



Philippe Gachet vérifiant l'état des pistes à l'aide d'un fil sur un roulement pour rouleaux de feutre.

## Retour en arrière

*Vous vous demandez peut-être ce qui a motivé SKF à publier cette lettre d'information. Cela remonte à 1994 lorsque le "SKF Ball Bearing Journal" a été remplacé par le magazine Evolution. Publié de 1926 à 1994, il était beaucoup plus technique, à l'inverse, Evolution suit une orientation plus généraliste.*

À l'époque, je travaillais comme ingénieur d'application pour SKF France. Certains professionnels de maintenance de l'industrie papetière et des concepteurs de machines pour l'industrie manufacturière m'ont signalé qu'ils avaient besoin d'une revue technique comme le "SKF Ball Bearing Journal". C'est ainsi que "SKF Info Papeterie" a vu le jour. Il s'agissait alors d'un simple document en noir et blanc délivrant des informations techniques à destination des ingénieurs et des recommandations pratiques pour les équipes de maintenance. La plupart des articles étaient fondés sur les questions que l'on me posait et sur des pratiques parfois observées au cours de mes visites d'usines. Lors de la prise de mes nouvelles fonctions internationales au sein de l'équipe "Pulp & Paper", le SKF Info Papeterie a été mis en veille après 20 numéros, et c'est l'année dernière que nous avons décidé de relancer cette publication.

Pour cette 3<sup>ème</sup> édition, j'ai choisi le thème du jeu interne dans les roulements à rotule sur rouleaux. Ce choix est motivé par le fait que de nombreuses personnes sont surprises d'apprendre que la réduction du jeu ne vise pas à obtenir un jeu correct mais un ajustement serré adéquat de la bague intérieure. La question, "Et le jeu du roulement alors ?", revient ainsi très souvent.

Concernant la réduction du jeu, la méthode des lames calibrées a été présentée dans le premier numéro. Toutefois, nos recommandations de valeurs de réduction du jeu interne vont être modifiées et les valeurs minimales admissibles ont disparues. Ces modifications n'ont aucune répercussion sur les méthodes de montage modernes pour roulements à alésage conique, comme la méthode par enfoncement axial SKF Drive-up et la méthode SensorMount qui seront expliquées dans le prochain numéro.

Je vous laisse maintenant à la lecture de ce troisième numéro de "SKF Info Papeterie". Les retours relatifs au premier numéro se sont révélés très positifs, ce qui constitue pour nous une excellente motivation. N'hésitez pas à nous contacter pour toute question ou commentaire.

*Cordialement,  
Philippe Gachet*



*La 4<sup>ème</sup> édition de ce guide à destination des concepteurs et utilisateurs de machines à papier est désormais disponible. Cette publication, téléchargeable sur [skf.com](http://skf.com), est identifiée par la référence 10580 EN.*

# C4 au lieu de C3

*Il arrive parfois que des variantes de roulements spécifiques ne soient pas disponibles, mais que le même type existe dans une classe de jeu radial différente. Est-il possible de l'utiliser comme alternative ?*

*Peut-on monter un roulement 22316 EK/C3 au lieu d'un 22316 EK sur des rouleaux de feutre ? Ce type de question est récurrent.*

*Intéressons-nous, par conséquent, aux différentes classes de jeu, aux critères de sélection et aux conséquences d'un changement de classe de jeu au sein d'une application.*

Dans cet article, il sera plus spécialement question des roulements à rotule sur rouleaux. La plupart des informations fournies s'applique également aux autres types de roulements, comme les roulements à rouleaux cylindriques ou les roulements rigides à billes. Ce n'est toutefois pas le cas pour la totalité des types et montages de roulements. Pour le roulement à rouleaux toroïdaux CARB, le jeu radial change avec le décalage axial et/ou le défaut d'alignement de la bague intérieure par rapport à la bague extérieure.

Avant de répondre aux questions les plus fréquentes, passons en revue quelques principes de base : qu'est-ce que la classe de jeu radial ?

Quel est son impact sur la durée de service du roulement ?

Quels rôles ont l'exactitude de rotation et le choix de la classe de jeu ?

## Principes de base

### Classe de jeu radial

Le jeu radial exact d'un roulement correspond au déplacement radial de la bague intérieure par rapport à la bague extérieure. Ce jeu radial dépend des diamètres des pistes, des diamètres des rouleaux et, dans le cas d'un roulement à rotule sur rouleaux, de la position des pistes sur la bague intérieure (fig. 1). Pour des raisons pratiques, les roulements sont livrés sans indication de jeu radial exact. Une plage de jeu est spécifiée conformément à la norme ISO 5753:1991. Cette classe de jeu radial est indiquée par un suffixe dans la désignation du roulement. Ces suffixes sont, dans l'ordre croissant, C1, C2, CN, C3, C4 et C5. CN correspond à la classe de jeu standard et, à ce titre, n'est pas inclus dans la désignation du roulement.

Dans certains cas, la classe de jeu est associée à un autre suffixe.

Pour des roulements à rotule sur rouleaux montés sur des machines à papier, les suffixes les plus courants sont C083 et C084.

C08 désigne un roulement présentant une exactitude de rotation accrue. C083 indique donc un roulement caractérisé par une exactitude de rotation accrue et un jeu de classe C3.

La classe de jeu radial est sélectionnée en fonction de l'application, autrement dit des conditions de fonctionnement (vitesse, charge, lubrification, transfert de chaleur), et d'une éventuelle réduction du jeu due à un ajustement serré. Les conditions au démarrage doivent également être prises en compte.

### Exemple pour un roulement 22320 EK :

	le jeu radial est de
22320 EK/C1	0,035 à 0,055 mm
22320 EK/C2	0,055 à 0,080 mm
22320 EK	0,080 à 0,110 mm (le suffixe CN est omis)
22320 EK/C3	0,110 à 0,140 mm
22320 EK/C4	0,140 à 0,180 mm
22320 EK/C5	0,180 à 0,230 mm

Des lettres peuvent être ajoutées à la classe de jeu pour indiquer une réduction ou un déplacement des tolérances.

C3L	désigne la moitié inférieure de la classe C3
C3H	désigne la moitié supérieure de la classe C3
C3P	désigne l'ensemble formé par la moitié supérieure de C3 et la moitié inférieure de C4
C3M	désigne l'ensemble formé par la moitié supérieure de C3L et la moitié inférieure de C3H

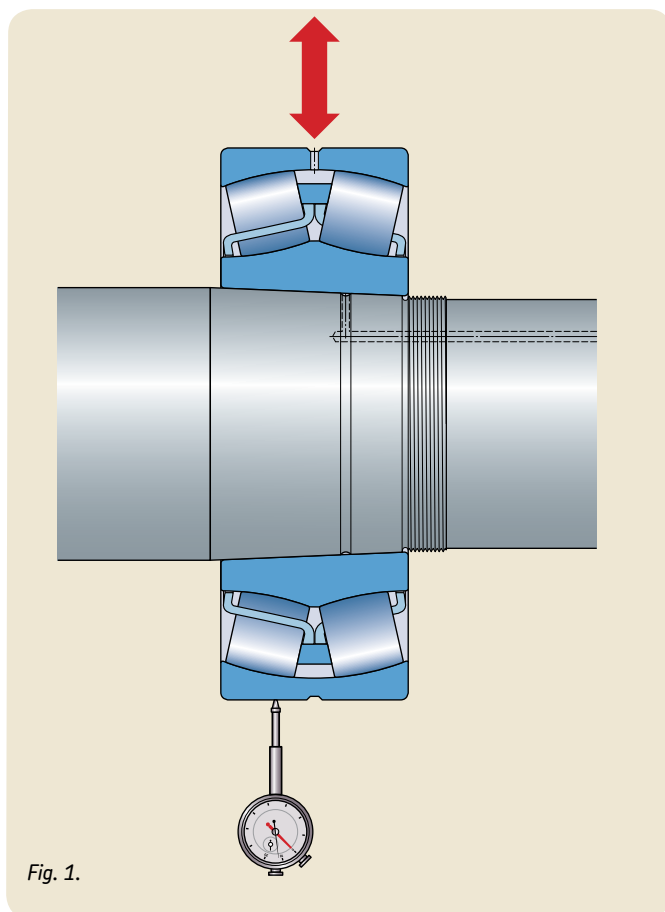


Fig. 1.

