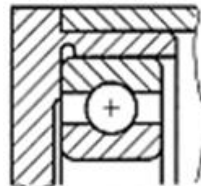
circlips



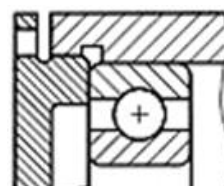
chapeau centré



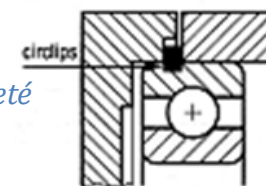
chapeau centré



boîtier

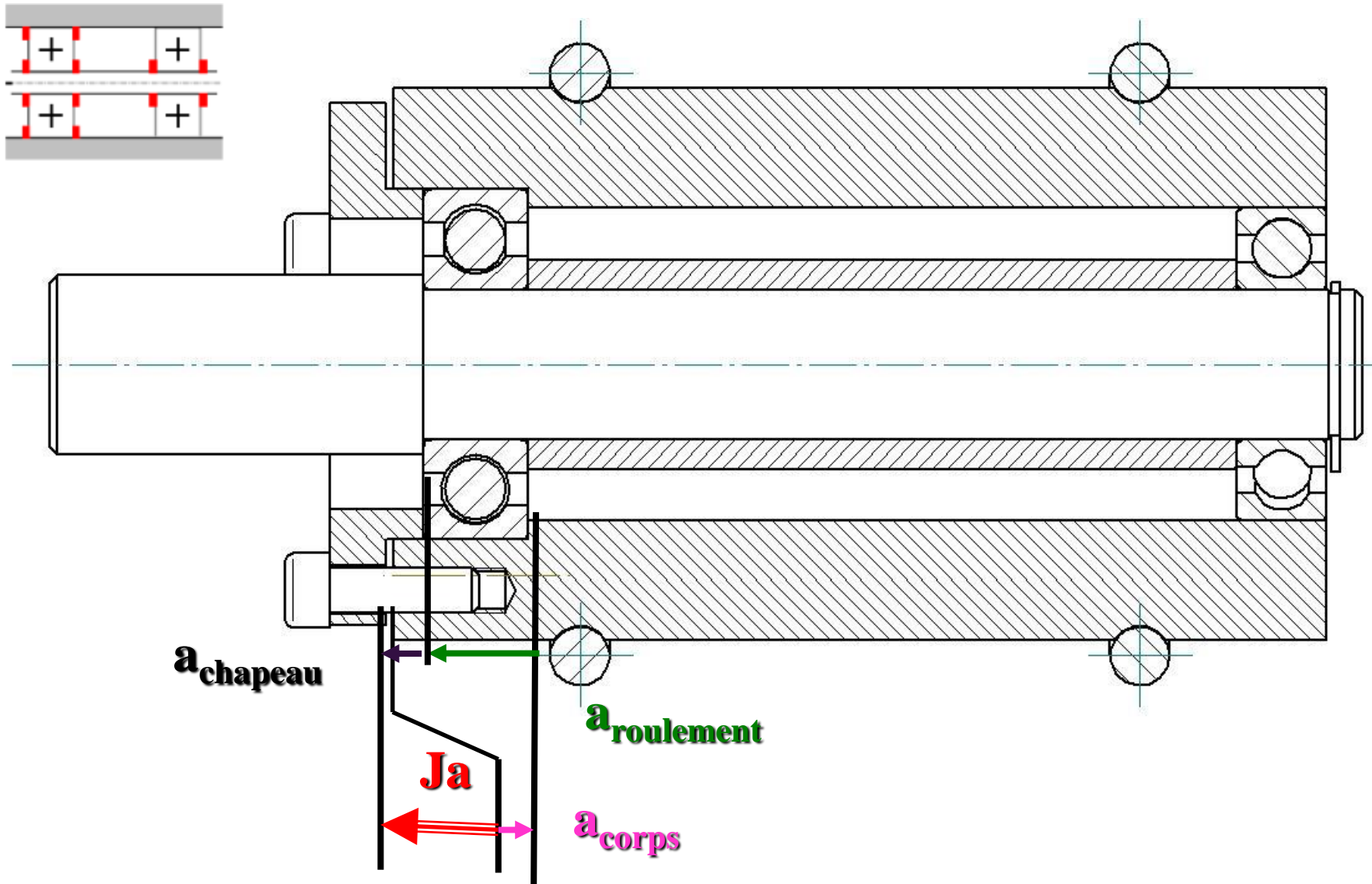


chapeau fileté

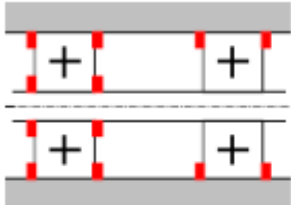


cas particulier

Montage « types » : serrage intérieur, arbre long



