

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

Résumé

- Le *jeu* est la mobilité interne des corps roulants et des bagues dans les directions axiale et radiale
- Le *jeu* du roulement se réfère à un roulement non monté
- Le *jeu de fonctionnement* se rapporte à un roulement monté et en fonctionnement
- Classes de jeu habituelles (valeurs pour un roulement à billes à gorge profonde 6008) : C2 (1 -> 11 μ m) -> CN -> C3 -> C4 (28 -> 46 μ m)
- Par précharge, on entend a) un jeu de fonctionnement radial négatif ou b) la précharge axiale d'un roulement au moyen d'un ressort ou sur la base d'un déplacement défini

Le jeu des roulements et le jeu de fonctionnement (également appelé jeu résiduel), n'est-ce pas la même chose ? Et la **précharge**, on en a déjà entendu parler, mais qu'est-ce que c'est ?! Comment calculer toutes ces valeurs et quels sont les critères à prendre en compte pour choisir le bon jeu de fonctionnement ? Vous êtes peut-être confrontés à de telles questions - vous trouverez les réponses correspondantes dans cet article.

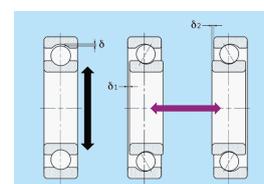
Définition du jeu des roulements et du jeu de fonctionnement

Le jeu du roulement se réfère à un roulement non monté et peut être décrit comme la mobilité interne des corps roulants et des bagues dans les directions axiale et radiale. Quant au *jeu de fonctionnement*, il peut être défini comme la mobilité interne des corps roulants et des bagues dans les deux sens, mais il s'agit ici d'un roulement monté et en fonctionnement.

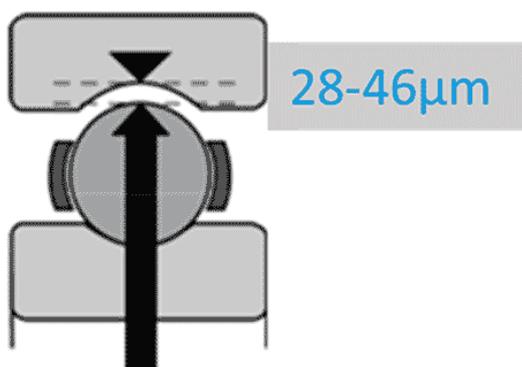
Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

Jeu du roulement

La façon la plus pratique d'expliquer le jeu d'un roulement (par exemple un **roulement à billes à gorge profonde**) est de le tenir dans la main. Si l'on essaie de déplacer une des bagues (intérieure ou extérieure) de ce roulement vers le haut et vers le bas ou vers la gauche et vers la droite, tout en maintenant l'autre bague, on perçoit un petit déplacement dans le sens radial (flèche noire) ou axial (flèche violette). Ce déplacement est appelé le jeu du roulement.



Le jeu du roulement est caractérisé par des déplacements aussi bien dans le sens radial que dans le sens axial.



Le jeu du roulement à billes à gorge profonde 6008C4, utilisé dans l'exemple de calcul suivant, est représenté ici graphiquement.

Mais assez de théorie. Qu'en est-il du jeu du roulement dans un exemple concret ? Prenons le cas d'un roulement 6008C4, dont le jeu radial est de 28-46µm (= C4). Il est d'abord monté sur un arbre en acier, qui a par exemple un ajustement k6 (+2 à +18µm). Comme le roulement 6008C4 a une tolérance sur la bague intérieure de 0/-12µm, l'interférence entre la bague intérieure et l'arbre se situe entre 2µm et 30µm. Cette valeur est obtenue en tenant compte de l'ajustement de l'arbre et de la tolérance sur la bague intérieure du roulement.