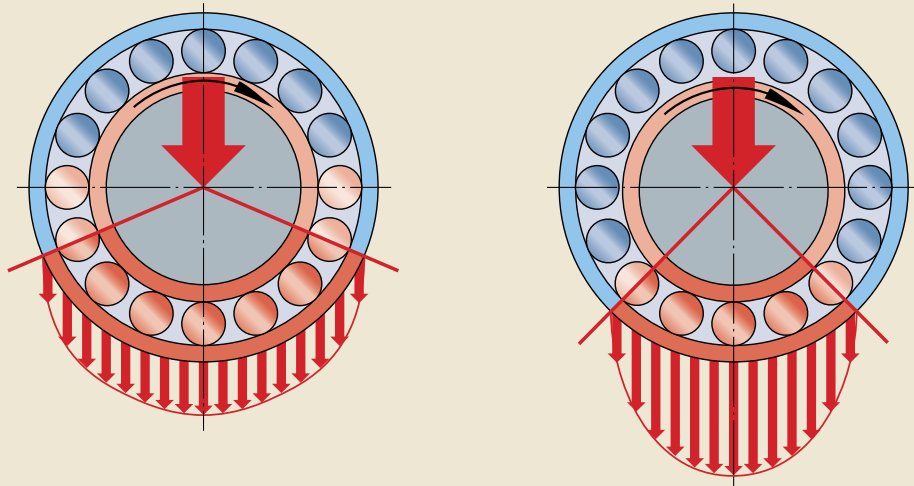


Fig. 2.

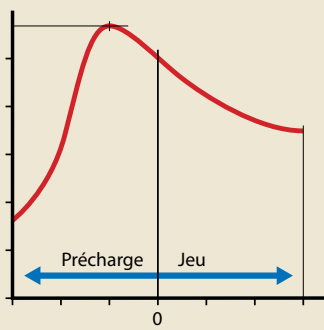
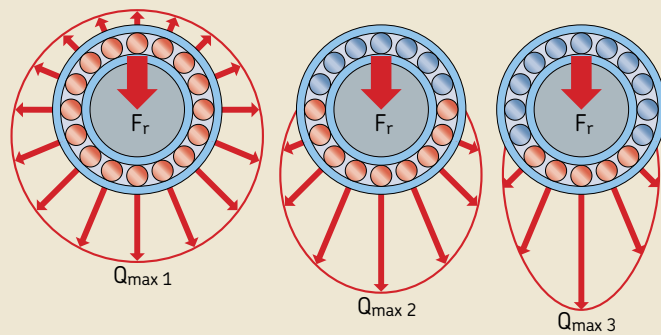
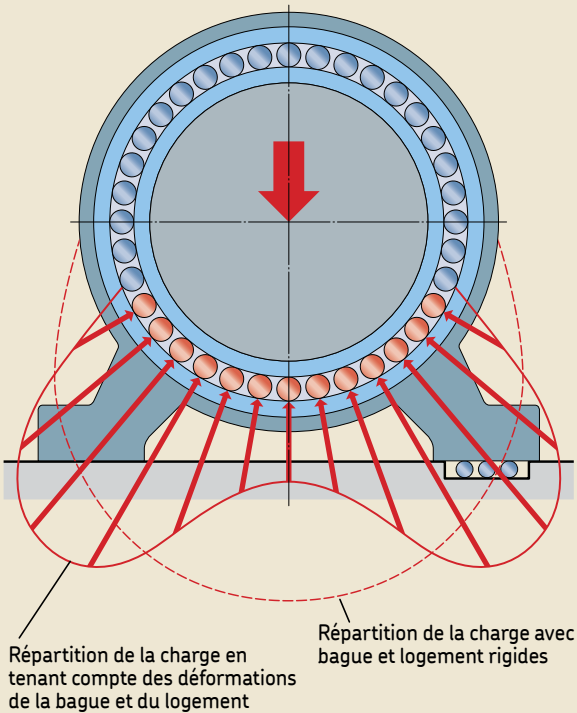


Fig. 3.



## Effet du jeu radial sur la durée de vie du roulement

La figure 2 montre que le roulement qui présente le jeu le plus élevé est celui qui compte le moins de rouleaux pour supporter la charge. La charge par rouleau et la pression de contact exercée sont donc nettement supérieures. Dans une telle situation, la durée en fatigue sera inférieure par rapport à l'autre roulement. Lors du calcul de la durée de vie nominale selon la méthode ISO, le jeu à l'intérieur du roulement est considéré comme nul (aucun jeu, aucune précharge), ce qui correspond à 50% des rouleaux sous charge. La charge globale exercée sur le roulement est donc supérieure, mais celle qui s'exerce sur le rouleau le plus chargé est inférieure, car mieux répartie sur l'ensemble des rouleaux. Par conséquent, la durée en fatigue du roulement augmente. Cependant, si la précharge devient trop importante, la durée en fatigue diminue rapidement (cf. courbe rouge sur la fig. 3). En réalité, un logement est flexible et comme la bague extérieure tend à épouser la forme de sa portée dans le logement, la distribution de la charge peut s'effectuer de manière totalement différente (fig. 4). La courbe de la durée en fatigue (en rouge sur la fig. 3) est alors modifiée, mais on observe toujours une chute brutale en cas de précharge excessive et une diminution de la durée en fatigue lorsque le jeu devient trop élevé. Le jeu et la précharge influent également sur le frottement et, par conséquent, sur le dégagement de chaleur du roulement. Pour faire simple, plus le jeu est faible, plus le frottement est élevé. Le frottement augmente aussi rapidement avec la précharge.



Répartition de la charge en tenant compte des déformations de la bague et du logement

Répartition de la charge avec bague et logement rigides

Fig. 4.

## Impact du jeu radial sur l'exactitude de rotation

La Figure 5 représente un roulement avec un jeu excessif mais des bagues et des rouleaux parfaitement ronds. Si la charge s'exerce toujours dans la même direction, la position de la bague intérieure par rapport à la bague extérieure reste identique. Toutefois, si la charge se déplace sur la position 3 heures (indiquée par la flèche en pointillés rouges), le centre de la bague intérieure se déplace vers la droite. En cas de variation de la direction de la charge, plus le jeu en fonctionnement est faible, plus l'exactitude de rotation est élevée.

Pour certaines applications qui requièrent une exactitude de rotation très élevée, comme les presses d'impression par exemple, un roulement à rotule sur rouleaux d'exactitude de rotation supérieure peut être monté avec une précharge (jeu négatif). Selon la méthode de montage et les conditions de fonctionnement, ce roulement à rotule sur rouleaux peut fonctionner avec une légère précharge sans risque d'entrer dans une zone de précharge excessive. Certaines usines de pâte, et même de papier, utilisent des presses à vis dans lesquelles la charge axiale est supportée par une butée à rotule sur rouleaux et la charge radiale, par un roulement radial à rotule sur rouleaux (fig. 6).

La butée est montée libre dans le sens radial à l'intérieur du logement et ne supporte donc aucune charge radiale. Lors de la compression de la matière brute, une charge radiale tournante est générée et sa magnitude peut dépasser la charge radiale sous l'effet du poids de la vis. Une charge tournante est alors exercée sur la bague extérieure du roulement à rotule sur rouleaux. La bague intérieure, et par conséquent l'arbre, présente alors un certain déplacement radial en fonction du jeu interne et de l'ajustement, libre ou non, du roulement dans le logement. Ce phénomène dépend également du jeu entre la bague extérieure et le logement. La bague intérieure (rondelle-arbre) de la butée effectue alors un déplacement radial et, par conséquent, il en va de même pour la bague extérieure (rondelle-logement) (fig. 7).

