

Introduction :

Un guidage en rotation entre deux pièces doit assurer les fonctions suivantes :

- positionner les deux pièces et autoriser une rotation entre elles autour d'un axe ;
- transmettre les efforts ;
- résister et s'adapter au milieu environnant ;
- être d'un encombrement minimal ;
- assurer un fonctionnement silencieux.

L'exemple de l'alternateur décrit ces différentes fonctions pour le guidage du rotor. Le choix d'une solution constructive associée à un guidage en translation se fonde sur les indicateurs de qualité suivants :

- degré de précision et encombrement ;
- puissance transmissible et température de fonctionnement ;
- rendement mécanique, durée de vie et fiabilité ;
- entretien ;
- coût.

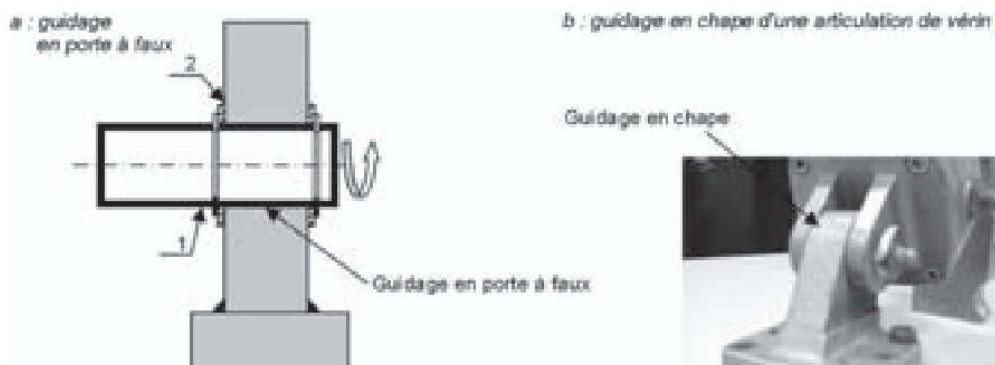
Les différents principes et moyens mis en œuvre

Différents types de guidages en rotation existent :

- guidage en rotation par contact direct entre surfaces ;
- guidage en rotation par interposition de bagues de frottement ;
- guidage en rotation par interposition d'éléments roulants.

Le guidage en rotation par contact direct

Il peut être obtenu à partir du contact entre des surfaces cylindriques complémentaires et de deux arrêts qui suppriment le degré liberté en translation suivant l'axe des cylindres. Il existe deux distributions principales de la géométrie du contact : l'une dite en porte à faux et l'autre appelée chape. Le guidage en rotation peut également être obtenu à partir du contact direct entre deux surfaces coniques complémentaires d'angle d'inclinaison suffisant pour éviter le coincement.



Coussinets frittés :

Les coussinets sont réalisés à partir de différents types de matériaux : bronze, matières plastiques (Nylon, Teflon), etc. Ils peuvent être utilisés à sec ou lubrifiés. Les coussinets autolubrifiants sont obtenus à partir d'un métal fritté (poudre comprimée et chauffée en atmosphère contrôlée) dont la porosité varie entre 10 % et 30 % du volume du coussinet.

Ils sont imprégnés d'huile jusqu'à saturation, ou chargés de lubrifiant solide. Sous l'effet de la rotation de l'arbre et de l'élévation de la température, l'huile est aspirée et assure une excellente lubrification. À l'arrêt de l'arbre, du fait de la porosité du coussinet, le lubrifiant reprend sa place.

Coussinets cylindriques					
d	D	L	d	D	L
2	5	2-3	18	24	18-22-28-36
4	8	4-8-12	20	26	16-20-25-32
5	9	4-5-8	22	28	18-22-28-36
6	10	6-10-12-16	25	32	20-25-32-40
8	12	8-12-16-20	28	36	22-28-36-45
10	16	10-16-20-25	30	38	24-30-38
12	18	12-16-20-25	32	40	20-25-32-40-50
14	20	14-18-22-28	35	45	25-35-40-50
15	21	16-20-25-32	40	50	25-32-40-50
16	22	16-20-25-32	45	55	35-45-55-65

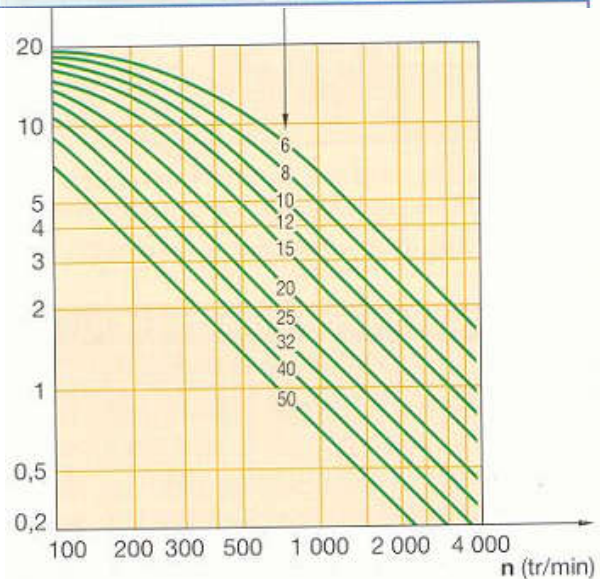
Coussinets à collerette									
d	D	D ₁	e	L	d	D	D ₁	e	L
3	6	9	1,5	4-6-10	20	26	32	3	16-20-25-32
4	8	12	2	4-8-12	22	28	34	3	15-20-25-30
6	10	14	2	6-10-16	25	32	39	3,5	20-27-32
8	12	16	2	8-12-16	28	36	44	4	22-28-36
10	16	22	2	8-10-16	30	38	46	4	20-25-30
12	18	24	3	8-12-20	32	40	48	4	20-25-30-32
14	20	26	3	14-18-22-28	36	45	54	4,5	22-28-36
16	22	28	3	16-20-25-32	40	50	60	5	25-32-40
18	24	30	3	18-22-28	50	60	70	5	32-40-50

Arbre	Dureté	HB \geq 200
	Tolérance	f7
	État de surface	Ra \leq 0,2

EXEMPLE DE DÉSIGNATION :
 Coussinet cylindrique fritté, $d \times D \times L$ ISO 2795
 Coussinet à collerette fritté, $Cd \times D \times L$ ISO 2795

Détermination d'un coussinet			
p	x	v	= 1,8
Pression spécifique en MPa	Vitesse linéaire d'un point de la périphérie de l'arbre en m/s.	Valeur maximale expérimentale pour les matériaux donnés.	
$p = \frac{\text{Charge radiale}}{\text{Surface projetée}}$			

Exemple de détermination de la longueur L.
 On donne la charge radiale $Q = 1\ 750\ \text{N}$, le diamètre de l'arbre $d = 20\ \text{mm}$ et la fréquence de rotation $n = 500\ \text{tr/min}$.
 La lecture de l'abaque donne une pression $p \approx 3,5\ \text{MPa}$.
 Soit $S = 1\ 750 / 3,5 = 500\ \text{mm}^2$.
 On a $S = d \cdot L$, d'où longueur L du coussinet :
 $L = 500 / 20 = 25\ \text{mm}$.



Guidage en rotation réalisé par roulement :

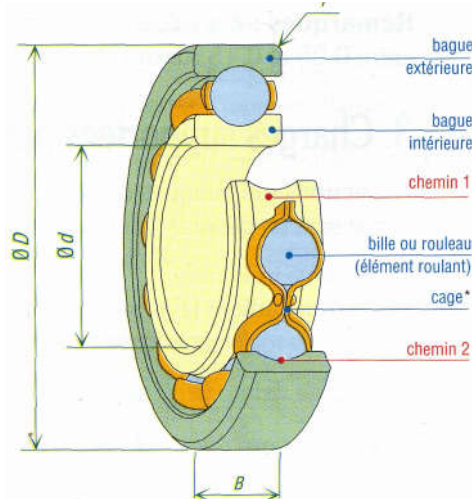
L'idée qui consiste à remplacer le glissement avec frottement par du roulement remonte à l'Antiquité. Les Égyptiens utilisèrent ce principe pour construire leurs édifices. Dès cette époque, les axes des chariots commencèrent à utiliser des sortes de roulements à rouleaux.



