
NORME INTERNATIONALE 281/1

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

Roulements — Charges dynamiques de base et durée nominale — Partie I : Méthodes de calcul

*Rolling bearings — Dynamic load ratings and rating life —
Part I : Calculation methods*

Première édition — 1977-03-15

CDU 621.822

Réf. n° : ISO 281/I-1977 (F)

Descripteurs : roulement, roulement à billes, roulement à rouleaux, butée à billes, butée à rouleaux, charge dynamique, caractéristique nominale, durée de vie, règle de calcul.

Prix basé sur 10 pages

AVANT-PROPOS

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme internationale ISO 281/1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 4, *Roulements*, et a été soumise aux comités membres en janvier 1976.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée :

Afrique du Sud, Rép. d'	Hongrie	Suède
Allemagne	Inde	Suisse
Australie	Italie	Tchécoslovaquie
Bulgarie	Japon	Turquie
Canada	Mexique	U.R.S.S.
Chili	Pays-Bas	U.S.A.
Corée, Rép. de	Pologne	Yougoslavie
Espagne	Roumanie	
France	Royaume-Uni	

Le comité membre du pays suivant l'a désapprouvée pour des raisons techniques :

Autriche

Cette Norme internationale annule et remplace la Recommandation ISO/R 281-1962, dont elle constitue une révision technique.

Dans la note d'introduction de l'ISO/R 281-1962, *Roulements – Méthodes d'évaluation des taux de charge dynamique*, il est dit «Il est entendu que les calculs devront être revus de temps en temps, à la suite de perfectionnements apportés ou de développements nouveaux».

Depuis les années 50, date d'élaboration de l'ISO/R 281, l'expérience a montré qu'en pratique, toute différence théorique peut être négligée entre les deux cas de rotation par rapport à la charge : bague intérieure ou bague extérieure. C'est pourquoi le facteur de rotation peut être supprimé d'un calcul normalisé. Par ailleurs, le calcul des durées pour des fiabilités supérieures à 90 % a pris de plus en plus d'intérêt. Enfin, il a paru justifié de corriger la durée nominale lorsque les matériaux utilisés n'ont pas les mêmes caractéristiques que l'acier à roulement conventionnel, et/ou lorsque la lubrification n'est pas parfaite.

Dans la présente Norme internationale, ont été prises en considération les remarques ci-dessus.

La partie I, Méthodes de calcul, contient la substance même de la présente Norme internationale, tandis que la partie II, Notes explicatives, donne des renseignements complémentaires quant à l'origine des formules et facteurs donnés dans la partie I.

SOMMAIRE	Page
0 Introduction	1
1 Objet et domaine d'application	1
2 Définitions.	1
3 Symboles.	2
4 Roulements à billes (radiaux)	
4.1 Charge radiale dynamique de base	2
4.2 Charge radiale dynamique équivalente	5
4.3 Durée nominale	5
5 Butées à billes	
5.1 Charge axiale dynamique de base	5
5.2 Charge axiale dynamique équivalente	6
5.3 Durée nominale	6
6 Roulements à rouleaux (radiaux)	
6.1 Charge radiale dynamique de base	7
6.2 Charge radiale dynamique équivalente	7
6.3 Durée nominale	8
7 Butées à rouleaux	
7.1 Charge axiale dynamique de base	8
7.2 Charge axiale dynamique équivalente	9
7.3 Durée nominale	9
8 Corrections à la durée	
8.1 Généralités	10
8.2 Facteur de correction lié à la fiabilité	10
8.3 Facteur de correction lié au matériau	10
8.4 Facteur de correction lié aux conditions de fonctionnement	10

Roulements — Charges dynamiques de base et durée nominale — Partie I : Méthodes de calcul

0 INTRODUCTION

Il est le plus souvent impensable de vérifier qu'un roulement choisi pour une application donnée lui est effectivement approprié, par un nombre d'essais suffisant. Cette vérification requiert donc d'autres méthodes.

