



MANUEL TECHNIQUE

ROULEMENT A BILLES



CRD – 28 avenue du Général De Gaulle, 38130 ECHIROLLES, FRANCE
Tél. : 04.38.70.11.11 www.crdimport.com

SOMMAIRE

Avant-propos	3
CHAPITRE 1 : Historique	4
CHAPITRE 2 : Composition de l'acier du roulement	5
CHAPITRE 3 : Séries dimensionnelles ISO 15 (NF E 22 315)	6
CHAPITRE 4 : Précisions et tolérances ISO 492 (NF E 22 335)	7
CHAPITRE 5 : Jeu radial ISO 5753 (NF E 22 336)	8
CHAPITRE 6 : Charges de base dynamiques et à la durée de vie ISO 281 /1 (NF E 22 392/394) et aux charges de base statiques ISO 76 (NF E 22 391)	10
CHAPITRE 7 : Rayonnage ISO 582 (NF E 22 301)	12
CHAPITRE 8 : Différents types de cages	13
CHAPITRE 9 : Différents types de lubrifiants	14
CHAPITRE 10 : Différents types d'étanchéités	15
CHAPITRE 11 : La Qualité Moteur Electrique (Classe EMQ – Electric Motor Quality)	16
CHAPITRE 12 : Conseils de montage pour les roulements à billes	18

AVANT-PROPOS

Ce manuel technique est destiné à vous accompagner dans l'appréciation qualitative des roulements à billes.

Cinq normes prépondérantes (chapitre 1 à 6) permettent de garantir la bonne exécution du produit et leur interchangeabilité avec d'autres fabricants.

Afin de vous faciliter leur compréhension, **la référence 6204 servira d'exemple.**

D'autres facteurs sont également à prendre en compte (chapitre 7 à 11) afin d'optimiser le composant par rapport à votre application.

Nous vous souhaitons une bonne lecture de ce manuel, et espérons qu'il vous sera utile pour une meilleure compréhension de ce composant.

HISTORIQUE

Plutôt que de tirer ou pousser une lourde charge, les Egyptiens 3000 avant J.-C. transportaient des blocs de pierre en intercalant des troncs qui faisaient office de rouleaux.

Les Assyriens (680 avant J.-C.) connaissaient déjà la roue et témoignent à travers des fresques que le transport de lourdes charges s'effectuait ainsi.

Dans le lac Nemi, en Italie, a été retrouvé la galère de Caligula (1^{er} siècle après J.-C.) possédant un socle mobile de statues qui peut être considéré comme l'ancêtre de la butée à billes.

En 1481, Léonard De Vinci étudie les forces de frottement et dessine le schéma d'une butée à billes.

Au XVIII^e siècle, des butées sont utilisées pour faire pivoter les moulins à vent.

En 1794, l'Anglais Philip VAUGAN dépose le tout premier brevet concernant les roulements. Il prévoit de monter des essieux avec des billes roulants dans des gorges semi-circulaires : le roulement à billes a été inventé.

ACIER

Désignation	Composition chimique %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
100 Cr6	0.98-1.05	0.15-0.35	0.25-0.45	≤0.025	≤0.025	1.40-1.65	≤0.25	≤0.30

L'acier utilisé pour la fabrication du roulement est le 100Cr6 (ou GCr15).

La spécificité de cet acier réside dans sa teneur en carbone (environ 1%) qui lui permet après chauffe à 830°C et trempe à l'huile, d'obtenir une dureté comprise entre 58 et 62 Hrc (Rockwell) pour les bagues intérieures et extérieures.

Les billes sont les composants les plus sollicités et sont généralement 2 Hrc plus durs que les bagues.



Ligne de traitement thermique



Contrôle de dureté

Pour les productions de roulements en acier inoxydable, c'est l'AISI440C qui est utilisée.

SERIES DIMENSIONNELLES

ISO 15 (NF E 22 315)

La norme ISO 15 définit la typologie du roulement et sa dimension.