En 1920 la normalisation commence. La technique du roulement est aujourd'hui à maturité, elle est soumise aux normes internationales... Composants de base d'un grand nombre de machines les roulements, moins de 1 mm à plus de 7 m, sont des pièces de précision et de qualité. Plusieurs milliards en sont fabriqués chaque année, les deux tiers sont des roulements rigides à billes (à contact radial).

Principaux éléments d'un roulement.

- La bague extérieure : qui se positionne dans le logement.
- La bague intérieure : qui s'ajuste sur l'arbre.
- Les éléments roulants : billes ou rouleaux de formes diverses qui roulent sur les chemins des deux bagues.
- La cage : qui maintient les éléments roulants à intervalles réguliers.

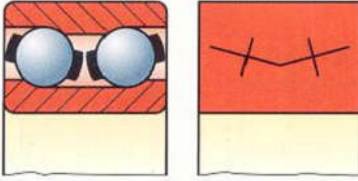

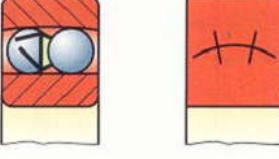

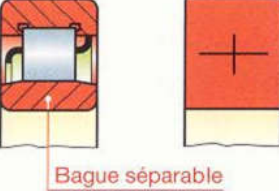

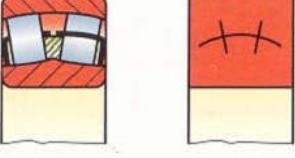

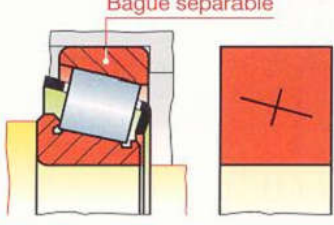

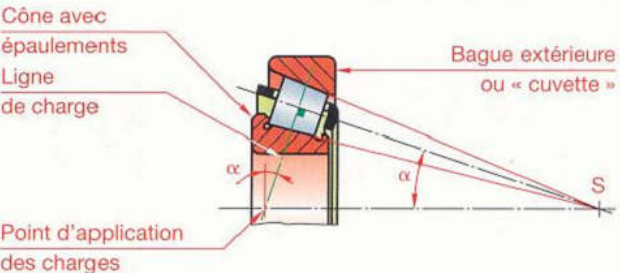


* maintien les éléments roulants à intervalles réguliers

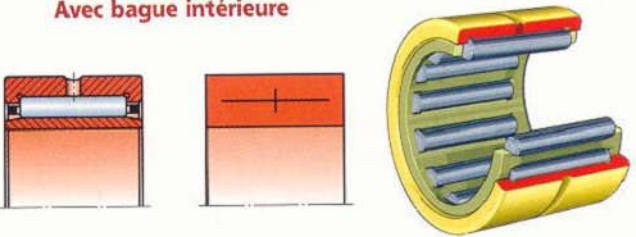

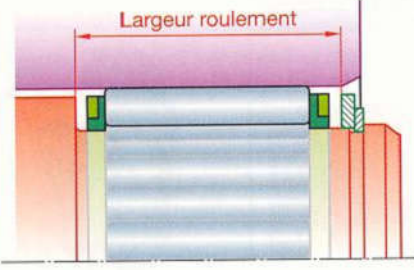
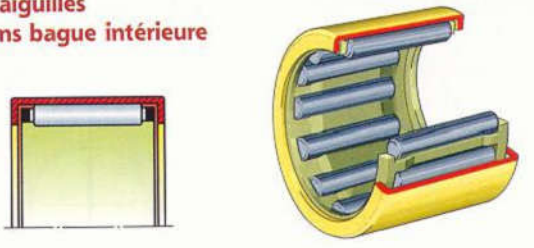
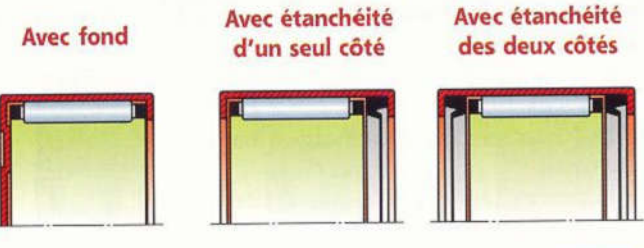
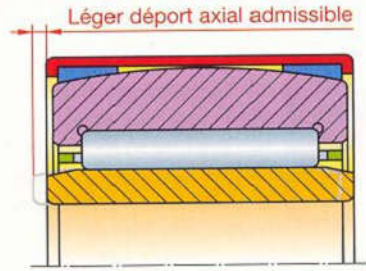
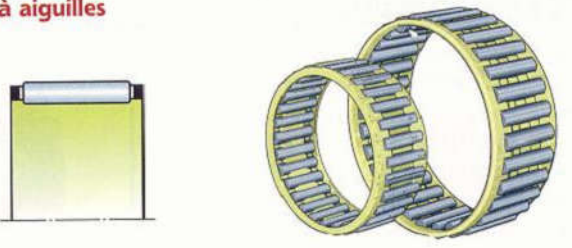
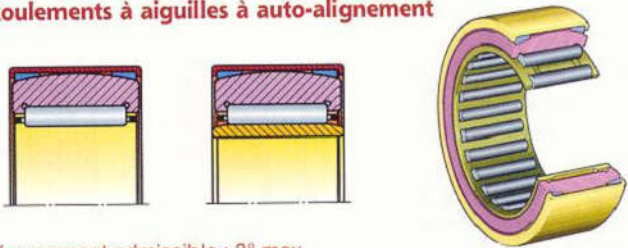
En savoir plus sur http://www.zpag.net/Tecnologies_Industrielles/Roulements_Etude.htm#gO47iJMZJitkQrk8.99

Principaux types de roulements :

Roulements à une rangée de billes, à contact radial				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Ces roulements supportent des charges radiales et axiales relativement importantes. ■ Ils exigent une bonne coaxialité des portées de l'arbre d'une part et des alésages des logements d'autre part. ■ C'est un type de roulement très employé. 	<p>Représentations complète simplifiée</p>		<p>Déversement admissible (rotulage) : 2' à 10'</p>	
<p>En fonction des besoins, on utilise :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ soit une représentation simplifiée générale valable pour les types de roulement ; ■ soit une représentation simplifiée spécifique à chaque type de roulement. 				
<p>Ces roulements existent en trois variantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ avec une rainure dans la bague extérieure pour maintien par segment d'arrêt ; ■ avec protection latérale par un ou deux flasques ; ■ avec protection latérale par un ou deux joints (lubrification à vie). 	<p>Avec rainure</p>	<p>Avec rainure et segment d'arrêt</p>	<p>Représentation conventionnelle</p>	
<p>Protection d'un seul côté par flasque</p>	<p>Protection des deux côtés par flasques</p>	<p>Protection d'un seul côté par joint</p>	<p>Protection des deux côtés par joints</p>	<p>Représentation simplifiée*</p>
Roulements à une rangée de billes, à contact oblique				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Ces roulements supportent des charges axiales relativement élevées dans un seul sens, ou des charges axiales et radiales combinées. En général, ils ne sont pas démontables. ■ Ils conviennent pour de grandes fréquences de rotation. ■ Ils demandent une bonne coaxialité des portées. 			<p>Déversement admissible : ≈ 0.</p>	

