

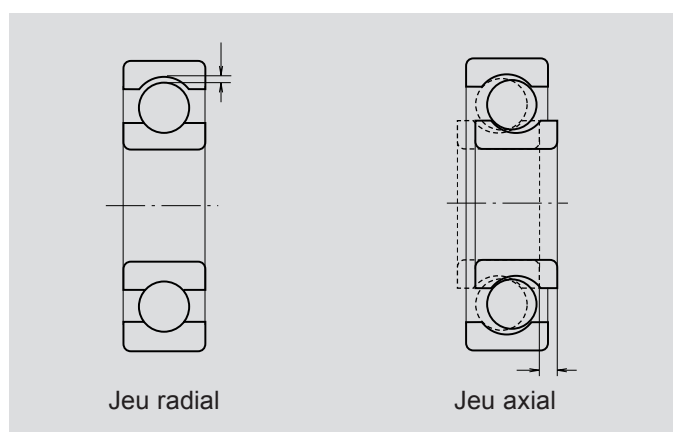
TECHNICAL INSIGHT

UNE PUBLICATION DE NSK EUROPE

Jeu interne – types et normes

Le jeu interne est la distance que les deux bagues d'un roulement libre peuvent parcourir lorsqu'elles subissent des poussées dans des directions opposées. On opère une distinction entre jeu radial et jeu axial.

Le jeu radial est mesuré perpendiculairement à l'axe central du roulement, tandis que le jeu axial est mesuré le long de l'axe central. On mesure l'écart entre l'une des deux positions finales et l'autre.



Le jeu interne exerce une influence majeure sur la performance opérationnelle des roulements. Il agit sur un certain nombre de facteurs comme la durée de vie en fonctionnement, les niveaux sonores et vibratoires, ou encore l'échauffement des roulements.

Jeu mesuré et jeu géométrique

Afin d'obtenir des valeurs réelles, le jeu théorique est déterminé en appliquant au roulement une charge de mesure spécifique. La valeur mesurée est toujours légèrement plus grande que le jeu interne théorique (ou « jeu géométrique »). La différence entre les deux valeurs correspond à la déformation élastique due à la charge de mesure appliquée.

Le jeu théorique peut être calculé en retranchant la valeur de la déformation élastique du jeu mesuré. La déformation élastique est minimale dans le cas de roulements à rouleaux, car le jeu interne défini avant le montage et le jeu théorique sont identiques.

Les tableaux de jeux internes propres aux types de roulements spéciaux sont consultables dans le catalogue de roulements NSK principal.

Conversion du jeu radial en jeu axial

$$\text{Jeu axial } \Delta_a = \Delta_r \cot \alpha = \frac{1.5}{e} \Delta_r$$

Δ_r : jeu radial

α : angle de contact

e : constante

Facteurs influant sur le jeu interne

Diminution du jeu radial liée à l'ajustement

Lorsque la bague intérieure ou extérieure est montée serrée sur l'arbre ou sur le logement, la dilatation de la bague intérieure ou la contraction de la bague extérieure engendre une diminution du jeu radial. Cette diminution est variable selon le type et la taille du roulement, ainsi qu'en fonction de la conception de l'arbre ou du logement. Elle représente environ 70 à 90 % de la valeur de serrage.

