



Ne me qualifiez pas "d'expert"

"Après 22 années d'expérience en tant qu'ingénieur auprès de l'industrie papetière, je continue d'apprendre. Toutes ces années m'ont, toutefois, permis de me forger quelques principes qui m'aident, aussi bien, sur le plan professionnel que personnel."

Le premier de ces principes est le suivant : "ce n'est pas parce que les choses ont toujours été faites d'une certaine manière, que cette méthode est bonne." Le second se fonde sur une citation de Gandhi : "L'erreur ne devient pas vérité parce qu'elle se propage et se multiplie ; la vérité ne devient pas erreur parce que nul ne la voit." Le troisième et dernier principe est "qu'en éclairant le passé, on éclaire également le présent."

Je me rappelle avoir été amené, il y a un certain nombre d'années, à superviser le montage de roulements de cylindres sécheurs.

Les monteurs-ajusteurs étaient employés par un prestataire de maintenance externe. Certains sortaient tout juste d'une mission en tant que boulangers... Le chef d'équipe était un homme d'un certain âge, que tous appelaient "le Chef". Celui-ci a expliqué à son équipe comment utiliser des lames calibrées pour vérifier le jeu des roulements et comment monter des roulements sur des portées coniques. Il leur a demandé de réduire le jeu à la valeur du jeu résiduel minimal admissible.

Comme je ne voulais pas contredire "le Chef" devant son équipe, j'ai attendu que nous soyons seuls pour lui expliquer qu'il ne devait pas viser le jeu résiduel minimal admissible. Cela peut entraîner des défaillances prématurées, voire même des fissurations des bagues

intérieures, en particulier sur des roulements pour cylindres sécheurs choisis dans les classes de jeu C4 et C5.

"Le Chef" m'a répondu qu'il avait travaillé pendant plus de 20 ans pour un fabricant de grues. Il m'a également précisé qu'il avait toujours monté les roulements à rotule sur rouleaux de cette manière, sans que jamais aucune réclamation ne lui soit adressée. Je lui ai rétorqué que des roulements de grue n'appartiennent pas à la classe de jeu C4 et que les risques induits par un ajustement trop serré sont nettement moindres. Il avait malheureusement peu de temps à accorder au jeune ingénieur fraîchement sorti de l'école. "Le Chef", une fois parti à la retraite, est devenu formateur en montage de roulements et a enseigné sa méthode.

A l'époque, le catalogue général ne contenait aucune mise en garde concernant le jeu radial minimal admissible et les risques importants d'erreurs. L'erreur est ainsi devenue vérité pour un certain temps...

Aujourd'hui, vous ne trouverez aucune indication de jeu radial minimal admissible dans les nouveaux catalogues de roulements SKF.

Nous avons retenu la leçon et retiré ces informations. Depuis ce jour, je ne suis jamais à l'aise lorsqu'un collègue me présente en tant qu'expert...

Cordialement,
Philippe Gachet
Consultant technique senior
philippe.gachet@skf.com



Lubrification des roulements de cylindres sécheurs et Yankee

(2^{ème} partie)

Ce 7^{ème} numéro du SKF Info Papeterie est consacré à la suite de mon exposé sur les cylindres sécheurs et Yankee, entamé dans le 6^{ème} numéro. Comme promis, j'aborde des sujets importants : le traitement thermique de l'acier pour roulements, la classe de jeu, le choix de l'huile et la détermination des débits.

Traitement thermique de l'acier pour roulements

Comme nous l'avons évoqué dans le précédent numéro, les bagues intérieures des roulements utilisés dans les applications de cylindres sécheurs et Yankee sont soumises à des contraintes circonférentielles élevées. Ce phénomène est particulièrement présent lors des phases de démarrage où la dilatation du tourillon, par rapport à la bague intérieure, est maximale. Le risque de fissuration des bagues intérieures est plus ou moins important selon le type d'acier et le traitement thermique appliqué.

Intéressons-nous d'abord à l'acier martensitique. La grande majorité des roulements est fabriquée dans cet acier : il offre une dureté appropriée pour un coût relativement faible. Malheureusement, ce type d'acier présente des contraintes de traction résiduelles à proximité de la surface. Elles sont dues aux modifications structurales de l'acier qui s'opèrent pendant le traitement thermique ainsi qu'à l'augmentation volumique lors du refroidissement, plus rapide en surface qu'à cœur. De ce fait, le cœur doit augmenter en volume alors que la surface est déjà dure et ne peut plus se déformer. Cela génère des contraintes de traction, à proximité de la surface, dans la zone où les contraintes de cisaillement dues au contact entre les éléments roulants et les pistes, sont maximales. L'apparition de microfissures de fatigue en sous-couche est donc favorisée.

Les contraintes circonférentielles dans les bagues intérieures sont, par ailleurs, augmentées par leur niveau de serrage et/ou lorsque la portée du roulement est beaucoup plus chaude que la bague intérieure. Prenons l'exemple d'un roulement de cylindre sécheur, fabriqué en acier martensitique, présentant une contrainte de traction résiduelle, à proximité de la surface, de 80 MPa. Supposons qu'un ajustement serré conduise à une contrainte circonférentielle de 50 MPa et que la dilatation radiale de l'arbre, due à la vapeur, ajoute une contrainte supplémentaire dans la bague de 50 MPa. Il en résulte une contrainte de traction totale de 180 MPa, soit légèrement supérieure à la contrainte maximale de 175 MPa recommandée. La valeur de 175 MPa ne constitue pas une limite maximale absolue étant donné que des roulements neufs, exempts de toute altération sur leur surface, peuvent supporter des contraintes largement supérieures. Il s'agit néanmoins d'une limite pratique, dictée par l'expérience du terrain, où les surfaces des bagues subissent des dégradations.

Comparons cet exemple avec l'acier bainitique ou l'acier cémenté qui présentent, tous deux, des contraintes de compression résiduelles, à proximité de la surface, après traitement thermique. Avec un acier bainitique de qualité supérieure, présentant des contraintes de compression de 125 MPa, la contrainte totale, dans des conditions similaires, est de 25 MPa. Les micro-fissures en sous-couche se propagent donc plus lentement dans les aciers de ce type. Il est à noter, toutefois, que tous les aciers bainitiques ne sont pas produits de la même manière. Prenons l'exemple des deux dernières générations d'aciers bainitiques SKF, utilisés pour les roulements à rotule sur rouleaux, les roulements CARB et les butées à rotule sur rouleaux. Les contraintes de compression résiduelles sont sensiblement identiques. Cependant, la dernière génération présente une structure plus fine qui se traduit par un nombre de grains par unité de surface quatre fois supérieur et une dureté augmentée de 1 à 2 HRC. La résistance à la fissuration est alors nettement plus importante par rapport à la génération précédente.