La durée, telle que définie en 2.1, est le laps de temps durant lequel un roulement assure un service sans défaillance, sous réserve qu'il soit correctement monté, convenablement lubrifié, protégé des matières étrangères et ne soit pas soumis à des conditions de fonctionnement éprouvantes imprévues. Un calcul de durée fiable est par conséquent considéré comme un substitut aux essais, approprié et avantageux.

Le but de la présente Norme internationale est de fournir les bases nécessaires à ce calcul de durée.

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme internationale présente des méthodes de calcul de la charge dynamique de base et de la durée nominale de roulements dans les gammes de dimensions présentées dans les publications ISO correspondantes. Ces roulements sont réputés fabriqués à partir d'un acier trempé de bonne qualité, par des méthodes éprouvées et de conception classique pour ce qui concerne la forme des surfaces de contact roulantes.

Elle indique aussi comment calculer une durée corrigée qui tienne compte des fiabilités, matériaux et conditions de fonctionnement variés.

L'état actuel des connaissances ne permet pas d'introduire dans la présente Norme internationale des précisions telles que les caractéristiques de ce qu'on entend par acier trempé de bonne qualité (analyse, inclusions, structure, dureté, etc.) ou telles que des valeurs numériques pour les facteurs de correction attachés au matériau ou aux conditions de fonctionnement. Des révisions de la présente Norme internationale seront donc nécessaires de temps en temps, qui tiennent compte de nouvelles recherches ou nouveaux résultats applicables à tel ou tel type de roulement.

Des calculs conduits selon la présente Norme internationale ne donneront pas de résultats satisfaisants pour des roulements soumis à des conditions de fonctionnement telles, ou construits de manière que la surface de contact entre éléments roulants et chemins soit fortement tronquée. De tels calculs ne sont donc, par exemple, pas applicables à des roulements à billes à encoches de remplissage, qui

déborderaient sur cette surface de contact lorsque le roulement est chargé.

Il en sera de même si les conditions de fonctionnement perturbent la répartition normale des charges, par exemple déversement, flexion d'arbre ou de logement, efforts centrifuges sur les éléments roulants ou autres effets de vitesses élevées, précharge ou jeu excessif. En pareil cas, l'utilisateur devrait consulter le fabricant pour obtenir ses conseils en matière de charge équivalente et évaluation de la durée.

La présente Norme internationale ne s'applique pas non plus à des constructions dans lesquelles les éléments roulants portent directement sur un arbre ou dans un logement, à moins que leur surface ne soit à tous égards équivalente à celle du chemin de la bague ou de la rondelle qu'ils remplacent.

Les roulements à deux rangées et les butées à double effet sont ici réputés symétriques.

D'autres limites de validité particulières à certains types se trouvent aux chapitres correspondants.

2 DÉFINITIONS

2.1 durée : Pour un roulement considéré isolément, nombre de tours que l'une de ses bagues (ou rondelles s'il s'agit d'une butée) effectue par rapport à l'autre avant l'apparition du premier signe de fatigue de la matière de l'une des bagues (ou rondelles) ou de l'un des éléments roulants.

2.2 fiabilité (dans le présent contexte de durée) : Pour un groupe de roulements apparemment identiques et fonctionnant dans les mêmes conditions, pourcentage de ces roulements qu'on s'attend à voir atteindre ou dépasser une durée déterminée.

La fiabilité d'un roulement considéré isolément est la probabilité de le voir atteindre ou dépasser une durée déterminée.

2.3 durée nominale : Pour un roulement considéré isolément, ou un groupe de roulements apparemment identiques fonctionnant dans les mêmes conditions, durée associée à une fiabilité de 90 %.

2.4 charge radiale dynamique de base : Charge radiale constante en intensité et en direction, qui peut être théori-

quement supportée pour une durée nominale de 1 000 000 de tours. Dans le cas d'un roulement à une rangée à contact oblique, il s'agit de la composante radiale de la charge qui provoque un déplacement purement radial des bagues l'une par rapport à l'autre.

2.5 charge axiale dynamique de base : Charge axiale constante et centrée qui peut être théoriquement supportée pour une durée nominale de 1 000 000 de tours.

