

The background is a deep red color. On the left side, there are several bright red, glowing circular spots of varying sizes, some with a soft, out-of-focus halo. A large, white, semi-circular shape is positioned on the right side, partially overlapping the red background. The overall aesthetic is modern and technical.

Comment aborder les défaillances d'origine vibratoire?

Arnaud CARACCIOLO, CETIM

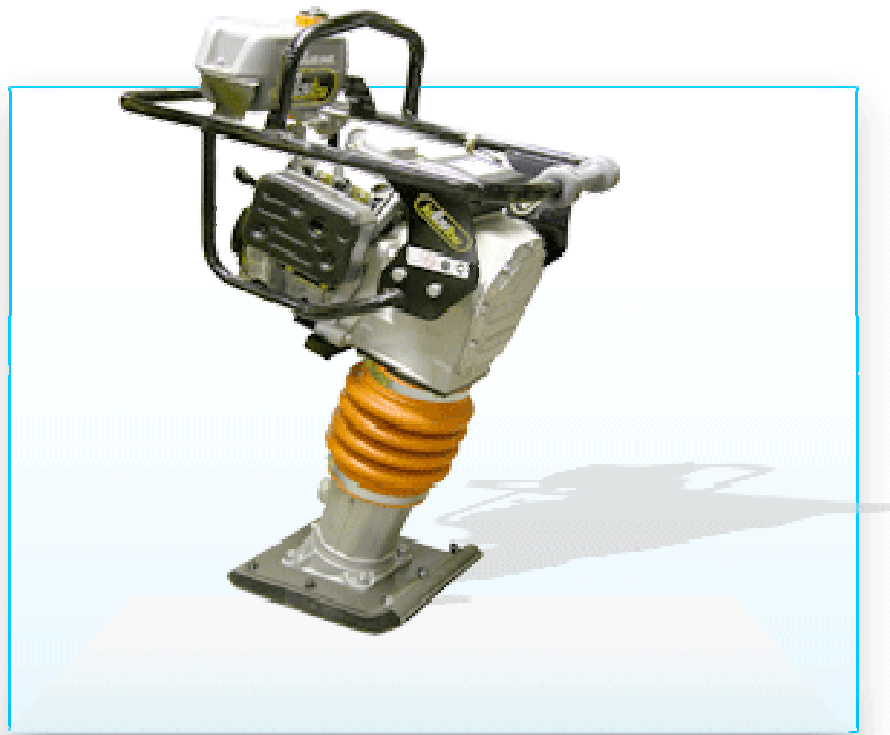
MIDEST 2010

- ✓ Aspect généraux sur les vibrations
- ✓ Dispositif de surveillance vibratoire
- ✓ Détection vibratoire de défauts
- ✓ Conclusion

Les vibrations : trois volets d'intérêt

- ✓ Les exploiter dans un procédé industriel
- ✓ Les combattre
- ✓ Les utiliser comme sources d'informations.

Exploiter les vibrations



Compacteur

Combattre les vibrations

Plusieurs normes encadrent les vibrations:

- ✓ Sévérité vibratoire des machines
- ✓ Protection de l'homme
- ✓ Directives « Machines »
- ✓ Spécifique

Les Normes de sévérité vibratoire :

- ✓ ISO 2372
- ✓ NF E 90-300
- ✓ ISO 7919 (parties 1 à 5)
parties tournantes
- ✓ ISO 10816 (parties 1 à 6)
Parties non tournantes

A bon
B satisfaisant
C médiocre
D inadmissible

Norme AFNOR E 90-300 ISO 2372				
Gamme d'intensité vibratoire	Exemples d'appréciation de la qualité par groupes particuliers de machines			
Vitesse efficace en mm/s	Groupe I	Groupe II	Groupe III	Groupe IV
jusqu'à 0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	B
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				
au-delà de 45				

Utiliser les vibrations comme

- ✓ **Indicateur de l'état de santé**: surveillance vibratoire des paliers de turbine (dégradation des roulements),
- ✓ **Moyen de diagnostic**: maintenance conditionnelle associé à la thermographie et l'analyse des lubrifiants,
- ✓ **Composante de conception**: analyse modale pour optimiser les structures porteuses et éviter les couplages fréquentiels avec les parties tournantes.

Analyse Vibratoire

- ✓ Suivi vibratoire
- ✓ Surveillance en temps réel (alarmes)
- ✓ Maintenance prédictive
- ✓ Suivi des évolutions des signatures vibratoires

Les vibrations peuvent être générées par différents mécanismes mettant en jeu de l'énergie :

- ✓ mécanique (transmission de puissance)
balourd, désalignement, engrènement, roulements à billes, ...
- ✓ électrique (moteur)
vibration des stators, transformateurs...
- ✓ hydraulique (pompes)
pulsation de pression, cavitation, turbulences...
- ✓ aéraulique (ventilateurs, éoliennes)
tourbillons de Von Karman, turbulences aérodynamiques ...

