

ETUDE STATISTIQUE ET VIBRATOIRE SUR LA DEGRADATION DES ROULEMENTS

BOUZAOUIT A.* & HADJADJ A.**

* C.S. Génie mécanique USAC (ISPA) Annaba

** Laboratoire des Systèmes Electromécaniques, Département Electromécanique
Université Badji Mokhtar Annaba

RESUME

L'étude porte sur un problème concernant la consommation excessive des roulements. Sur la base de la collecte des données, concernant uniquement la nature et les causes des défaillances des roulements à double rangées de billes, nous avons procédé à une analyse statistique. Nous avons pu déduire par degré d'importance les causes de la détérioration rapide. Ceci nous a permis en un premier temps de remédier d'une manière directe au problème et par conséquent augmenter la durée de vie sensiblement.

A la suite de cette analyse il a été établi que les résultats correspondent dans une large mesure à la répartition selon la loi normal de Gauss et ce pour tous les paramètres étudiés : montage, contraintes, ambiances, et lubrification. Connaître la fonction de répartition permet en cas d'une probabilité de confiance de déterminer les limites et l'intervalle de confiance de n'importe quel paramètres.

A la base des limites de confiance nous pouvons mettre au point les possibilités du contrôle de la qualité des roulements en question sur le facteur étudié. Nous pouvons déduire son taux de défaillance, et sa fiabilité, prendre en considération les paramètres du milieu dans lequel il travaille et corriger a nouveau sa durée de vie réel.

Les résultats de calcul deviennent alors très différent par rapport à ceux préconisés par les constructeurs. On ne peut toute fois pas donner une définition exacte des conditions de fonctionnement normales. Il y a donc grand intérêt à acquérir une expérience pratique et à ce montrer particulièrement vigilant, si on veut corriger la durée de vie, afin de pouvoir satisfaire une politique de maintenance préventive systématique.

Mots clés : roulement, statistiques, vibrations, dégradation, maintenance

ABSTRACT

This study relates a problem concerning the excessive consumption of the bearings. On the basis of data-gathering, relating to only the nature, causes of the failures of the bearings with double lines of balls, we proceeded a statistical analysis. A deduction per degree of importance of the causes of the deteriorations was made. This allowed us in the first time to cure in a direct way the problem and consequently to increase the lifespan appreciably.

Following this analysis it was established that the results correspond on the whole to the distribution according to the law normal Gauss and this for all the studied parameters: assembly, constraints, environments, and lubrication. To know the function of distribution allows in the event of a probability of confidence determining the limits and confidence the interval of any parameters. With the base of the fiducial limits one can question at the point the possibilities of the quality control of the bearings about the studied factor. We can deduce failure rate, and its reliability, taking into account the parameters of the medium in which it works and to correct its new lifespan.

The computation results become very different then compared to those recommended by the manufacturers. We cannot give an exact definition of the normal operating conditions. It is very desirable thus to acquire a practical experiment and to be particularly vigilant, if we want to correct the lifespan, in order to be able to satisfy a policy of systematic preventive maintenance.

INTRODUCTION

Les diverses fonctions que l'on demande à des roulements varient suivant le genre d'utilisation de ceux-ci [1]. Ces fonctions doivent être assurées au court d'une période prolongée de fonctionnement continu ou intermittent . Même si les roulements ont été correctement montés et sont correctement utilisés, ils sont susceptibles de cesser de fonctionner correctement à un certain moment, par suite d'une augmentation du niveau de bruit et de vibration, d'une perte de précision de fonctionnement , d'une détérioration de la graisse, ou d'un écaillage de fatigue des surfaces de roulement. [5,8,9] Outre les avaries résultants d'une détérioration naturelle, un roulement peut cesser de fonctionner correctement sous l'effet d'un grippage par échauffement, ou de l'avarie d'une bague, telle qu'une fissure, une rupture, ou une éraflure profonde, ou encore par suite d'une avarie de son système d'étanchéité. Les conditions de ce genre de défaillance ne sont pas considérées comme constituant des avaries propres au roulement lui-même, car elles sont souvent le résultat d'une erreur commise dans le choix du roulement, d'une erreur de conception ou de réalisation des organes adjacents au roulement, ou encore d'une faute de montage ou d'entretien. [7,10].Une analyse statistique a été élaborée afin de dissocier par degré d'importance les causes de la défaillances . Ceci nous a permis en un premier temps de remédier d'une manière directe au problème et par conséquent augmenter la durée de vie

sensiblement.A la suite de cette analyse il a été établi que les résultats correspondent dans une large mesure à la répartition selon la loi normal de Gauss et ce pour tous les paramètres étudiés : montage, contraintes, ambiances, et lubrification. En se limitant à l'étude de la nouvelle technique du constructeur **SKF** qui couvre les principaux paramètres et permet de mesurer et contrôler l'état d'une machine (composé de deux ou plusieurs roulements) contre les différents phénomènes qui peuvent influencer directement sur ces pièces tels que (Le bruit, la température, la vitesse, la vibration, l'alignement et l'état du lubrifiant), afin d'obtenir des performances optimales.

