

# PROJECTION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE DES ROULEMENTS PAR ANALYSE VIBRATOIRE

BENLALLI . YACINE, HADJADJ. AOUL .ELIAS, KHALFA. DALILA

Département Electromécanique ;  
Faculté des sciences de l'ingénieur / Université Badji Mokhtar Annaba  
Email : yac\_maint@yahoo.fr

## Résumé :

Cette étude porte sur le problème majeur de la consommation excessive des roulements, qui est d'actualité au niveau des entreprises industrielles.

A cet effet, nous sommes obligés en tant que mainteniciens de chercher la cause et d'atténuer ces défaillances. Sachant qu'environ **66%** des problèmes qui peuvent ramener un roulement à un état d'incapacité d'accomplir sa mission, tels que ; le mauvais montage, la mauvaise lubrification ainsi que la pollution, sont à la portée même des agents de la maintenance non qualifiés.

Donc ce travail présente une étude sur la surveillance des roulements par analyse vibratoire . Les vibrations sont des phénomènes physiques utilisés pour mettre en évidence des défauts de fonctionnement ou de dégradation d'une machine tournante et donnent une meilleure mesure de son état . La détection de la détérioration précoce d'un roulement est mise en évidence par l'utilisation d'un indicateur de défaut statistique fréquentielle qui est le spectre . Cette approche permet de développer une nouvelle forme de maintenance conditionnelle .

**Mots clés :** diagnostic, analyse spectrale, analyse vibratoire, maintenance conditionnelle.

## I Introduction :

La production industrielle évolue dans un contexte de plus en plus sévère en ce qui concerne la qualité , la sécurité et les nuisances . Par conséquent , l'outil de production doit faire l'objet d'une maintenance efficace . Des pannes catastrophiques inattendues entraînent à la fois une perte de production et des factures de réparations très élevées [ 1 ] . 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.[2,3,4 ]

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 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 , de conception ou de réalisation des organes adjacents au roulement , ou

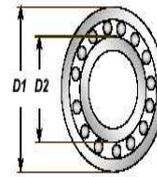
encore d'une faute de montage ou d'entretien . [5,6 ]

Parmi les techniques permettant la surveillance d'une machine tournante , l'analyse vibratoire est la plus usitée en maintenance conditionnelle . Elle nécessite d'analyser et de suivre l'évolution de spectres mesurés en un ou plusieurs points de la machine , afin de cerner l'apparition d'éventuelles raies caractéristiques de défauts . Si , dans bien des cas , les points de mesures idéaux sont situés au plus près des organes à surveiller , la taille de certaines machines et/ou l'accessibilité de certains endroits rendent difficiles voire impossibles les prises de mesure au plus près des pièces à surveiller . Toutes les techniques informatiques récentes , bien que de plus en plus performantes , sont tributaires de la qualité du signal analysé et donc du positionnement du capteur de mesures . [ 7 ]

Suite à ces sollicitations répétées , les roulements restent l'un des points faibles de la machine . L'objectif de ce travail a pour but la détection précoce de la détérioration des roulements , utilisant le signal vibratoire .

## II Causes potentielles de dégradation

Tous ces défaut ont en commun le fait qu'ils se traduisent tôt ou tard par une perte de fragments de métal , qu'on appelle l'écaillage



$$DR = \frac{D1 + D2}{2}$$

$n$  = nombre de billes ou de rouleaux  
 $f_r$  = fréquence de rotation  
 vitesse relative en tr/s entre les pistes intérieures et extérieures.

### Fréquences des impacts : f (Hz)

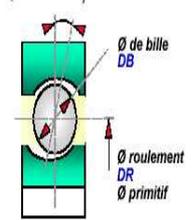
$$\text{Défaut piste externe (BPFO)} = \frac{n}{2} f_r \left( 1 - \frac{DB}{DR} \cos \beta \right)$$

$$\text{Défaut piste interne (BPFI)} = \frac{n}{2} f_r \left( 1 + \frac{DB}{DR} \cos \beta \right)$$

$$\text{Défaut bille (BSF)} = f_r \frac{DR}{DB} \left[ 1 - \left( \frac{DB}{DR} \cos \beta \right)^2 \right]$$

$$\text{Défaut cage (FTF)} = \frac{1}{2} f_r \left( 1 - \frac{DB}{DR} \cos \beta \right)$$