<p>Roulements à deux rangées de billes, à contact oblique</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ces roulements supportent des charges radiales assez importantes et des charges axiales alternées. ■ Les fréquences admissibles de rotation sont plus faibles que celles des roulements à une rangée de billes. ■ Ils exigent une très bonne coaxialité des portées. 		<p>Déversement admissible : ≈ 0</p> 
<p>Roulements à deux rangées de billes, à rotule dans la bague extérieure</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ces roulements supportent des charges radiales moyennes et des charges axiales faibles. ■ Ils conviennent pour de grandes fréquences de rotation. ■ Ils sont utilisés lorsque l'alignement précis des paliers est difficile. 		<p>Déversement admissible : $1,5^\circ$ à 3°</p> 
<p>Roulements à rouleaux cylindriques</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ces roulements supportent des charges radiales élevées mais aucune charge axiale. ■ Ils conviennent pour de grandes fréquences de rotation. ■ Ils exigent une très bonne coaxialité des portées. 	 <p>Bague séparable</p>	<p>Déversement admissible : $2'$</p> 
<p>Roulements à deux rangées de rouleaux, à rotule dans la bague extérieure</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ces roulements supportent des charges radiales très importantes et des charges radiales et axiales combinées. ■ Les fréquences admissibles de rotation sont moyennes. ■ Ils sont utilisés lorsque l'alignement des paliers est difficile. 		<p>Déversement admissible : 1° à $2,5^\circ$</p> 
<p>Roulements à rouleaux coniques*</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ces roulements supportent des charges radiales et axiales relativement importantes. ■ Ils ne conviennent pas pour les grandes fréquences de rotation. ■ Ils exigent une très bonne coaxialité des portées. ■ La bague extérieure ou « cuvette » est séparable. ■ Les cônes formés par les chemins de roulement et les rouleaux coniques ont le même sommet S situé sur l'axe du roulement. ■ Ces roulements sont habituellement utilisés par paire et montés en opposition. ■ Ils permettent de régler le jeu de fonctionnement. ■ Ils sont utilisés pour des paliers de dimensions grandes et moyennes pour des mécanismes précis fortement sollicités. 	 <p>Bague séparable</p>	<p>Déversement admissible : $2'$</p> 
 <p>Cône avec épaulements</p> <p>Ligne de charge</p> <p>Point d'application des charges</p> <p>Bague extérieure ou « cuvette »</p> <p>α</p> <p>S</p>		

* Appelés aussi « roulements TIMKEN » du nom de leur inventeur.

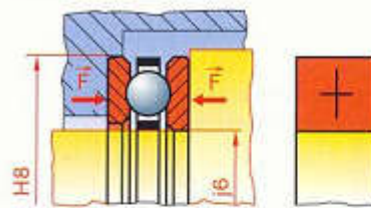
Roulements à aiguilles	
<p>CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Les roulements à aiguilles supportent des charges radiales importantes sous un encombrement relativement réduit. Comme les roulements à rouleaux cylindriques comportant une bague sans épaulement ils ne supportent aucune charge axiale. ■ Ils conviennent pour de grandes fréquences de rotation. ■ Ils exigent une très bonne coaxialité des portées de l'arbre et une très bonne coaxialité des alésages des logements. ■ Ils résistent bien aux chocs. ■ Ils permettent un léger déplacement axial de l'arbre par rapport au logement. ■ La bague intérieure est séparable. ■ Ces roulements sont couramment utilisés : sans bague intérieure, sous forme de douilles à aiguilles ou de cages à aiguilles (sans bague extérieure et sans bague intérieure). L'encombrement est réduit, mais les surfaces de roulement doivent présenter une dureté et un état de surface suffisants (HRC min. = 57 ; Ra max. = 0,2). ■ Les roulements à aiguilles avec étanchéité sont lubrifiés avec une graisse au lithium. ■ Les roulements à aiguilles sont utilisés pour les paliers de petites et moyennes dimensions soumis à des charges radiales importantes. 	<p style="text-align: center;">Avec bague intérieure</p>  <p style="text-align: center;">Sans bague intérieure Avec étanchéité d'un seul côté Avec étanchéité des deux côtés</p>  <p style="text-align: center;">Déversement admissible : ≈ 0.</p>
<p style="text-align: center;">Largeur roulement</p> 	<p style="text-align: center;">Douilles à aiguilles avec ou sans bague intérieure</p>  <p style="text-align: center;">Avec fond Avec étanchéité d'un seul côté Avec étanchéité des deux côtés</p> 
<p style="text-align: center;">Léger déport axial admissible</p> 	<p style="text-align: center;">Cages à aiguilles</p>  <p style="text-align: center;">Roulements à aiguilles à auto-alignement</p>  <p style="text-align: center;">Déversement admissible : 3° max.</p>

Fabrication : INA

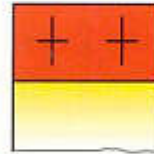
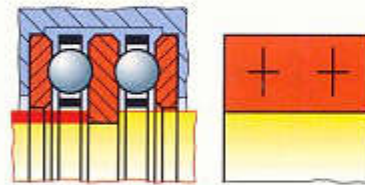
Butées à billes

- Les butées à billes ne supportent que des charges axiales relativement importantes. Les butées à simple effet ne supportent que des charges axiales dans un seul sens. Les butées à double effet sont conçues pour subir des charges axiales alternées.
- L'action de la force centrifuge sur les billes limite leur emploi à de faibles fréquences de rotation.
- Les butées à billes ne sont pas conçues pour guider un arbre en rotation. Ce guidage doit être assuré par d'autres types de roulements.
- Les butées à billes conviennent particulièrement pour des arbres verticaux, fortement chargés axialement et tournant lentement.

À simple effet



À double effet



Bagues séparables

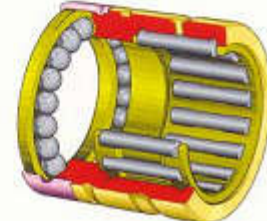
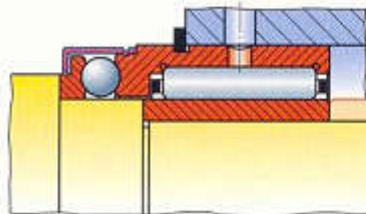
Roulements combinés à aiguilles et à billes*

- Les roulements combinés à aiguilles et à billes sont utilisés pour des paliers fixes supportant des charges axiales et radiales.
- Les charges radiales sont supportées par les aiguilles et les charges axiales par les billes.
- Par rapport aux charges supportées, l'encombrement de ces roulements est très réduit.

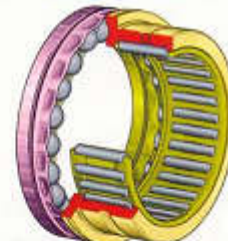
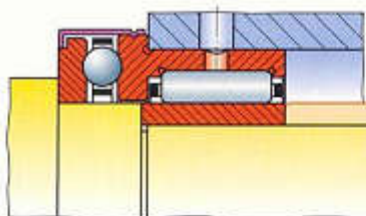
REMARQUES

- ▶ L'encombrement des roulements type NX et type NKX peut encore être réduit par suppression de la bague intérieure. Dans ce cas, les surfaces de roulement doivent présenter, outre des caractéristiques géométriques suffisantes, une dureté RHC ≥ 57 .
- ▶ Afin de pouvoir supporter des charges axiales, les roulements type NKIA et type NKIB doivent obligatoirement être utilisés avec leur bague intérieure.

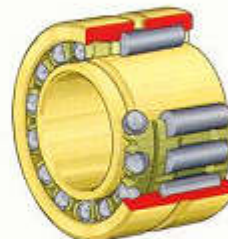
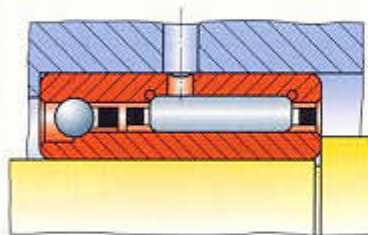
Type NX à simple effet (avec ou sans bague intérieure)



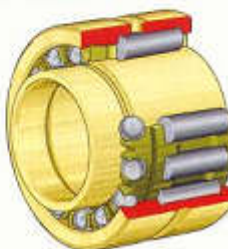
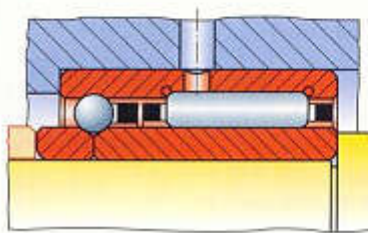
Type NKX à simple effet (avec ou sans bague intérieure)



Type NKIA à simple effet (avec bague intérieure)



Type NKIB à double effet (avec bague intérieure)