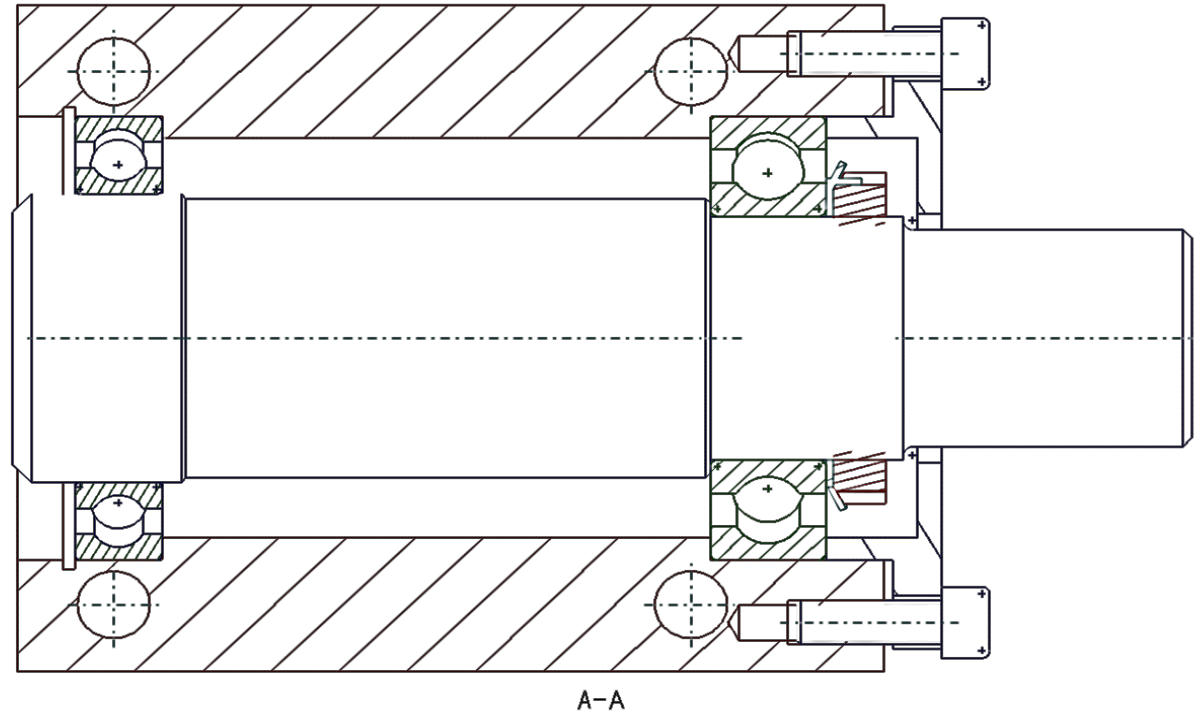
Montage « types » : serrage extérieur, arbre long



Dilatation :

$$\lambda = 17.10^{-6} \text{°C}^{-1}$$

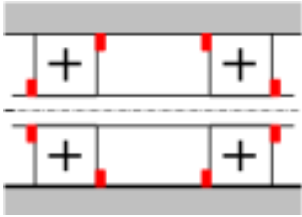
Pour un arbre de $\text{Ø}d$
20mm et une portée L
de 100 mm soumis à
une variation $\Delta\theta$ de
50°C, $\Delta L = 0,085$ mm
Ce qui correspond à F
 $= S.E.\varepsilon = 56$ kN...