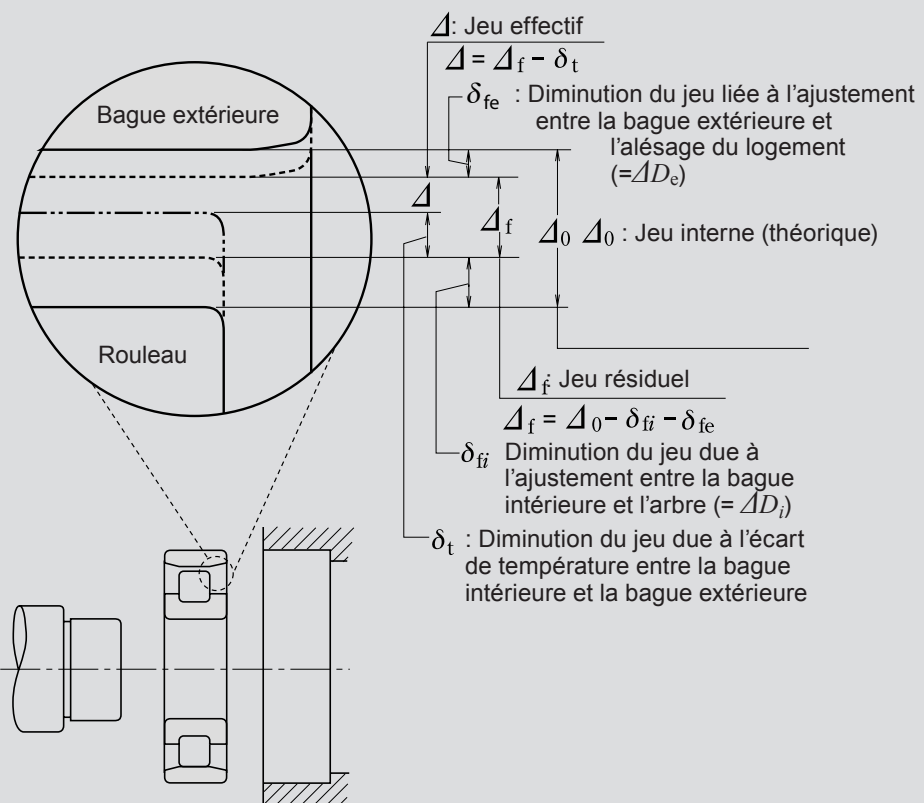
Après avoir retranché du jeu théorique (δ_{fe} and δ_{fi}) ces valeurs de diminution (Δ_0), le jeu interne ainsi obtenu est appelé « jeu résiduel » (Δ_f).

Diminution du jeu radial liée aux écarts de température entre la bague intérieure et la bague extérieure

La chaleur engendrée par le frottement durant le fonctionnement du roulement est évacuée par conduction à travers l'arbre et le logement. Étant donné que les logements, de par leur masse, sont de meilleurs conducteurs de chaleur que les arbres, la température de la bague intérieure et des éléments roulants est normalement de 5 à 10 °C supérieure à celle de la bague extérieure. En cas d'échauffement de l'arbre ou de refroidissement du logement, l'écart de température qui en découle entre la bague intérieure et la bague extérieure engendre une diminution du jeu radial.

Le jeu interne dit « effectif » (Δ) est obtenu en retranchant δ_t du jeu résiduel (Δ_f).

Modifications du jeu radial



Les équations suivantes permettent de calculer l'ampleur de cette diminution :

$$\delta_t = \alpha \Delta_t D_e$$

δ_t : diminution du jeu radial due à l'écart de température entre la bague intérieure et la bague extérieure (mm)

α : coefficient de dilatation thermique linéaire pour l'acier à roulements = $12.5 \cdot 10^{-6}$ (1/°C)

Δ_t : écart de température entre la bague intérieure et la bague extérieure (°C)

D_e : diamètre du chemin de roulement de la bague extérieure (mm)

Roulements à billes

$$D_e = (4D+d)$$

Roulements à rouleaux

$$D_e = (3D+d)$$

Le choix doit se porter sur un roulement présentant un jeu effectif nul (0) ou faiblement positif. Dans le cas de roulements à une rangée de billes à contact oblique ou de roulements à rouleaux coniques montés par paire (roulements appairés), le jeu effectif doit être minimal (sauf si une précharge est requise). En présence de deux roulements à rouleaux cylindriques munis d'un épaulement unilatéral et montés l'un en face de l'autre, le niveau de jeu axial doit permettre la dilatation sans entrave de l'arbre.

Jeu interne sur des applications spécifiques

Conditions de fonctionnement	Exemples	Jeu interne
Forte déflexion de l'arbre	Roulements de roue semi-libres pour le secteur automobile	C5 ou équivalent
Passage de vapeur dans un arbre creux ou présence de pièces en pression exposées à la chaleur	Cylindres sécheurs de machines à papier Rouleaux de convoyage de laminoirs	C3, C4 C3
Charges de choc et vibrations élevées, ou montage serré à la fois de la bague intérieure et de la bague extérieure	Moteurs de traction pour engins ferroviaires Cribles/tamis vibrants Embrayages hydrauliques Boîtes d'engrenages pour tracteurs	C4 C3, C4 C4 C4
Bagues intérieures et extérieures montées glissantes	Tourillons de cylindres pour laminoirs	C2 ou équivalent
Fonctionnement très silencieux et absence de vibrations	Petits moteurs avec spécifications particulières	C1, C2, CM
Jeu réglé pour éviter la déflexion de l'arbre, etc.	Broche principale de tours	CC9, CC1

Précharge – un type spécifique de jeu négatif

En règle générale, les roulements conservent un certain niveau de jeu interne lorsqu'ils tournent. Toutefois, il s'avère parfois opportun de définir un jeu négatif afin d'accroître la rigidité de l'assemblage des roulements. Cette mesure est désignée alors par le terme « précharge ».