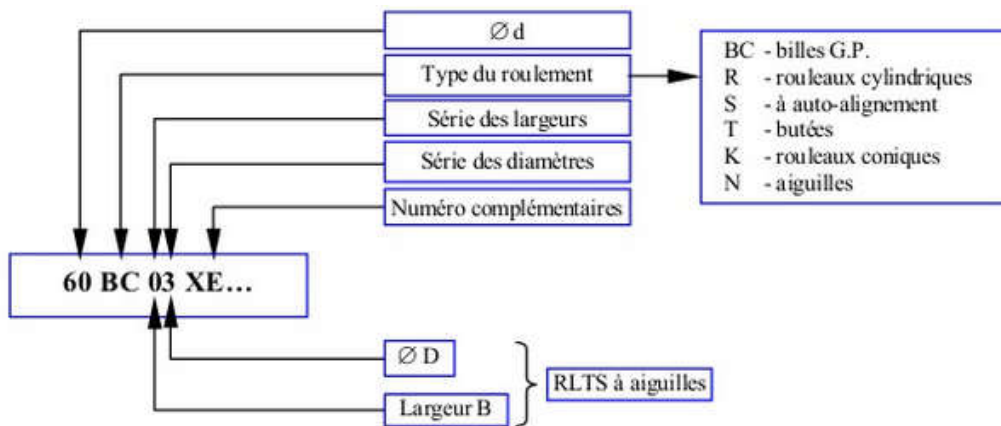


Tolérance de l'arbre pour roulement sans bague intérieure

Type	Tolérance
NX – NKX	k6
Rugosité	$Ra \leq 0,2$
Circularité	25 % de k6
Parallélisme	50 % de k6

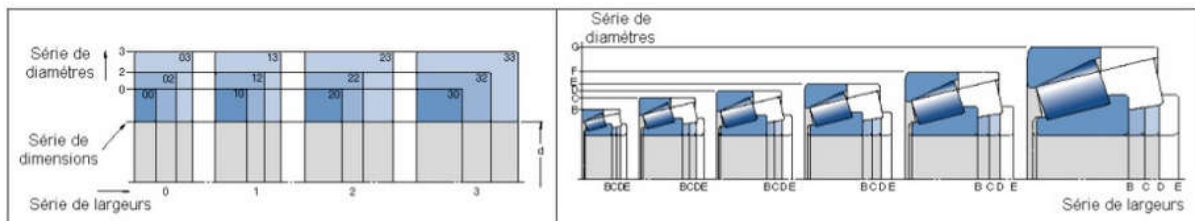
* Fabrication : INA.

Désignation des roulements



Remarque : le numéro complémentaire précise les particularités : cages, flasques, joints, jeu interne, tolérances, lubrifiant, exigences spéciales... 2 ZNR = 2 flasques + rainure + segment d'arrêt.

Normalisation des dimensions : les principales dimensions normalisées sont le diamètre de l'alésage du roulement (d), le diamètre extérieur (D), la largeur (B) et le rayon de l'arrondi des bagues (r). Pour un même alésage d , plusieurs D sont possibles et inversement. Pour un même couple (ci et D), plusieurs largeurs B sont possibles (séries de largeurs : 0-1-2-3-4).



En savoir plus sur http://www.zpag.net/Tecnologies_Industrielles/Roulements_Etude.htm#9d6W32oUySISJsR.99

Calcul des roulements :

Sous charge et au cours du mouvement de rotation les chemins des bagues de roulements reçoivent de la part des éléments roulants, billes ou rouleaux, des millions de compressions élastiques intermittentes. Il en résulte, avec le temps, des fissurations amenant progressivement un écaillage des surfaces. C'est le phénomène de fatigue.

1. Durée de vie normalisée L_{10}

La durée de vie L_{10} d'une série de roulements identiques, soumis à la même charge, est égale au nombre de tours, ou de révolutions, réalisés par 90 % des roulements de la série avant qu'apparaissent les premiers signes de fatigue.

Unités : la durée de vie normalisée se calcule en millions de tours, parfois par commodité en heures de fonctionnement.

Remarques :

-La fatigue est un phénomène aléatoire ou statistique. Autrement dit, des roulements identiques, de mêmes dimensions, de mêmes matériaux, appartenant à un même lot, tous chargés de la même façon, auront, après le même essai, des durées de vie différentes.

- L_{10} est la durée de vie (moyenne statistique) basée sur une fiabilité de 90 %, c'est-à-dire 90 % de survie après essai sur un même lot. L_{10} sert de référence à tous les roulements de la série.

2. Durée de vie corrigée L_n : fiabilité différente de 90 %

Si l'on désire obtenir une durée de vie L_n supérieure à L_{10} , ou à une fiabilité supérieure, celle-ci peut être obtenue par $L_n = a_1 \cdot L_{10}$ avec $a_1 = 4,48 [\ln(100/F)]^{2/3}$; avec F = fiabilité en %.

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

4. Durée de vie d'un ensemble ou d'une association de roulements

Lorsqu'un ensemble de roulements (E) comprend plusieurs roulements fonctionnant en même temps (exemple : arbre avec plusieurs roulements), la durée de vie L_{E10} de l'ensemble est fonction de la durée de vie L_j 10 de chacun des n roulements. Elle est définie par la relation suivante :

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

Exemple : deux roulements à rouleaux coniques d'un même arbre ont des durées respectives de 15 000 et 25 000 heures. Calculons la durée de vie probable du montage.

$$L_{E10} = \left[\left(\frac{1}{15\,000} \right)^{1,5} + \left(\frac{1}{25\,000} \right)^{1,5} \right]^{-\frac{1}{1,5}} = 11\,630 \text{ heures}$$

Cette durée est toujours inférieure à la plus petite des valeurs L_{10} , ici 15 000 heures

II - Capacité de charge dynamique C

En dépit de l'utilisation d'aciers spéciaux très résistants, les roulements ont une durée de vie limitée. Cette durée dépend principalement de la charge supportée. Plus la charge est faible, plus la durée de vie est longue, et inversement.

Définition : la charge dynamique de base C, d'une série de roulements identiques, est la charge radiale (axiale pour une butée), constante en intensité et en direction, que peut endurer 90 % des roulements du groupe pendant 1 million de tours, avant qu'apparaissent les premiers signes de fatigue.

Autrement dit, si un lot de 100 roulements identiques est soumis au cours d'un essai à sa charge de base C [$F_r = C$], 90 roulements du lot (90 %) auront une durée de vie qui atteindra ou dépassera 1 million de tours ($L_{10} = 1$).

Remarques :

-La capacité C est une des caractéristiques de base des roulements ; elle est indiquée dans les catalogues des fabricants en même temps que d , D , B et r .

-Pour une même référence normalisée de roulement, la valeur de C peut varier sensiblement d'un fabricant à l'autre.

III - Relation entre durée de vie L_{10} et charge dynamique C

$$L_{10} = (C/P)^n$$

L_{10} : durée de vie du roulement en millions de tours

C : charge dynamique de base

P : charge équivalente exercée sur le roulement (voir paragraphe suivant)

$n = 3$ pour les roulements à billes

$n = 10/3$ pour les roulements à rouleaux

Durée de vie L_{10h} en heures de fonctionnement

$$L_{10h} = L_{10} \cdot 10^6 / 60 \cdot N$$

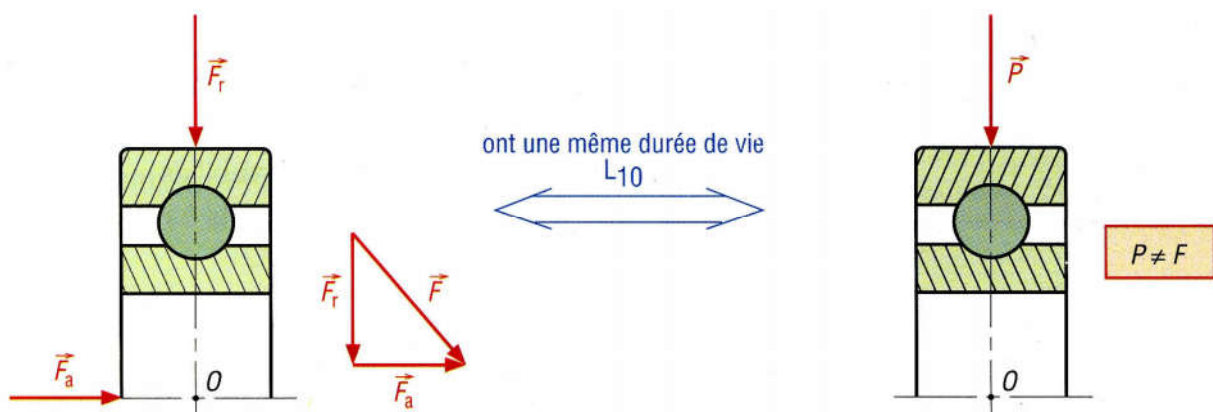
L10 : millions de tours

N : vitesse de rotation en tr/min.