2.6 charge radiale dynamique équivalente : Charge radiale constante en intensité et en direction sous laquelle la durée atteinte serait la même qu'avec les charges réellement appliquées.

2.7 charge axiale dynamique équivalente : Charge axiale constante et centrée sous laquelle la durée atteinte serait la même qu'avec les charges réellement appliquées.

2.8 diamètre de rouleau à utiliser dans les calculs de charge de base : Diamètre au milieu du rouleau.

NOTE — Sur un rouleau conique, c'est la moyenne arithmétique des diamètres théoriques sur angles vifs aux deux extrémités.

Sur un rouleau convexe non symétrique, c'est une approximation suffisante du diamètre réel au niveau du point de contact avec le chemin de la bague démunie d'épaulements, sous charge nulle.

2.9 longueur de rouleau à utiliser dans les calculs de charge de base : Longueur maximale théorique du contact entre le rouleau et celui des chemins sur lequel le contact est le plus court.

NOTE — En pratique, ce sera soit la distance entre les arêtes vives théoriques d'extrémité du rouleau, diminuée des arrondis, soit la largeur du chemin, dégagements de rectification exclus — selon celle de ces deux valeurs qui est la plus faible.

2.10 angle nominal de contact : Angle existant entre un plan perpendiculaire à l'axe et la ligne théorique d'action de la résultante des efforts transmis par une des bagues ou rondelles à l'un des éléments roulants.

3 SYMBOLES

- C_r = charge radiale dynamique de base, en newtons
- C_a = charge axiale dynamique de base, en newtons
- C_{or} = charge radiale statique de base¹⁾, en newtons
- C_{oa} = charge axiale statique de base¹⁾, en newtons
- D_w = diamètre de bille, en millimètres
- D_{we} = diamètre de rouleau à utiliser dans les calculs de charges de base, en millimètres
- D_{pw} = diamètre primitif (de giration des éléments roulants), en millimètres
- F_r = charge radiale, composante radiale de la charge appliquée, en newtons
- F_a = charge axiale, composante axiale de la charge appliquée, en newtons

- L_{10} = durée nominale, en millions de tours
- L_n = durée corrigée pour une fiabilité de $(100 - n) \%$, en millions de tours
- L_{10a} = durée corrigée pour matière ou conditions de fonctionnement non conventionnelles, en millions de tours
- L_{na} = durée corrigée pour matière ou conditions de fonctionnement non conventionnelles et fiabilité de $(100 - n) \%$, en millions de tours
- L_{we} = longueur de rouleau à utiliser dans les calculs de charges de base, en millimètres
- P_r = charge radiale dynamique équivalente, en newtons
- P_a = charge axiale dynamique équivalente, en newtons
- X = facteur de charge radiale
- Y = facteur de charge axiale
- Z = nombre de billes ou rouleaux dans un roulement à une rangée, nombre de billes ou rouleaux par rangée dans le cas de plusieurs rangées en comportant chacune le même nombre
- a_1 = facteur de correction de durée pour une fiabilité différente de 90 %
- a_2 = facteur de correction de durée pour matière non conventionnelle
- a_3 = facteur de correction de durée pour conditions de fonctionnement non conventionnelles
- e = limite du rapport F_a/F_r pour le choix des facteurs X et Y
- f_c = facteur dépendant de la géométrie des éléments, de leur précision et de leur matériau
- i = nombre de rangées de billes ou de rouleaux
- α = angle nominal de contact, en degrés

4 ROULEMENTS À BILLES (RADIAUX)

4.1 Charge radiale dynamique de base

Pour les roulements à contact droit et à contact oblique, sa valeur se calcule ainsi :

pour $D_w \leq 25,4$ mm :

$$C_r = f_c (i \cos \alpha)^{0,7} Z^{2/3} D_w^{1,8}$$

pour $D_w > 25,4$ mm :

$$C_r = 3,647 f_c (i \cos \alpha)^{0,7} Z^{2/3} D_w^{1,4}$$

Les valeurs du facteur f_c sont données dans le tableau 1. Elles s'appliquent à condition que le rayon de courbure du chemin des bagues intérieures des roulements à contact

1) Pour la définition et la méthode de calcul, voir ISO 76, *Roulements — Charges statiques de base*. (Actuellement au stade de projet : révision de l'ISO/R 76.)

droit et contact oblique ne soit pas supérieur à $0,52 D_w$ et que le rayon de courbure du chemin des bagues extérieures des roulements de ces mêmes types et des bagues intérieures des roulements à rotule sur billes ne soit pas supérieur à $0,53 D_w$.