La précharge est conçue pour l'utilisation de roulements dont le jeu peut être réglé au cours du montage, comme c'est le cas sur les roulements à billes à contact oblique et les roulements à rouleaux coniques. En général, deux roulements sont montés dans une configuration face-à-face ou dos-à-dos, formant un ensemble appairé préchargé qu'on désigne par le terme « duplex ».

Intérêt de la précharge dans des applications typiques

- › Arbres principaux des machines-outils et d'instruments de précision
Assure le maintien des roulements en position exacte, à la fois dans le sens radial et dans le sens axial ; assure la précision de rotation de l'arbre ; accroît la rigidité.
- › Arbres principaux des machines-outils, arbres de pignons des boîtes d'engrenages pour le secteur automobile
Accroît la rigidité des roulements et optimise l'engrènement.
- › Petits moteurs électriques
Réduit les bruits dus aux vibrations dans le sens axial et aux résonances.
- › Applications haute vitesse ou à fortes accélérations avec roulements à billes à contact oblique ou à gorges profondes
Prévient le patinage dû aux moments gyroscopiques entre les éléments roulants et les chemins de roulement.
- › Roulements à billes axiaux et butées à rouleaux sphériques auto-aligneurs montés sur arbre horizontal
Maintient les éléments roulants dans la bonne position par rapport aux bagues de roulement.

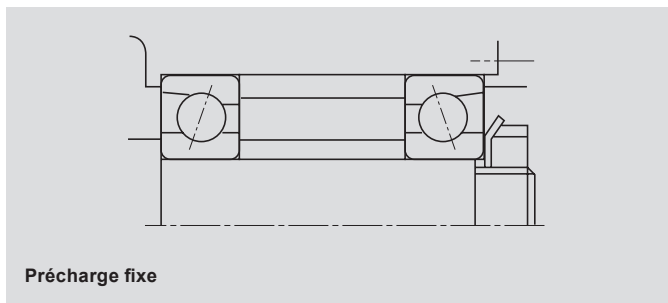
Types de précharge

1a) Précharge fixe

Pour réaliser une précharge fixe, on positionne deux roulements axialement opposés de manière à leur appliquer une précharge. Une fois fixés, leurs positions restent inchangées durant le fonctionnement.

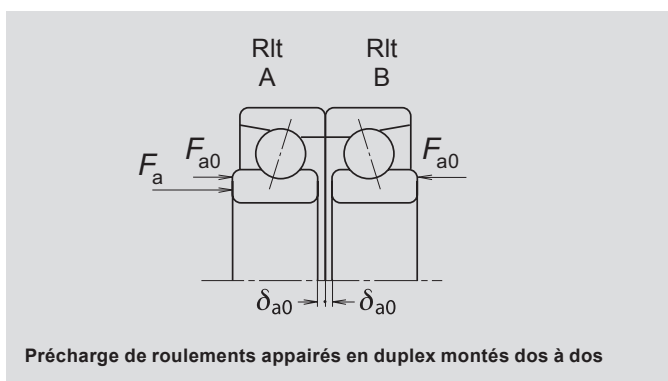
Dans la pratique, les trois méthodes suivantes sont généralement employées pour appliquer une précharge fixe :

- › Installation d'une paire de roulements (montage en duplex) dont les dimensions de déport et le jeu axial ont été prééglés
- › Utilisation d'une entretoise de taille appropriée afin d'obtenir les valeurs d'écartement et de précharge désirées
- › Recours à un montage boulonné pour régler la précharge dans le sens axial ; dans ce dernier cas, le couple de démarrage doit être mesuré afin de vérifier la valeur de précharge appropriée