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

Seules les valeurs extrêmes sont prises en compte, autrement dit le « plus grand » roulement est monté sur le « plus petit » arbre et le « plus petit » roulement est monté sur le « plus grand » arbre. Dans cet exemple, le calcul donnerait :

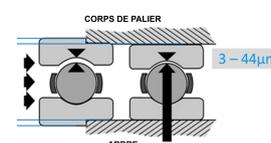
- Arbre de 40,002 mm et roulement de 40,000 mm = 2 μm
- Arbre de 40,018 mm et roulement de 39,988 mm = 30 μm

Une certaine force est nécessaire pour monter le 6008C4 sur l'arbre. En raison de cet ajustement de l'arbre, le jeu du roulement est réduit, et sera compris entre +3 μm et +44 μm après le montage sur l'arbre. Celui-ci est ensuite monté avec le 6008C4 dans un logement en acier. Dans cet exemple, le logement a un ajustement H6 (0 μm /+19 μm) et la bague extérieure du roulement a une tolérance de 0/-13 μm .

L'ajustement du logement et la tolérance de la bague extérieure sont considérés comme comparables à l'arbre. Ici, par exemple, la règle est la suivante :

- Boîtier de 68,000 mm et roulement de 68,000 mm = 0 μm
- Boîtier de 68,019 mm et roulement de 67,987 mm = 32 μm

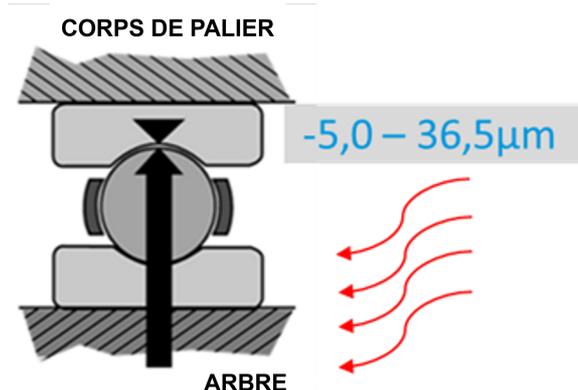
Comme on peut le constater, le jeu entre la bague extérieure et le logement est compris entre 0 μm et 32 μm . Cela ne modifie pas le jeu dans le roulement compris entre +3 et +44 μm .



Réduction du jeu des roulements en raison des ajustements.

Enfin, l'arbre est mis en rotation, par exemple à 8.000 tours/minute. Le roulement 6008C4 a maintenant une température de 100°C sur la bague intérieure et de 90°C sur la bague extérieure. Mais que se passe-t-il maintenant ? Eh bien, la bague intérieure et

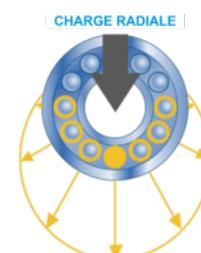
Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge



la bague extérieure se dilate sous l'effet de la chaleur, mais la bague intérieure se dilate davantage que la bague extérieure. Par conséquent, le jeu dans le roulement est réduit de +3 à + 44 µm à -5,0 à + 36,5 µm. Cette réduction d'environ 7,5 µm est calculée à l'aide d'un programme informatique ou, à défaut, avec des formules issues d'un catalogue.

Le fait que la *bague intérieure* se dilate plus que la *bague extérieure* réduit le jeu du roulement.

L'ajout d'une charge radiale améliore le jeu radial. La raison en est qu'une partie des corps roulants absorbe la charge radiale alors que les autres sont déchargés. L'illustration de la charge radiale montre ce phénomène pour un roulement. La longueur des flèches jaunes indique la valeur de la force agissant sur les corps roulants.



Dans cette illustration, vous pouvez voir l'intensité de la force exercée sur les *corps roulants*. En bref : petite flèche = faible charge, grande flèche = forte charge sur le corps roulant.

Il existe différentes classes de jeu radial pour les roulements. Celles-ci peuvent être consultées dans le tableau. (Remarque : le jeu axial du roulement peut être calculé à partir du jeu radial à l'aide de formules, par exemple pour les *roulements à billes à gorge profonde*).