Durées de vie indicatives de quelques paliers à roulements		
mode d'emploi	exemples d'emploi	durée de vie L_{10H}
usages intermittents	électroménager, outillages électroportatifs, automobiles, appareils de manutention et de levage, moteurs d'avions...	1 000 à 15 000
fonctionnant 8 heures par jour	véhicules industriels, machines-outils, machines agricoles, machines de production, réducteurs...	15 000 à 35 000
service en continu 24 heures 24	convoyeurs, compresseurs, laminoirs, certaines machines de production, ventilateurs, moteurs stationnaires	35 000 à 60 000
machines dont la fiabilité est très importante	machines à papier, machines textiles, navires, services des eaux, barrages, fours rotatifs, propulseurs...	60 000 à 100 000

IV - Calcul de la charge dynamique équivalente P

La charge équivalente P est une charge radiale pure, donnant exactement la même durée de vie que la combinaison charge axiale F_a plus charge radiale F_r réellement exercée sur le roulement. P est différent de la charge combinée F.

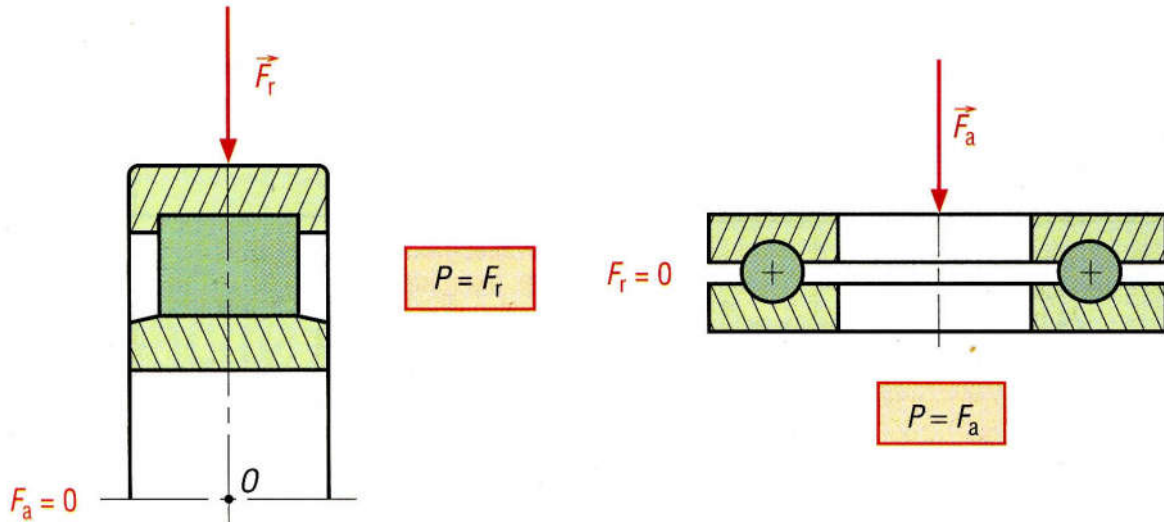


1. Charge équivalente P et charges exercées F_a et F_r .

1. Cas particuliers

Dans le cas des roulements à aiguilles et des roulements à rouleaux cylindriques avec bagues séparables : $F_a = 0$ et $P = F_r$.

Avec des butées ne supportant que des charges axiales : $F_r = 0$ et $P = F_a$.



2. Valeur de P dans le cas des roulements à rouleaux cylindriques.

3. Valeur de P dans le cas des butées.

2. Cas général d'une charge combinée

F_a et F_r étant connues, la charge P est calculée à l'aide de la relation :

$$P = X F_r + Y F_a$$

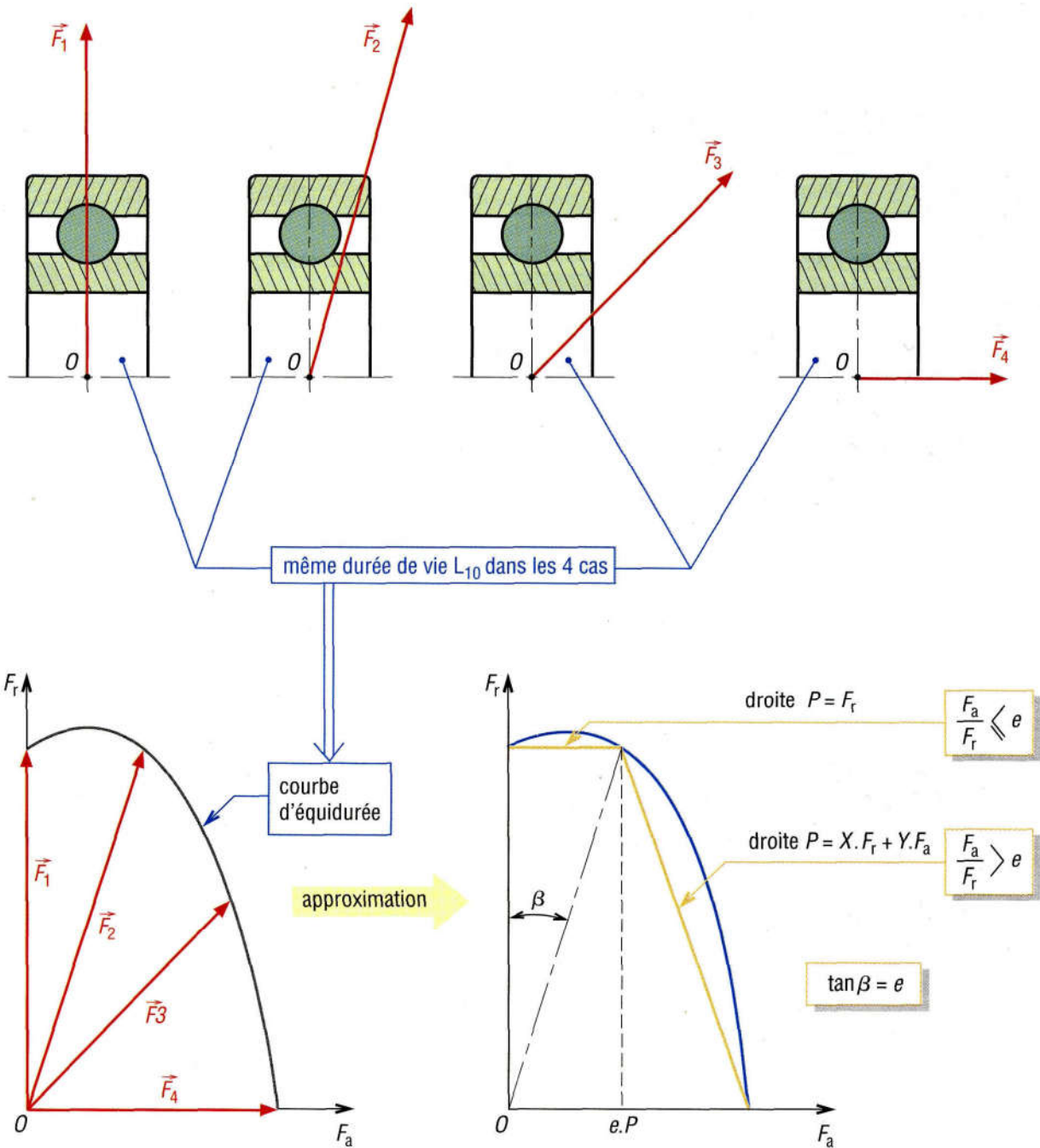
X et Y sont des coefficients normalisés liés à la nature du roulement et à ses dimensions (tableau des Valeurs des coefficients X et Y).

Remarques :

- Si la bague extérieure tourne par rapport à la direction de la charge la valeur de P est calculée par :

$$P = 1,2 \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

- Les relations précédentes sont obtenues à partir des courbes expérimentales d'équidurée.



4. Principe des courbes d'équidurée.

Sous l'action des charges F_1, F_2, F_3 ou F_4 le roulement a la même durée de vie.

La courbe d'équidurée est obtenue en traçant la courbe passant par les extrémités des charges précédentes, toutes tracées à partir du même point d'application O .

Cette courbe est ensuite approximée par des droites pour en simplifier l'exploitation (permet de définir les coefficients $X, Y, e = \tan \beta \dots$).