Les aciers cémentés, du fait de leur cœur tendre, sont moins sensibles à la fissuration. Je n'ai jamais vu de roulement à rotule sur rouleaux SKF en acier cémenté monté sur un cylindre sécheur ou Yankee avec une bague intérieure fissurée. Néanmoins, j'ai été confronté à ce phénomène avec des roulements de certains autres fabricants. Il est également important de garder à l'esprit que le risque d'altération de la surface ou de fatigue en sous-couche n'est pas nécessairement réduit avec les roulements cémentés. La résistance à la fatigue est parfois même inférieure à celle offerte par les aciers bainitiques modernes. Un autre aspect important est la stabilisation thermique. Les roulements SKF destinés aux applications de cylindres Yankee et sécheurs sont stabilisés à une température de 200 °C. Cela signifie que la structure de l'acier (et donc sa dureté) seront très faiblement impactés par un fonctionnement à de telles températures. De plus, les modifications dimensionnelles seront limitées et acceptables, dans les limites suivantes :

- 0 à +10 µm/100 mm pour un fonctionnement à 150 °C pendant 2 500 heures (cas d'une stabilisation à 150 °C)
- -15 à +5 µm/100 mm pour un fonctionnement à 200 °C pendant 2 500 heures (cas d'une stabilisation à 200 °C)

Les roulements en acier martensitique standard voient leur structure métallurgique se transformer très rapidement lorsqu'ils fonctionnent à 120 °C. Ce phénomène se traduit par un gonflement des composants. Par le passé, lorsque ces roulements étaient utilisés sur les cylindres sécheurs, beaucoup d'entre eux perdaient l'ajustement serré de leur bague intérieure et finissaient par tourner sur le tourillon, entraînant sa dégradation. Les équipes de maintenance augmentaient alors l'enfoncement, sur la portée conique, pour obtenir un ajustement plus serré. Résultat : un accroissement de la contrainte de traction et, par conséquent, du risque de fissuration des bagues intérieures.

Considérons un roulement à rotule sur rouleaux 23052 CCK/CW33 monté sur un cylindre sécheur, dépourvu d'isolation, associé à une température de la vapeur de 130 °C. Les modifications dimensionnelles de la bague intérieure varient, de manière significative, en fonction de l'acier utilisé et du niveau de stabilisation thermique (**fig. 1**).

En tenant compte de la contrainte résiduelle, de la résistance à la fissuration et de la stabilité dimensionnelle, il apparaît que les roulements destinés aux applications de cylindres sécheurs et Yankee doivent être cémentés et stabilisés à 200 °C.

Cependant, dans la réalité, les choses ne sont pas aussi évidentes. Il y a 60 ans, en Suède, SKF proposait des roulements en acier bainitique stabilisés à 200 °C, pour les applications de cylindres sécheurs et Yankee. Ce matériau est devenu la norme pour ces applications et s'est ensuite imposé pour tous les roulements à rotule sur rouleaux SKF fabriqués en Suède. Aux États-Unis, en revanche, SKF a conservé l'acier martensitique comme matériau standard.

Des roulements avec bagues intérieures cémentées étaient proposés pour les cylindres sécheurs et Yankee. Pendant plusieurs décennies, les machines européennes utilisaient, pour la plupart, des roulements à rotule sur rouleaux en acier bainitique. Tandis que celles fabriquées aux États-Unis intégraient des roulements en acier martensitique et, pour les cylindres chauffés de la sécherie, des roulements cémentés. Pour compliquer les choses, les machines Beloit, conçues par sa filiale italienne, utilisaient des roulements en acier martensitique ou en acier cémenté. Au début des années 90, SKF a recommandé l'utilisation de roulements à bague intérieure en acier cémenté pour les cylindres chauffés. Cela s'explique par un souci d'uniformité, et par le fait que les machines européennes étaient souvent commercialisées sur des marchés privilégiant les roulements cémentés.

De nombreux clients, satisfaits de l'acier bainitique standard, ont continué à l'utiliser, tandis que d'autres ont opté pour l'autre solution. Voilà pour l'aspect historique mais la technologie a évolué.

Les dernières avancées en matière de traitement thermique et le parc de machines à papier équipées, dans la partie sécherie, de roulements standard SKF, nous ont conduits, fin 2010, à actualiser nos recommandations.

Les recommandations SKF

1. Si les tourillons sont isolés, il n'est pas nécessaire de recourir à des roulements à bague intérieure cémentée. Des roulements à rotule sur rouleaux et des roulements CARB standard peuvent être utilisés.
2. Si les tourillons ne sont pas isolés, des roulements à rotule sur rouleaux et des roulements CARB standard peuvent être utilisés si la température de la vapeur est inférieure à 170 °C (pour 8,35 bars). Dans les autres cas, il convient de monter des roulements avec bague intérieure cémentée.

Chez SKF, les roulements à rotule sur rouleaux et les roulements CARB à bague intérieure cémentée sont identifiés, dans leur désignation, par le suffixe HA3. La seule exception concerne les roulements à rotule sur rouleaux SKF fabriqués aux États-Unis qui sont, eux, identifiés par le préfixe ECB.

Exemple de roulement 23040 à alésage conique et jeu C4 :

- 23040 CCK/C4W33 (acier bainitique standard)
- 23040 CCK/HA3C4W33 ou ECB 23040 CCK/C4W33 (roulement avec bague intérieure cémentée)

Toutefois, nous attirons votre attention sur la pratique qui consiste à augmenter, simultanément, la vitesse des anciens cylindres sécheurs et la température de la vapeur au-delà de 170 °C. Des problèmes pourraient en découler, à moins d'utiliser des roulements appropriés.

Classe de jeu

Si nous démontons un roulement de cylindre sécheur pour observer les traces de fonctionnement sur la piste de la bague extérieure, nous constatons souvent que la zone de charge s'étend sur un tiers de la circonférence. Cela dénote un jeu en fonctionnement important ainsi qu'une répartition de la charge, peu optimisée, pour permettre au roulement d'atteindre une durée en fatigue maximale. Comme nous le savons, une légère précharge est préférable pour atteindre cet objectif (**fig. 2**). Lors d'un démarrage à froid, le jeu doit, toutefois, être suffisant pour éviter une précharge excessive. En effet, sous l'effet du passage de la vapeur à travers l'alésage du tourillon, la différence de température entre la bague intérieure et la bague extérieure est importante et entraîne une réduction du jeu. Par la suite, la zone de charge sera moins importante, une fois la température de fonctionnement constante. En théorie, une légère précharge n'est pas problématique car elle allonge la durée en fatigue. Cependant, du fait de l'augmentation du frottement, la précharge est susceptible d'augmenter - parfois de manière incontrôlée - avec le risque d'un blocage du roulement.