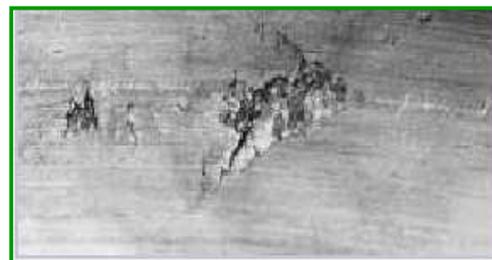
Angle de contact  $\beta$



## **Figure1 : Fréquences caractéristiques des défauts des éléments d'un roulement .**

Lorsqu'il y a écaillage ou indentation sur l'un de ces éléments du roulement , ces chocs provoquent une vibration du type impulsionnel qui se propage sur la bague , puis sur la cage externe du roulement : impulsion [ 8 ] . Ces impulsions deviennent la source de modulation d'amplitude du signal aléatoire de vibrations . Elles sont caractérisées par une montée très raide et par une durée très courte et par conséquent on aura une augmentation de la valeur efficace du signal vibratoire et de son facteur de crête . En mettant en évidence la répétition de cette impulsion , on définit ainsi les fréquences caractéristiques des défauts de chaque élément du roulement .

## III Différentes types de défaillances des roulements



**Ecaillage superficiel**



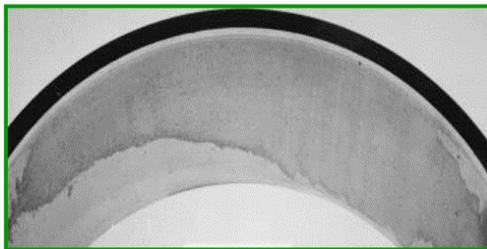
**Ecaillage de fatigue**



**Le grippage**



**La détérioration des cages**



**La coloration**

#### **IV Analyse vibratoire :**

Pour déterminer l'origine d'une anomalie , la reconnaissance de la nature des vibrations est un élément précieux qui ne peut être donné par les valeurs des grandeurs physiques étudiées : il est donc intéressant de rechercher de nouvelles grandeurs physiques ou des indicateurs adaptés à cette reconnaissance , notamment pour savoir s'il s'agit ou non de vibrations de type périodique et si ces dernières

présentent ou non un caractère de gravité .

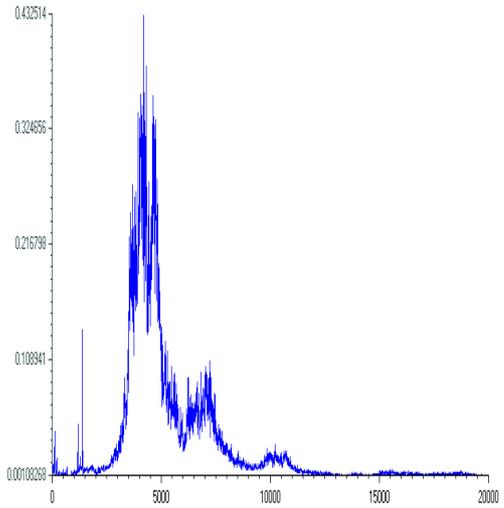
Les vibrations de type périodique sont généralement engendrées par des chocs qui induisent des vibrations ou « ondes de chocs » de très courte durée d'amplitude crête importante et se manifestant généralement jusqu'en haute fréquence . [ 9 ] Toutes les machines vibrent et au fur à mesure que l'état de la machine se détériore ( balourd , usure de roulements , défaut de graissage , fissures , etc. ) , la signature vibratoire change . Dans ce travail , nous allons mettre en évidence la détection de la détérioration précoce d'un roulement , utilisant un des différents indicateurs des méthodes fréquentielles .

#### **VI Spectre :**

L'observation du spectre en fréquences relevé sur le palier défectueux offre une autre

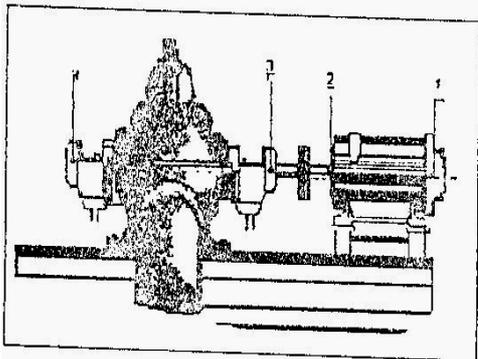
Possibilité d'analyse . Il faudra dans ce cas rechercher les fréquences caractéristiques des défauts . Celles-ci ont été calculées en fonction de la vitesse de rotation et des caractéristiques du roulement . Les fréquences résultantes se situent au voisinage des fréquences de rotation , et sont donc surchargées de vibrations parasites.