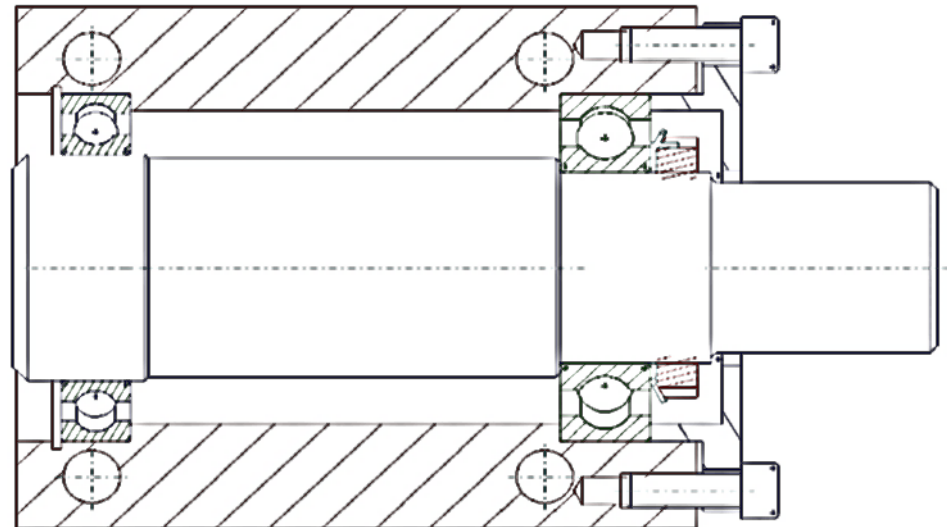
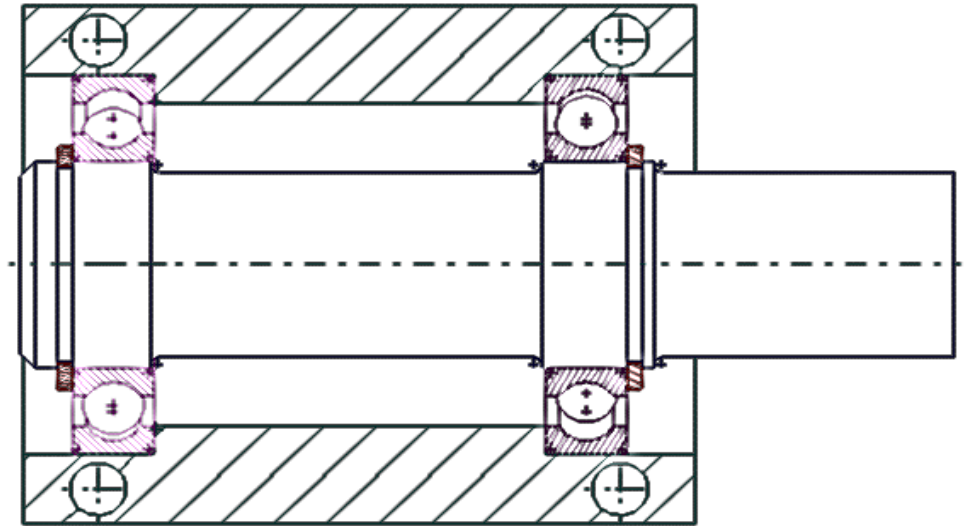
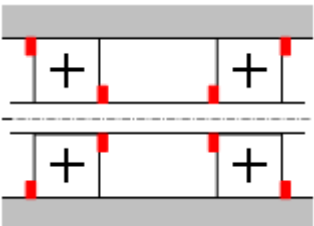
En immobilisant axialement le roulement **le plus proche du point d'application de la charge axiale**, l'autre restant libre, le montage bénéficie des avantages suivants :