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 $P = 0,56.F_r + Y.F_a$ les valeurs de e et Y dépendent du rapport $\frac{f_0.F_a}{C_0}$ ou $\frac{F_a}{C_0}$ (voir ci-dessous)									
$\frac{f_0.F_a}{C_0}$	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					roulements à rotules sur rouleaux				
si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ alors $P = F_r + Y_1.F_a$ si $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = 0,65.F_r + Y_2.F_a$ avec $\begin{cases} e = 1,5.\tan(\alpha) \\ Y_1 = 0,42.\cotan(\alpha) \\ Y_2 = 0,65.\cotan(\alpha) \end{cases}$									
les valeurs de e , Y_1 et Y_2 sont indiquées dans les tableaux de dimensions avec d , D , b et r .					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 $P = 0,4.F_r + Y.F_a$ avec $\begin{cases} e = 1,5.\tan(\alpha) \\ Y = 0,4.\cotan(\alpha) \end{cases}$ les valeurs de e , Y sont indiquées dans les tableaux de dimensions avec d , D , b et r .						roulements à deux rangées si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$: $P = F_r + Y_1.F_a$ si $\frac{F_a}{F_r} > e$: $P = 0,67.F_r + Y_2.F_a$ avec $\begin{cases} e = 1,5.\tan(\alpha) \\ Y_1 = 0,45.\cotan(\alpha) \\ Y_2 = 0,67.\cotan(\alpha) \end{cases}$ mêmes valeurs que rotules sur rlx			
roulements à billes à contact oblique									
		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 $\frac{F_a}{F_r} > e$	
α degrés	e	X	Y	X	Y	X	Y	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 $\frac{F_a}{C_0}$.									

V - Capacité de charge statique C_0 et charge statique équivalente P_0

Pour un roulement chargé à l'arrêt, ou dans le cas de mouvements de faible amplitude et de petites oscillations, C_0 représente la charge statique limite à ne pas dépasser. Au-delà de cette charge, les déformations des éléments roulants deviennent inadmissibles.

La plupart des fabricants admettent une déformation maximale admissible égale à 0,0001 du diamètre moyen de l'élément roulant (conformément à l'ISO 76).

C_0 est une grandeur caractéristique du roulement indiquée dans les catalogues de fabricants en même temps que d , D , B , C ...

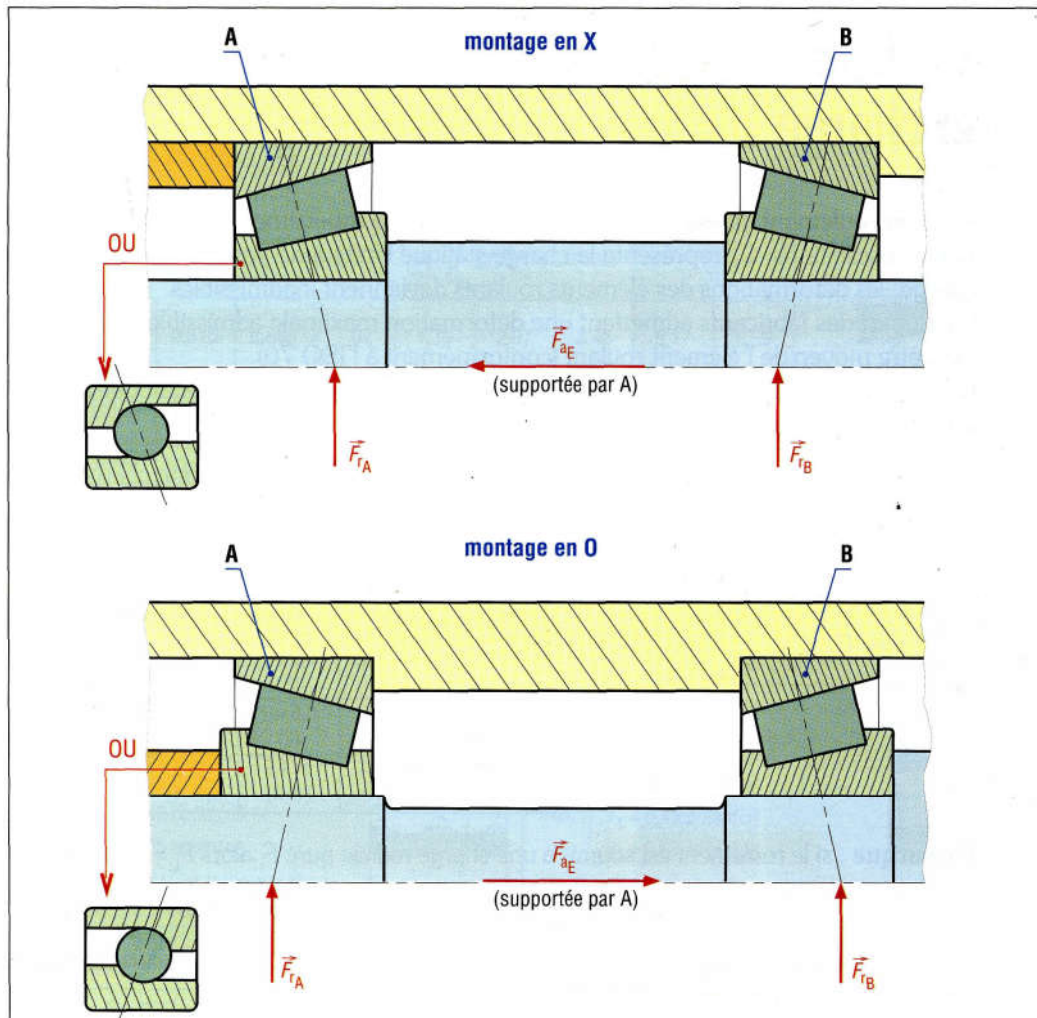
Comme C , C_0 est une charge radiale pure. Si le roulement est soumis à une charge combinée F_a plus F_r , il est nécessaire de calculer au préalable la charge statique équivalente P_0 (analogie avec P).

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \text{ avec } P_0 \cdot S_0 \leq C_0$$

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

Remarque : si le roulement est soumis à une charge radiale pure F_r alors $P_0 = F_r$ avec $P_0 \cdot S_0 \leq C_0$.

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	$0,44 \cdot \cotan \alpha$



La méthode est identique avec les rouleaux coniques et les contacts obliques. F_{rA} et F_{rB} sont des modules.

Méthode de calcul ISO		
	cas 1	cas 2
condition à vérifier	$\frac{0,5 F_{rA}}{Y_A} \leq F_{aE} + \left(\frac{0,5 F_{rB}}{Y_B} \right)$	$\frac{0,5 F_{rA}}{Y_A} > F_{aE} + \left(\frac{0,5 F_{rB}}{Y_B} \right)$
charges axiales totales	$F_{aA} = F_{aE} + \frac{0,5 F_{rB}}{Y_B}$ $F_{aB} = \frac{0,5 F_{rB}}{Y_B}$	$F_{aA} = \frac{0,5 F_{rA}}{Y_A}$ $F_{aB} = \frac{0,5 F_{rA}}{Y_A} - F_{aE}$
charges équivalentes P_A et P_B	$P_B = F_{rB}$ si $\frac{F_{aA}}{F_{rA}} > e_A$ alors $P_A = 0,4 F_{rA} + Y_A \cdot F_{aA}$ si $\frac{F_{aA}}{F_{rA}} \leq e_A$ alors $P_A = F_{rA}$	$P_A = F_{rA}$ si $\frac{F_{aB}}{F_{rB}} > e_B$ alors $P_B = 0,4 F_{rB} + Y_B \cdot F_{aB}$ si $\frac{F_{aB}}{F_{rB}} \leq e_B$ alors $P_B = F_{rB}$

5. Méthode de calcul ISO.

Pour appliquer la méthode, appeler A le roulement supportant F_a

VI - Calcul des roulements

Données nécessaires : F_a , F_r et N , la vitesse de rotation. La durée de vie L_{10} dépend de ces paramètres.

Autres paramètres usuels : diamètre minimal d_{mini} de l'arbre, fourni par la résistance des matériaux, et D_{maxi} , qui résulte de l'encombrement général et de la place disponible.

Faire le choix d'un type de roulement ou du moins en limiter le nombre.