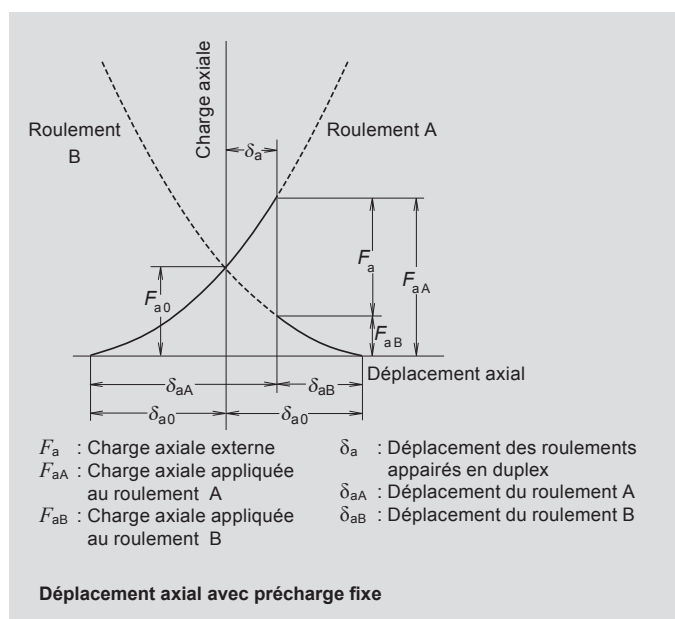


1b) Précharge fixe et rigidité

Lorsque les bagues intérieures des roulements A et B sont fixées axialement, le jeu $2\delta_{a0}$ qui existait entre les bagues disparaît. Une précharge F_{a0} est appliquée à chacun des roulements.

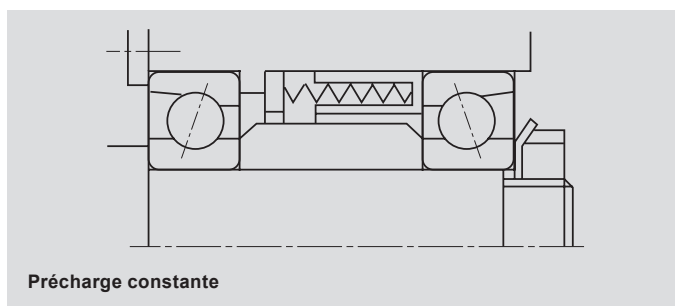


Rigidité des roulements – c'est-à-dire la relation entre la charge et le déplacement axial – avec charge axiale F_a prédéfinie appliquée à une paire de roulements montée en duplex.



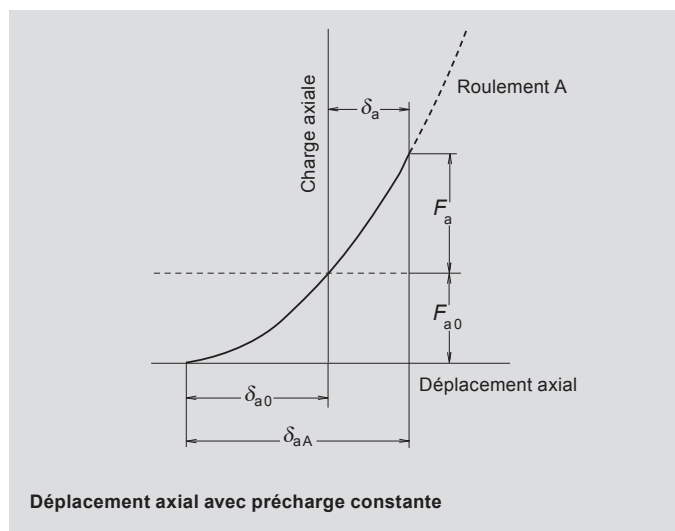
2a) Précharge constante

Une précharge constante est réalisée à l'aide d'un ressort hélicoïdal ou à lame. Ainsi, même si les positions relatives des roulements varient en cours de fonctionnement, la valeur de la précharge demeure sensiblement constante.



2b) Précharge constante et rigidité

Le schéma ci-dessous illustre la rigidité des roulements appairés en duplex sous précharge constante. La courbe de déformation du ressort est quasiment parallèle à l'axe horizontal, car la rigidité du ressort est plus faible que celle du roulement. En conséquence, la rigidité de l'ensemble des deux roulements appairés soumis à une précharge constante est sensiblement équivalente à celle d'un roulement auquel on applique un effort de précharge F_{a0} .