D'autres facteurs sont, en outre, à prendre en compte :

1. Les éventuelles erreurs de forme du logement et du tourillon
2. La méthode de montage pour obtenir le serrage approprié

La méthode des lames calibrées, encore largement utilisée, peut donner lieu à une plage étendue de réduction du jeu. Les montages incorrects restent fréquents. Certains monteuses s'efforcent d'obtenir la valeur minimale recommandée dans les anciens catalogues de roulements, pour le jeu résiduel. Sur les cylindres sécheurs, cela se traduit par une réduction excessive du jeu.

Fig. 1 – Dilatation de la bague intérieure en µm/100 mm.

Durée de fonctionnement	Acier martensitique stabilisé à 120 °C	Acier martensitique stabilisé à 200 °C	Acier martensitique obtenu par trempe en bain de sels stabilisé à 200 °C	Nouvel acier bainitique SKF stabilisé à 200 °C
10 000 heures	17	5	0,07	0,05
100 000 heures	70	13	0,31	0,35

Pour plus de sécurité, on peut opter pour un jeu de fonctionnement supérieur au jeu requis. En effet, les roulements utilisés dans les cylindres sécheurs et Yankee sont généralement surdimensionnés. Au fil des années, la classe de jeu C4 s'est imposée comme la norme pour les cylindres sécheurs et Yankee même si, dans certains cas, la classe de jeu C3 constitue le jeu optimal. Toutefois, lorsque les tourillons ne sont pas isolés et que la température de la vapeur dépasse 165-170 °C, nous recommandons un jeu C5.

Avant de nous intéresser à la lubrification, j'aimerais évoquer plusieurs aspects concernant le dimensionnement des roulements. Je n'aborderai pas le sujet de la durée des roulements, qui mériterait qu'on lui consacre un article spécifique, compte tenu de la confusion qui l'entoure ; mais il m'a paru nécessaire de clarifier quatre points.

Tout d'abord, le poids du cylindre Yankee et l'effort de pression à auquel il est soumis sont toujours pris en compte dans les calculs. Cependant, les charges induites par la tension du feutre et par la présence d'eau à l'intérieur du cylindre sont souvent négligées.

Ensuite, il est généralement admis que la durée nominale (L10h), qui tient compte uniquement de la charge et de la vitesse de rotation, doit être supérieure à 200 000 heures pour les roulements de cylindres sécheurs et Yankee. Il s'agit d'une vieille recommandation qui va au-delà de la durée préconisée pour les autres applications sur une machine à papier. Autrefois justifiée par la nécessité de compenser une lubrification insuffisante ou la contamination, elle conduit à des roulements surdimensionnés. Aujourd'hui, la formule de la durée modifiée SKF (L10mh), permet de calculer une durée de vie plus réaliste. Elle tient compte de la contamination solide (efficacité du filtre à huile), de la séparation des surfaces dans le contact roulant (rapport de viscosité) et de la limite de fatigue du matériau.

Toutefois, les acteurs de l'industrie papetière ne sont toujours pas parvenus à un consensus sur la durée modifiée SKF à viser. Certains fabricants considèrent qu'une durée de 100 000 heures est suffisante, tandis que d'autres restent attachés à l'ancienne référence de 200 000 heures. Personnellement, je suis d'avis que la durée L10mh doit être supérieure à 100 000 heures et que la quantité d'eau doit être maintenue en dessous de 200 ppm, en tolérant une quantité de 500 ppm uniquement en fonctionnement.

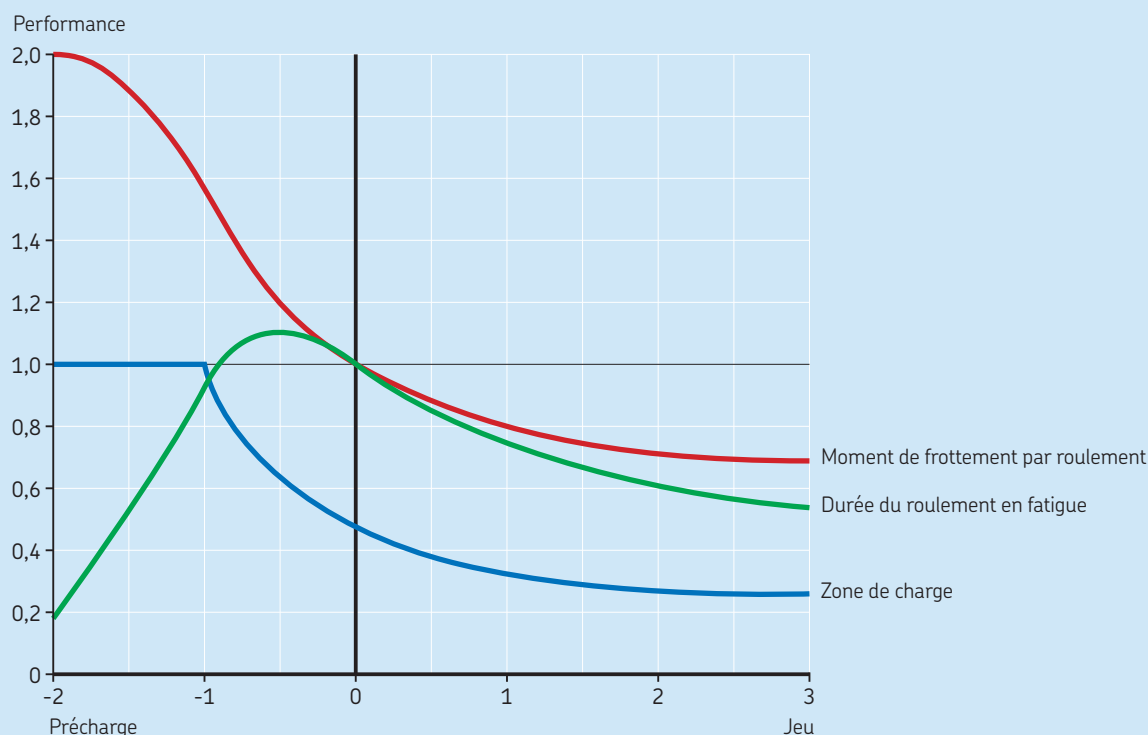
De plus, la teneur en eau de l'huile et son impact ne sont pas pris en compte dans le calcul de la durée modifiée. L'eau dissoute influe, sur la durée de vie des roulements, mais les résultats diffèrent selon les études. C'est l'absence de résultats cohérents qui explique que ce facteur ne soit pas pris en compte dans le calcul de la durée nominale.