Le spectre comporte des pics aux fréquences des défauts jusqu'à quelques kilohertz . La figure présente un spectre ayant une grande résolution dans la plage de quelques kilohertz .



**Figure 2 : Spectre d'un défaut sur bague externe**

Ce type de défaut issu sur une ventilateur accouplée avec un moteur d'entraînement, la vitesse de rotation de cette machine est 1500 tr/min et sa puissance nominale est de 500kw. La collecte des données nécessaires à la mesure et l'analyse, à été effectuée à l'aide d'un capteur. Etant donné que le signal vibratoire d'un choc couvre une large bande de fréquence, seulement la partie haute fréquence sera utilisée pour évaluer l'état du roulement.



**Figure 3 : Schéma d'installation avec les points de mesurages**

### VI Mesure global :

On affiche dans ce rapport des mesures les valeurs de l'amplitude selon le choix des grandeurs de mesures.

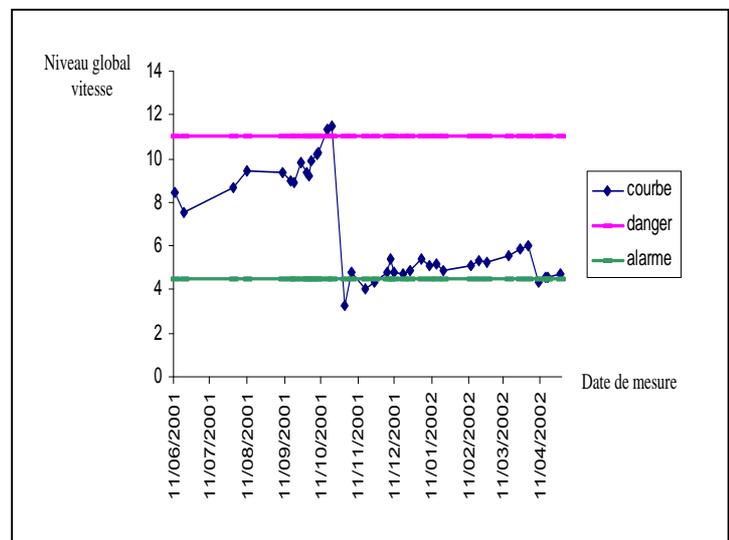
Détection : vitesse efficace.

Unité : mm/s.

Alarmes : inf = 1,8 mm/s

Sup= 11,2 mm/s.

Après des relevées des mesures pour l'installation du ventilateur au point 3 dont la position est radiale horizontale. Ces mesures montrent qu'il y a un dépassement de seuil au niveau du point 3 dont la position précédente. Suivant ces mesures on représente la vibration en fonction du temps, cette analyse de tendances permet de vérifier si la vibration importante sur la machine mesurée est stable ou instable.

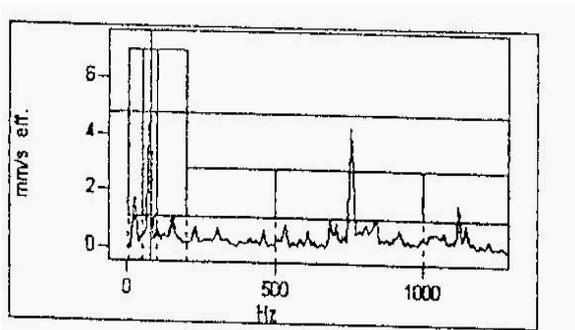


**Figure 4 : Analyse de tendances**

D'après ce diagramme on constate que la vibration sur la machine est variée et dépasse l'alarme supérieure, donc, la machine est instable et son état « inadmissible » et qu'elle nécessite un diagnostic. D'après le diagnostic on utilise le spectre. On a présenté le spectre zoomé au point 3.

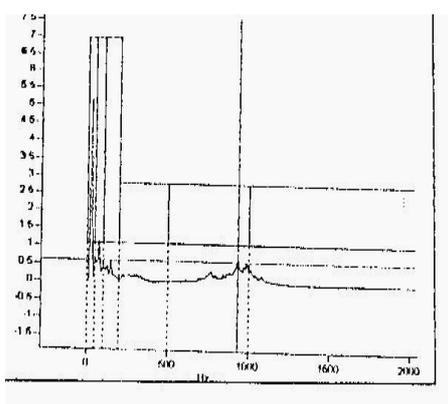
### Liste des pics :

- 25 Hz ----- 1,5075 mm/s eff.
- 75 Hz----- 3,3512 mm/s eff.
- 537 Hz-----2,5206 mm/s eff.
- 756 Hz-----4,6666 mm/s eff.