Le premier chiffre de la référence d'un roulement désigne sa typologie de construction.

Le deuxième chiffre de la référence détermine la série du roulement (légère, moyenne, forte, etc.) et permet par une section compacte ou importante, de loger un diamètre de billes, acceptant des niveaux de charge variés.

Exemples : Réf. 6004 = 20 x 42 x 12

Réf. 6204 = 20 x 47 x 14

Réf. 6304 = 20 x 52 x 15

Pour ces trois références posées dans un alésage de 20mm, la référence 6004 sera celle qui pourra tourner le plus vite et la référence 6304 sera celle qui pourra supporter la charge la plus forte.

Les deux derniers chiffres quant à eux, déterminent le diamètre d'alésage du roulement. Ces chiffres, lorsqu'ils sont supérieurs à 04, sont à multiplier par 5 et donnent alors le diamètre d'alésage du roulement.

Exemples :

6 = Roulement à une rangée de billes à gorges profondes

6204

2 = série moyenne

04 = diamètre d'alésage en mm
(04 x 5 = 20mm)

Réf. 626 = diamètre 6 mm

Réf. 608 = diamètre 8 mm

(Lorsque la référence comporte 3 chiffres, le dernier chiffre précise directement le diamètre d'arbre (en mm))

2 derniers chiffres de la réf.	Ø d'alésage (en mm)
00	10
01	12
02	15
03	17
04	20
05	25
06	30
07	35
08	x 5 40
09	45
10	50
11	55
12	60

Pour les roulements se terminant par 00, 01, 02 ou 03,

Le diamètre d'arbre est 10mm, 12mm, 15mm et 17mm.

PRECISIONS ET TOLERANCES

ISO 492 (NF E 22 335)

Cette norme définit une précision d'exécution pour la bague intérieure et extérieure du roulement. Sans information complémentaire après la référence du roulement, le roulement est de précision standard (P0 ou Abec 1) et constitue un niveau de qualité suffisant pour la plupart des applications. Attention : La précision du roulement n'est pas liée à son jeu de fonctionnement. La précision est la qualité d'exécution de chaque sous-ensemble qui compose le roulement.

Tableau d'équivalence entre ISO/DIN et AFBMA :

ISO / DIN	P0	P6	P5	P4	P2
AFBMA	Abec 1	Abec 3	Abec 5	Abec 7	Abec 9

Exemple pour la référence 6204 :

Tableau comparatif de l'exécution d'une bague intérieure de référence 6204, Référence en précision P0 et P4 (tolérance en microns) :

	P0 (Abec 1)	P4 (Abec 7)
Diamètre d'alésage 20 mm	0 ; -10	0 ; -5
Largeur du roulement	0 ; -120	0 ; -120
Faux rond entre piste et alésage (en μ)	13	3

Commentaire :

Le changement de classe de précision diminue significativement le faux rond. Cette amélioration est justifiée pour des applications hautes vitesses ou bien des précisions de fonctionnement importantes (machine-outil, broche haute fréquence).

JEU RADIAL

ISO 5753 (NF E 22 336)

Le jeu radial est obtenu par appairage de billes calibrées avec une bague intérieure et une bague extérieure.

La maîtrise du jeu radial est un paramètre prépondérant au bon fonctionnement du roulement. Il permet d'obtenir la rigidité adéquate de l'ensemble tournant, et de garantir en fonctionnement, une lubrification optimale.

Un jeu trop important pénalisera la répartition des charges par les corps roulants, et un jeu trop faible « cassera » le film d'huile et créera des échauffements (jusqu'à écaillage).

Exemple sur référence 6204 :

	Jeu diminué C2	Jeu standard C0	Jeu augmenté C3	Jeu augmenté C4
∅ 20 mm	0 / 10	5 / 20	13 / 28	20 / 36

Remarque :

Le jeu initial minimum de 5 microns, pour un roulement d'alésage 20 mm, est une valeur particulièrement faible.