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

Classes de jeu	Signification	Applications possibles
C2	Jeu de roulement plus petit que la normale	<ul style="list-style-type: none"> • Petits moteurs • Tourillons d'arbre de compresseurs
CN	Jeu de roulement standard	<ul style="list-style-type: none"> • Applications les plus diverses
C3	Jeu de roulement plus grand que la normale	<ul style="list-style-type: none"> • Roulements d'essieu pour matériel ferroviaires • Machines à papier et séchoirs
C4	Jeu de roulement supérieur à C3	<ul style="list-style-type: none"> • Supports de moteur de traction pour matériel ferroviaires • Machines à papier et séchoirs
C5	Jeu de roulement supérieur à C4	<ul style="list-style-type: none"> • Applications spéciales

Vous rencontrerez souvent les classes de jeux CN, C3 et C4. Les autres classes ne sont utilisées que dans des conditions de fonctionnement particulières.

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

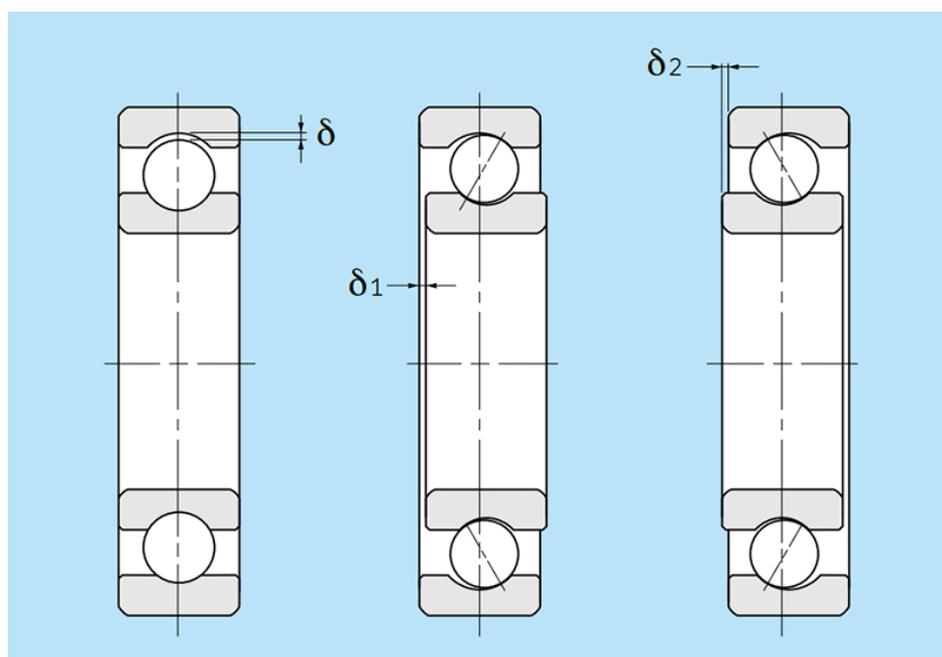
Jeu de fonctionnement

On peut donc dire maintenant que le jeu du roulement en fonctionnement, appelé jeu de fonctionnement, est de $-5,0\mu\text{m}$ à $36,5\mu\text{m}$. Le jeu du roulement varie en fonction des étapes de montage, indiquées dans le tableau ci-dessous.

Résultats résumés		
Étape	État	Jeu radial des roulements/jeu en fonctionnement
1	Avant le montage	28 μm à 46 μm
2	Après le montage sur l'arbre, avec ajustement k6	3 μm à 44 μm
3	Après le montage dans le logement, avec ajustement H6	3 μm à 44 μm
4	En fonctionnement, 8 000 tr/min température bague intérieure : 100°C, température bague extérieure : 90°C	-5,0 μm à 36,5 μm
5	Force radiale de 1.000 N	+7,3 μm à +48,7 μm

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

Ce tableau récapitule les principales étapes.



Formule 11

Jeu radial = δ

Jeu axial = $\delta_1 + \delta_2$

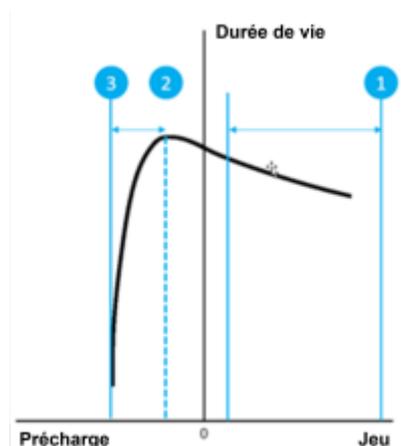
Expression du jeu radial et du jeu axial.