ETUDE STATISTIQUE

L'échantillon étudié comporte 83 roulements cylindrique conique (cylindré à double rangées). La caractéristique statistique unidimensionnelle étudiée est l'âge des roulements en premier lieu, puis un ensemble de caractéristiques statistiques d'un vecteur aléatoire bidimensionnel parmi ces caractéristiques on a les avaries par âge et causes ainsi que leur probabilité. Le Tableau 1 présente le traitement et les résultats de calcul . Les causes recensé sont le montage, les contraintes , l'ambiance et la lubrification . Le tableau 2 présente les résultats de traitement. Le tableau 3 présente la moyenne d'âge due aux contraintes

Tableau 1 Traitements et Résultats Statistiques

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2-4	3	0	0	0	0	1	-	83	0
4-6	5	14	14	0.169	0.169	0.831	0.169	69	0.845
6-8	7	12	26	0.145	0.314	0.686	0.174	57	1.015
8-10	9	10	36	0.120	0.434	0.566	0.174	47	1.08
10-12	11	9	45	0.108	0.542	0.458	0.190	38	1.19
12-14	13	8	53	0.096	0.0638	0.362	0.209	30	1.248
14-16	15	7	60	0.084	0.722	0.278	0.232	23	1.26
16-18	17	6	66	0.072	0.794	0.206	0.264	17	1.224
18-20	19	5	71	0.06	0.854	0.146	0.292	12	1.14
20-22	21	4	75	0.048	0.902	0.098	0.331	8	1.76
22-24	23	4	79	0.048	0.95	0.049	0.490	4	1.104
24-26	25	2	81	0.024	0.974	0.026	0.490	2	0.60
26-28	27	2	83	0.024	1	0	1	0	0.65
Total									13.116

- Désignation :
- A : Classe d'âge (mois)

B : Moyenne de la classe d'âge (Centre de classe)

C : Effectifs des roulements avariés

D : Effectifs cumulés des roulements avariés

E : Probabilité d'avarie à l'âge x
- F : Probabilité d'avarie de l'âge 0 à l'âge x

G : Probabilité de survie à l'âge x

H : Probabilité d'avarie du roulement au temps t à condition qu'il soit intact au temps t-1

I : Nombre de roulement survivant

J : Moyenne d'avarie des roulements

Tableau 2 : Nombre et Probabilité d'avarie par âge et cause des roulements

X	Montage		Contrainte		Ambiance		Lubrification		Total	
	ni	pi	ni	pi	ni	pi	ni	pi	ni	pi
2-4	0								0	
4-6	14	0.169							0.169	14
6-8	12	1.145							0.145	12
8-10			10	0.121					0.121	10
10-12			9	0.108					0.108	9
12-14			5	0.060					0.060	5
14-16					7	0.084			0.084	7
16-18					6	0.073			0.073	6
18-20					5	0.060			0.060	5
20-22					1	0.012	4	0.048	0.060	5
22-24							4	0.048	0.048	4
24-26							4	0.048	0.048	4
26-28							2	0.024	0.024	2
Total	26	0.314	24	0.289	19	0.229	14	0.168	1	83

Tableau 3 Moyenne d'âge d'avarie due au (Montage, Contrainte, Ambiance, Lubrification)

	MONTAGE			CONTRAINTE			AMBIANCE			LUBRIFICATION		
	xi	fi	Xifi	Xi	fi	xifi	xi	fi	xifi	xi	fi	
2-4												
4-6	5	0.54	2.7									
6-8	7	0.46	3.22									
8-10				9	0.42	3.75						
10-12				10	0.375	4.125						
12-14				11	0.208	2.7						
14-16							15	0.37	5.55			
16-18							17	0.31	5.27			
18-20							19	0.26	4.94			
20-22							21	0.052	1.1	21	0.29	6.09
22-24										23	0.29	6.67
24-26										25	0.29	7.25
26-28										27	0.14	4.06
Total			11.92			10.6			16.86			24.07