Dans le cas de remplacement de roulement lors d'une réparation (notamment pour le rebobinage des moteurs), les défauts géométriques des arbres et alésages (chocs, arrachement de métal, etc.) provoqueront la disparition du jeu interne, voire une pré-charge* par gonflement de la bague intérieure ou resserrement de la bague extérieure.

* = *Un roulement pré-charge, lors d'un contrôle en rotation libre à la main, va révéler différents micro-points durs sur une rotation complète.*

La durée de vie du roulement sera altérée et son bruit de fonctionnement important.

Pour palier à cet inconvénient, il est d'usage d'utiliser un jeu augmenté (C3) pour se préserver de ces aléas dimensionnels.

Le jeu augmenté C3, permettra également au roulement de travailler dans des plages de températures plus élevées (environ 100°C selon alésage).

Pour des constructions en premier équipement (construction de matériel neuf) nécessitant un niveau sonore de fonctionnement particulièrement bas (moteur électrique, ventilation, etc.), une classe de jeu spécifique est possible.

Exemple :

Pour un roulement 6204, le jeu serait de 5 microns minimum à 13 microns maximum (tolérance Classe Moteurs Electriques).

Dans ce cas, la classification intègre la classe de jeu à la limite maximum du démarrage du jeu C3, sans la chevaucher.

Jeu axial

La valeur du jeu axial d'un roulement à billes n'est pas communiquée par les fabricants, seul le jeu radial (perpendiculaire à l'arbre) est normatif.

Le jeu axial dépend de la valeur de rayonnage de la piste de la bague intérieure et extérieure, par rapport au diamètre nominal de la bille.

La formule de calcul du jeu axial est la suivante :

$$G_t = 2\sqrt{G_r(r_o + r_i - D_a)}$$

Avec :

G_t = jeu axial

G_r = jeu radial

r_o = Rayon de la bague extérieure

r_i = Rayon de la bague intérieure

D_a = Diamètre nominal de la bille

Dans le cadre de l'optimisation de la vitesse de rotation des roulements à billes, le rayonnage des pistes a été augmenté, provoquant un jeu axial jugé parfois important par les utilisateurs.

La valeur du jeu axial habituellement constatée est de 10 à 15 fois celle du jeu radial.

Dans le cas d'un montage nécessitant un fonctionnement silencieux, une rondelle élastique permettant une légère précontrainte axiale d'un roulement par rapport à l'autre est recommandée.

CHARGES DYNAMIQUES ET DUREE DE VIE

ISO 281 / 1 (NF E 22 392/394)

La capacité de charge d'un roulement dépend de la dureté de l'acier (bagues intérieure et extérieure comprises entre 58 et 62 HRC, et billes de 60 à 64 HRC), du diamètre du cercle inscrit (diamètre de la piste de la bague intérieure), du nombre de billes et de leur diamètre.

La capacité de charge, exprimée en « dynamique » (= roulement en rotation) et en « statique » (= roulement à l'arrêt), est exprimée en kN (kilo-Newton) et correspond à une résistance à la limite élastique.

La durée de vie d'un roulement, exprimée en heures, dépendra du ratio de charges appliqué au roulement et de sa vitesse de rotation.

Formule de base de calcul de durée de vie :

$$L_h = \frac{10^6}{60 \times n} \times \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

Avec : L_h = durée de vie théorique (en heures)
 n = vitesse de rotation (en tours/min.)
 C = Charge dynamique du roulement (en kN)
 P = Charge appliquée (en kN)

Exemple pour la référence 6204 travaillant sous 80kg de charge radiale à une vitesse de 3000 tours/minute :

Construction : 8 billes de diamètre 7,938 mm

Capacité de charge dynamique : 13.5 kN / Capacité de charge statique $C_0 = 6,65$ kN

$$L_h = \frac{10^6}{60 \times 3\,000} \times \left(\frac{13\,500}{800} \right)^3$$

Avec : $C = 13,5$ kN
 $n = 3\,000$ tours/min
 $P = 80$ kg

$$L_h = 26\,600 \text{ heures}$$

Remarque :

Chaque fabricant possède une construction qui lui est propre.