**Figure 5 : Spectre zoomé : points 3 en position radiale horizontale**

La manifestation des raies harmoniques à la haute fréquence nous indique directement qu'il y a un défaut de roulement parce que d'après le tableau de reconnaissance des défauts seul les phénomènes de roulement qui se manifestent à la haute fréquence .  
mm/s eff



**Figure 6 : Spectre après changement de roulement**

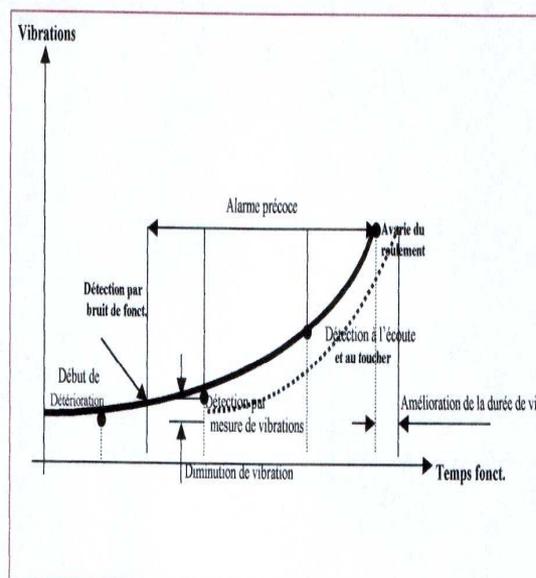
Après le changement du roulement les raies harmoniques à la haute fréquence sont disparus , donc le problème est résolu .

Mais il apparaît un pic d'une valeur importante d'amplitude , il s'agit d'un jeu de roulement généré par le défaut de roulement avant la réparation .

Cette résultat de mesure montrent directement le changement systématique du roulement lorsque dépasse la seuil d'alarme pour cela il est nécessaire de distinguer d'une part

les méthodes d'évolution pour cela notre 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 [10] 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.



**Figure 7 : Evolution de la dégradation d'un roulement**

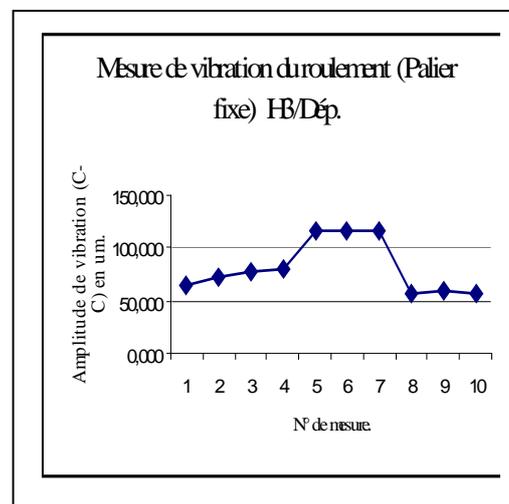
La maintenance conditionnelle permet non seulement d'établir le diagnostic sur l'état d'une machine à un instant donné, mais aussi et surtout, elle donne les éléments nécessaires pour en prévoir l'évolution.

## **VI Exemple de contrôle de vibrations de quelques machines :**

Sur les tableaux et figures 1 et 2 , on représente la variation du vibration pour chaque cas de mesure .

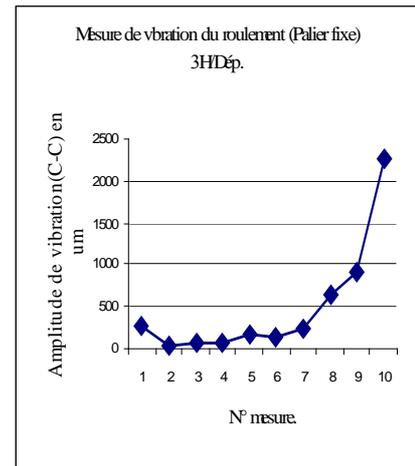
**Tableau 1 : Référence du roulement : 22309CK, à double rangées de billes.**