L'aptitude d'un roulement à supporter les charges n'est pas nécessairement améliorée par l'emploi de rayons plus petits, mais décroît par l'emploi de rayons plus grands que ceux indiqués ci-dessus.

4.1.1 Ensembles de roulements

a) Lors du calcul de la charge radiale de base de deux roulements à une rangée et contact droit, semblables et montés côte à côte sur le même arbre de telle manière qu'ils constituent un ensemble (montage par paire), cette paire de roulements est considérée comme un seul roulement à deux rangées et contact droit.

b) Lors du calcul de la charge radiale de base de deux roulements à une rangée et contact oblique, semblables

et montés côte à côte sur le même arbre de telle manière qu'ils constituent un ensemble (montage par paire) dans les dispositions O (dos à dos) ou X (face à face), cette paire de roulements est considérée comme un seul roulement à deux rangées et contact oblique.

c) La charge radiale de base de deux ou plusieurs roulements à une rangée et contact oblique, semblables et montés côte à côte sur le même arbre de telle manière qu'ils constituent un ensemble (montage par paire ou par ensemble) dans la disposition T (tandem) – et s'ils sont convenablement fabriqués et montés de manière à se répartir également la charge – est égale au nombre de roulements à la puissance 0,7, multiplié par la charge de base d'un seul.

Si, pour une raison technique quelconque, le tout est considéré comme un certain nombre de roulements à une rangée qui peuvent être remplacés indépendamment les uns des autres, l'alinéa ci-dessus ne s'applique pas.

TABLEAU 1 – Facteur f_c pour roulements à billes (radiaux)

$\frac{D_w \cos \alpha}{D_{pw}}$	f_c			
	Roulements à billes à contact droit, une rangée et roulements à billes à contact oblique, une et deux rangées	Roulements à billes à contact droit, deux rangées	Roulements à rotule sur billes, une et deux rangées	Roulements à billes à contact droit, une rangée, séparables (roulements «magnéto»)
0,05	46,7	44,2	17,3	16,2
0,06	49,1	46,5	18,6	17,4
0,07	51,1	48,4	19,9	18,5
0,08	52,8	50,0	21,1	19,5
0,09	54,3	51,4	22,3	20,6
0,10	55,5	52,6	23,4	21,5
0,12	57,5	54,5	25,6	23,4
0,14	58,8	55,7	27,7	25,3
0,16	59,6	56,5	29,7	27,1
0,18	59,9	56,8	31,7	28,8
0,20	59,9	56,8	33,5	30,5
0,22	59,6	56,5	35,2	32,1
0,24	59,0	55,9	36,8	33,7
0,26	58,2	55,1	38,2	35,2
0,28	57,1	54,1	39,4	36,6
0,30	56,0	53,0	40,3	37,8
0,32	54,6	51,8	40,9	38,9
0,34	53,2	50,4	41,2	39,8
0,36	51,7	48,9	41,3	40,4
0,38	50,0	47,4	41,0	40,8
0,40	48,4	45,8	40,4	40,9

Les valeurs de f_c à retenir pour des rapports $\frac{D_w \cos \alpha}{D_{pw}}$ intermédiaires s'obtiennent par interpolation linéaire.