Les capacités de charge sont généralement voisines mais peuvent être différentes en fonction du nombre et du diamètre des billes.

Les capacités de charge dynamique et statique, permettent de valider l'interchangeabilité d'un roulement avec un autre.

L'utilisation de cages « massives » sur des roulements de plus grande taille ne permet pas le remplissage par un grand nombre de billes, mais permet une très grande fiabilité de fonctionnement (voir Chapitre 7).

Conclusion :

A vitesse de rotation et charges égales, la durée de vie théorique d'un roulement sera équivalente pour des roulements ayant des capacités de charge de même valeur.

RAYONNAGE

ISO 582 (NF E 22 301)

Les rayonnages effectués sur bague intérieure ou extérieure, sont destinés à faciliter le montage des roulements sur arbre ou alésage.

Remarque :

La différence de couleur (brune) sur le rayon est consécutive au processus de fabrication. Cette coloration résulte du traitement thermique. Les surfaces rectifiées attenantes (face, alésage, diamètre extérieur) sont de ce fait, plus brillantes.

Exemple :

Rayonnage bagues sur référence 6204 :

$$r_{\text{mini}} = 0,3 \text{ mm}$$

$$r_{\text{maxi}} = 0,6 \text{ mm}$$

CAGES

Différents types de cages sont disponibles pour un même roulement à billes :

- Cage acier en deux parties (la plus répandue), maintenues entre-elles par agrafage (sur petits roulements) ou par rivets
- Cage polyamide, inadaptée pour application haute température
- Cage massive en laiton obtenue par usinage, fiabilité optimale (disponible uniquement pour des roulements de moyenne et grosse taille)
- Cage celoron (phénolique stratifié) adaptée pour application très haute vitesse

La forte usure d'une cage acier, fabriquée par emboutissage, peut être la cause d'une rupture. Celle-ci passera alors sous les corps roulants, provoquant le blocage du roulement.

Généralement, par effet d'inertie, l'arbre entraîné tourne dans un roulement bloqué et bleuit les surfaces par augmentation de la température causée par la friction, jusqu'à destruction de la portée de l'arbre.

D'expérience, une cage massive en laiton retarde voire annule cet incident, car le volume de laiton est trop important pour qu'il passe sous les éléments roulants et les bloque.

LUBRIFIANTS

Le lubrifiant le plus couramment utilisé pour les roulements à billes est la graisse à base d'huile minérale et de savon de lithium.

On recherche dans la caractéristique de cette graisse, une résistance aux extrêmes pressions (indice EP), car la pression d'une bille sur un plan, s'effectue sur une surface minuscule où se concentrent de fortes contraintes.

La plage de température est habituellement de -20°C à $+120^{\circ}\text{C}$. Pour des applications à plus haute température, d'autres graisses sont possibles mais doivent être en cohérence avec le jeu radial du roulement qui doit être augmenté.

Les graisses appliquées dans des roulements nécessitant un fonctionnement silencieux, sont des lubrifiants améliorés en vue d'atteindre cet objectif.

ETANCHEITES

L'étanchéité la plus couramment utilisée et le type repris par la désignation générique « 2RS ».

Un élastomère est adhérisé sur une carcasse métallique pour sa rigidité.

Le joint est enclipsé dans une gorge située dans la bague extérieure du roulement.

La lèvre se trouve comprimée et crée l'étanchéité sur la bague intérieure.

Cette construction est la plus ancienne mais ne reste que moyennement performante dans des environnements pollués.

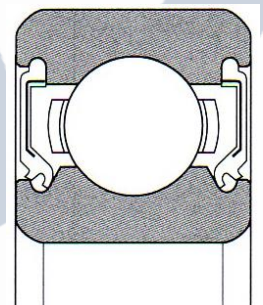
En effet, un film d'huile apparaît sous la lèvre du joint mais concentre particules, scories, silices, etc. qui vont être la cause d'une usure prématurée de l'élastomère.

