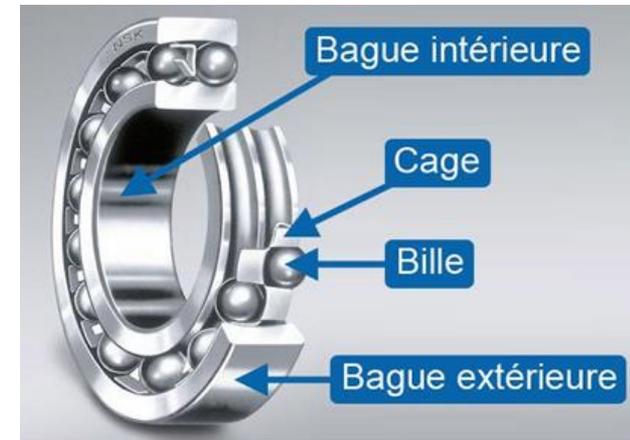


Diagnostic de défauts de roulements par mesure de Vibration

1.Introduction : Les défauts de roulement se manifestent comme des défauts d'asymétrie au rotor, qui sont usuellement rangés dans la catégorie des défauts relatifs à l'excentricité.

Les roulements sont constitués de 4 éléments : une *bague externe*, une *bague interne* et une rangée de *billes* gardées par une *cage*.

Parce que les éléments roulants du roulement supportent le rotor, quelque soient les défauts dans les roulements, ils vont produire des mouvements radiales entre le rotor et le stator dans la machine.



2. Les causes de dégradation de roulements :

- Usure normale,
- Surcharge,
- Défaut de graissage,
- Défaut de montage,
- Agents extérieurs, ...



La dégradation d'un roulement (plus de 60 /°) de défauts dans les machines tournantes se traduit généralement par un écaillage des surfaces en contact (bagues et éléments roulants) qui s'étend et évolue dans le temps. La dégradation peut être localisée ou généralisée.



Exemples de dégâts dans les roulements

3. La surveillance et le diagnostic

- **La surveillance** : le but de la surveillance est de suivre l'évolution des indicateurs d'anomalie d'une machine par comparaison des relevés successifs de ses vibrations.
- **Le diagnostic** : Il permet d'identifier et localiser l'élément de la machine défectueux suite à une évolution anormale des vibrations constatée lors de la surveillance.
- Le diagnostic n'est réalisé que lorsque la surveillance a permis de détecter une anomalie ou une évolution dangereuse du signal vibratoire.
- La surveillance peut être confiée à du personnel peu qualifié. Le diagnostic demande de solides connaissances mécaniques et une formation plus pointue en analyse du signal.

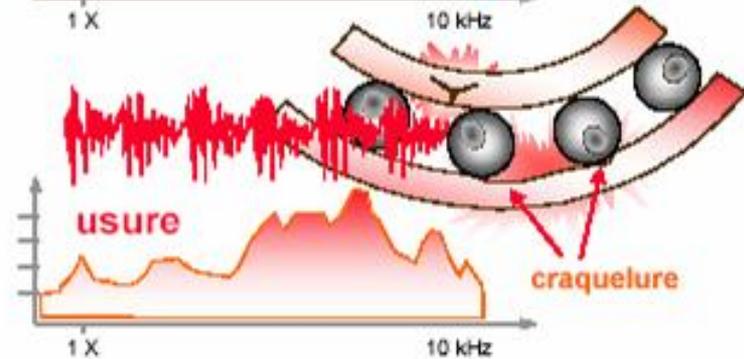
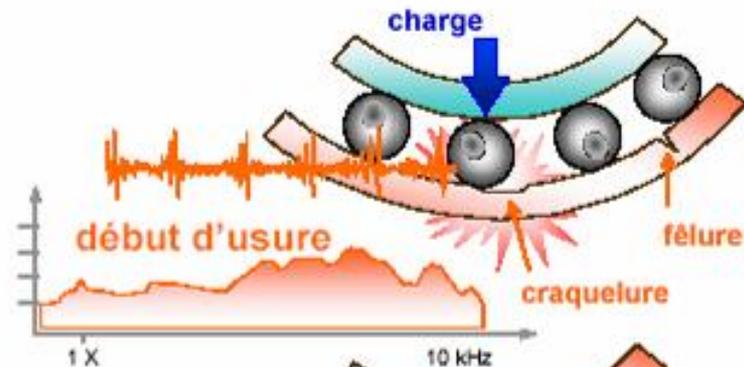
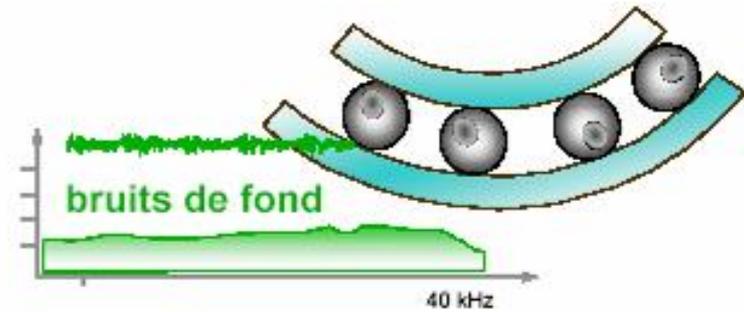
4. Processus de dégradation d'un roulement