TABLEAU 2 – Facteurs X et Y pour roulements à billes (radiaux)

Type de roulement	Charge axiale «relative» ¹⁾		Roulements à une rangée				Roulements à deux rangées				e	
			$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$			
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
À contact droit	$\frac{F_a}{C_{or}}$	$\frac{F_a}{i Z D_w^2}$										
	0,014	0,172				2,30			2,30	0,19		
	0,028	0,345				1,99			1,99	0,22		
	0,056	0,689				1,71			1,71	0,26		
	0,084	1,03				1,55			1,55	0,28		
	0,11	1,38	1	0	0,56	1,45	1	0	0,56	1,45	0,30	
	0,17	2,07				1,31			1,31	0,34		
	0,28	3,45				1,15			1,15	0,38		
	0,42	5,17				1,04			1,04	0,42		
	0,56	6,89				1,00			1,00	0,44		
À contact oblique	α	$\frac{i F_a}{C_{or}}$	$\frac{F_a}{Z D_w^2}$									
	5°	0,014	0,172							2,78	3,74	0,23
		0,028	0,345							2,40	3,23	0,26
		0,056	0,689							2,07	2,78	0,30
		0,085	1,03							1,87	2,52	0,34
		0,11	1,38	1	0			1		1,75	2,36	0,36
		0,17	2,07							1,58	2,13	0,40
		0,28	3,45							1,39	1,87	0,45
		0,42	5,17							1,26	1,69	0,50
		0,56	6,89							1,21	1,63	0,52
		10°	0,014	0,172				1,88			2,18	3,06
	0,029		0,345				1,71			1,98	2,78	0,32
	0,057		0,689				1,52			1,76	2,47	0,36
	0,086		1,03				1,41			1,63	2,29	0,38
	0,11		1,38	1	0	0,46	1,34	1		1,55	2,18	0,40
	0,17		2,07				1,23			1,42	2,00	0,44
	0,29		3,45				1,10			1,27	1,79	0,49
	0,43		5,17				1,01			1,17	1,64	0,54
	0,57		6,89				1,00			1,16	1,63	0,54
	15°		0,015	0,172				1,47			1,65	2,39
		0,029	0,345				1,40			1,57	2,28	0,40
		0,058	0,689				1,30			1,46	2,11	0,43
		0,087	1,03				1,23			1,38	2,00	0,46
		0,12	1,38	1	0	0,44	1,19	1		1,34	1,93	0,47
		0,17	2,07				1,12			1,26	1,82	0,50
		0,29	3,45				1,02			1,14	1,66	0,55
		0,44	5,17				1,00			1,12	1,63	0,56
		0,58	6,89				1,00			1,12	1,63	0,56
20°		–	–				0,43			1,09	0,70	1,63
25°	–	–				0,41			0,92	0,67	1,41	0,68
30°	–	–	1	0		0,39		1	0,78	0,63	1,24	0,80
35°	–	–				0,37			0,66	0,60	1,07	0,95
40°	–	–				0,35			0,55	0,57	0,93	1,14
45°	–	–				0,33			0,47	0,54	0,81	1,34
À rotule			1	0	0,40	0,4 cot α	1	0,42 cot α	0,65	0,65 cot α	1,5 tan α	
À contact droit, une rangée, séparable (magnéto)			1	0	0,5	2,5	–	–	–	–	0,2	

1) Le maximum autorisé dépend de la construction du roulement (jeu interne et profondeur des gorges).

Les valeurs de X, Y et e à retenir pour des charges axiales relatives et/ou des angles de contact intermédiaires s'obtiennent par interpolation linéaire.

4.2 Charge radiale dynamique équivalente

Pour les roulements à billes, contact droit et contact oblique, sous charges radiale et axiale constantes, elle s'exprime par

$$P_r = XF_r + YF_a$$

Les valeurs des facteurs X et Y sont données dans le tableau 2.