Dans l'illustration, vous pouvez voir que le jeu en fonctionnement s'exprime en jeu radial et en jeu axial, ils sont alors déterminés différemment.

Exemple : relation entre le jeu en fonctionnement et la durée de vie

Le choix du jeu de fonctionnement est primordial, car il a un impact sur la **durée de vie** (et non sur la durée de vie L_{10h}), sur l'évolution de la température, sur les performances du roulement ainsi que sur le bruit en fonctionnement. Les effets du jeu de fonctionnement sur la durée de vie sont représentés dans le graphique.

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

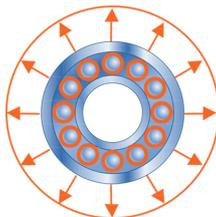


Durée de vie en fonction du jeu en fonctionnement.

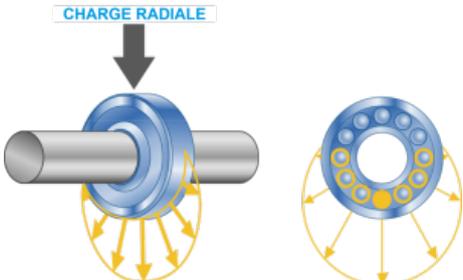
Comme vous pouvez le voir sur l'illustration, la durée de vie diminue rapidement dans les zones 3 et 1. Mais pourquoi diminue-t-elle autant ? Supposons que le roulement 6008C4 mentionné précédemment comporte 12 billes (= corps roulants). Mais si la différence de température entre la bague intérieure et la bague extérieure augmente constamment, le jeu de fonctionnement diminue encore (zone 3). De ce fait, les 12 corps roulants sont maintenant en contact et glissent sur les chemins de roulement (il n'y a plus de roulement). La durée de vie diminue donc jusqu'à la défaillance totale !

Si l'on ajoute une colonne supplémentaire au tableau des classes de jeu indiqué précédemment, la quatrième colonne (charge supportée) indique les billes qui « supportent » la charge radiale (par exemple le poids de l'arbre).

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

Étape	État	Jeu du roulement/Jeu en fonctionnement	Nombre de corps roulants chargés	Section (voir graphique ci-dessus)	Remarque
1	Avant le montage	28 μ m à 46 μ m	-	-	-
2	Après le montage sur l'arbre, avec un ajustement k6	3 μ m à 44 μ m	3 sur 12	1-2	-
3	Après le montage dans le logement, avec ajustement H6	3 μ m à 44 μ m	3 sur 12	1-2	-
4	En fonctionnement, 8 000 tr/min température de la bague intérieure : 100°C, température de la bague extérieure : 90°C	-5,0 μ m à 36,5 μ m	12 sur 12	2-3	 <p>Le roulement 6008C4 a une température de bague intérieure de 100°C et une température de bague extérieure de 90°C pour n= 8.000tr/min.</p>

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

5	Force radiale de 1.000 N	+7,3µm à +48,7µm	7 sur 12	2-1	 <p>Roulement 6008C4 en fonctionnement sous l'effet d'une charge radiale de 1000N.</p>
---	--------------------------	------------------	----------	-----	--

Ce tableau montre le nombre de billes ou de corps roulants supportant la charge - en fonction du jeu en fonctionnement.

Le calcul du jeu en fonctionnement

Même si le jeu en fonctionnement devrait idéalement être légèrement négatif (en théorie) afin d'assurer une **durée de vie** maximale du roulement, dans la pratique et dans des conditions de fonctionnement normales, on vise généralement un jeu en fonctionnement juste au-dessus de zéro. La raison est que ce jeu en fonctionnement négatif (précharge) pourrait augmenter si un roulement est soumis à des conditions de fonctionnement variables, entraînant aussi la réduction de la durée de vie décrite précédemment.