Lorsqu'un roulement tourne, les contacts métalliques entre les éléments roulants et les cages émettent des bruits de fond aléatoires. Ce bruit de fond créé un spectre plat

La plupart des usures de roulements débutent par une fêlure qui se transforme en craquelure. La craquelure va produire des impacts énergétiques en haute fréquence.

Au fur et à mesure que l'usure progresse:

- Les défaut tendent à se lisser
- Il y a moins d'impacts;
- Le bruit de fond de la bonne piste devient modulé;
- Dès que le défaut est significatif, les billes vont éroder la cage interne en sautant.



5. Les mesures de vibrations

5.1 Capteurs

Le type de capteur utilisé pour la mesure des vibrations dépend directement du type de palier rencontré.

Les **accéléromètres** permettent la mesure des **vibrations**.

Ils sont utilisés pour l'instrumentation des **paliers à roulement**.

Comme tout mouvement, une vibration peut être étudiée selon trois grandeurs

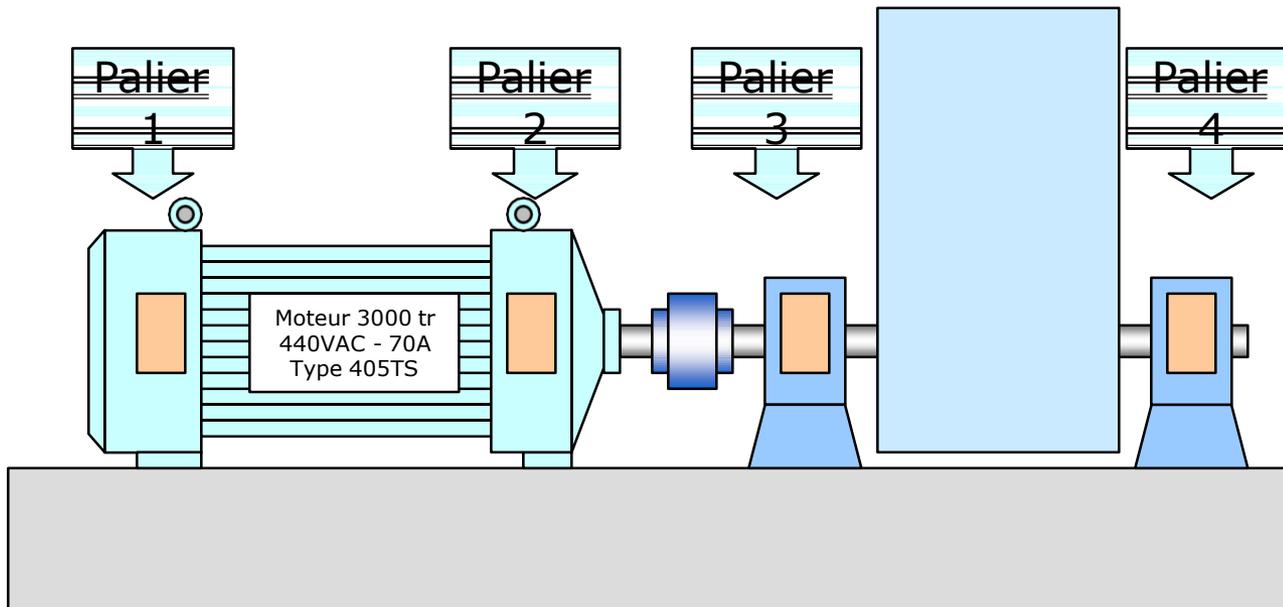
- ✓ Le Déplacement
- ✓ La Vitesse
- ✓ L'Accélération