Enfin, la durée calculée (nominale ou modifiée) et la durée de service sont deux notions différentes. La durée calculée est utilisée pour sélectionner un roulement pour une application donnée. La durée de service, elle, correspond à la durée de vie réelle d'un roulement au sein d'une application. La durée individuelle d'un roulement ne peut être calculée que de manière statistique et le calcul se rapporte à une population de roulements avec un certain degré de fiabilité. En général, les défaillances des roulements utilisés sur les cylindres sécheurs et Yankee ne sont pas dues à la fatigue initiée en sous-couche mais principalement à la corrosion et à une lubrification inappropriée.

Lubrification

Les méthodes de lubrification, par bain d'huile et par gouttes d'huile, ne sont pas recommandées pour les cylindres sécheurs et Yankee.

Fig. 2 – Influence du jeu interne du roulement sur la durée en fatigue et le frottement.





Pour une fiabilité optimale, SKF recommande, tout simplement, la lubrification par circulation d'huile sur les machines modernes. Dans certains cas, on utilise la même huile pour lubrifier les roulements montés sur les cylindres sécheurs, les rouleaux aspirants, les rouleaux de feutre et les engrenages intégrés. Il s'agit d'un "compromis" car les huiles pour engrenages et celles pour cylindres sécheurs présentent des propriétés différentes. Les huiles pour engrenages doivent contenir des additifs EP qui ne sont pas recommandés pour les applications de cylindres sécheurs.

Concernant les cylindres Yankee, SKF recommande des systèmes de lubrification distincts pour les roulements du cylindre, le réducteur d'entraînement externe, la presse aspirante ou le rouleau presseur. Il s'agit d'applications relativement différentes qu'il est préférable de lubrifier, chacune avec une huile aux propriétés adaptées.

Cette approche évite en outre la contamination croisée. Par exemple, l'huile de lubrification du rouleau de presse aspirante pourrait être contaminée par l'eau. De plus, les additifs EP requis pour les engrenages accélèrent le vieillissement de l'huile et réduisent considérablement la durée des roulements.

Nous allons maintenant nous intéresser de plus près à la lubrification, mais gardez à l'esprit que cela s'applique uniquement aux roulements de cylindres sécheurs et Yankee.

Débit et viscosité de l'huile

De toute évidence, le débit mis en place doit être suffisant pour refroidir les roulements de la sécherie et garantir que la viscosité de l'huile soit suffisante pour permettre la formation d'un film adéquat. SKF utilise la valeur (κ) comme indicateur de la séparation des surfaces dans le contact de roulement.

Il s'agit d'un rapport de viscosité : $k = v/v_1$ avec

k = rapport de viscosité

v = viscosité réelle de service de l'huile, en mm^2/s , à la température de fonctionnement

v_1 = viscosité minimale requise (dépendant de la vitesse linéaire des éléments roulants), en mm^2/s .

Le catalogue général SKF explique que la viscosité minimale requise correspond à la viscosité permettant une séparation adéquate des surfaces et précise également comment la calculer. Plus la valeur de k est élevée, plus la séparation des surfaces sera importante.

Au-delà de $k = 4$, les surfaces sont complètement séparées.

Pour les machines à papier, SKF recommande de manière générale une valeur k comprise entre 2 et 4. En ce qui concerne les cylindres sécheurs et Yankee, compte tenu de la température de service élevée et de la vitesse de rotation relativement faible, les roulements peuvent être amenés à fonctionner avec une valeur k inférieure à 1. Elle peut même parfois être inférieure à 0,2, ce qui se traduit par une lubrification limite avec un risque de microfissurations et d'écaillages de surface et/ou d'usure abrasive. Cela est particulièrement fréquent avec les anciennes machines sur lesquelles les tourillons ne sont pas isolés. Ces machines sont souvent utilisées à des vitesses supérieures à la vitesse nominale alors que la température de la vapeur a également augmenté. Il n'est pas rare que les papeteries se plaignent d'une durée de service faible des roulements, de la carbonisation du lubrifiant et de fuites d'huile. Elles utilisent des machines avec des tourillons non isolés et d'anciens systèmes à circulation d'huile, à des températures de vapeur supérieures à 170 °C.

Le débit et la viscosité de l'huile seront choisis d'après un calcul de la valeur de k . Pour ce faire, SKF utilise un logiciel interne baptisé Drycyl. Des comparaisons entre les calculs et les mesures réalisées par un grand fabricant de machines à papier ont démontré la fiabilité de notre modèle. Étant donné que la température des roulements est principalement influencée par la température de la vapeur, l'influence de la charge peut, elle, être ignorée.

Les données requises sont les suivantes :

1. Référence du roulement
2. Vitesse de rotation
3. Température de la vapeur
4. Température de l'huile à l'entrée
5. Niveau d'isolation : aucune, isolation uniquement de l'alésage ou isolation de l'alésage et de l'extrémité du tourillon.
6. Utilisation de vapeur saturée ou de vapeur surchauffée en cas d'absence d'isolation.

Prenons un exemple :

- Roulement : 23148 CCK/C4W33
- Vitesse : 200 rpm
- Température de la vapeur (saturée) : 177 °C
- Température de l'huile à l'entrée : 55 °C
- Huile : ISO VG 220 (classe de viscosité de l'huile la plus utilisée dans les sécheries)

Tout d'abord, dans le cas d'un tourillon non isolé, il apparaît que la valeur k est inférieure à 1, même à des débits élevés (**fig. 3**).

La première amélioration pourrait consister à abaisser la température d'entrée de l'huile, mais de la condensation risquerait de se former dans le logement du roulement. De plus, lorsque le tourillon n'est pas isolé, diminuer la température d'entrée de l'huile de 5 à 10 °C n'a qu'un effet limité sur la température du roulement. Une autre alternative serait d'opter pour une huile de viscosité supérieure, par exemple, en passant de la classe ISO VG 220 à ISO VG 460 (**fig. 4**). Qui dit viscosité supérieure dit frottement supérieur à l'intérieur du roulement et, par conséquent, un échauffement également supérieur. Même si nous sélectionnons une huile d'une viscosité deux fois supérieure, l'augmentation de la viscosité à la température de service du roulement reste inférieure à 40%. De plus, les risques de fuites dues à la résistance à l'écoulement dans les conduits et tuyaux de retour s'en trouvent accrus : le système à circulation d'huile devra alors être modifié.