ANALYSE DES RESULTATS

1. Probabilité d'avarie (figure 2). On remarque que la fonction de densité de probabilité épouse la forme théorique (figure 1), on déduit alors que les données suivent la loi normal.
2. Probabilité de survie à l'âge x (figure 3). Ce n'est autre que la fiabilité des roulements, sur la base de laquelle nous pouvons affirmer que les roulements sont de mauvaises qualité.
3. Probabilité conditionnelle (Tableau 1). Cette dernière est exprimé par le fait qu'un roulement peut être avarié au temps t , alors qu'il était encore intact au temps $(t-1)$; en comparaison avec d'autre type de roulement on déduit que les roulements à double rangée ont une durée de vie moindre.
4. Nombre de roulement survivant (Tableau 2). L'évolution de cet indicateur est soumise au même conditions que la probabilité de survie mais exprimé en nombre.
5. Age moyen de l'avarie (Tableau 3). On retient que les roulements à cylindres ont une courte durée de vie (13,116 mois) par rapport a celle préconisé par le constructeur.
6. Nombre d'avarie par âge et cases ((Tableau 2). Il est clair que les causes d'avarie surviennent dans un ordre progressif d'âge. On recense le

nombre de roulement défaillant due au montage est de 26, les contraintes 24, ambiance 19 puis la lubrification 14.

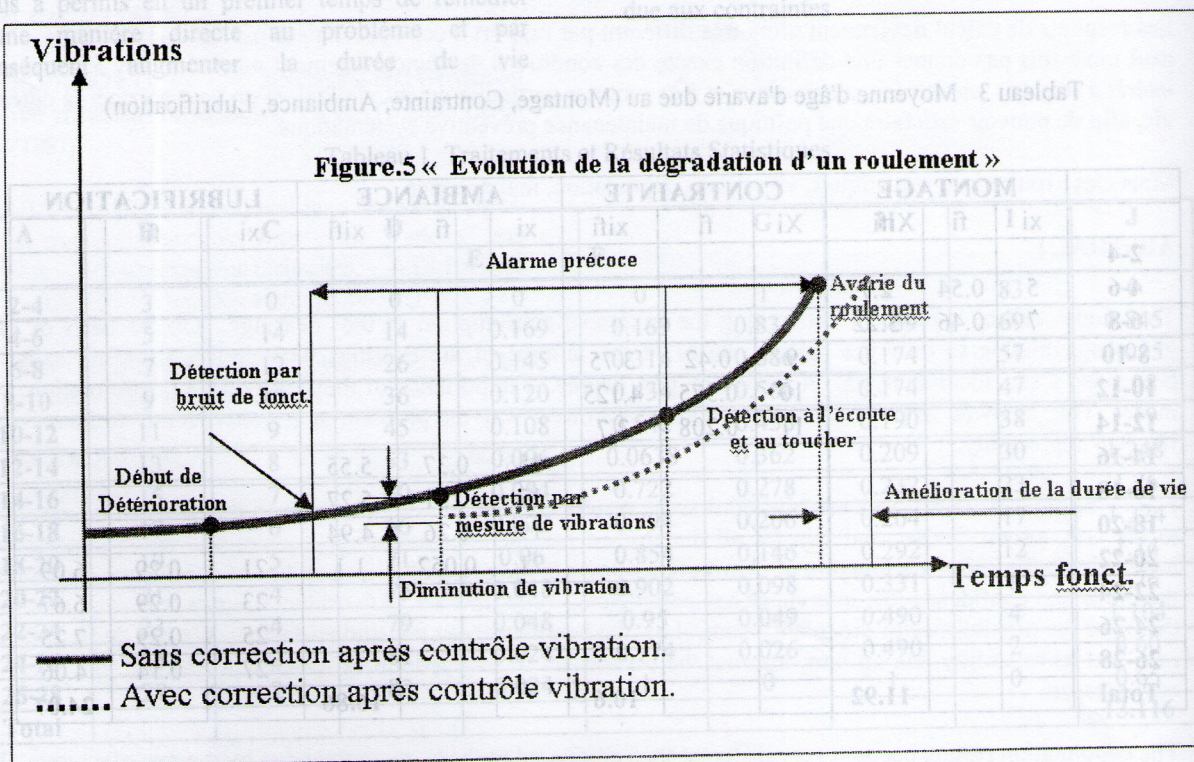
7. Probabilité d'avarie par âge et cause (figure 4). On remarque de façon similaire 31,4 % sont due au montage, les contraintes 28,9%, ambiance 22,9% puis la lubrification 16,8%.