5.2 Les points de mesure

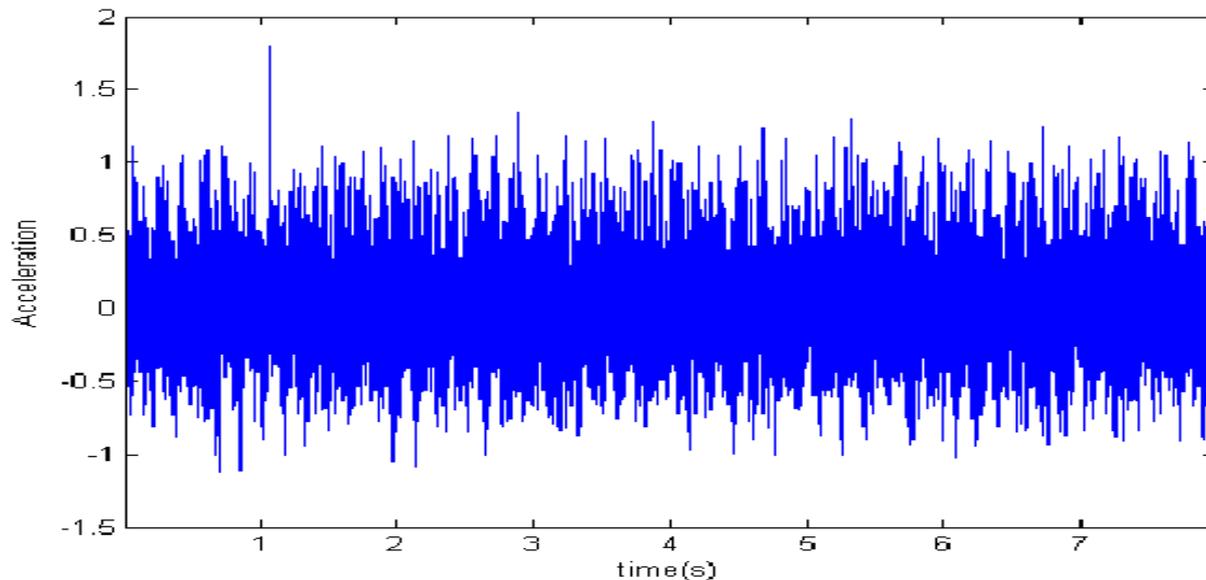
. Les mesures de vibrations sont réalisées au droit des paliers de la machine. Les capteurs utilisés mesurent les vibrations selon une direction, généralement confondue avec leur axe de symétrie.

. On distingue différentes directions de mesure pour un même point de mesure physique.



5.2 Signal vibratoire dans le domaine temporel

il serait souhaitable de réaliser les mesures de vibrations selon les trois directions possibles. Pour des raisons de temps et de coûts, on se limite généralement à une seule direction de mesure par palier. La figure ci-dessous représente un signal vibratoire type dans le domaine temporel.



6. Surveillance par le niveau global

6.1 Application au suivi des machines

Le niveau global constitue le premier indicateur de sévérité vibratoire. C'est la comparaison à un seuil d'une valeur caractéristique de l'amplitude ou de l'énergie du signal dans le domaine temporel.

Les niveaux globaux sont des indicateurs simples pour le suivi des machines :

- * Traitement du signal simple et peu coûteux.
- * Résultat numérique unique.