Par conséquent, essayons plutôt de conserver l'huile ISO VG 220 et d'assurer une bonne isolation de l'alésage et de la face d'extrémité du tourillon (**fig. 5**). Comme vous le constatez, une isolation efficace du tourillon permet de respecter les recommandations du catalogue général SKF relatives à la valeur k avec un débit d'huile légèrement supérieur à 3 L/min. Cependant, l'expérience montre que de nombreux roulements de cylindres sécheurs et Yankee fonctionnent correctement avec des valeurs k inférieures à 1 même si cela n'est pas conforme aux recommandations générales de SKF. C'est la raison pour laquelle, en s'appuyant sur son expérience pratique, SKF a mis au point le concept de k_{\min} valable uniquement pour les machines à papier. Sur la base de cette expérience, k_{\min} est la valeur k minimale à partir de laquelle la durée de service reste satisfaisante.

$$k_{\min} = n \cdot d_m / 80000$$

n = vitesse de rotation du roulement

d_m = diamètre moyen du roulement (diamètre d'alésage + diamètre extérieur, divisé par deux)





Si la formule donne une valeur inférieure à 0,25, alors $k_{\min} = 0,25$.

Pour reprendre notre exemple :

- Diamètre d'alésage du roulement : 240 mm
- Diamètre extérieur : 400 mm
- Vitesse : 200 tr/min

$$k_{\min} = [200 \times (240+400)/2]/80000 = 0,80$$

Dans ce cas, le tourillon doit être isolé pour atteindre une valeur supérieure à 0,80. Pour cet exemple, je recommanderais un débit d'huile compris entre 3 et 3,5 L/min, en configurant une alerte en cas de chute du débit d'huile en dessous de 2 L/min.

Les papeteries rencontrent parfois des problèmes de fuites d'huile à travers les joints de paliers, dues à la résistance à l'écoulement dans les conduits et tuyaux de retour. Elles me demandent souvent dans quelle mesure elles peuvent réduire le débit de l'huile. Un élément important à prendre en compte est que la valeur k diminue lorsque le débit de l'huile est réduit. La limite serait, par conséquent, un débit de l'huile donnant une valeur k égale à la valeur k_{\min} . Un autre élément important est la limite en dessous de laquelle la quantité d'huile dans le roulement devient insuffisante. Il y a peu d'informations disponibles sur cette limite qui dépend de nombreux paramètres.

Pour simplifier les choses et rester prudent, vous pouvez appliquer la règle ci-dessous.

Débit d'huile minimum = 0,00002 DB.

D = diamètre extérieur du roulement (mm)

B = largeur du roulement (mm)

Pour un roulement 23148 CCK/C4W33, le débit d'huile minimal serait de $0,00002 \times 400 \times 128 = 1,02$ L/min. Ainsi, dans notre exemple, le débit d'huile qui donne la valeur k_{\min} se situe juste en dessous de 1 L/min (fig. 5) et le débit d'huile minimum est légèrement supérieur à 1 L/min. Par conséquent, 1 L/min semble être la limite inférieure appropriée, mais cela ne modifie pas ma recommandation.

Si un client subit des fuites d'huile à un débit de 1,5 L/min et que le débit requis pour une valeur k au-dessus de k_{\min} est de 3 L/min, il y a un problème ! Soit les tuyaux de retour de l'huile n'ont pas été dimensionnés pour un débit de 3 L/min (ce qui est le cas sur des machines anciennes du fait de la température de la vapeur), soit ils sont encrassés par des dépôts d'huile usagée. Je me souviens d'un client qui avait essayé d'utiliser de l'huile pour moteurs diesel comme lubrifiant en espérant que les additifs détergents nettoieraient son système de circulation d'huile. Un autre avait utilisé un mélange de "white spirit" et de trichloréthylène qu'il avait fait circuler dans son système lors d'un arrêt-machine. Dans la plupart des cas, la solution réellement efficace consiste à remplacer les tuyaux de retour d'huile. Un autre élément important est le débit d'huile lors du démarrage de la machine. L'huile froide ou l'huile chauffée, refroidie lors du passage dans les tuyaux d'entrée froids, présente une viscosité trop élevée. Je vous invite à relire l'histoire de John Yolton, dans le 3^{ème} numéro du SKF Info Papeterie. Il évoque une solution pour remédier à ce problème.

Il convient de noter que plus la valeur k est faible, plus l'efficacité de la filtration est élevée.

- Un indice de filtre $\beta_{12} = 75$ est un minimum
- Un indice de filtre $\beta_6 = 200$, qui correspondait à une excellente efficacité de filtration il y a plus de 20 ans, est aujourd'hui considéré comme une valeur moyenne pour les machines à papier
- Le mieux est un indice de filtre $\beta_3=1000$

Fig. 3 – Tourillon non isolé

Résultats

Débit d'huile l/ min	Rapport de viscosité kappa	Viscosité mm ² /s	Température du roulement °C
0,5	0,27	8,2	136
1,0	0,31	9,3	130
2,0	0,35	10,8	123
3,0	0,38	11,5	120
5,0	0,40	12,0	118
10	0,41	12,3	117

Fig. 4 – Tourillon non isolé avec une viscosité de l'huile supérieure

Résultats

Débit d'huile l/ min	Rapport de viscosité kappa	Viscosité mm ² /s	Température du roulement °C
1,0	0,42	12,7	135
2,0	0,48	14,6	128
3,0	0,52	15,7	126
5,0	0,54	16,4	124
10,0	0,55	16,8	123

Fig. 5 – Tourillon isolé

Résultats

Débit d'huile l/ min	Rapport de viscosité kappa	Viscosité mm ² /s	Température du roulement °C
0,5	0,67	20,4	98
1,0	0,81	24,7	91
2,0	0,95	28,8	87
3,0	0,99	30,2	85
5,0	1,03	31,3	84
10,0	1,03	31,3	84



Quelle huile ?

Pour commencer, SKF ne recommande aucune marque ni huile en particulier. Nous avons pour habitude de laisser aux clients et aux fournisseurs d'huiles, le choix des lubrifiants. Dans les années 80, les choses ont évolué suite à une vague de défaillances de roulements de cylindres sécheurs et Yankee. Des études ont alors montré que ces défaillances étaient liées à des formulations d'huiles inappropriées. SKF et un grand fabricant européen de machines à papier ont travaillé, en étroite collaboration, pour résoudre ce problème. En 1988, SKF a établi une série d'essais de validation pour les huiles destinées à la sécherie des machines à papier. Dans un souci d'efficacité, seuls les essais simples et/ou connus pouvant être réalisés dans un laboratoire standard ont été retenus. De nombreuses huiles commercialisées pour la sécherie des machines à papier ont échoué aux essais. SKF a donc identifié les propriétés primordiales des huiles destinées à la sécherie :

- Stabilité thermique et chimique
- Viscosité stable
- Protection anti-corrosion
- Capacité de séparation de l'eau
- Propreté

Les essais de stabilité thermique et chimique sont déterminants. L'huile utilisée dans la sécherie doit éviter ou limiter les risques de formation de dépôts dans les systèmes d'alimentation et de circulation de l'huile, ainsi que sur les surfaces des roulements. Même après des sollicitations thermiques prolongées, l'huile lubrifiante ou les résidus générés par son vieillissement, ne doivent pas corroder chimiquement les pièces des roulements. Un début d'attaque, des dépôts ou une incrustation (produits de craquage) entravent la lubrification et finissent par endommager la surface des pistes ou des éléments roulants.