La bague extérieure (rondelle-logement) de la butée se trouve ainsi contrainte à un mouvement de frottement contre sa surface d'appui dans une mesure équivalente au jeu radial interne et à la magnitude de l'ajustement libre du roulement radial. Dû au frottement contre la surface d'appui, la butée va reprendre une partie de la charge radiale. Dans de nombreux cas, cela conduit à des défaillances précoces. Le battement des pistes (exactitude de rotation) influe également. À titre indicatif, les roulements à rotule sur rouleaux standard et roulements à rouleaux toroïdaux CARB de SKF, jusqu'à 300 mm de diamètre d'alésage, présentent une exactitude de rotation de classe P5.

Cette valeur est quatre fois supérieure à la norme ISO. L'exactitude de rotation globale d'une presse à rouleaux, par exemple, dépend également d'autres facteurs comme la forme des portées de roulements, celle des rouleaux, la coaxialité entre la portée de roulement et la partie rouleau, la position du point haut d'excentricité de la bague intérieure par rapport au point haut d'excentricité de la portée du roulement etc.

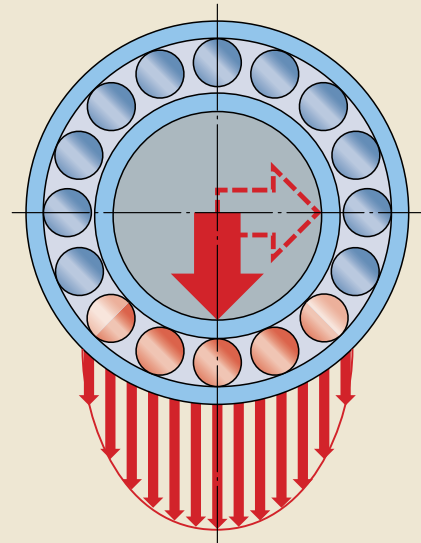


Fig. 5.

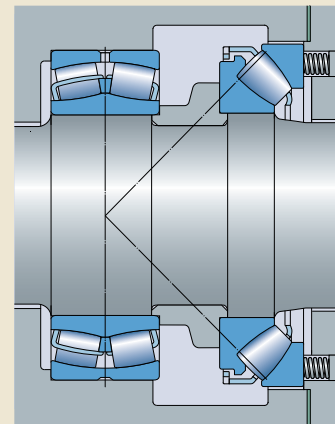


Fig. 6.

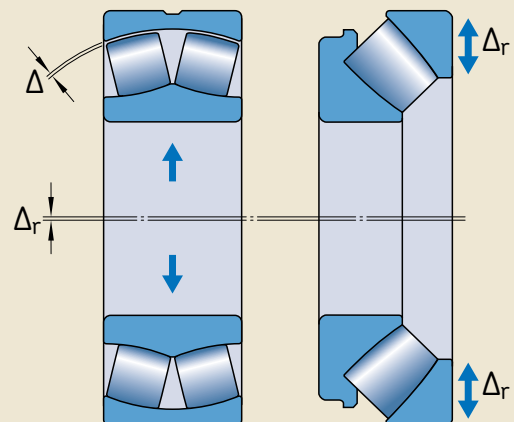


Fig. 7.

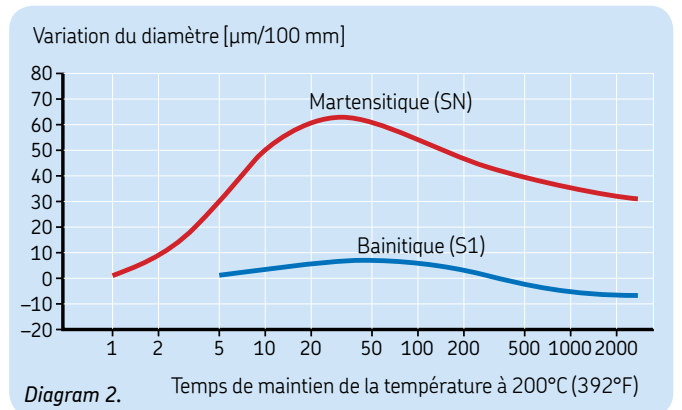
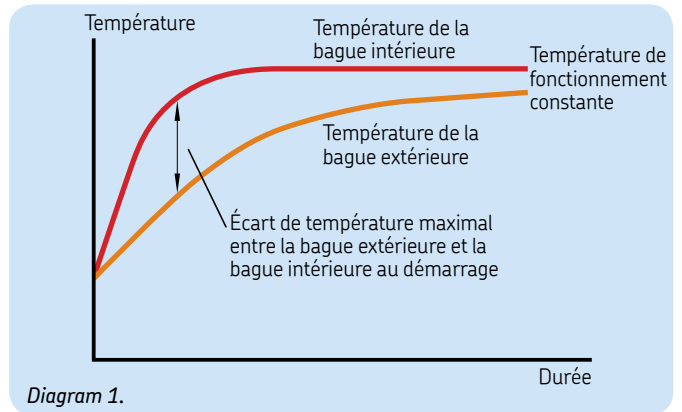
## Quelle classe de jeu choisir ?

Un ajustement serré du roulement sur et/ou à l'intérieur de sa portée dépend de l'intensité et de la direction de la charge. Des ajustements serrés réduisent le jeu radial. En règle générale, même si ce n'est pas toujours le cas, la bague intérieure du roulement présente un dégagement de chaleur plus important que la bague extérieure. Plus la vitesse et la charge sont élevées, plus l'écart de température entre les bagues extérieure et intérieure est important. En outre, plus la température de fonctionnement est élevée, plus le diamètre du rouleau augmente. Cela a pour effet de réduire le jeu radial à l'intérieur du roulement. Il convient aussi de tenir compte du démarrage. En effet, la température de la bague intérieure augmente plus rapidement que celle de la bague extérieure. Le jeu diminue puis après un certain temps augmente à nouveau. Il reste toutefois inférieur au jeu à froid. Ce phénomène est accentué lorsque l'arbre ou la portée est chauffé(e), comme sur les cylindres sécheurs, calandres ou cylindres yankee par exemple.

Le **Diagramme 1** indique l'écart de température entre la bague intérieure et la bague extérieure au démarrage. S'il n'y avait pas de phase de démarrage et que les roulements fonctionnaient à un régime constant, la classe de jeu C4 ne constituerait pas un choix judicieux pour les roulements des cylindres sécheurs. La classe de jeu C3 serait préférable en raison d'une meilleure répartition de la charge. Pour le vérifier, il suffit d'observer la zone de charge d'un roulement monté sur un cylindre sécheur. En moyenne, cette zone correspond à un angle de 90–120°. Cela indique que le roulement fonctionne avec un jeu excessif à une température de fonctionnement constante. Toutefois, si un roulement de jeu C3 était utilisé, la précharge risquerait de s'avérer excessive car l'écart de température entre bague intérieure et bague extérieure supprimerait complètement le jeu au démarrage. La stabilité dimensionnelle constitue un autre élément important en cas de température élevée. Des changements structurels s'opèrent au niveau de l'acier et les dimensions varient. Les bagues en acier non stabilisé soumises à un traitement thermique martensitique présentent les variations les plus importantes. Elles se dilatent dans un premier temps, puis se contractent.

Le **diagramme 2** indique la variation du diamètre à 200°C pour l'acier martensitique stabilisé pour 120°C et pour un acier bainitique stabilisé pour 200°C. Rappelons que tous les roulements à rotules sur rouleaux et roulements à rouleaux toroïdaux CARB sont stabilisés pour 200°C.