Comparaison de la rigidité des roulements et des méthodes de précharge

Les comparaisons de la précharge fixe et de la précharge constante aboutissent aux constats suivants :

- (1) Lorsque les efforts de précharge sont identiques, la précharge fixe assure une meilleure rigidité. En d'autres termes, un roulement soumis à une précharge fixe fléchit moins sous l'action de charges externes.
- (2) Les précharges constantes se prêtent davantage aux applications haute vitesse, à celles où il importe de prévenir les vibrations axiales et à celles utilisant des butées montées sur des arbres horizontaux.
- (3) En présence d'une précharge fixe, celle-ci varie en fonction des différents paramètres :
 - › Différence de dilatation thermique dans le sens axial entre l'arbre et le logement
 - › Différence de dilatation thermique dans le sens radial entre la bague intérieure et la bague extérieure
 - › Déflexion due à la charge
- (4) Dans le cas d'une précharge constante, la variation est minimale car les effets de la dilatation et de la contraction de l'arbre sont négligeables.

Valeur de la précharge

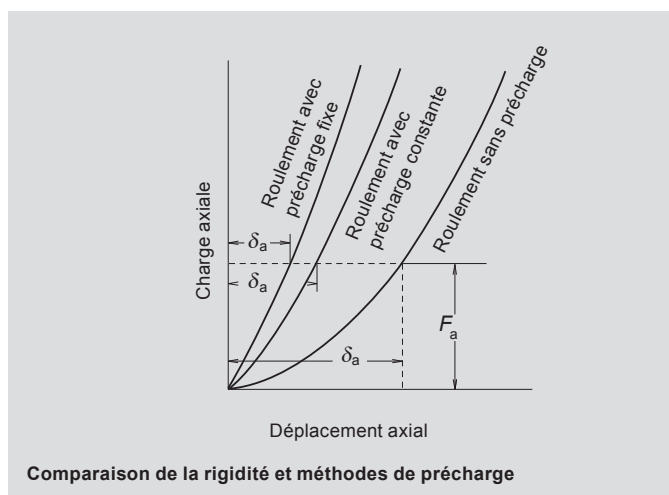
Une précharge plus forte que nécessaire peut mener à une augmentation anormale de la chaleur, une augmentation du couple et une réduction de la durée de vie en fonctionnement. La valeur de précharge doit être déterminée avec soin, en prenant en compte les conditions de fonctionnement et le but recherché au travers de la précharge. Dans des cas extrêmes, la durée de vie du roulement peut même se voir réduite à quelques heures.

(1) Précharge des roulements à billes à contact oblique appairés en duplex

En règle générale, pour les broches de rectification et les arbres principaux des centres d'usinage, on choisira plutôt une précharge légère, voire extra légère. Une précharge moyenne sera retenue pour les arbres principaux de tours nécessitant une bonne rigidité. Lorsque la vitesse est telle que la valeur de $D_{pw} \cdot n$ (valeur $d_m n$) est supérieure à 500 000, la précharge doit être étudiée et choisie avec le plus grand soin.

(2) Précharge des roulements à billes axiaux

Lorsque les billes des roulements à billes axiaux tournent à des vitesses relativement élevées, il peut se produire un phénomène de patinage dû aux moments gyroscopiques imposés aux billes. Afin d'empêcher ce phénomène, la plus grande des deux valeurs obtenues à partir des équations devra être retenue comme valeur minimale de charge axiale.



$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{100} \cdot \left(\frac{n}{N_{\max}} \right)^2$$

$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{1000}$$

$F_{a \min}$: Charge axiale minimale (N), {kgf}

n : Vitesse (tr/min)

C_{0a} : Capacité de charge statique de base (N), {kgf}

N_{\max} : Vitesse limite (lubrification à l'huile) (tr/min)

(3) Précharge des butées à rouleaux sphériques auto-aligneurs

Lorsqu'on utilise des butées à rouleaux sphériques auto-aligneurs, le glissement entre les rouleaux et le chemin de roulement de la bague extérieure peut provoquer des détériorations telles que la rupture des bagues. La charge axiale minimale nécessaire pour prévenir un tel phénomène ($F_{a \min}$) peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{1000}$$