Pour calculer le jeu en fonctionnement, il faut tenir compte de facteurs tels que les **ajustements** ainsi que les différences de température entre les bagues intérieure et extérieure.

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

Formule 12

$$\delta_{\text{eff}} = \delta_o - (\delta_f + \delta_t)$$

δ_{eff} = Jeu en fonctionnement (s'ajuste effectivement), mm

δ_o = Jeu de roulement, mm

δ_f = Diminution du jeu du roulement en raison de l'interférence due aux ajustements, mm

δ_t = Diminution du jeu du roulement due aux différences de température entre les bagues intérieure et extérieure, mm

Le calcul du jeu en fonctionnement δ_{eff} nécessite trois variables.

L'interférence δ_f

Le jeu dans un roulement est réduit en raison d'une interférence δ_f entre la bague intérieure et l'arbre, ou la bague extérieure et le logement. Cette interférence δ_f entraîne, entre la bague intérieure et l'arbre, une dilatation de la bague intérieure ou une compression de la bague extérieure (surdimensionnement entre la bague extérieure et le logement) pendant le montage.

La formule 13 permet de calculer la diminution du jeu du roulement. Pour simplifier, des facteurs tels que, la forme du roulement, de l'arbre et du logement ainsi que les **matériaux** utilisés sont pondérés par un coefficient de 70 % à 90 %. En règle générale, plus l'interférence est importante, plus le jeu du roulement est réduit.

Formule 13

Δ_{def} désigne l'interférence effective en mm.

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

$$\delta_f = (0,70 \sim 0,90) \Delta_{\text{def}}$$

La différence de température δ_t

Mais une fois la valeur calculée δ_f le travail n'est pas encore terminé : l'étape suivante consiste à calculer la variable δ_t qui permet de calculer la réduction du jeu en fonctionnement due à une différence de température dans le roulement. Une information importante : lorsque le roulement est en fonctionnement, la bague extérieure est en réalité 5 à 10°C plus froide que la bague intérieure. Dans certaines conditions, comme par exemple lorsqu'une dissipation thermique du logement est supérieure à la moyenne, cette différence peut être encore plus importante.

Formule 14

$$\delta_t = \alpha \times \Delta T \times D_o$$

α = Coefficient de dilatation thermique du roulement, $12,5 \times ((10) \cdot 6 / ^\circ\text{C})$

ΔT = Différence de température (bague intérieure/extérieure) en °C

D_o = Diamètre du chemin de roulement de la bague extérieure, mm

Si la réduction du jeu de fonctionnement doit être calculée par différence de température, vous devez prendre en compte différents facteurs.

Le diamètre du chemin de roulement de la bague extérieure D_o

Pour déterminer le diamètre du chemin de roulement de la bague extérieure D_o (approximativement), il faut utiliser - selon le type de roulement - la formule 15 ou la formule

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

16.

Formule 15
 pour les roulements à billes et les roulements à rotule sur rouleaux :
 $D_o = 0,20 (d+4,0D)$

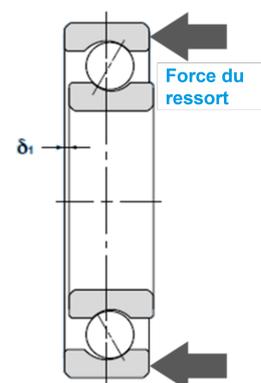
Le calcul du diamètre du chemin de roulement de la bague extérieure D_o s'effectue différemment pour les roulements à billes et les roulements à rouleaux.

Formule 16
 pour les roulements à rouleaux (sauf les roulements à rotule sur rouleaux sphériques) :
 $D_o = 0,25 (d+3,0D)$

Précharge

Jusqu'à présent, cet article portait sur les classes de jeu des roulements et sur la manière dont elles évoluent en fonctionnement. Mais selon l'application, il peut être nécessaire de précharger axialement les roulements.