Les procédures de montage des roulements et l'environnement de la machine entrent également en ligne de compte. Si le roulement est monté selon une méthode de montage de faible précision, comme l'utilisation de lames calibrées, si un graissage excessif est probable ou si la température ambiante est extrêmement variable, il sera alors difficile de maintenir un jeu de fonctionnement précis. Même si l'on opte pour une classe de jeu qui correspond, en théorie, à un jeu de fonctionnement optimal, il existe un risque de précharge du roulement en fonctionnement. Pour cette raison, la plupart des classes de jeu radial sont sélectionnées et la plupart des roulements sont montés de manière à fonctionner avec un jeu même si cette solution n'est pas optimale en terme de durée en fatigue.



## À savoir :

- Ne soufflez jamais d'air frais sur un palier en cas de surchauffe du roulement. Cela pourrait avoir comme conséquence d'augmenter l'écart de température entre les bagues extérieure et intérieure et d'engendrer une précharge à l'effet désastreux.
- Soyez prudent si vous augmentez le débit d'huile ou procédez à une relubrification tandis que le roulement est en surchauffe. Un excès de lubrifiant pourrait contribuer à la surchauffe.

Le choix de la classe de jeu appropriée peut sembler complexe si aucune indication n'est donnée par le fournisseur de la machine. Dans certains cas, ce choix peut être compliqué car la vitesse, la charge, le type de lubrification, le système de refroidissement externe, le matériau et la géométrie de l'arbre, ou du logement, les ajustements, le transfert de chaleur et même la couleur du palier peuvent influencer sur les écarts de température entre la bague intérieure et la bague extérieure. Pour un usage général, qui représente plus de 90% des applications, le catalogue général SKF fournit les informations utiles. La solution n'est pas directement indiquée et plusieurs étapes sont parfois nécessaires :

- 1 Choisir le type et la dimension du roulement selon les charges.
- 2 Choisir les ajustements appropriés selon les charges. Le catalogue général SKF précise si une classe de jeu supérieure est requise.
- 3 Calculer la nouvelle vitesse de référence en fonction de la charge et de la lubrification. Nous apporterons également d'autres précisions à ce sujet dans un article à venir consacré aux vitesses limites.

## Roulements radiaux à alésage cylindrique

Conditions d'utilisation Exemples	Diamètre de l'arbre, en mm				Classe de tolérance	
	Roulements à billes <sup>1)</sup>	Roulements à rouleaux cylindriques	Roulements à rouleaux coniques	Roulements CARB et à rotule sur rouleaux		
<b>Charge tournante sur bague intérieure ou direction de charge indéterminée</b>						
Charges faibles et variables (P ≤ 0,05 C)	Convoyeurs, roulements de boîtes d'engrenages faiblement chargés	≤ 17	–	–	–	js5 (h5) <sup>4)</sup>
		(17) to 100	≤ 25	≤ 25	–	j6 (j5) <sup>4)</sup>
		(100) to 140	(25) to 60	(25) to 60	–	k6
		–	(60) to 140	(60) to 140	–	m6
Charges normales à élevées (P > 0,05 C)	Applications de roulements générales, moteurs électriques, turbines, pompes, engrenages, machines à bois, éoliennes	≤ 10	–	–	–	js5
		(10) to 17	–	–	–	j5 (j5) <sup>4)</sup>
		(17) to 100	–	–	< 25	k5 <sup>5)</sup>
		–	≤ 30	≤ 40	–	k6
		(100) to 140	(30) to 50	–	25 to 40	m5
		(140) to 200	–	(40) to 65	–	m6
		–	(50) to 65	–	(40) to 60	n5 <sup>6)</sup>
		(200) to 500	(65) to 100	(65) to 200	(60) to 100	n6 <sup>6)</sup>
–	(100) to 280	(200) to 360	(100) to 200	p6 <sup>8)</sup>		
–	> 500	–	–	p7 <sup>6)</sup>		
–	–	(280) to 500	(360) to 500	(200) to 500	r6 <sup>6)</sup>	
–	–	> 500	> 500	> 500	r7 <sup>6)</sup>	
Charges élevées à très élevées et charges de chocs associées à des conditions de service difficiles (P > 0,1 C)	Boîtes d'essieux pour véhicules ferroviaires lourds, moteurs de traction, laminoirs	–	(50) to 65	–	(50) to 70	n5 <sup>6)</sup>
		–	(65) to 85	(50) to 110	–	n6 <sup>6)</sup>
		–	(85) to 140	(110) to 200	(70) to 140	p6 <sup>8)</sup>
		–	(140) to 300	(200) to 500	(140) to 280	r6 <sup>8)</sup>
		–	(300) to 500	–	(280) to 400	s6 <sub>min</sub> ± IT6/26 <sup>8)</sup>
		–	> 500	> 500	> 400	s7 <sub>min</sub> ± IT7/26 <sup>8)</sup>
Exigences élevées en termes d'exactitude de rotation en présence de charges faibles (P ≤ 0,05 C)	Machine Outils	8 to 240	–	–	–	js4
		–	25 to 40	25 to 40	–	js4 (j5) <sup>10)</sup>
		–	(40) to 140	(40) to 140	–	k4 (k5) <sup>10)</sup>
		–	(140) to 200	(140) to 200	–	m5
		–	(200) to 500	(200) to 500	–	n5
<b>Charge fixe sur bague intérieure</b>						
Déplacement axial aisé de la bague intérieure sur l'arbre souhaitable	Roues sur essieux fixes					g6 <sup>12)</sup>
Déplacement axial aisé de la bague intérieure sur l'arbre non requis	Galets tendeurs, poulies à câbles					h6
<b>Charges axiales uniquement</b>						
	Tous types d'applications de roulements	≤ 250	–	≤ 250	≤ 250	j6
		> 250	–	> 250	> 250	js6

<sup>1)</sup> Pour des roulements à aiguilles : voir chapitre correspondant page 673.

Pour les roulements Y : voir chapitre correspondant page 421

<sup>2)</sup> Toutes les classes de tolérance ISO sont valides avec les exigences d'enveloppe (tel que H7<sup>ⓔ</sup>) conformément à ISO 14405-1

<sup>3)</sup> Pour des roulements à billes soumis à des charges normales à élevées (P > 0,05 C), un jeu radial supérieur au jeu Normal est souvent requis lorsque les tolérances d'arbre indiquées dans le tableau ci-dessus sont appliquées. Les conditions de fonctionnement imposent parfois un ajustement plus serré afin d'empêcher la bague intérieure des roulements à billes de tourner et de se déplacer (roulage) sur l'arbre. Si le jeu adéquat, généralement supérieur au jeu Normal, est utilisé, on peut employer les tolérances ci-dessous.

• k4<sup>ⓔ</sup> pour les arbres de 10 à 17 mm de diamètre

• k5<sup>ⓔ</sup> pour les arbres de (17) à 25 mm de diamètre

• m5<sup>ⓔ</sup> pour les arbres de (25) à 140 mm de diamètre

• n6<sup>ⓔ</sup> pour les arbres de (140) à 300 mm de diamètre

• p6<sup>ⓔ</sup> pour les arbres de (300) à 500 mm de diamètre

Pour plus d'informations, veuillez contacter le service applications engineering SKF

<sup>4)</sup> La tolérance entre parenthèses s'applique à des roulements en acier inoxydable

<sup>5)</sup> Pour des roulements en acier inoxydable de 17 à 30 mm de diamètre, la tolérance applicable est j5<sup>ⓔ</sup>

<sup>6)</sup> Des roulements avec un jeu radial interne supérieur au jeu Normal peuvent s'avérer nécessaires

<sup>7)</sup> Des roulements avec un jeu radial interne supérieur au jeu Normal sont recommandés pour d ≤ 150 mm. Pour d > 150 mm, des roulements avec un jeu radial interne supérieur au jeu Normal peuvent être nécessaires.