Ils permettent d'orienter le diagnostic.

Par contre, ils ne permettent pas le **diagnostic précis** de l'origine des défauts ou des évolutions constatées. (défaut de Balourd, désalignement, roulement, fissuration, desserrage, engrènement, courroie.....).

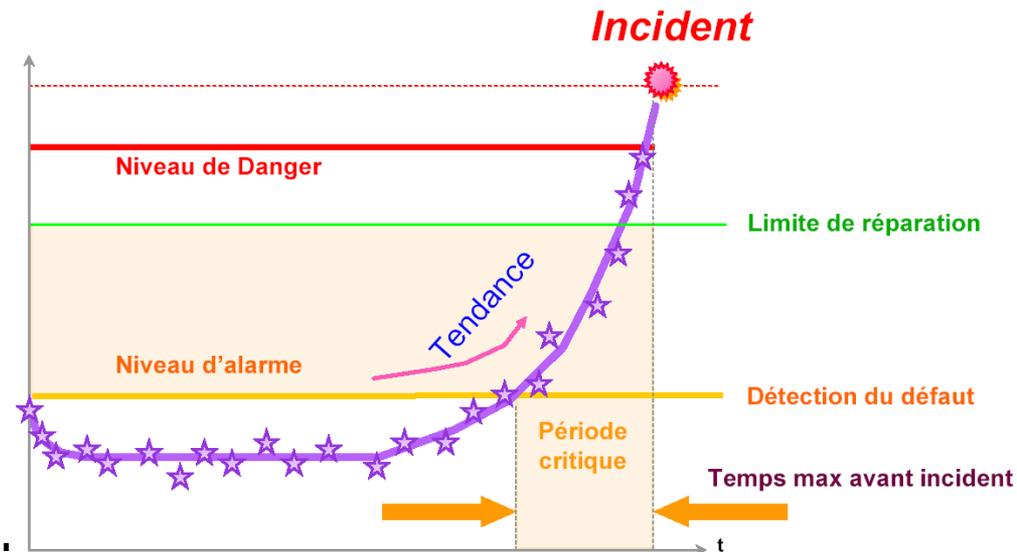
6.2 Analyse et interprétation et des mesures

Les paramètres étant définis, la surveillance consiste à :

- Collecter **périodiquement** les mesures permettant l'extraction des informations pertinents.
- Suivre **l'évolution** dans le temps des valeurs (historiques d'évolution)
- Comparer les valeurs à des **seuils** pré-définis (alarme et danger).

- Interpréter les évolutions et dépassements de seuils (élaboration du diagnostic).

- Analyser les spectres des signaux temporels acquis pour affiner ou confirmer le diagnostic.



6.3 La norme ISO 10816 : Principes de surveillance

L'évaluation des vibrations repose sur les principes suivants :

- Mesure de **vitesse vibratoire** large bande,
- Comparaison à des **valeurs limites** établies pour différentes classes de machines, en fonction de leur type et de leur puissance.
- Ces valeurs limites sont définies en fonction des **charges dynamiques** acceptables sur les paliers et du niveau acceptable de transmission des vibrations au radier et aux fondations.
- Comparaison de **l'évolution** des amplitudes vibratoires à des valeurs limites.

6.4 Critères d'évaluation : Limites des périmètres de zones

La norme ISO 10816 :

Zone A : Niveaux vibratoires pour machines neuves.

Zone B : Niveaux vibratoires acceptables pour un service de longue durée sans restrictions de Durée.

Zone C : Niveaux vibratoires non acceptables pour un service de longue durée en continu. La machine peut toutefois continuer à fonctionner pendant une durée limitée.

Zone D : Niveaux vibratoires suffisants pour endommager la machine :
La machine doit être arrêtée.