1. Calcul de vérification

Ils sont destinés à vérifier la durée de vie d'un roulement dont les dimensions $\{d, D, B, C, C_0, e, Y...\}$ sont connues.

2. Calculs de détermination

L'objectif est de choisir un roulement et ses dimensions connaissant une durée de vie souhaitée. Il est nécessaire de procéder par itération (calculs de vérification successifs à partir de roulements judicieusement choisis) avant d'envisager un choix définitif.

Il existe de nombreux logiciels d'assistance permettant d'effectuer rapidement ce type de calcul.

3. Cas des roulements à contact oblique et à rouleaux coniques

Pour ces roulements, le calcul de la charge axiale F_a présente une différence du fait de la géométrie particulière des bagues. Pour chaque roulement, l'action de la charge radiale F_r entraîne par « effet de cône », la création d'une charge axiale induite (F_{ai}) s'ajoutant ou se retranchant à celle déjà exercée par l'arbre (F_{aE}).

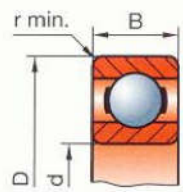
Dans la méthode de calcul normalisé ISO, $F_{ai} = 0,5.F_r/Y$. Cette méthode permet de calculer les charges axiales totales F_{aA} et F_{aB} résultant de F_{aE} et des charges axiales induites F_{ai} , puis de déduire les charges équivalentes P_A et P_B . Les autres calculs ($L_{10}...$) ne sont pas différents de ceux des autres roulements.

16.3 Dimensions et caractéristiques

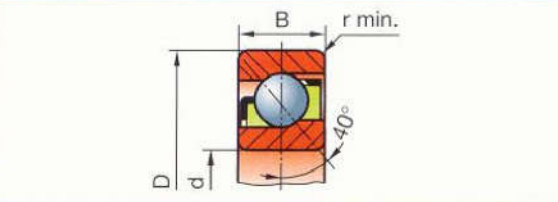
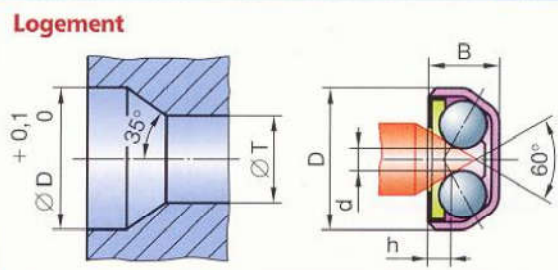
Roulements à une rangée de billes à contact radial							Roulements ouverts		Roulements à flasques		Roulements à joints		
Écart sur B (sauf roulements coniques)			$d \leq 50$	$0; -0,120$									
			$d > 50$	$0; -0,150$									
d^{**}	D	B	r	C_0 N	C N	n max.* tr/min	d	D	B	r	C_0 N	C N	n max.* tr/min
1	3	1	0,04	15	52	147 000	17	47	14	1	6 550	13 500	19 000
1,5	4	1,2	0,05	20	85	105 000	20	42	12	0,6	5 000	9 360	20 000
2	5	1,5	0,05	30	111	91 000	20	47	14	1	6 550	12 700	18 000
2,5	7	2,5	0,15	75	260	74 000	20	52	15	1,1	7 800	15 900	16 000
3	10	4	0,1	230	640	70 000	25	47	12	0,6	6 550	11 200	18 000
4	13	5	0,2	490	1 300	58 000	25	52	15	1	7 800	14 000	15 000
5	16	5	0,3	680	1 880	52 000	25	62	17	1,1	11 600	22 500	14 000
6	19	6	0,3	1 050	2 460	41 000	30	55	13	1	8 300	13 300	15 000
8	22	7	0,3	1 360	3 300	42 000	30	62	16	1	11 200	19 500	13 000
9	24	7	0,3	1 640	3 650	37 000	30	72	19	1,1	16 000	28 100	11 000
9	26	8	0,3	1 960	4 620	34 000	35	62	14	1	10 200	15 900	13 000
10	26	8	0,3	1 970	4 600	34 000	35	72	17	1,1	15 300	25 500	11 000
10	30	9	0,6	2 650	6 000	27 000	35	80	21	1,5	19 000	33 200	10 000
10	35	11	0,6	3 450	8 100	25 000	40	80	18	1,1	19 000	30 700	10 000
12	28	8	0,3	2 370	5 100	32 000	40	90	23	1,5	24 000	41 000	9 000
12	32	10	0,6	3 100	6 900	26 000	45	85	19	1,1	21 600	33 200	9 000
12	37	12	1	4 200	9 700	23 000	45	100	25	1,5	31 500	52 700	8 000
15	32	9	0,3	2 850	5 590	28 000	50	90	20	1,1	23 200	35 100	8 500
15	35	11	0,6	3 750	7 800	24 000	50	110	27	2	38 000	61 800	7 500
15	42	13	1	5 400	11 400	20 000							
17	35	10	0,3	3 250	6 050	24 000							
17	40	12	0,6	4 750	9 560	20 000							

Roulements miniatures à contact oblique					
Type	d	D	B	h	T max.
C 1	0,13	1,10	0,70	0,23	0,80
C 165	0,20	1,65	1	0,35	1,25
C 270	0,37	2,70	1,50	0,45	2,10
C 425	0,55	4,25	2,35	0,68	3,20
C 750	1,12	7,50	3,75	1,06	5,70
C 1075	1,60	10,75	5,35	1,42	8

Roulements à une rangée de billes à contact oblique						
d	D	B	r	C_0 N	C N	n max.* tr/min
10	39	9	0,6	3 350	7 020	28 000
12	32	10	0,6	3 800	7 610	26 000
12	37	12	1	5 000	10 600	24 000
15	35	11	0,6	4 800	8 840	24 000
15	42	13	1	6 700	13 000	20 000
17	40	12	0,6	6 100	11 100	20 000
17	47	14	1	8 300	15 900	18 000
20	47	14	1	8 300	14 000	17 000
20	52	15	1,1	10 400	19 000	16 000
25	52	15	1	10 200	15 600	10 000
25	62	17	1,1	15 600	25 000	13 000
30	62	16	1	15 600	23 800	12 000
30	72	19	1,1	21 200	34 500	11 000
35	72	17	1,1	20 800	30 700	11 000
35	80	21	1	24 500	39 000	10 000
40	80	18	1,1	26 000	36 400	9 500
40	90	23	1,5	33 500	49 400	9 000
45	85	19	1,1	28 000	37 500	9 000
45	100	25	1,5	41 500	60 500	8 000
50	90	20	1,1	30 500	39 000	8 000
50	110	27	2	51 000	74 100	7 000



C_0 : charge statique de base
C : charge dynamique de base



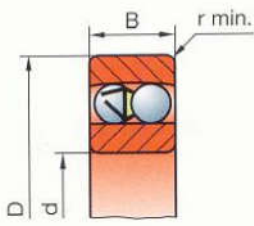
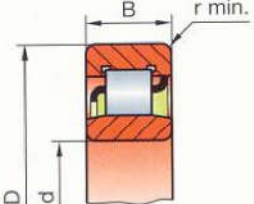
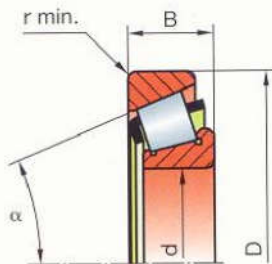
* Pour une lubrification à la graisse, réduire ces valeurs de 20 % environ. ** Pour $d \leq 2,5$, fabrication INA.