<sup>8)</sup> Des roulements avec un jeu radial interne supérieur au jeu Normal sont recommandés

<sup>9)</sup> Des roulements avec un jeu radial interne supérieur au jeu Normal peuvent être nécessaires. Un jeu radial interne supérieur au jeu normal est recommandé pour les roulements à rouleaux cylindriques

<sup>10)</sup> La tolérance entre parenthèses s'applique aux roulements à rouleaux coniques. Pour les roulements à rouleaux coniques faiblement chargés et fixés via la bague intérieure, des tolérances js5<sup>ⓔ</sup> ou js6<sup>ⓔ</sup> doivent être appliquées.

<sup>11)</sup> Pour des niveaux élevés de précision de rotation, des roulements dotés d'une précision plus élevée que normale sont nécessaires.

Les tolérances sur l'alésage et le diamètre extérieur sont plus serrées, ce qui a une influence sur les ajustements possibles. Pour obtenir les valeurs pertinentes, veuillez contacter le service des applications techniques SKF.

<sup>12)</sup> La tolérance f6<sup>ⓔ</sup> peut être choisie pour les roulements de grandes dimensions afin d'assurer un déplacement aisé

Tableau 1. Ajustements pour arbres pleins en acier.

Tableau extrait du Catalogue Général 10 000 EN.

## Prenons un exemple rapide

Par rapide on entend un moyen rapide de déterminer une classe de jeu qui permet au roulement de fonctionner sans jeu excessif ni précharge dangereuse. Il ne s'agira pas toujours de la classe de jeu optimale mais avec un peu d'expérience cela fonctionne.

Un roulement à rotule sur rouleaux pour rouleaux de feutre, 22222 EK, fonctionne à une vitesse de 200 tr/min et supporte une charge forte due à une nouvelle tension du feutre liée à l'augmentation de la vitesse de la machine. La charge dynamique équivalente, P, calculée à partir des charges radiale et axiale (selon une estimation basée sur le frottement entre la bague extérieure et le logement en position libre, qui, notons-le, est inexistant si des roulements à rouleaux toroïdaux CARB sont utilisés en position libre) avoisine les 96 kN. Le roulement est lubrifié avec une graisse dont la viscosité de l'huile de base est de 220 mm<sup>2</sup>/s à 40°C.

La charge dynamique de base du roulement, C, est égale à 560 kN. La charge statique de base du roulement, C<sub>0</sub>, est égale à 640 kN.

En premier lieu, que préconise le catalogue général SKF concernant l'ajustement sur l'arbre ? Même si le roulement présente un alésage conique (suffixe K), il est recommandé de consulter aux indications relatives aux roulements à alésage cylindrique (tableau 1, page 6).  $P/C = 96/560 = 0,17$  le roulement est exposé à une très forte charge.

Le roulement présente un alésage de 110 mm. Les recommandations indiquées dans le tableau sont un ajustement p6 et un jeu radial supérieur au jeu normal. Ainsi, l'enfoncement du roulement à alésage conique sur sa portée doit s'effectuer dans la moitié supérieure de la plage d'enfoncement et que la classe de jeu appropriée est la classe C3.

Intéressons-nous maintenant à la vitesse de référence. Elle s'élève à 3 000 tr/min pour le roulement SKF 22222 EK et représente la vitesse, dans des conditions de fonctionnement spécifiques, à laquelle s'établit l'équilibre entre le dégagement de chaleur du roulement et la dissipation de chaleur. Si le roulement fonctionne dans des conditions différentes de celles prises en compte pour le calcul de la vitesse de référence, une nouvelle vitesse, appelée vitesse admissible, doit être calculée. Les roulements peuvent dépasser la vitesse admissible dans certaines conditions, notamment si l'on choisit une classe de jeu supérieure. Toutes ces indications se rapportent à une température de fonctionnement du roulement de 70°C. Le facteur de correction dépend de la charge et de la viscosité.

Pour la lubrification à la graisse :  $N_{perm} = n_r f_p (f_{vréelle} / f_{vISOVG150})$

Pour déterminer la nécessité d'une classe de jeu supérieure pour le roulement SKF 22222 EK, il convient d'utiliser le diagramme 3, page 7.

$D_m$  = diamètre moyen du roulement =  $0,5 (d+D)$  [mm]  
 $d$  = diamètre d'alésage [mm]  
 $D$  = diamètre extérieur [mm]

Pour un roulement 22222 :  $d_m = 0,5 (110+200) = 155$  mm.  
 D'après le diagramme,  
 avec  $d_m = 155$  mm et  $P/C_0 = 0,15$ ,  
 $f_p = 0,53$  et avec  $P/C_0 = 0,15$  et ISO VG 220,  
 $f_{vréelle} = 0,83$ ; et  $P/C_0 = 0,15$  et ISOVG150,  $f_{vISOVG150} = 0,87$ .  
 $n_{perm} = 3\ 000 \times 0,53 \times 0,83/0,87 = 1\ 520$  r/min

La vitesse de rotation du roulement étant de 200 tr/min, donc inférieure à 1 520 tr/min, il n'est pas nécessaire d'opter pour une classe de jeu supérieure à celle retenue après prise en compte de l'ajustement.

Le roulement 22222 EK/C3 sera donc retenu.

Si vous manquez d'assurance, contactez SKF. Les ingénieurs d'application SKF disposent d'outils précis pour sélectionner la classe de jeu appropriée.

## Questions les plus fréquentes

### Puis-je opter pour un roulement dans une classe de jeu supérieure ?

Dans des applications générales comme les ventilateurs et dans la plupart des applications de l'industrie du papier, il est possible de choisir un roulement dans une classe de jeu supérieure, sans impact significatif sur la durée de service des roulements ou les conditions de service de la machine. Veillez toutefois à appliquer la classe de jeu recommandée lors du remplacement du roulement.

De nombreux mécaniciens choisissent le roulement de remplacement d'après la désignation du roulement déposé. S'ils ont opté par deux fois pour un roulement avec un jeu supérieur, il est possible que la machine fonctionne avec un roulement de jeu C4 alors qu'elle devrait être équipée d'un roulement de jeu CN.

Avec un roulement à rouleaux toroïdaux CARB, une méthode simple consiste à créer un décalage axial déterminé des bagues de manière à réduire le jeu interne.

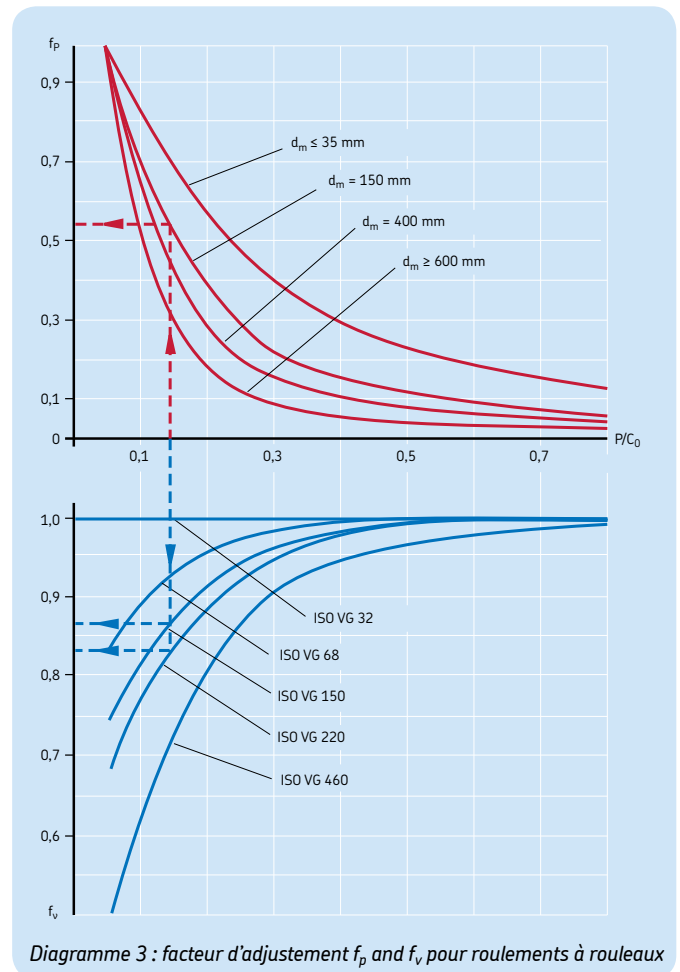


Diagramme 3 : facteur d'ajustement  $f_p$  and  $f_v$  pour roulements à rouleaux

## Puis-je opter pour un roulement dans une classe de jeu inférieure ?

Non, il n'est pas recommandé, en l'absence d'étude technique, de remplacer un roulement par un autre dans une classe de jeu inférieure en raison du risque de précharge excessive en service. Une solution consiste à augmenter le jeu du roulement disponible en réduisant le diamètre de la (des) piste(s) de la bague intérieure. Selon l'endroit et la manière dont l'opération s'effectue, les performances des roulements (frottement, exactitude de rotation, durée en fatigue) peuvent être réduites et s'éloigner des paramètres de conception initiaux SKF.