ROLE DE LA MAINTENANCE PREDICTIVE

Détermination de l'état des roulements :

L'objectif est de garantir une longue durée de vie des roulements, pour cela il est nécessaire de déterminer l'état de ces pièces en particulier et les machines en général pendant leurs fonctionnements. Sachant qu'une bonne maintenance préventive réduira les coûts de la maintenance.

En se limitant sur l'étude de la nouvelle technique du constructeur SKF [21] qui couvre les principaux paramètres et permet de mesures et contrôler l'état d'une machine (composé de deux ou plusieurs roulements) (figure 5) contre les différents phénomènes qui peuvent influencer directement sur ces pièces tels que (Le bruit, la température, la vitesse, la vibration, l'alignement et l'état du lubrifiant), afin d'obtenir des performances optimales.



La maintenance conditionnelle permet non seulement d'établir le diagnostic sur l'état d'une machine à un instant donné, mais aussi et surtout, elle donne les éléments nécessaires pour en prévoir l'évolution.

Aperçue sur le programme TRBSG (TIMKEN) :

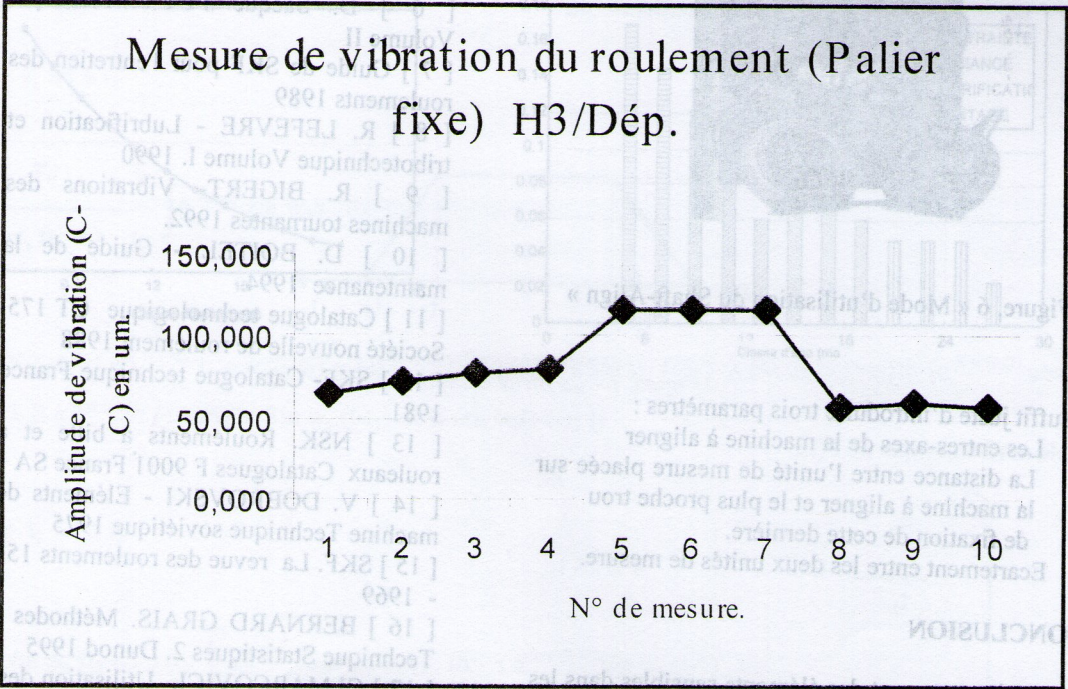
Le TRBSG (Tapered Roller Bearing Selection Guide) c'est un logiciel (ensemble programmes) qui permet de choisir, de calculer les performances

d'un roulement à rouleaux coniques [23,24]. Nous avons fait des relevés qui ont permis de confirmer les constations faites par l'étude statistique.

4.2/ Exemple de contrôle de vibrations d'une machine :

- Référence du roulement : 2309CK, à double rangées de billes.

Désign. Palier 4510 / 3H / Déplacement			
Ventilateur : Radial Puissance : 18.5 Kw Vitesse : 2950 tr/mn	N°	Mesure C,C en µm	Vibration admissible (10 ; 70) µm.
	1	64.000	
	2	72.000	Serrage du palier.
	3	76.900	
	4	79.000	
	5	116.699	Excès de graisse.
	6	116.699	
	7	115.599	
	8	58.099	Renouvellement de grs.
	9	60.200	
	10	57.500	



INSTRUMENTS DE CONTROLE DE L'ETAT DES ROULEMENTS

Un ensemble d'outils de contrôle et de surveillance pour chaque service de maintenance est indispensable, il simplifie les opérations de la maintenance prédictive (conditionnelle) afin d'analyser la fiabilité des pièces ou des machines. Le constructeur SKF a proposé un Kit très important comprenant les instruments suivants :

Shaft-Align.TMEA : C'est un instrument conçu pour contrôler et corriger les défauts d'alignement (figure 6), le processus de (Shaft-Align.) se divise en trois étapes ; mesurer, donner la correction et la possibilité d'imprimer le contre rendu des l'opération.