Une possibilité, souvent utilisée dans les moteurs électriques par exemple, est la précharge axiale des roulements à l'aide d'un ressort (précharge par une pression constante). La figure ci-dessous illustre

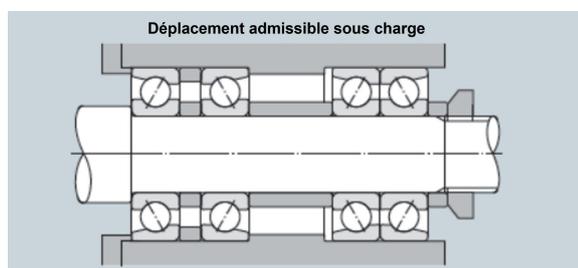


Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

ce principe. La force du ressort agit sur toute la circonférence.

Force du ressort pour un roulement à billes à gorge profonde.

Pourquoi fait-on cela ? La force de précharge du ressort a pour effet que toutes les billes s'adaptent aux chemins de roulement du roulement à billes à gorge profonde (jeu axial du roulement = $0\mu\text{m}$). La précharge provoque donc une pression au niveau des points de contact entre les corps roulants et les chemins de roulement. Celle-ci permet de réduire le bruit de fonctionnement et d'améliorer le comportement vibratoire.



Les roulements de broche sont des exemples de roulements qui sont préchargés.

Les roulements dans une broche de machine-outil (d'où le nom de roulement de broche) constituent un autre exemple d'application. Dans ce cas, les roulements de broche sont préchargés axialement, soit au moyen d'un ressort comme pour le moteur électrique, soit alternativement par un déplacement axial défini.

La précharge est plus fréquente sur les [roulements à billes à contact oblique](#) et les [roulements à rouleaux coniques](#). Une légère précharge a un effet positif sur la durée de vie totale. En revanche, la précharge comporte des risques lorsqu'elle est trop élevée. Il ne faut donc en aucun cas négliger le fait qu'elle peut entraîner une augmentation de la pression de contact, un développement de chaleur extrêmement élevé et une réduction de la [durée de vie](#) du roulement.

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

 Croulement-savant.fr

Effets de la précharge :

- Augmentation de la rigidité
- A recommander, sous condition, pour les vitesses de rotation les plus élevées (valable lorsque la précharge est réglée par un déplacement axial)
- Amélioration de la **concentricité** et de la précision de positionnement
- Influence positive sur les vibrations et le bruit de fonctionnement
- Réduction du risque de contamination
- Guidage forcé des corps roulants sur l'épaulement (par exemple pour les roulements à rouleaux coniques)

Les différentes conséquences de la précharge.

Vous pourriez également être intéressé par Calcul de la durée de vie

9. mars 2022

Zut - le roulement est endommagé ! Si vous considérez que les roulements sont soumis à une pression et à un cisaillement continus, cela n'a

[Poursuivre la lecture »](#)

Choix de l'ajustement

9. mars 2022

Ajustement serré, ajustement incertain, ajustement glissant. Après avoir lu cet article, vous devriez connaître et pouvoir définir ces trois types d'ajustement. Mais avant cela, il

Jeu des roulements, jeu en fonctionnement et précharge

[Poursuivre la lecture »](#)

Disposition en O, en X et en tandem

9. mars 2022

Si vous avez déjà lu les articles sur les roulements à billes à contact oblique ou les roulements à rouleaux coniques, vous avez peut-être déjà

[Poursuivre la lecture »](#)



Le roulement à billes à contact oblique

9. mars 2022

Le roulement à billes à contact oblique est pratiquement le frère du roulement rigide à billes. Caractéristiques des roulements à billes à contact oblique Peut-être

[Poursuivre la lecture »](#)



Le roulement à rouleaux coniques

9. mars 2022

Caractéristiques des roulements à rouleaux coniques Vous voyez ici un roulement à rouleaux coniques NTN. Comme leur nom l'indique, les roulements à rouleaux coniques font

[Poursuivre la lecture »](#)

Matériaux et fabrication

9. mars 2022

Avez-vous déjà jeté un coup d'œil à notre chapitre sur la conception et la fonction? Peut-être vous êtes-vous demandé en quoi étaient faits les roulements.

[Poursuivre la lecture »](#)