## L'exactitude de rotation d'un roulement C3 est-elle supérieure à celle d'un roulement C4 ?

L'exactitude de rotation ne dépend pas de la classe de jeu.

Les roulements standard SKF 22320 E, 22320 E/C3 et 22320 E/C4 présentent tous une exactitude de rotation P5 (quatre fois supérieure à la classe d'exactitude de rotation ISO normale). Toutefois, le jeu de fonctionnement résiduel peut influencer sur l'exactitude de rotation globale. Il importe également de bien comprendre qu'un roulement C4 peut fonctionner avec un jeu interne résiduel inférieur par rapport à un roulement C3.

Un roulement avec un jeu radial proche de la valeur maximale de la classe C3, monté avec un ajustement très peu serré, peut présenter, après montage, un jeu résiduel supérieur par rapport à un roulement C4 dont le jeu est proche de la valeur minimale de la classe C4 et qui est monté avec un ajustement très serré.

- 22320 EK/C3 : le jeu radial est compris entre 0,110 et 0,140 mm
- 22320 EK/C4 : le jeu radial est compris entre 0,140 et 0,180 mm

Prenons un roulement 22320 EK/C3 de 0,135 mm de jeu radial et un roulement 22320 EK/C4 de 0,145 mm de jeu radial. La réduction de jeu recommandée se situe entre 0,045 et 0,060 mm.

- Si la réduction de jeu du roulement 22320 EK/C3 est de 0,045 mm, le jeu résiduel après montage est de 0,090 mm.
- Si la réduction de jeu du roulement 22320 EK/C4 est de 0,060 mm, le jeu résiduel après montage est de 0,085 mm.

Bien sûr, un tel cas est relativement rare et, statistiquement, les roulements C3 ont un jeu résiduel après montage inférieur aux roulements C4. L'expérience visait à démontrer que cela ne se vérifie pas dans 100% des cas.

## La liste des roulements de mon magasin indique que j'ai besoin des références 22320 EK et 22320 EK/C3.

### Puis-je stocker uniquement la variante C3 ?

Pourquoi pas. Dans certains cas, notamment pour les roulements soumis à des charges faibles à modérées, l'augmentation du jeu de CN à C3 n'a que peu d'effet sur la durée de service ou l'exactitude de rotation ou cet effet reste dans les limites acceptables. La décision doit être prise au cas par cas. Il n'existe aucune règle générale.

## La lubrification a-t-elle un rôle dans le choix de la classe de jeu ?

La réponse est oui, puisque selon le lubrifiant (graisse ou huile, viscosité) et la quantité utilisée, la température du roulement et l'écart de température entre bague intérieure et bague extérieure seront différents. Par conséquent, passer d'une lubrification par bain d'huile à une lubrification à la graisse en vue d'éviter les fuites d'huile peut s'avérer risqué. Le catalogue général SKF fournit des informations complètes pour la plupart des cas.

## Ma machine vibre trop. Dois-je opter pour un roulement avec un jeu inférieur ?

Le jeu est rarement en cause en cas de vibrations.

Monter un roulement avec un jeu inférieur n'éliminera pas la cause.

La cause des vibrations doit être recherchée pour mettre en place des actions correctives. En outre, monter un roulement avec un jeu inférieur peut être risqué et entraîner une défaillance précoce due à une précharge excessive.

## Conclusion

J'espère que cet article offre une meilleure vision de ce qu'est la classe de jeu et de son impact sur les conditions de service. Le choix de la classe de jeu appropriée pour un roulement n'est pas toujours évident car plusieurs paramètres entrent en compte comme les ajustements sur l'arbre et dans le logement, la vitesse et la lubrification.

Nous reviendrons sur ces éléments de façon plus approfondie dans un futur article. Dans tous les cas, SKF est à votre disposition pour toute assistance.



*Philippe Gachet est ingénieur d'application chez SKF depuis 1990. Il occupe des fonctions internationales au sein de l'unité Industries Lourdes, et plus particulièrement pour l'industrie des pâtes et papiers. Vous pouvez le contacter par e-mail : philippe.gachet@skf.com*



# Le cas de la bague intérieure fendue



*Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux fendue au démarrage d'une machine à papier.  
Dégradation due à un écaillage profond et à un serrage beaucoup trop important.*

Au début des années 80, dans une usine de la Nouvelle-Angleterre, la machine à papier venait de subir un arrêt non planifié. Lorsque Sam, le responsable ingénierie et maintenance, arriva sur place, il était déjà établi qu'au moins un roulement coté CT des cylindres sécheurs était défaillant et que plusieurs engrenages d'entraînement présentaient des dents déformées. En un mot, la situation était critique.

Le plus urgent était de remettre la machine en service au plus vite. Un plan d'action avait été mis en place pour travailler 24H/24 aux réparations jusqu'à ce que tout rentre dans l'ordre. Quarante-deux heures plus tard, la machine redémarrait et fonctionnait à nouveau correctement. Mais l'histoire ne s'arrêtait pas là, il fallait maintenant passer à la phase de résolution du problème.

Une équipe pluridisciplinaire de personnes expérimentées s'était lancée dans une évaluation préliminaire des événements entourant l'incident. Un objectif commun : éviter les incidents récurrents entraînant des pertes de temps et d'argent.

Le "chef" de l'équipe est le directeur exécutif du département (Ted) et possède un niveau hiérarchique et un pouvoir décisionnel équivalents. L'"animateur" de l'équipe est l'ingénieur maintenance et fiabilité. Le planificateur et le contremaître de maintenance (Hank et Bob) font également partie de l'équipe. Le service ingénierie est représenté par l'ingénieur de zone (Terry).

D'autres départements, comme ceux des Achats et des Ressources Humaines sont également mis à contribution dans le cas de questions liées à un fournisseur ou à la formation. Pour cette réunion particulière, Sam était également présent.

L'ingénieur de maintenance (Jim) avait collecté un maximum d'informations qu'il avait ensuite communiquées à l'équipe. Ces informations se présentaient sous forme d'un tableau simple. Les questions de base posées étaient : quoi, quand, où, pourquoi, qui et comment. La question essentielle une fois la cause déterminée est : "Qu'est-ce qui doit être fait pour éviter que le problème ne se reproduise ?" Il a été établi que la défaillance du roulement n°10 du sécheur coté CT s'était produite quelques minutes seulement après le démarrage de la machine au cours d'une intervention de maintenance planifiée avec interruption de service. Le roulement de sécheur était complètement hors service. Les morceaux ou plutôt les débris avaient pénétré dans le train d'entraînement, occasionnant des dégâts au niveau des dentures de ces engrenages. Le roulement de sécheur était lubrifié, comme l'indiquait la présence d'un débit d'huile. Les rouleaux et la bague extérieure étaient tellement endommagés que toutes les tentatives d'exploitation à des fins d'évaluation étaient restées vaines. En revanche, la bague intérieure était encore fixée au tourillon du cylindre sécheur après la défaillance. La bague intérieure montrait des signes évidents de surchauffe et, plus important, une fissure. Là était la clé du mode de défaillance subi.