En vieillissant, sous l'effet du carbone, des produits de craquage, et des fines particules de matière en suspension issues de l'huile, celle-ci se trouble. Cette altération entraîne un encrassement des débitmètres et des niveaux d'huile, aboutissant à une absence de mesures ou à des mesures erronées. (fig. 6 et 7)

Les films d'huile peu épais ne doivent pas se résinifier ni se transformer en vernis sous les sollicitations thermiques (fig. 8). Il en résulterait un endommagement de l'ensemble du système de lubrification par le colmatage des conduites d'alimentation en huile ou des niveaux d'huile. Si des cages de roulements en laiton et/ou des pièces mécaniques en cuivre ou laiton sont utilisées, l'huile choisie ne doit pas oxyder ou corroder ces métaux non ferreux. Les essais de stabilité thermique et chimique sont réalisés à 120 °C et 140 °C. Lorsque la température de service du roulement est supérieure à 120 °C, il convient de tenir compte des résultats obtenus à 140 °C.

Ainsi, sur une machine moderne, équipée de tourillons isolés, sur laquelle la température de service du roulement reste inférieure à 100 °C, les résultats obtenus, à 140 °C, ne sont pas significatifs. Notez que les huiles minérales sont généralement déconseillées pour les températures de fonctionnement des roulements supérieures à 120 °C. Dans des conditions contrôlées, des valeurs légèrement hors tolérances relatives aux propriétés de la protection anti-corrosion, de la protection contre l'usure et de la séparation de l'eau peuvent être admises. Le niveau d'exigence de la protection anticorrosion est moins important. Toutefois, l'eau libre doit être entièrement éliminée et la teneur en eau doit être également maintenue en permanence proche de 200 ppm, par exemple, au moyen de séparateurs eau/huile adaptés.

La présentation détaillée de tous les essais nécessiterait à elle seule plusieurs numéros de SKF Info Papeterie. La plupart de ces essais sont normalisés selon ISO et/ou DIN. Aussi, vous trouverez, en page 8, les résultats d'un test d'huile. Il convient de noter que l'eau de process artificielle, utilisée pour le test EMCOR et l'essai de protection anticorrosion, est basée sur les formulations de cinq eaux de process différentes, prélevées sur différentes machines à papier utilisées en Allemagne. Par ailleurs, l'essai FE 8 est facultatif.

Si SKF ne recommande aucune huile en particulier, nous réalisons des essais pour le compte de nos clients afin de déterminer si l'huile envisagée est appropriée. Pour la réalisation de l'ensemble des essais, 10 litres d'huile neuve sont nécessaires. Notez que des résultats satisfaisants ne signifient pas que SKF recommande l'huile testée pour une utilisation en sécherie. Cela signifie simplement que l'échantillon évalué est approprié. Il est important de souligner ce point car il peut arriver que la formulation d'une huile soit modifiée

Fig. 6 Essai SKF sur rouleaux, rouleaux neufs à gauche.

Les rouleaux sont plongés dans l'huile et placés dans un four pendant 8 semaines. Cet essai fournit des informations sur la corrosion chimique et la formation de dépôts. Les huiles testées sont : adaptées pour les deux rouleaux du milieu mais inadéquates pour les deux rouleaux de droite.



sans changer d'appellation commerciale. Le spectre infrarouge est, à cet égard, très important car il nous permet de comparer facilement des lots d'huile en réalisant plusieurs fois l'ensemble des essais (fig. 9). Par précaution, je recommande donc de conserver deux litres d'huile prélevés dans chaque nouveau lot.

Pour conclure, après deux numéros de SKF Info Papeterie consacrés aux roulements de cylindres sécheurs et Yankee, il y aurait encore beaucoup à dire sur ce sujet. Toutefois, d'après les questions qui me sont posées par les papetiers, nous avons abordé les points les plus importants pour fiabiliser vos équipements.

Fig. 7 Deux huiles minérales différentes après 8 semaines d'utilisation à 120 °C.
L'huile de gauche est adaptée contrairement à celle de droite.

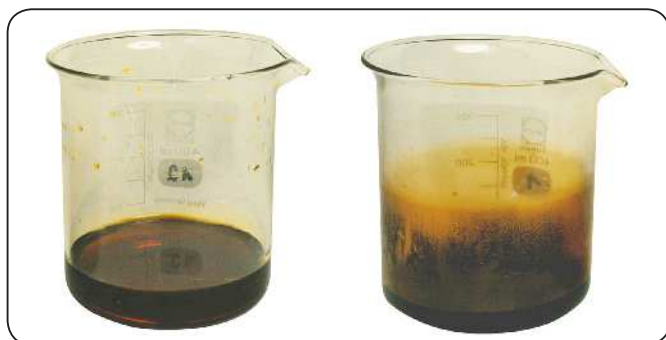
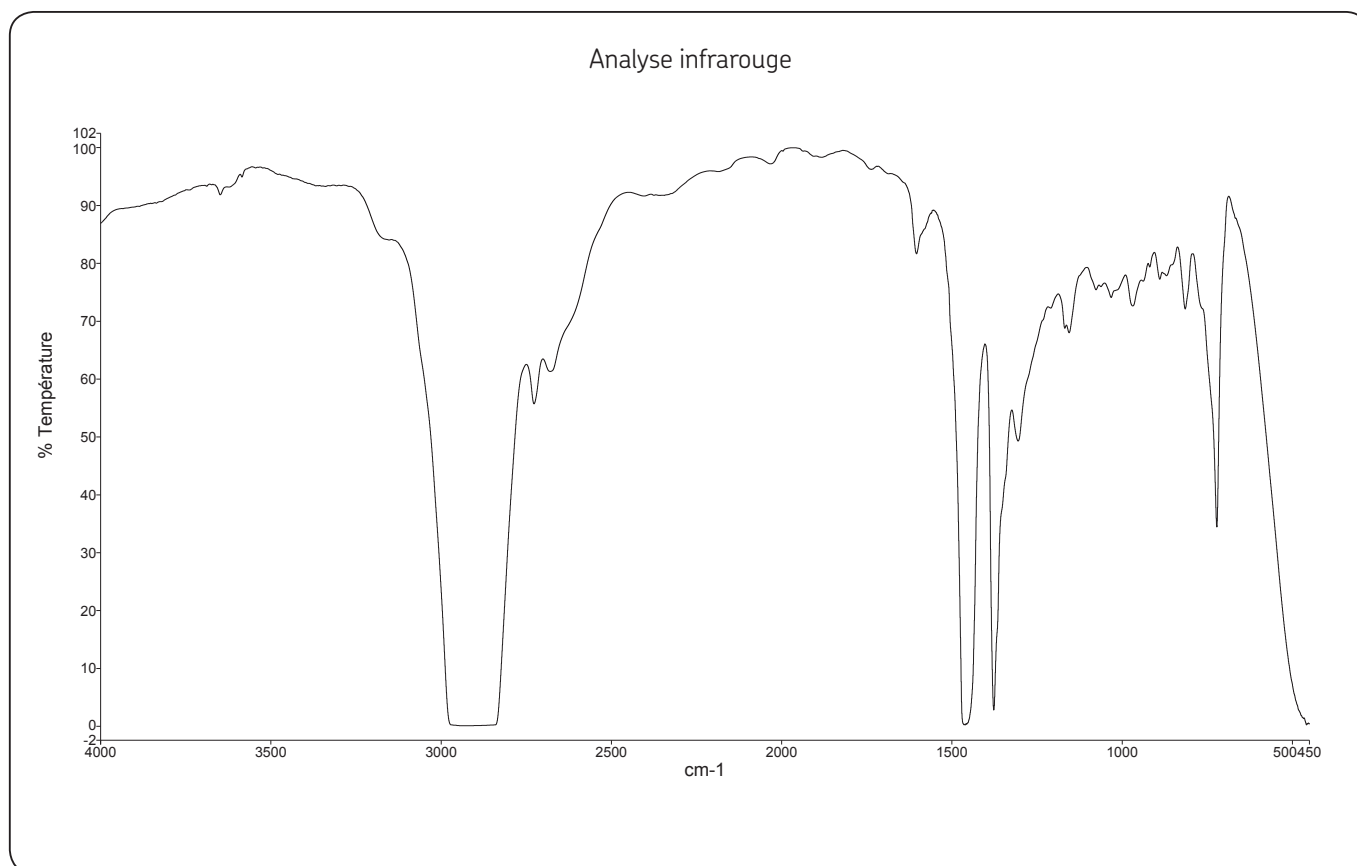