Deux variantes, plus abouties technologiquement, sont possibles :

- Double lèvres avec contact encastré dans gorge sur bague intérieure :

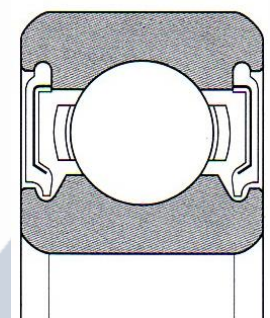
Cette construction est de loin la plus performante en terme d'étanchéité mais créera un couple résistant important de par la friction des lèvres.

A haute vitesse, l'échauffement crée par friction des lèvres, sera important.



- Joint sans contact encastré dans gorge sur bague intérieure :

Cette construction permet d'obtenir une bonne protection sans créer de couple résistant, ni d'échauffement par contact des lèvres. Le roulement peut tourner à la même vitesse critique qu'un roulement ouvert ou flasqué ZZ.



QUALITE MOTEUR ELECTRIQUE

Des roulements possédants toutes les caractéristiques énumérées ci-dessus (acier 100Cr6 trempé, respect des différentes normes...) produiront à moyenne et haute vitesse, un bruit de fonctionnement différent et aléatoire pour une quantité produite.

Cette qualité est non-conforme sur des applications, pour lesquelles le niveau sonore en fonctionnement doit être faible et maîtrisé en production (moteurs électriques, pompes, ventilations, etc.).

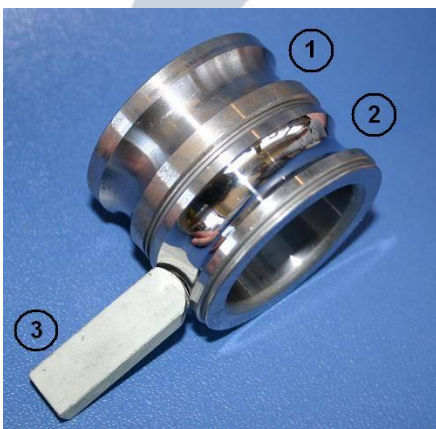
Trois paramètres sont prépondérants pour l'obtention d'un roulement « silencieux » :

- **l'état de surface des pistes**
- **la qualité des billes**
- **le type de lubrifiant**

L'état de surface des pistes est obtenu par une rectification en plongée par une meule de forme. L'étape de super finition consiste à polir celle-ci, par le biais d'une pierre de rodage oscillant latéralement dans la gorge, bague en rotation.

Une finition polie-miroir est obtenue par ce processus.

Temps machine en super finition et grain de pierre (semi-finition, finition, super finition) sont les deux paramètres permettant d'obtenir les résultats escomptés.



① Bague intérieure de roulement avant Super finition de la piste

② Bague intérieure de roulement après super finition de la piste

③ Pierre de super finition

La qualité des billes est classifiée selon la précision (grade). Plus la valeur du grade est faible, meilleure est la précision.

Un **lubrifiant** adéquat permettra d'obtenir le résultat escompté.

Il est entendu que l'enclipsage des protections ainsi que la cage, peuvent dégrader le résultat si ceux-ci comportent des anomalies.

En fin de ligne de production, le niveau sonore est évalué à l'aide de machines de contrôle (andéromètre).

Pour les roulements de petite et moyenne taille, une machine type BVT1 (broche sur film hydrodynamique) permet de mesurer à 1800 tr/min, des micromètres/seconde sur 3 fréquences (basse 50 / 300 Hz, moyenne 300 / 1800 Hz, haute 1800 / 10000 Hz). Un tableau comportant 5 niveaux vibratoires (V, V1, V2, V3, V4), permet de classer le roulement contrôlé (V4 étant la classe d'excellence).

Pour les roulements de grande taille, une machine type SO910 mesure à 1400 tr/min, une pression acoustique en décibels.