- libre dilatation de l'arbre (recherchée pour les arbres longs, d'où le nom du montage)
- pas de risque de flambage si l'arbre est en compression
- cotation fonctionnelle à tolérances plus larges.

Montage « types » : simplifié



Ce montage fait l'économie de deux arrêts axiaux surabondant et n'offre pas la sécurité contre les chocs axiaux. Il est par contre d'un montage et d'une réalisation plus aisée



A - A



Conditions de montage

Application de l'effort axial de montage

L'effort axial de montage ne doit en aucun cas transiter par les éléments roulants.
Afin d'éviter cet effort il est possible de :

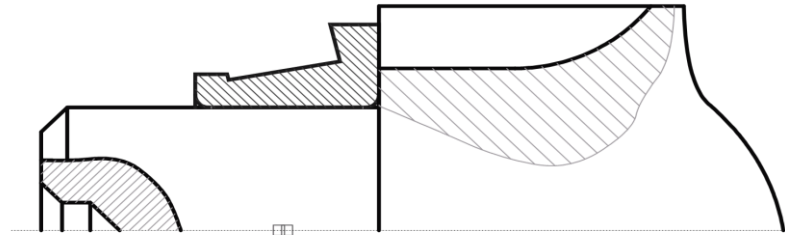
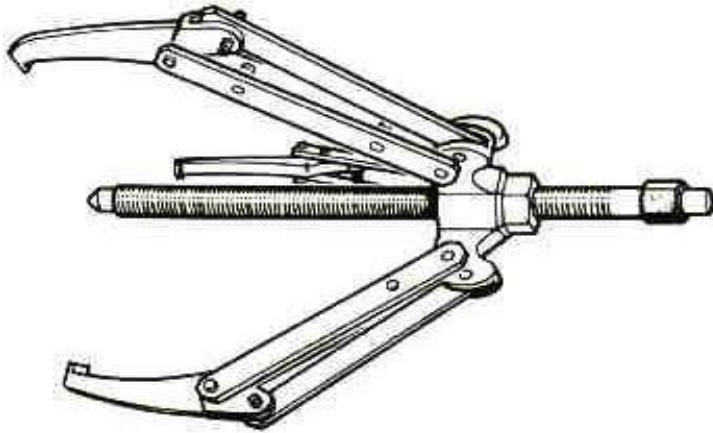
- *Chauffer une bague jusqu'à 110 °C afin de la dilater*
- *Refroidir un arbre jusqu'à – 170°C afin de le contracter*
- *Procéder à un montage par écrou hydraulique, la pression d'un fluide permettant d'éviter l'effort axial de montage*



Démontage facilité des roulements

Tout le monde ne dispose pas d'un écrou hydraulique... L'outil de démontage le plus courant est un extracteur de roulement, constitué de 3 griffes permettant d'attraper la bague intérieur du roulement. Il faut donc prévoir des rainures permettant d'accéder au roulement.