Fig. 8 Essai SKF de vieillissement de l'huile.
À gauche, après quatre semaines d'utilisation à 140 °C, l'huile synthétique s'est résiniifiée et la perte, par évaporation, s'élève à 93%.
À droite, après 4 semaines d'utilisation à 120 °C, la perte par évaporation de l'huile minérale est de 2 % seulement.



Fig. 9 Spectre d'analyse infrarouge



Analyse du lubrifiant

Analyse d'huile, conformément aux exigences SKF, relatives aux huiles de lubrification par circulation des machines à papier.

Analyse : selon le cahier des charges SKF : "Exigences applicables aux huiles de lubrification par circulation pour la sécherie des machines à papier"

Évaluation

	Essai SKF sur rouleaux (rouleau)	120 °C	140 °C	Protection contre l'usure (test quatre billes)	-
		+	+		
XYZ	Essai SKF sur rouleaux (huile)	-	-	SKF Emcor	
	Essai SKF de vieillissement d'un film d'huile	+		H2O distillée	+
				Eau de process artificielle	-
	Protection du cuivre	+		Capacité de séparation de l'eau	+
	Essai FE 8	Non demandé		Propreté	-
	Compatibilité du matériau d'étanchéité	+		Filtrabilité	+

Réussite de l'essai : +

Échec de l'essai : -

Conclusion :

L'huile analysée présente une stabilité thermique et chimique médiocre à 120 °C et à 140 °C, même si aucune incrustation, formation de dépôts ou attaque des rouleaux n'a été observée. La viscosité a augmenté de façon excessive : l'huile n'a, par conséquent, pas réussi l'essai sur rouleaux. Les résultats de la protection anticorrosion sont excellents en présence d'eau distillée mais insuffisants en présence d'eau de process artificielle.

La protection contre l'usure a été évaluée à l'aide du test quatre billes et les résultats obtenus ne sont pas conformes au cahier des charges. Il est probable que des résultats similaires auraient été obtenus si l'essai FE 8 avait également été réalisé. Cet essai n'avait pas été demandé par le client.

Les résultats concernant le niveau de propreté n'étant pas conformes, il est recommandé de filtrer l'huile au moment du remplissage de la machine à papier.

Tous les autres résultats d'essai sont satisfaisants.

Du fait de l'augmentation de la viscosité, lors de l'essai sur rouleaux, et de l'insuffisance de la protection anticorrosion, l'huile ne peut pas faire l'objet d'une recommandation pour la lubrification par circulation de roulements utilisés dans la sécherie de machines à papier.

Désignation de l'huile :
C3301/12 XYZ

Résultats d'essais

Essais		Méthodes d'essai	Unités	Résultats		Valeurs requises	
Stabilité chimique et thermique à 120 °C	Corrosion des roulements	Attaque des rouleaux dans un délai de :		120 °C	140 °C	Maxi. 2	
		2 semaines	Essai SKF sur rouleaux	Classe	1		1
		4 semaines			1		2
		6 semaines			1		2
		8 semaines			1		2
	Vieillessement de l'huile	Viscosité cinématique à 40°C			DIN EN ISO	mm ² /s	245,1
		Vieillessement	3 104	[écart en %]	+30,7	+68,6	
		Formation de dépôts	Visuelle		Absence	Absence	Traces
		Incrustation	Visuelle		Absence	Absence	Absence
		Couleur après dilution 1:50 dans n-Heptan	Selon nuancier VDEW	Numéro de teinte	3...4	5...6	Maxi. 6
	Stabilité du film d'huile	Perte par évaporation après 4 semaines	Méthode SKF (à 120 °C uniquement)	[m-%]	7,0		Maxi. 2 à 120 °C
		Vieillessement du film d'huile		Classe			
Corrosion du laiton 120 °C	Essai de la bande de cuivre à 48h	DIN 51 759	Numéro de classe	1		Maxi. 2	
Viscosité cinématique		40°C 100°C	DIN 51 562-1	[mm ² /s]	187,5 18,6		
Protection anticorrosion		- Eau distillée - Eau de process artificielle	SKF EMCOR DIN 51 802	Degré de corrosion	0/0 2/2	Maxi. 1	
Protection contre l'usure sous 600 N/heure			DIN 51 350 -3	[mm]	2,0	Maxi. 1	
Capacité de séparation de l'eau			DIN ISO 6 614	[minutes]	15	Maxi. 20	
Compatibilité du matériau d'étanchéité		Méthode SKF après 200 h	Modification de dureté	Dureté : NBR : +5,9 FKM : +2,2		Dureté : NBR +/- 10 Shore FKM +/- 10 Shore	
		NBR à 120 °C FKM à 150 °C		Shore A Poids [%]	Poids : NBR : -4,7 FKM : -0,1		Poids : NBR : +/- 10% FKM : +/- 5%
Propreté	Classe de contamination du fluide par l'eau	DIN 51 777-2 ISO 4406		[ppm]	<100 22/21/17	Maxi. 200 Maxi. 18/15/12	
Filtration		Méthode SKF 12 µm		[minutes]	10	Maxi. 15	

Le saviez-vous ?