<b>Désign. Palier 4510 / 3H / Déplacement</b>			
	N°	Mesure C,C en $\mu\text{m}$	Vibration admissible ( 10 : 70 ) $\mu\text{m}$ .
Ventilateur : Radial	1	64.000	
	2	<b>72.000</b>	Serrage du palier.
	3	<b>76.900</b>	
	4	<b>79.000</b>	
	5	<b>116.699</b>	
Puissance : 18.5 kW	6	<b>116.699</b>	Excès de graisse.
	7	<b>115.599</b>	Renouvellement de grs.
Vitesse : 2950 tr/mn	8	58.099	
	9	60.200	
	10	57.500	



**Tableau 2 : Référence du roulement : 22324, à double rangées de rouleaux.**

<b>Désign. Palier 4521 / 3H / Déplacement</b>			
	N°	Mesure C,C en $\mu\text{m}$	Vibration admissible ( 60 : 220 ) $\mu\text{m}$ .
Ventilateur Radial  Puissance : 200Kw  Vitesse : (0 :1500)tr/mn	1	<b>262.399</b>	Serrage du palier.
	2	25.500	
	3	66.199	
	4	71.099	
	5	172.500	
	6	137.800	Serrage du palier.
	7	<b>227.000</b>	Graissage.
	8	<b>647.000</b>	
	9	<b>916.000</b>	
	10	<b>2256.00</b>	Balourd (Equilibrage)



## Analyse des Résultats

Sur le tableau 1 , nous représentons l'évolution du vibration dans le temps pour des différentes mesures avec un capteur placé radiale horizontale . On remarque lors d'une renouvellement de graisse pour un roulement à double rangée de billes ( palier fixe ) on voit que l'amplitude crête à crête diminue de  $115.599 \mu\text{m}$  à  $58.099 \mu\text{m}$  avec un seuil d'alarme supérieure  $70 \mu\text{m}$  . Cette méthode augmente la durée de vie des roulements , les amplitudes de vibration à cet endroit sont plus faibles à causes du jeu qui sont minimum .

Sur le tableau 2 , nous présentons l'évolution du vibration dans le temps pour les différentes mesures avec un capteur placé radial horizontale . On remarque lors d'une serrage du palier pour un roulement à double rangée de rouleaux ( palier fixe ) on voit que l'amplitude crête à crête diminue de  $262.399 \mu\text{m}$  à  $25.500 \mu\text{m}$  avec un seuil d'alarme supérieure  $220 \mu\text{m}$  . Cette méthode encore augmente la durée de vie des roulements . Cette disposition du capteur permet de détecter l'évolution de la dégradation par un accroissement important d'amplitude . Cet accroissement est plus marqué pour les hautes fréquences . Dans cette direction , le jeu est maximal entre les éléments actifs du roulement , ce qui nous a permis de caractériser l'impulsion .

## Conclusion

Le roulement est un élément très important dans la construction des machines et plus particulièrement dans les machines tournantes . Son usure rapide est très coûteuse à nos entreprises . L'étude théorique sur les roulements montrent les différentes anomalies et la détermination de la durée de vie des roulements . Le diagnostic vibratoire des machines ,

basé sur la connaissance des images vibratoire où se manifestent les défauts afin de regrouper et déterminer les seuils de jugements . ce travail termine par des mesures et analyses vibratoire sur les défauts des roulements . 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 . Nous espérons continuer cette recherche parce que le problème de la dégradation des roulements reste posé et déduire les différentes causes de dégradation par analyse vibratoire et prévoir la durée de vie .

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Rasolofondraire L , mise en œuvre des méthodes paramétriques adaptatives pour la surveillance d'une machine de production par analyse vibratoire . Thèse de doctorat de l'université de Reims champagne – Ardenne . Décembre 95 à Reims .
- [2] Précis de construction mécanique – D . SPENLE et D . SACQUEPEY 1985
- [3] R . LEFEVRE – Lubrification et turbotechnique volume I. 1990
- [4] R. BIGRET – vibrations des machines tournantes 1992
- [5] Guide de SKF pour l'entretien des roulements 1989
- [6] D . BOITEL – Guide de la maintenance 1994
- [7] Fabien BOGARD – Mise en œuvre d'une méthodologie numérique dans le cadre du suivi de défauts par analyse vibratoire -Paris ELSEVIER Science et médicale publication, 2002, nb. pages.88
- [8] Arquer P , Diagnostic prédictif de l'état des machines . Masson 1996
- [9] Boulenger A , Pachaud CH , Surveillance des machines par analyse des vibrations. Du dépistage au diagnostic . Afnor , 2 ème Tirage 1998
- [10] Produits de maintenance et lubrification SKF 10/2001.