Jim contacta alors le fabricant du roulement. Lors d'une discussion avec l'un des ingénieurs d'application, il apprit que cette fissure témoignait d'une fatigue thermique ayant entraîné la défaillance. Ensemble, ils réfléchirent au fait que le roulement ait pu subir une surchauffe importante juste avant la défaillance. Un élément était fourni par l'enregistrement du "bruit" (vibration) du roulement juste avant l'arrêt. Il s'agissait d'une procédure opératoire normale pour chaque arrêt de machine programmé. Les "bons" résultats enregistrés à ce moment là ne laissaient présager aucun problème concernant ce roulement particulier et le train d'engrenages à proximité. Toutes ces informations furent présentées lors de la réunion. La discussion qui a suivi fut dirigée par Ted.

"D'où a pu venir cette surchauffe ?" demanda Ted à l'équipe. "Eh bien," s'est aventuré Bob, "s'il n'y a pas d'huile dans le roulement, les surfaces métalliques frottant l'une sur l'autre ont pu générer un échauffement important, rapidement."

"Est-ce que le roulement était alimenté en huile ?" rétorqua Ted.

"Oui, concrètement, on voyait encore le débit d'huile alimentant le roulement après la défaillance." répondit Bob.

"Par conséquent, l'apport en huile est-il un problème ?" dit Ted, agité. "C'est parfois le cas" a répondu Bob.

"Comment pouvons-nous nous assurer que l'alimentation en huile fonctionne correctement ?" Ted posa la question en s'adressant à Bob.

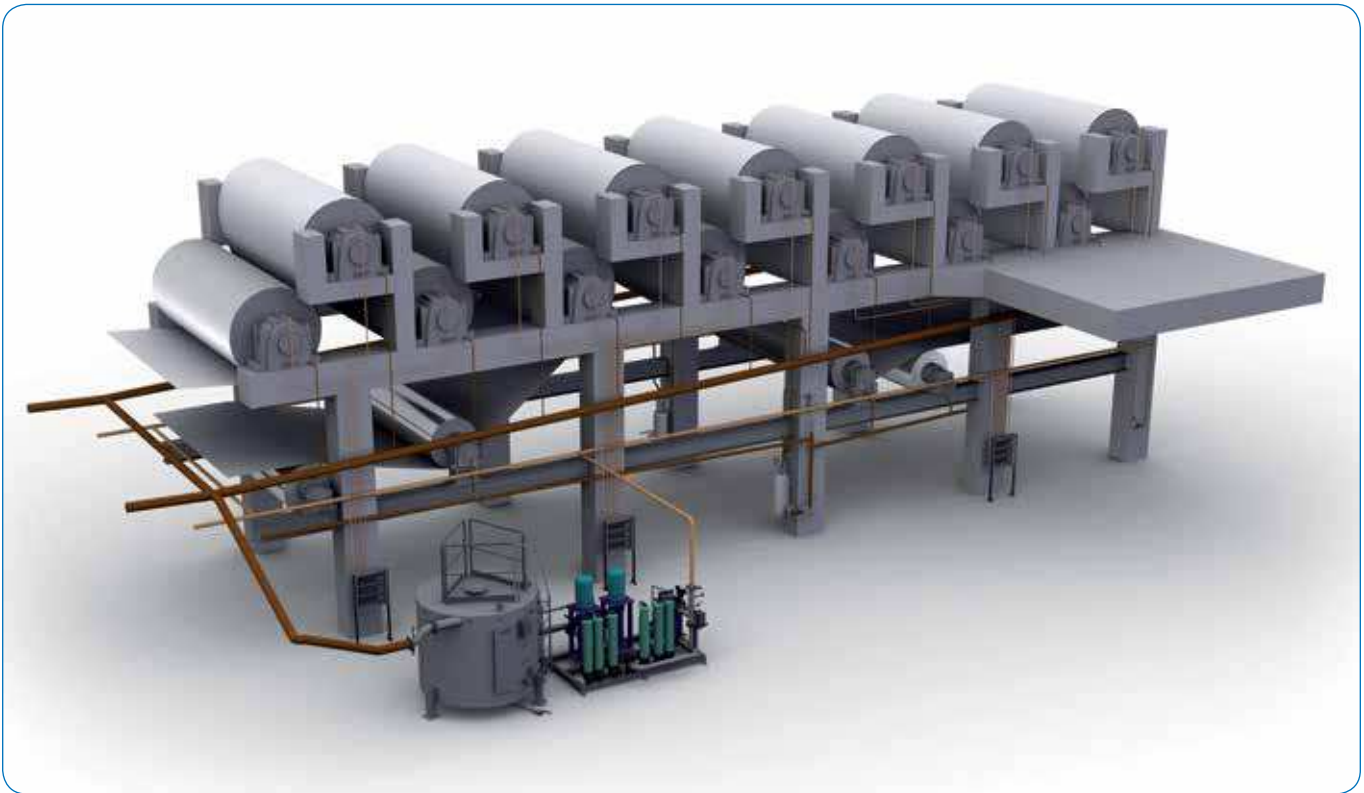
"Tout d'abord, par l'intermédiaire de l'opérateur-graisseur en charge de la machine", a répondu Bob.

"Surveillait-il le système de lubrification ?"

"Il le fait toujours, et cette fois là aussi, pour autant que je sache."

"Que peut-on faire pour être absolument certain que tous les roulements soient alimentés en huile," questionna Ted.

"Je pense qu'il existe des indicateurs de débit, des systèmes d'alarme, ou autres dispositifs similaires, même si je ne crois pas que le problème vienne de là." a répondu Bob.



*Système SKF Flowline permettant de faire passer l'huile réchauffée dans les canalisations avant le démarrage de la machine.*

Sam s'est immiscé dans la discussion. "Ne vous emportez pas, ce n'est pas une chasse aux sorcières, il ne s'agit pas de pointer du doigt les mauvais élèves. Nous sommes ici pour identifier la cause, trouver une solution et empêcher que le problème ne se reproduise. Nous n'allons pas perdre notre temps à formuler des accusations ou nous défendre. Est-ce clair ?"

"Oui," a répondu Bob ; d'autres ont également acquiescé.

"Ok, donc si nous disposions d'une alarme concernant le débit d'huile, nous pourrions avoir une indication sur cette cause particulière et éviter la défaillance, c'est bien cela ?" Face à l'approbation générale, Ted poursuivit : "Jim, prenez note de tout cela en vue d'un suivi. Je veux que Terry suive cette affaire et étudie les dispositifs d'alarme disponibles."

"Quelle est la procédure normale de mise en route pour cette machine ?" demanda-t-il au contremaître de la machine également présent.

"Eh bien, nous commençons par faire tourner les sécheurs dès que nous avons le feu vert. Autrement dit, dès que tous les arrêts de sécurité ont été débloqués sur la turbine".

"Et ensuite ?" poursuivit Ted.

"Nous ouvrons les vannes de vapeur qui alimentent les sécheurs pour leur permettre de chauffer" répondit le contremaître.

"Je pense qu'une partie du problème est là," s'écria Bob.

"Comment cela ?" demanda Ted.

"Eh bien, l'huile n'est pas encore vraiment chaude lors de l'ouverture des vannes de vapeur sur les sécheurs. Elle est peut-être à seulement 26-32°C [80-90°F] et reste épaisse comme de la mélasse tant qu'elle n'a pas atteint la température de service. C'est la partie la plus importante du travail des opérateurs graisseurs lors de la mise en route : ajuster le débit jusqu'à ce que l'huile et les conduits soient suffisamment chauds et que le débit d'huile se stabilise. En réalité, c'est une véritable corvée pour les opérateurs-graisseurs."

"Quoi d'autre ?" interrogea Ted.

"Lors de la mise en vapeur des sécheurs, la température est très élevée et la vapeur est conduite via l'alésage du tourillon CT," répondit Bob. "Toute cette chaleur soudaine sans aucun refroidissement doit être à l'origine d'une partie du problème."