Exemple pour référence 6204 :

	V			V1			V2			V3			V4		
$\mu\text{m/s.}$	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
	260	190	150	180	125	100	130	100	75	80	60	45	60	25	25
dB	Z			Z1			Z2			Z3			Z4		
	48			46			42			38			33		

Monté sur broche, le roulement est contrôlé sur ses deux faces.

Seul le côté correspondant aux mesures les plus défavorables, est retenu.



BVT1, labo. CRD



SO910, labo. CRD

Le niveau sonore d'un roulement en fonctionnement est le résultat d'une capacité, et d'une volonté de produire un composant selon un niveau d'exigence qui impacte directement un coût de production. La classe vibratoire est un positionnement marketing (qualité/prix) qui diffère de manière importante selon les fabricants.

La classe vibratoire n'est pas normative et constitue une information qui n'est pas communiquée sur catalogue.

MONTAGE

Un roulement à billes accepte des capacités importantes en fonction de sa taille.

Comme rappelé précédemment, les corps roulants (billes) ont une dureté de 2 HRC de plus que les bagues intérieures et extérieures.

De ce fait, en cas de choc axial ou radial sur le roulement « à l'état libre » ou en cours de montage, de petits impacts apparaîtront sur les pistes, causés par les billes.

Ces micros enfoncements créeront, à coup sûr, un niveau vibratoire et une nuisance sonore à moyenne et haute vitesse.

Pour cela, il est préférable de monter les roulements par dilatation thermique car ce système offre l'avantage de ne pas nécessiter d'effort pour l'enfoncement axial.

Tout roulement chauffé entre 110°C et 120°C, pourra être monté sans effort sur arbre, y compris pour des tolérances serrées.

Une plaque électrique ou un chauffe roulement à induction sont les solutions les plus appropriées.

Conclusion :

Après remplacement d'un roulement usagé par un neuf, si un niveau sonore élevé est constaté, les causes possibles sont les suivantes :

- niveau vibratoire médiocre du roulement neuf
- appui d'épaulement d'arbre ou d'alésage géométriquement déformé (bavures, déformation, portée insuffisamment nettoyée)
- ovalisation de l'arbre ou défaut géométrique de l'alésage, créant une pré charge et des points durs en rotation libre
- choc axial ou radial lors du montage

Tableau dimensionnel des références les plus courantes

D'autres dimensions sont disponibles mais ne sont pas reprises dans ce tableau.

Dimension			Référence
inter.	extér.	largeur	
5	14	5	605
5	16	6	625
5	19	6	635
6	17	6	606
6	19	6	626
7	19	6	607
7	22	7	627
8	22	7	608
8	24	8	628
10	26	8	6000
10	30	9	6200
10	35	11	6300
12	28	8	6001
12	32	10	6201
12	37	12	6301
15	32	9	6002
15	35	11	6202
15	42	13	6302
17	35	10	6003
17	40	12	6203
17	47	14	6303
20	42	12	6004
20	47	14	6204
20	52	15	6304
25	47	12	6005
25	52	15	6205
25	62	17	6305
30	55	13	6006
30	62	16	6206
30	72	19	6306

Dimension			Référence
inter.	extér.	largeur	
35	62	14	6007
35	72	17	6207
35	80	21	6307
40	68	15	6008
40	80	18	6208
40	90	23	6308
45	75	16	6009
45	85	19	6209
45	100	25	6309
50	80	16	6010
50	90	20	6210
50	110	27	6310
55	90	18	6011
55	100	21	6211
55	120	29	6311
60	95	18	6012
60	110	22	6212
60	130	31	6312
65	100	18	6013
65	120	23	6213
65	140	33	6313
70	110	20	6014
70	125	24	6214
70	150	35	6314
75	115	20	6015
75	130	25	6215
75	160	37	6315
80	125	22	6016
80	140	26	6216
80	170	39	6316

Malgré tout le soin apporté à ce catalogue, des omissions ou erreurs sont possibles. Nous nous réservons le droit de changer toute information présente dans ce catalogue, sans préavis. Ces informations ne sauraient engager notre responsabilité.