[mm/s eff]

28				
18	Inadmissible			
11				
7				
4,5	Encore admissible			
2,8		Admissible		
1,8				
1,1				Bon
0,71				
0,46				
0,28				
	Groupe I Petites machines	Groupe II Machines Moyennes	Groupe III Grosses machines	Groupe IV Turbo-machines

6.5 La norme ISO 10816 :Classification des machines

Classe 1 (ou groupe K) : Petites machines telles que moteur électriques jusqu'à 15kW;

Classe 2 (ou groupe M) : Machines de taille moyenne, de 15kW à 75kW, ou grandes machines jusqu'à 300kW sur assises spéciales;

Classe 3 (ou groupe C) : Grandes machines sur fondations rigides et lourdes opérant à une vitesse inférieure à la fréquence propre de la fondation;

Classe 4 (ou groupe T) : Grandes machines opérant à une vitesse supérieure à la fréquence propre de la fondation (ex: turbo-machines)

7. Diagnostic par une analyse fréquentielle

Le diagnostic est une démarche déductive qui s'appuie sur la recherche dans des signaux, des manifestations dynamique des différents défauts qui peuvent affecter la machine.

7.1. Fréquences cinématiques des roulements

Les fréquences des défauts (théoriques) et caractéristiques qui se trouvent dans le contenu spectral d'un signal vibratoire sont :

• Défaut de la bague intérieure :

$$f_{be} = \frac{f_r \cdot N_b}{2} \left(1 - \frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha) \right)$$

• Défaut de la bague extérieure :

$$f_{bi} = \frac{f_r \cdot N_b}{2} \left(1 + \frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha) \right)$$

• Défaut de la cage :

$$f_c = \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha) \right)$$

• Défaut de la bille :

$$f_{bille} = \frac{f_r}{2} \frac{D_m}{D_b} \left(1 - \left(\frac{D_b}{D_m} \cos(\alpha) \right)^2 \right)$$

Avec :

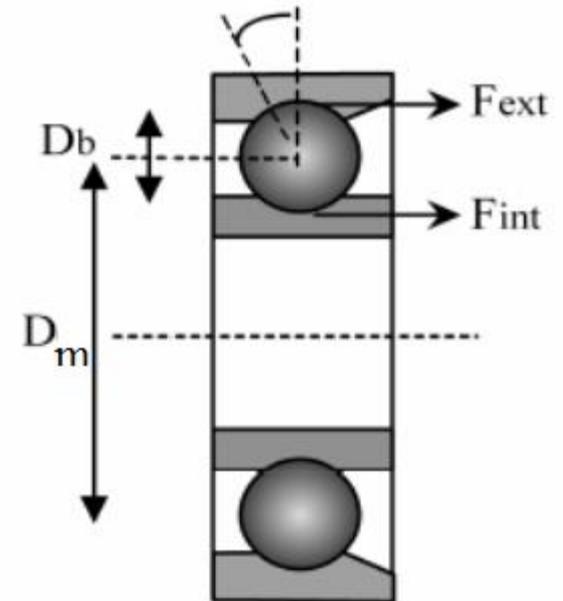
f_r : la fréquence de rotation de la machine ;

N_b : le nombre de billes ;

D_b : le diamètre de la bille ;

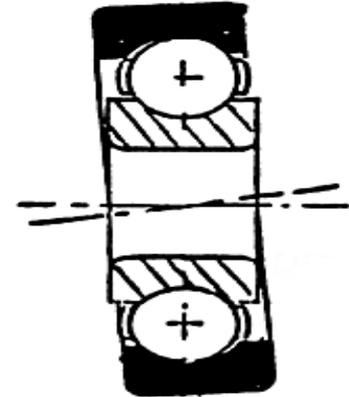
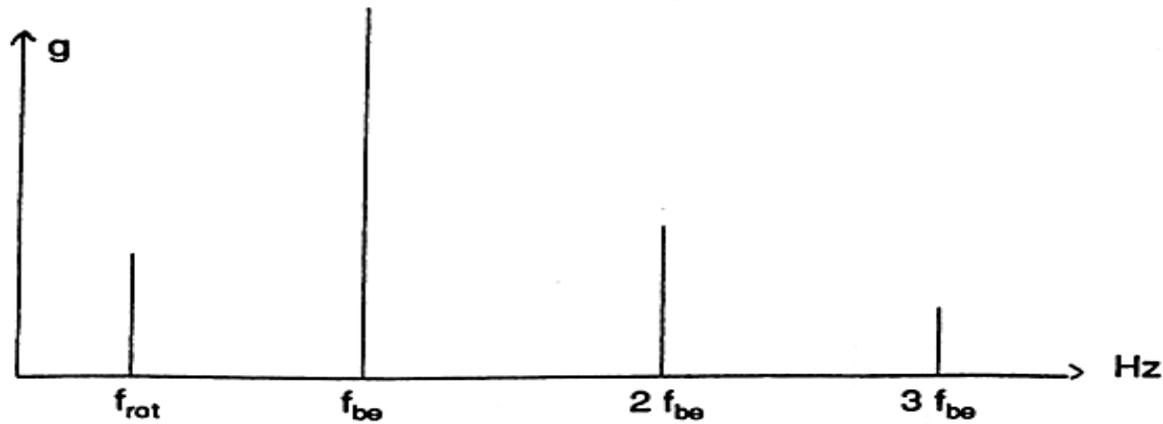
D_m : la distance entre les centres des billes diamétralement opposées