L'analyse électrique

Pour détecter les défaillances avant qu'elles ne surviennent

L'analyse électrique est une technique visant à déceler les défauts internes des moteurs, de leur alimentation et des machines qu'ils entraînent, avant l'apparition de pannes. Qu'elle soit dynamique ou statique, elle complète et affine l'ensemble des techniques de surveillance et de diagnostic déployées dans la maintenance conditionnelle.

L'analyse électrique s'applique à tous les équipements électriques d'un site industriel en s'intéressant, principalement, aux machines critiques et de forte puissance.

Elle se pratique selon deux types d'investigation bien distincts :

- le **contrôle dynamique**, par des mesures en fonctionnement
- le **contrôle statique**, par des mesures à l'arrêt

En papeterie, la zone du process la plus critique est la machine à papier, également appelée MAP. La MAP couvre plusieurs sections, dont la section humide où arrive la pâte gorgée d'eau. Celle-ci est identifiée comme une section hautement sensible. Au cœur de cette zone, les cylindres et les presses sont des équipements soumis à des conditions de fonctionnement sévères - chaleur, humidité, vibrations, ruissellement et projections d'eau, surtension... Entraînés par des moteurs électriques et des composants de transmission mécanique, ces équipements sont responsables d'un grand nombre d'avaries et d'arrêts non planifiés, longs et coûteux. Des signes avant-coureurs, comme des défauts d'isolement récurrents des moteurs électriques, sont des alertes à prendre en compte.

Dans le cadre d'une maintenance conditionnelle, l'analyse vibratoire détecte l'apparition d'une défaillance sur un roulement ou sur les dentures d'un réducteur. Cependant, seule l'analyse électrique identifie les défauts d'un équipement électrique : elle se positionne, alors, comme un complément indispensable à l'analyse vibratoire.

En pratique, grâce aux appareils SKF Baker, le **contrôle dynamique** caractérise le **comportement électrique de l'équipement** par :

- l'analyse des conditions de fonctionnement, grâce à un **bilan de puissance en lien avec la charge de l'installation**,
- la recherche de **phénomènes de fluctuation de couple**, comme dans la transmission cardans, très présente dans la section humide et les sections sècherie, post-sècherie, enroulage et finition.

Réalisé à l'arrêt, le **contrôle statique** permet de diagnostiquer l'état de tous les isolants et de situer les défaillances par :

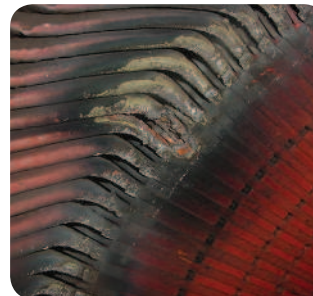
- l'**injection d'une tension dans le bobinage** pour mesurer un courant de fuite,
- le **test de l'onde de choc**, procédé unique aux outils SKF Baker décliné sur le terrain, qui détecte les défaillances entre spires,
- un **suivi préventif**, qui pourra identifier une éventuelle dégradation et prévoir le remplacement, ou la réparation de l'équipement, pendant un arrêt de maintenance.



Contrôle dynamique



Réparation du bobinage d'un moteur



Défaillance de spires



Contrôle statique d'un moteur

Cas concret : un client papetier en région Limousin

Parc : 2 800 moteurs

Contexte : mise en place d'une maintenance prédictive par analyse électrique, pour évaluer l'état de santé des moteurs

2012 : 35 moteurs contrôlés

2013 : 135 moteurs contrôlés

2014 : en cours

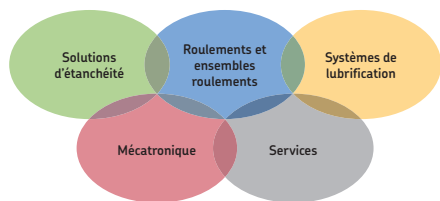
Bilan financier :

Coûts de réparation + contrat de maintenance	Surcoûts évités (arrêts non planifiés, pertes de production, main d'œuvre)	Économies réalisées
139 000 €	325 000 €	186 000 €

Avantages client

- Compléter le diagnostic d'analyse vibratoire
- Connaître l'état précis de tous les isolants du moteur
- Maîtriser l'ensemble des indicateurs mécaniques et électriques
- Fiabiliser les moteurs électriques
- Améliorer l'efficacité énergétique des installations

Rendez-vous sur www.skf.fr » »
Rubrique solutions industrielles/pâtes et papiers



The Power of Knowledge Engineering*

* La puissance de l'expertise SKF s'appuie sur les compétences de ses équipes et sur son expertise des différentes applications pour proposer des solutions innovantes aux fabricants d'équipements industriels et aux sites de production des principaux secteurs à travers le monde.

La démarche SKF vise à optimiser la gestion du cycle de vie afin d'améliorer la fiabilité des équipements, d'optimiser l'efficacité opérationnelle et énergétique et de réduire le coût total de possession.

Les domaines de compétences SKF comprennent roulements et ensembles roulements, les solutions d'étanchéité, les systèmes de lubrification, la mécatronique, ainsi qu'une large gamme de services allant de la modélisation 3D assistée par ordinateur aux systèmes avancés de maintenance conditionnelle. Grâce à l'implantation mondiale de SKF, les clients bénéficient de normes de qualité égales et d'une disponibilité des produits, partout dans le monde. La présence locale du Groupe garantit l'accès direct à l'expertise SKF.



SKF BeyondZero est bien plus qu'une stratégie climat : c'est une nouvelle façon de penser, d'agir, d'innover au service du développement durable.

SKF BeyondZero repose sur des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre de la part de SKF, ses fournisseurs et ses prestataires logistiques. L'objectif ? Améliorer le rendement énergétique et favoriser une

éco-production, plus respectueuse de l'environnement. Comment ? En proposant aux clients le portefeuille de solutions SKF BeyondZero aux caractéristiques améliorées en termes de performances environnementales.

Pour intégrer le portefeuille SKF BeyondZero, tout produit, service ou solution, doit apporter des avantages environnementaux considérables.

SKF Segment Industrie Papetière
 Directeur de la publication : philippe.gachet@skf.com
 Responsable Segment Papeterie France : pierre.francois.beyrand@skf.com

© SKF et CARB sont des marques déposées du Groupe SKF

© Groupe SKF 2014

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 11147/6 • Décembre 2014

Certaines photos/images sont soumises au copyright Shutterstock.com