4.2.1 Ensembles de roulements

a) Lors du calcul de la charge radiale équivalente de deux roulements à une rangée et contact oblique, semblables et montés côte à côte sur le même arbre de telle manière qu'ils constituent un ensemble (montage par paire) dans les dispositions O (dos à dos) ou X (face à face), cette paire de roulements est considérée comme un seul roulement à deux rangées et contact oblique.

b) Lors du calcul de la charge radiale équivalente de deux ou plusieurs roulements à une rangée, semblables et montés côte à côte sur le même arbre de manière à constituer un ensemble (montage par paire ou par ensemble) dans la disposition T (tandem), on utilise les valeurs X et Y applicables au roulement à une rangée, élément de l'ensemble. La «charge axiale relative» (voir tableau 2) est déterminée avec $i = 1$ ainsi que les valeurs F_a et C_{or} applicables à un seul roulement (et ce bien que l'on utilise les valeurs F_r et F_a exprimant les charges totales lors du calcul de la charge équivalente sur l'ensemble).

4.3 Durée nominale

Pour un roulement à billes, elle s'exprime par

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^3$$

où C_r et P_r sont calculées selon 4.1 et 4.2.

Cette formule de durée s'applique aussi au cas de deux ou plusieurs roulements à une rangée constituant un ensemble tel que défini en 4.1.1. La charge de base C_r est alors calculée pour l'ensemble et la charge équivalente P_r déterminée à partir des charges totales agissant sur cet ensemble, avec les valeurs X et Y indiquées en 4.2.1.

Cette formule de durée donne des résultats satisfaisants sur une gamme de charges étendue. Toutefois, des charges extrêmement élevées peuvent provoquer des déformations plastiques néfastes, au contact bille-chemin. L'utilisateur devrait donc consulter le fabricant du roulement pour un calcul de durée pour charge P_r supérieure à C_{or} ou $0,5 C_r$ (c'est-à-dire la plus faible de ces deux valeurs).

5 BUTÉES À BILLES

5.1 Charge axiale dynamique de base

5.1.1 Butées à une rangée, simple ou double effet

La charge axiale dynamique de base se calcule comme suit :

pour $D_w \leq 25,4$ mm $\alpha = 90^\circ$:

$$C_a = f_c Z^{2/3} D_w^{1,8}$$

pour $D_w \leq 25,4$ mm $\alpha \neq 90^\circ$:

$$C_a = f_c (\cos \alpha)^{0,7} \tan \alpha Z^{2/3} D_w^{1,8}$$

pour $D_w > 25,4$ mm $\alpha = 90^\circ$:

$$C_a = 3,647 f_c Z^{2/3} D_w^{1,4}$$

pour $D_w > 25,4$ mm $\alpha \neq 90^\circ$:

$$C_a = 3,647 f_c (\cos \alpha)^{0,7} \tan \alpha Z^{2/3} D_w^{1,4}$$

Z est le nombre de billes supportant la charge dans une seule direction.

Les valeurs du facteur f_c sont données dans le tableau 3. Elles s'appliquent à condition que le rayon de courbure du chemin n'excède pas $0,54 D_w$. L'aptitude de la butée à supporter les charges n'est pas nécessairement améliorée par l'emploi de rayons plus petits, mais décroît par l'emploi de rayons plus grands que celui indiqué ci-dessus.

5.1.2 Butées à deux ou plusieurs rangées

Ces rangées étant réputées constituées de billes semblables, et supporter les charges dans la même direction, la charge axiale dynamique de base se calcule par

$$C_a = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) \times$$

$$\times \left[\left(\frac{Z_1}{C_{a1}} \right)^{10/3} + \left(\frac{Z_2}{C_{a2}} \right)^{10/3} + \dots + \left(\frac{Z_n}{C_{an}} \right)^{10/3} \right]^{-3/10}$$

Les charges de base partielles C_{a1} , C_{a2} , ..., C_{an} relatives aux rangées ayant Z_1 , Z_2 , ..., Z_n billes se calculent comme il est dit en 5.1.1 avec les formules applicables aux butées à une rangée.

Les valeurs de f_c à retenir pour des rapports $\frac{D_w}{D_{pw}}$ ou $\frac{D_w \cos \alpha}{D_{pw}}$ et/ou des angles de contact autres que ceux présentés dans le tableau 3 s'obtiennent par interpolation ou extrapolation linéaire.