Extracteur





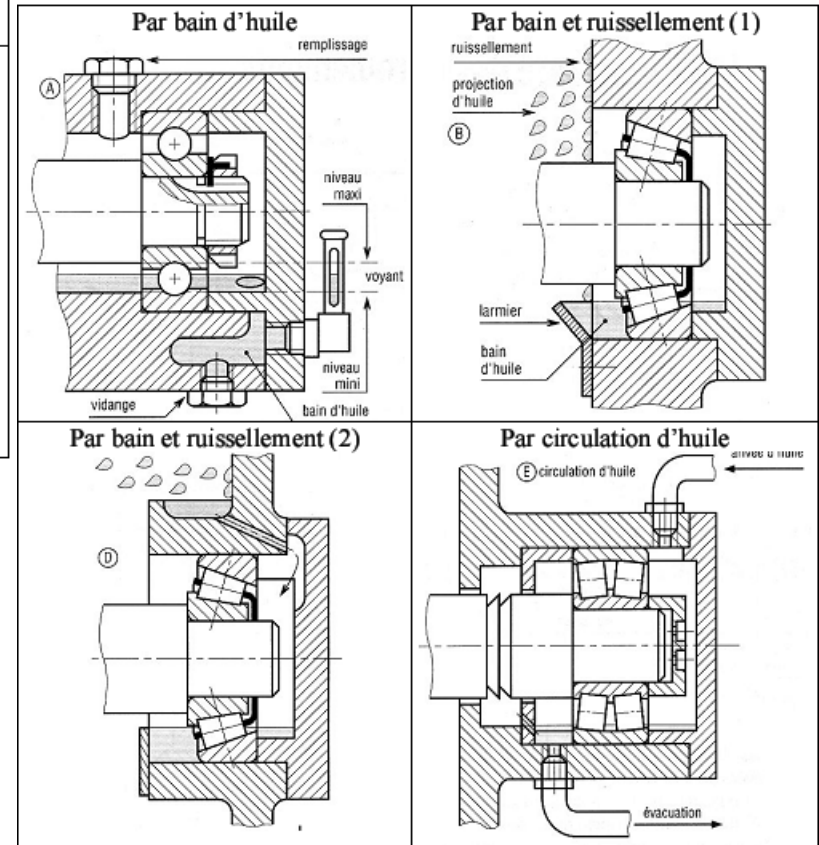
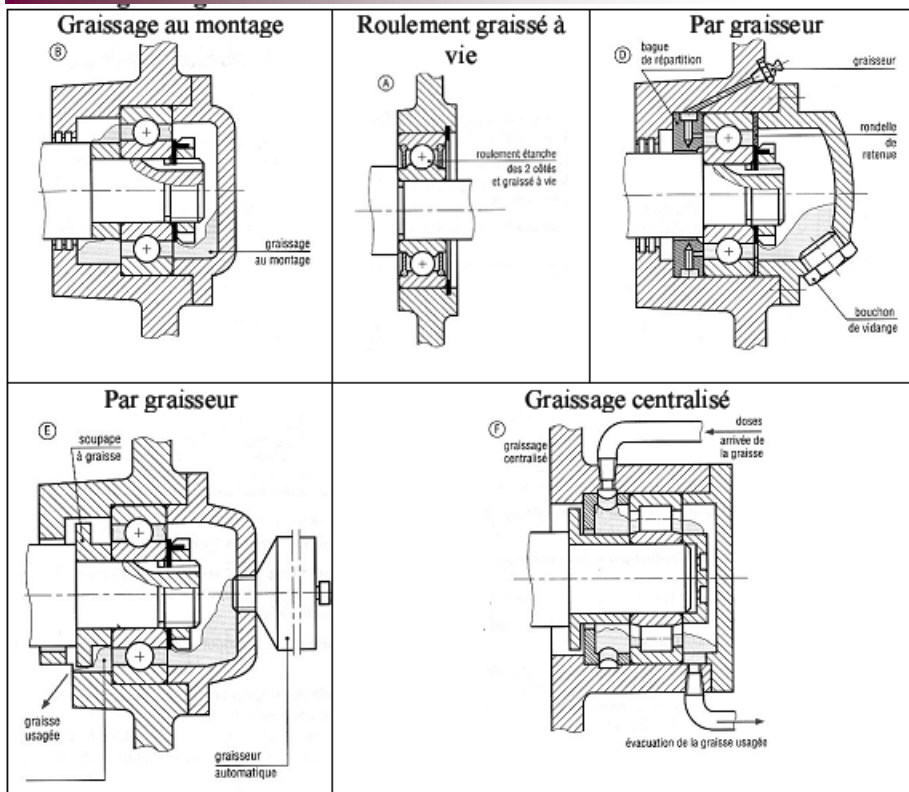
Solution technique