L'instrument est caractérisé par [21]:

- La haute précision grâce à une technologie Laser de pointe.
- Une facilité d'emploi, ne demande pas des techniciens hautement qualifiés.
- Enregistrement des données d'alignement axiales et angulaires.
- Possibilité d'imprimer les données grâce à une imprimante thermique.

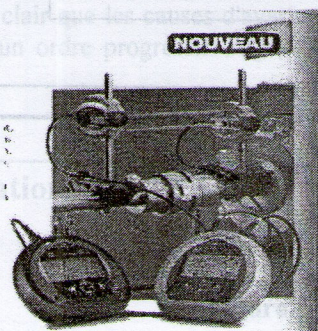


Figure. 6 « Mode d'utilisation du Shaft-Align »

Il suffit juste d'introduire trois paramètres :

- Les entres-axes de la machine à aligner
- La distance entre l'unité de mesure placée sur la machine à aligner et le plus proche trou de fixation de cette dernière.
- Ecartement entre les deux unités de mesure.

CONCLUSION

Les roulements sont des éléments sensibles dans les machines, qui ne permettent pas de fluctuation excessive de la charge, température, vitesse, vibration.

L'usure trop rapide est coûteuse à nos entreprises, nous a incité à se pencher d'une façon plus proche sur l'étude de ce phénomène, en vue d'améliorer la durée la vie.

Ceci nous a conduits à considérer:

- La probabilité de survie des roulements.
- Reconsidérez les charges appliquées.
- Influence du type de graissage.

L'étude statistique a révélé en premier lieu, que les avaries sont due principalement au montage, on déduit la non qualification des ouvriers et l'inexistence du matériel spécifique au montage et démontage des roulements. Le non respect du type de graissage spécifique au roulement diminue aussi de la durée de vie. Enfin on peut dire à travers ce travail qu'il existe d'autres moyens d'évaluation de la durée de vie d'une manière pratique en faisant appel à l'outil statistique. L'étude vibratoire au niveau des paliers a mis en évidence l'origine de la défaillance en examinant le spectre et ainsi prévoir la durée de vie, et l'augmenter par des actions simple tel que le serrage, la lubrification.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SKF- Les roulements - technologie, calcul et dimension 1980
- [2] R . PASQUET- Technologie de la construction mécanique Tome II. Dunod Paris 1972.
- [3] Revue des roulement INA 305.S.A
- [4] NKS- roulement 1989 copyright France
- [5] Précis de la construction mécanique D. SPENLE 1985
- [6] D. Sacque PEY- Mécanique Volume II
- [7] Guide de SKF pour l'entretien des roulements 1989
- [8] R. LEFEVRE - Lubrification et tribotechnique Volume I. 1990
- [9] R. BIGERT- Vibrations des machines tournantes 1992.
- [10] D. BOITEL - Guide de la maintenance 1994
- [11] Catalogue technologique CT 175. Société nouvelle de roulement 1988
- [12] SKF- Catalogue technique France 1981
- [13] NSK. Roulements à bille et a rouleaux Catalogues F 9001 France SA
- [14] V. DOBROVSKI - Eléments de machine Technique soviétique 1975
- [15] SKF. La revue des roulements 155 - 1969
- [16] BERNARD GRAIS. Méthodes statistiques. Technique Statistiques 2. Dunod 1995
- [17] CI.MARCOVICI.- Utilisation des techniques de fiabilité en mécanique. 1997
- [18] S. AIVAZIAN - Etude statistique des dépendances. Édition Mouscou. 1992
- [19] J-C LIGERON - La fiabilité en mécanique. Desforges Paris. 1989
- [20] SNR, liste des fabrications. LF 2/94.

[21] Produits de maintenance et lubrification SKF 10/2001.

[23] TRBSG, TIMKEN V.1.0.

[24] Tapered Roller Bearing Selection Guide, TIMKEN V1.1. 06/2002

[22] FAG Rolling Bearings, WL 41 520/3 EA – 1999.