Roulements à rouleaux coniques						
Angle de conicité α compris entre 10° et 17° .						
Écart sur B			$\pm 0,250$			
d	D	B	r	C ₀ N	C N	n max.* tr/min
15	42	14,25	1	20 000	22 400	13 000
17	40	13,25	1	18 600	19 000	13 000
17	47	15,25	1	25 000	28 100	12 000
17	47	20,25	1	33 500	34 700	11 000
20	42	15	0,6	27 000	24 200	12 000
20	47	15,25	1	28 000	27 500	11 000
20	52	16,25	1,5	32 500	34 100	11 000
20	52	22,25	1,5	45 500	44 000	10 000
25	47	15	0,6	32 500	33 500	56 000
25	52	16,25	1	27 000	30 800	47 300
25	52	22	1	11 000	10 000	9 000
30	72	20,75	1,5	56 000	56 100	7 500
30	62	17,25	1	44 000	40 200	8 500
30	62	21,25	1	57 000	50 100	8 500
30	72	28,75	1,5	85 000	76 500	7 000

d	D	B	r	C ₀ N	C N	n max.* tr/min
35	72	18,25	1,5	56 000	51 200	7 000
35	72	24,25	1,5	78 000	66 000	5 300
35	72	28	1,5	106 000	84 200	4 800
35	80	32,75	2	114 000	93 500	6 000
40	80	19,75	1,5	68 000	61 600	6 300
40	80	24,75	1,5	86 500	74 800	6 300
40	90	20,25	2	95 000	85 800	4 500
45	85	20,75	1,5	76 500	66 000	6 000
45	85	24,75	1,5	93 000	73 700	5 600
45	100	27,25	2	120 000	108 000	5 300
50	90	21,75	1,5	91 500	76 500	5 800
50	110	29,25	2,5	140 000	125 000	4 800

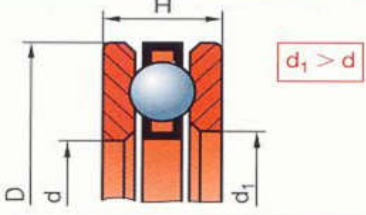
Roulements à rouleaux cylindriques, bague extérieure à deux épaulements						
d	D	B	r	C ₀ N	C N	n max.* tr/min
15	35	11	0,6	10 200	12 500	22 000
15	42	13	1	15 300	19 400	16 000
17	40	12	0,6	14 300	17 200	19 000
17	40	16	0,6	21 600	23 800	19 000
17	47	14	1	20 400	24 600	17 000
20	47	14	1	22 000	25 100	16 000
20	52	15	1,1	26 000	30 800	15 000
25	52	15	1	27 000	28 600	14 000
25	62	17	1,1	36 500	40 200	12 000
30	62	16	1	36 500	38 000	12 000

Roulements à deux rangées de billes, à rotule dans la bague extérieure						
d	D	B	r	C ₀ N	C N	n max.* tr/min
5	19	6	0,3	480	2 510	38 000
6	19	6	0,3	480	2 510	38 000
7	22	7	0,3	560	2 650	36 000
9	26	8	0,6	815	3 900	32 000
10	30	9	0,6	1 180	5 530	30 000
10	30	14	0,6	1 730	8 060	28 000
12	32	10	0,6	1 430	6 240	28 000
12	32	14	0,6	1 900	8 520	26 000
12	37	12	1	2 160	2 360	22 000
15	35	11	0,6	1 760	7 410	24 000
15	35	14	0,6	2 040	8 710	22 000
15	42	13	1	2 600	10 800	20 000
17	40	12	0,6	2 200	8 840	22 000
17	40	16	0,6	2 550	10 600	20 000
17	47	14	1	3 400	12 700	17 000
20	47	14	1	3 400	12 700	18 000
20	47	18	1	4 150	16 800	17 000
20	52	15	1,1	4 000	14 300	15 000



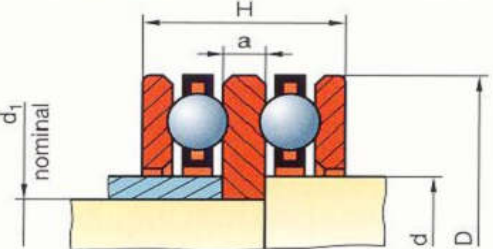
* Pour une lubrification à la graisse, réduire ces valeurs de 20 % à 25 % environ.

Butées à billes à simple effet					
d	D	H	C ₀ N	C N	n max.* tr/min
10	24	9	12 200	8 710	9 500
12	26	9	16 600	10 400	9 000
12	28	11	20 800	13 300	8 000
15	28	9	15 300	9 360	8 500
15	32	12	27 000	16 500	7 000
17	30	9	16 600	9 750	8 500
17	35	12	30 000	17 200	6 700
20	35	10	22 800	12 700	7 500
20	40	14	40 500	22 500	6 000
25	42	11	31 500	15 900	6 300
25	47	15	55 000	27 600	5 300



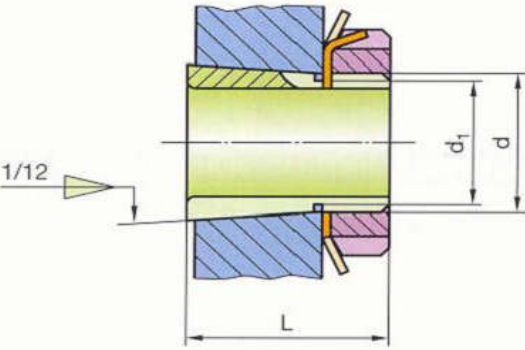
d	D	H	C ₀ N	C N	n max.* tr/min
30	47	11	36 000	16 800	6 000
30	52	16	51 000	25 500	4 800
35	52	12	40 500	17 400	5 600
35	62	18	73 500	35 100	4 000
40	60	13	55 000	23 400	5 000

Butée à billes à double effet							
d ₁	d	D	H	a	C ₀ N	C N	n max.* tr/min
10	15	32	22	5	27 000	16 500	7 000
15	20	40	26	6	40 500	22 500	6 000
20	25	47	28	7	55 000	27 600	5 300
20	25	52	34	8	60 000	34 500	4 500
25	30	52	29	7	51 000	22 500	4 800
25	30	60	38	9	71 000	37 700	3 800
30	35	62	34	8	73 500	35 100	4 000
30	40	68	36	9	106 000	46 800	3 800
35	45	73	37	9	86 500	39 000	3 600
35	45	85	52	12	153 000	76 100	2 800
40	50	78	39	9	116 000	49 400	3 400



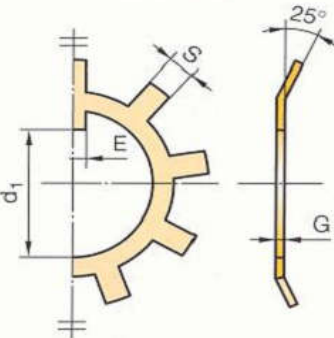
d ₁	d	D	H	a	C ₀ N	C N	n max.* tr/min
40	50	95	58	14	190 000	88 400	2 600
45	55	90	45	10	146 000	61 800	2 800
45	55	105	64	15	224 000	104 000	2 200
50	60	95	46	10	150 000	62 400	2 800

Manchons coniques de serrage		
Les manchons coniques de serrage s'utilisent avec des roulements à alésage conique. Ils sont intéressants car ils permettent de fixer les roulements sur des arbres lisses. Ils s'utilisent à partir de d ≥ 20.		
d	d ₁	L
20	17	24 - 28 - 31
25	30	26 - 29 - 35
30	25	27 - 31 - 38
35	30	29 - 35 - 43
40	35	31 - 36 - 46
45	40	33 - 39 - 50
50	45	35 - 42 - 55

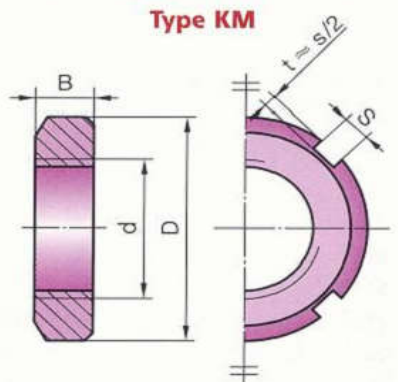


Rondelles frein - Écrous à encoches							
N°	d × pas	D	B	S	d ₁	E	G
0	M10 × 0,75	18	4	3	8,5	3	1
1	12 × 1	22	4	3	10,5	3	1
2	15 × 1	25	5	4	13,5	4	1
3	17 × 1	28	5	4	15,5	4	1
4	20 × 1	32	6	4	18,5	4	1
5	25 × 1,5	38	7	5	23	5	1,25
6	30 × 1,5	45	7	5	27,5	5	1,25
7	35 × 1,5	52	8	5	32,5	6	1,25
8	40 × 1,5	58	9	6	37,5	6	1,25
9	45 × 1,5	65	10	6	42,5	6	1,25
10	50 × 1,5	70	11	6	47,5	6	1,25

Type MB



Type KM



* Pour une lubrification à la graisse, réduire ces valeurs de 25 % environ.