TABLEAU 3 – Facteur f_c pour butées à billes

$\frac{D_w}{D_{pw}}$	f_c	$\frac{D_w \cos \alpha}{D_{pw}}$	f_c		
	$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 45^\circ$ 1)	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 75^\circ$
0,01	36,7	0,01	42,1	39,2	37,3
0,02	45,2	0,02	51,7	48,1	45,9
0,03	51,1	0,03	58,2	54,2	51,7
0,04	55,7	0,04	63,3	58,9	56,1
0,05	59,5	0,05	67,3	62,6	59,7
0,06	62,9	0,06	70,7	65,8	62,7
0,07	65,8	0,07	73,5	68,4	65,2
0,08	68,5	0,08	75,9	70,7	67,3
0,09	71,0	0,09	78,0	72,6	69,2
0,10	73,3	0,10	79,7	74,2	70,7
0,12	77,4	0,12	82,3	76,6	
0,14	81,1	0,14	84,1	78,3	
0,16	84,4	0,16	85,1	79,2	
0,18	87,4	0,18	85,5	79,6	
0,20	90,2	0,20	85,4	79,5	
0,22	92,8	0,22	84,9		
0,24	95,3	0,24	84,0		
0,26	97,6	0,26	82,8		
0,28	99,8	0,28	81,3		
0,30	101,9	0,30	79,6		
0,32	103,9				
0,34	105,8				

1) L'angle de contact des butées, α , est $> 45^\circ$. Les valeurs correspondant à $\alpha = 45^\circ$ ne sont données que pour permettre les interpolations si α est compris entre 45 et 60° .

5.2 Charge axiale dynamique équivalente

Pour les butées avec angle $\alpha \neq 90^\circ$, sous charges radiale et axiale constantes, la charge axiale dynamique équivalente s'exprime par

$$P_a = X F_r + Y F_a$$

Les valeurs des facteurs X et Y sont données dans le tableau 4.

Les butées à billes dont l'angle $\alpha = 90^\circ$ ne peuvent supporter que des charges axiales. La charge équivalente est alors

$$P_a = F_a$$

5.3 Durée nominale

Pour une butée à billes, elle s'exprime par

$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{P_a} \right)^3$$

où C_a et P_a sont calculées selon 5.1 et 5.2.

Cette formule de durée donne des résultats satisfaisants sur une gamme de charge étendue. Toutefois, des charges extrêmement élevées peuvent provoquer des déformations plastiques néfastes au contact bille-chemin. L'utilisateur devrait donc consulter le fabricant de la butée pour un calcul de durée sous charge P_a supérieure à $0,5 C_a$.

TABLEAU 4 – Facteurs X et Y pour butées à billes

α	Butées à simple effet 1)		Butées à double effet				e
	$\frac{F_a}{F_r} > e$		$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		
	X	Y	X	Y	X	Y	
45° 2)	0,66		1,18	0,59	0,66		1,25
50°	0,73		1,37	0,57	0,73		1,49
55°	0,81		1,60	0,56	0,81		1,79
60°	0,92		1,90	0,55	0,92		2,17
65°	1,06	1	2,30	0,54	1,06	1	2,68
70°	1,28		2,90	0,53	1,28		3,43
75°	1,66		3,89	0,52	1,66		4,67
80°	2,43		5,86	0,52	2,43		7,09
85°	4,80		11,75	0,51	4,80		14,29
$\alpha \neq 90^\circ$	$1,25 \tan \alpha \left(1 - \frac{2}{3} \sin \alpha \right)$	1	$\frac{20}{13} \tan \alpha \left(1 - \frac{1}{3} \sin \alpha \right)$	$\frac{10}{13} \left(1 - \frac{1}{3} \sin \alpha \right)$	$1,25 \tan \alpha \left(1 - \frac{2}{3} \sin \alpha \right)$	1	$1,25 \tan \alpha$

1) $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ ne convient pas aux butées à simple effet.

2) L'angle de contact des butées, α , est $> 45^\circ$. Les valeurs correspondant à $\alpha = 45^\circ$ ne sont données que pour permettre les interpolations si α est compris entre 45 et 50° .