$$D_m = \frac{D_{bag-ext} + D_{bag-int}}{2}$$

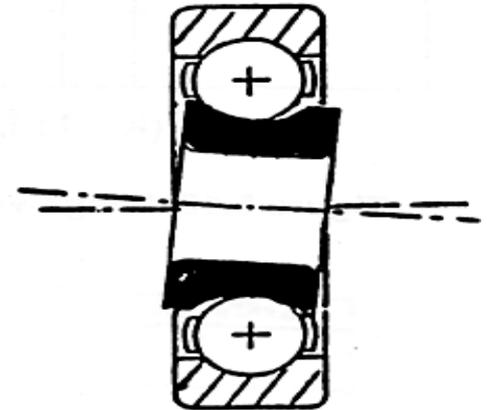
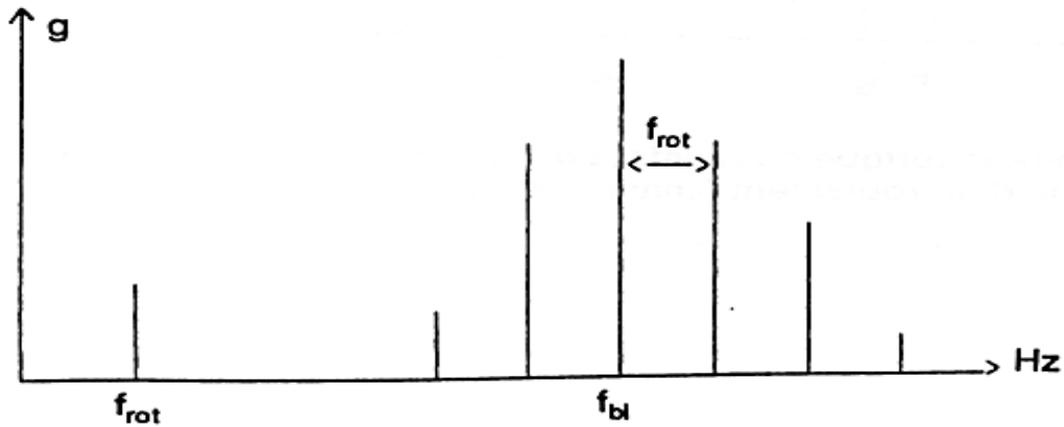


α : l'angle de contact (le roulement oblique possède les valeurs de $\alpha=15^\circ$, 25° ou 40° et pour un roulement à gorge profonde, il présente une charge purement radiale $\alpha=0^\circ$).

7.2. Exemples de défauts de roulements



a) Déversement de bague externe.