"À quelle température est la vapeur à cet endroit ?" demanda Ted.

Terry répondit : "J'imagine qu'elle peut monter jusqu'à 149°C [300°F], et elle est probablement surchauffée car il n'y a aucun refroidissement tant que la condensation au niveau des sécheurs n'est pas suffisante pour déclencher les refroidisseurs."

"Vous voulez dire que le métal est chauffé jusqu'à environ 150°C puis exposé à une huile froide dont la température ne dépasse pas 26 à 32°C lors de la mise en route ?"

"Pas toujours," précisa Terry, "uniquement après des arrêts prolongés comme celui-là, où l'arrivée d'huile est coupée et la température de l'acier redescend à une température ambiante. Généralement, selon les travaux effectués sur la machine, nous laissons le système de circulation d'huile en route et le métal ne refroidit pas aussi rapidement."

"Qu'en est-il de la température de l'huile ?"

"Eh bien, le réchauffeur de l'huile repose sur des serpentins à vapeur et lorsque la turbine est à l'arrêt, le réchauffeur n'est pas alimenté en vapeur. Nous avons dû apporter certaines modifications au système de chauffage car il nécessite beaucoup de maintenance," répondit Bob.

"Donc, reprenons dans l'ordre : premièrement l'huile n'est pas chauffée lorsque la machine est à l'arrêt. Un chauffage de l'huile serait nécessaire. Nous envoyons de la vapeur surchauffée aux sécheurs avant que l'huile puisse être utilisée pour le refroidissement et, bien sûr, la lubrification. L'opérateur-graisseur a ensuite toutes les peines du monde à maintenir un débit d'huile donné, sans fuites aux paliers, lors du préchauffage de la machine."

Pour finir, au bout de quelques heures, l'huile atteint la température de service et le refroidissement de la vapeur ne s'effectue que lorsque la condensation au niveau des sècheurs a atteint un niveau suffisant. Est-ce bien cela ?" demanda Ted, animé d'une expression d'incrédulité face à l'assentiment général.

"D'accord, et maintenant que faisons-nous concernant ce festival d'inepties ?" interrogea-t-il.

"Nous pourrions isoler les alésages des tourillons coté CT pour réduire la chaleur," suggéra Terry.

"Combien de temps et quel budget faut-il prévoir ?"

"Beaucoup d'argent et beaucoup de temps. Il faudrait que chaque sècheur soit modifié, je pense que c'est hors de question."

"Une autre suggestion ?"

"Nous pourrions installer des réchauffeurs électriques dans le système de lubrification pour maintenir l'huile à la température de service, y compris à l'arrêt."

"Même question ?"

"Je ne pense pas que le coût soit très élevé. Pour ce qui est du temps d'installation, je ne sais pas, il faudrait vider la cuve. Je vais étudier la question," s'aventura Terry.

"Bien, prenez note Jim, et je veux un suivi d'ici la fin du mois," reprit Ted.

"Vous savez," commença Sam, "dans une autre entreprise où j'ai travaillé, il y avait des boucles de préchauffage sur le système de circulation d'huile pour faire circuler l'huile dans des collecteurs avant la mise en route. La circulation de l'huile lors de la mise en route était plus fluide et de nombreux tuyaux étaient ainsi préchauffés, ce qui facilitait la tâche des opérateurs-graisseurs lors de la mise en route. Nous pourrions peut-être envisager un système similaire sur cette machine ? Cela nécessite seulement une légère modification des tuyaux, des raccords et des vannes entre le collecteur de pression et la conduite d'évacuation."

"Êtes-vous partant ?" demanda le chef de cette équipe

"Bien sûr, je vais mener mon enquête et vous présenterai un chiffrage lors de la prochaine réunion," répondit Sam.

"Bien. D'autres suggestions ?"

"Ce problème de vapeur surchauffée ne devrait pas être difficile à résoudre," fit remarquer Terry. "Nous pourrions soit recueillir suffisamment de condensat pour la mise en route au lieu de le dissiper, ou amener de l'eau déminéralisée depuis l'installation thermique pour le refroidissement. Ce n'est pas si loin, je vais étudier la question."  
"Super, tout roule."

"Je pense que nous pourrions revoir notre procédure de mise en route," ajouta le contremaître de la machine : "nous pourrions vérifier auprès de l'opérateur-graisseur qu'il est prêt avant de lancer la vapeur. Je m'occupe d'intégrer ces modifications dans notre procédure."

"Autre chose ?" demanda le chef d'équipe. Il n'y eut aucune réponse. "Dans ce cas, fixons notre prochaine réunion au mercredi 23, à 13H, ici même. Ok ?"

Vous préparerez votre rapport sur la partie de la solution qui vous concerne."

Ce processus de résolution de problème n'a, à première vue, rien de révolutionnaire, mais il le fut pour cette papeterie. Elle disposait désormais d'un système de gestion des arrêts-machines et des pertes de production basé sur plusieurs points de vue et favorisait le partage d'expériences. Il s'agissait d'un processus simple axé sur le développement d'un plan et le suivi de chaque élément. Que pouvait espérer de plus un directeur de papeterie ? La mise en œuvre de solutions nécessite du temps mais l'élément

crucial de cette procédure réside dans le suivi.

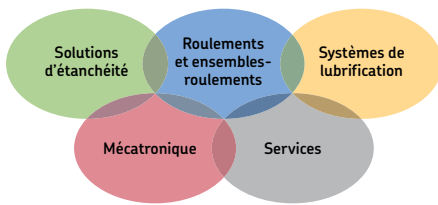
L'ingénieur de maintenance est l'animateur, le planificateur, la personne qui doit veiller à ce que le suivi des idées et des tâches soit effectué. Bien entendu, il bénéficie du soutien du Chef d'équipe et des membres de l'équipe.

La clé est de parvenir à éliminer un problème récurrent.

L'élimination d'un problème est la récompense pour avoir poursuivi le processus.

*John Yolton approche de sa 46<sup>ème</sup> année dans l'industrie Papetière. Vétéran chevronné de la fabrication du papier, Yolton a travaillé aux quatre coins du monde et assiste actuellement les industriels du papier dans leurs stratégies d'amélioration de la fiabilité des moyens de production. Vous pouvez le contacter à : [john.yolton@skf.com](mailto:john.yolton@skf.com).*





## The Power of Knowledge Engineering\*

*\*La puissance de l'expertise*

En s'appuyant sur cinq domaines de compétences et sur une connaissance des applications, accumulée depuis plus d'un siècle, SKF apporte des solutions innovantes aux fabricants d'équipements industriels et d'installations de production dans les principaux secteurs industriels à travers le monde. Ces cinq domaines de compétences incluent les roulements et ensembles-roulements, les solutions d'étanchéité, les systèmes de lubrification, les composants mécatroniques (alliance de la mécanique et de l'électronique au sein de systèmes intelligents), ainsi qu'une gamme étendue de services, de la modélisation 3D assistée par ordinateur aux systèmes avancés de maintenance conditionnelle et de fiabilité. Grâce à la présence mondiale de SKF, les clients bénéficient de normes de qualité uniformes et de produits distribués partout dans le monde.

### SKF Segment Industrie Papetière

Directeur de la publication : philippe.gachet@skf.com

Responsable Segment Papeterie : pierre.francois.beyrand@skf.com

© SKF, CARB et SensorMount sont des marques déposées du Groupe SKF.

© SKF Group 2011

Le contenu de cette publication est soumis au copyright de l'éditeur et sa reproduction, même partielle, est interdite sans autorisation écrite préalable. Le plus grand soin a été apporté à l'exactitude des informations contenues dans cette publication, mais SKF décline toute responsabilité pour les pertes ou dommages directs ou indirects découlant de l'utilisation du contenu du présent document.

PUB 72/S9 11147/1 FR · Décembre 2012