Lubrification et étanchéité

Mode de lubrification

	Lubrification à l'huile	Lubrification à la graisse
Avantages	<ul style="list-style-type: none">▸ Bonne pénétration dans le roulement▸ Bonne stabilité physico-chimique▸ Refroidissement▸ Contrôle aisé du lubrifiant : état et niveaux	<ul style="list-style-type: none">▸ Propreté du mécanisme▸ Etanchéité plus facile à réaliser▸ Barrière de protection▸ Simplicité des montages▸ Facilité de manipulation▸ Réduction ou suppression du graissage d'appoint▸ Possibilités d'utiliser des roulements pré-graissés
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">▸ Etanchéité nécessaire du montage▸ En cas d'arrêt prolongé, mauvaise protection contre l'oxydation et l'humidité▸ Retard au démarrage lorsqu'une mise en circulation autonome préalable à la rotation est nécessaire	<ul style="list-style-type: none">▸ Coefficient de frottement plus élevé que l'huile▸ Evacuation thermique plus faible▸ Le remplacement (si nécessaire) requiert le démontage du roulement et son lavage▸ Pas de possibilité de vérifier un niveau de graisse donc nécessité d'une retenue de graisse fiable ou bien d'un apport périodique pour compenser les fuites, la pollution ou le vieillissement

Solutions techniques pour la lubrification



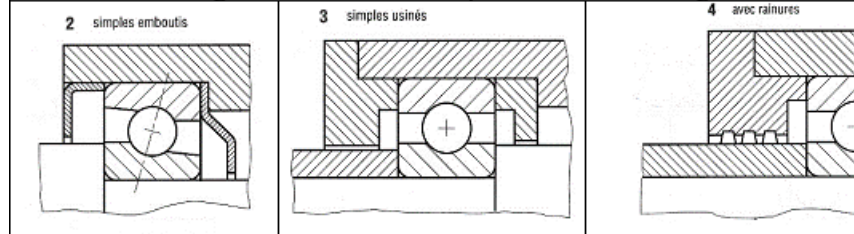
LP DE ROTHSCHILD BAC PRO AERONAUTIQUE: OPTION SYSTEMES

GRAISSAGE DES ROULEMENTS

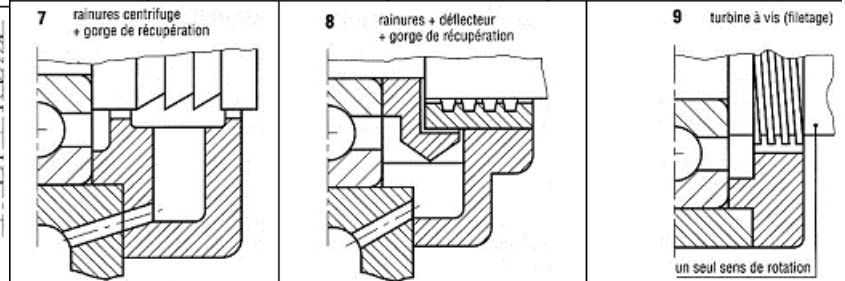
Frédéric LEFEVRE
Lycée Professionnel
Désation Robert & Nelly de ROTHSCHILD
Château de Laversine
60740 SAINT MAXIMIN
Site internet : rothschild.lyc.ac-amiens.fr

Dispositifs d'étanchéité

Passage étroit sans frottement pour lubrification à la graisse



Dispositifs sans frottement, vitesse élevée pour lubrification à l'huile



Dispositifs avec frottement pour lubrification à la graisse ou à l'huile