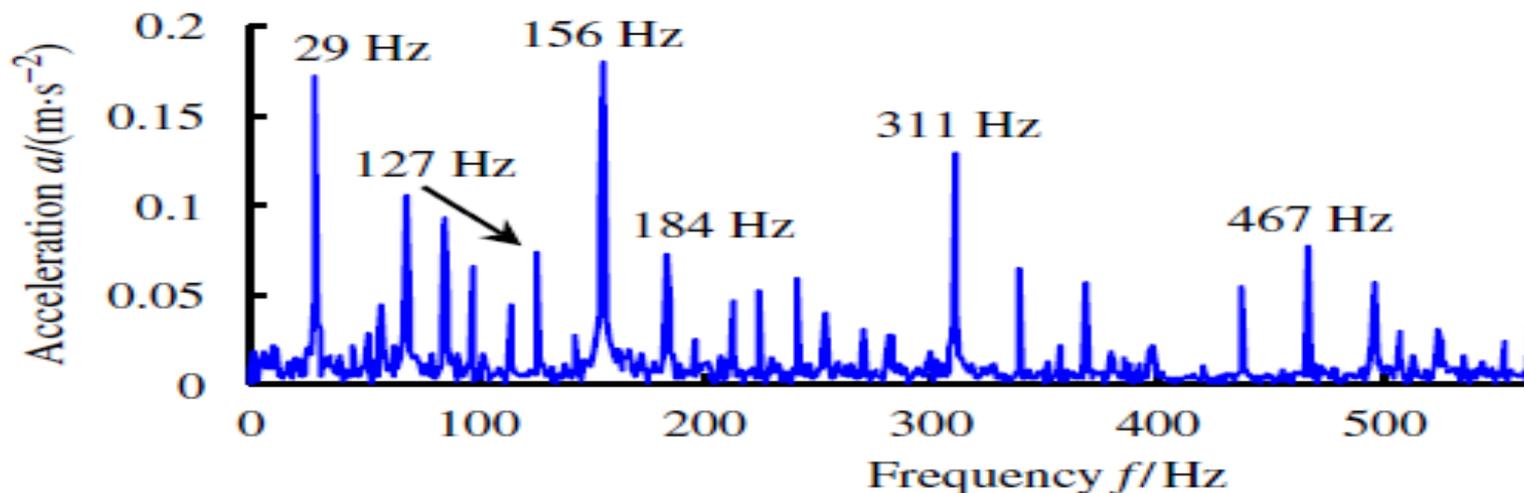


b) Déversement de bague interne.

7.3 Exercice d'application

Une mesure vibratoire sur un palier d'un moteur électrique tournant à 1730 tr/min est montrée sur la figure. Le roulement (6205 2RS) a un diamètre intérieur de 25 mm et un diamètre extérieur de 52 mm, contenant $N_b=9$ billes de diamètre 7.94 mm avec un angle de contact de 0 degré.

1. Calculer la vitesse de rotation f_r
2. Calculer les fréquences théoriques caractéristiques de défauts.
3. Identifier l'origine des fréquences dans la figure.



1-Determination de fr:

$$g = (n_s - n_r) / n_s = (1800 - 1730) / 1800 = 0,0388$$

$$f_r = (1 - g) \cdot f_s / p = (1 - 0,0388) \cdot 60 / 2 = 29 \text{ Hz},$$

2-Determination de fbi, fbe, fc, fbille:

$$f_{be} = f_r \cdot N_b (1 - D_b / D_m) / 2 = 103 \text{ Hz}.$$

$$f_{bi} = f_r \cdot N_b (1 + D_b / D_m) / 2 = 156.5 \text{ Hz}.$$

$$f_c = f_r \cdot (1 - D_b / D_m) / 22 = 11.44 \text{ Hz}.$$

$$f_{bille} = (f_r \cdot (D_m / D_b) (1 - (D_b / D_m)^2)) / 2 = 67 \text{ Hz}.$$

3- Origine des fréquences dans la figure :

$$f_1 = 29 \text{ Hz} = f_r.$$

$$f_2 = 127 \text{ Hz} = f_{bi} - f_r$$

$$f_3 = 156 \text{ Hz} = f_{bi} \quad \text{Défaut de bague interne d'un roulement}$$

$$f_4 = 184 \text{ Hz} = f_{bi} + f_r$$

$$f_5 = 311 \text{ Hz} = 2 \times f_{bi}$$

$$f_6 = 467 \text{ Hz} = 3 \times f_{bi}$$