Stratégie de Surveillance

Définition des grandeurs physiques



Doc. Chauvin Arnould



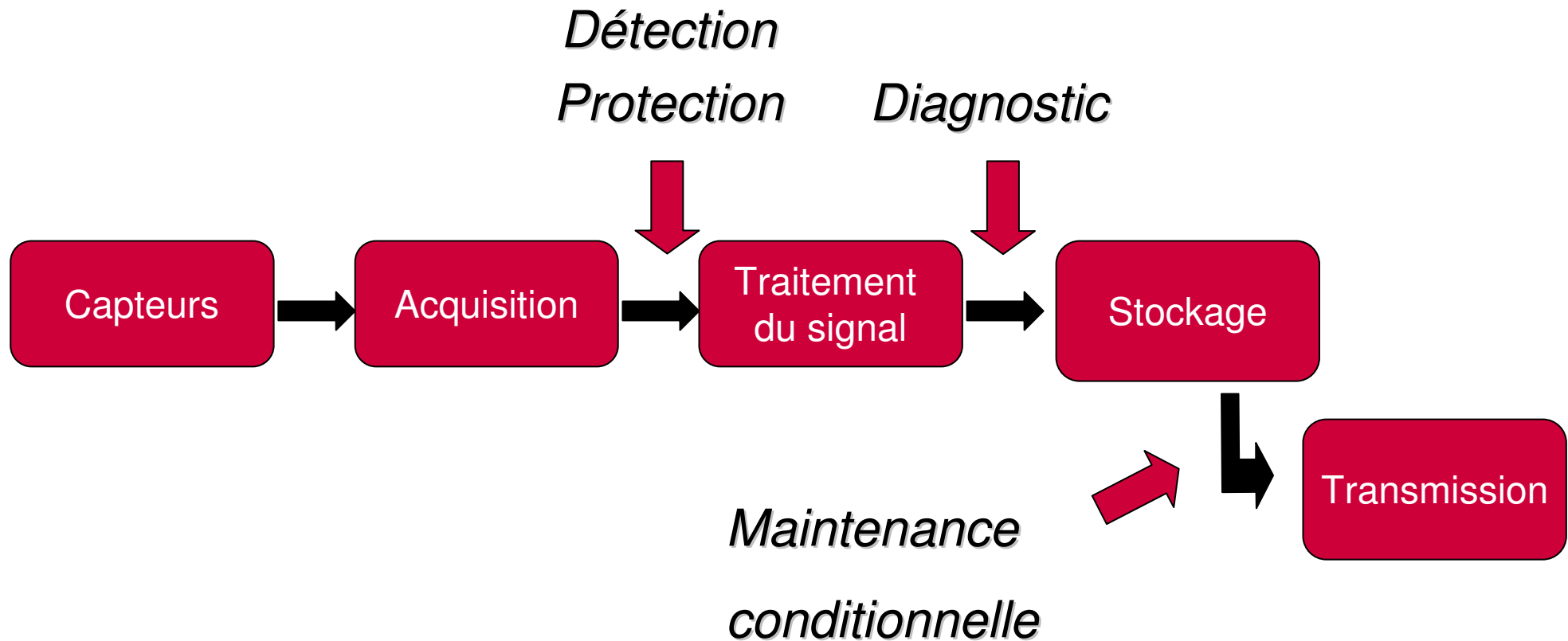
Doc. Montronix

Sélection du capteur

→ *Intégration du capteur*

- Vibrations
- Émission Acoustique
- Pression, Température
- Courant,
- Paramètres process...

Stratégie de Surveillance



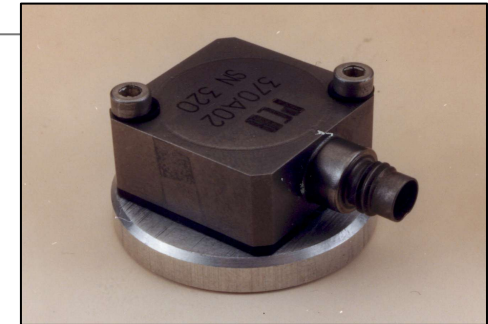
Les capteurs de vibrations



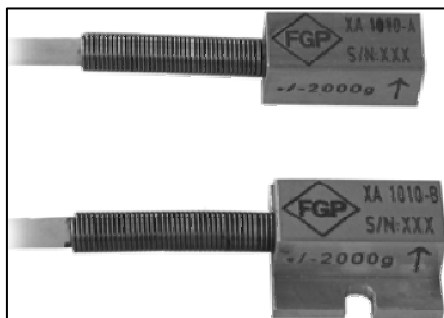
Piézoélec Industriel



Piézoélec Labo + masse réduite



Acc Capacitif



Acc Piézorésistif



Servo Accéléromètre

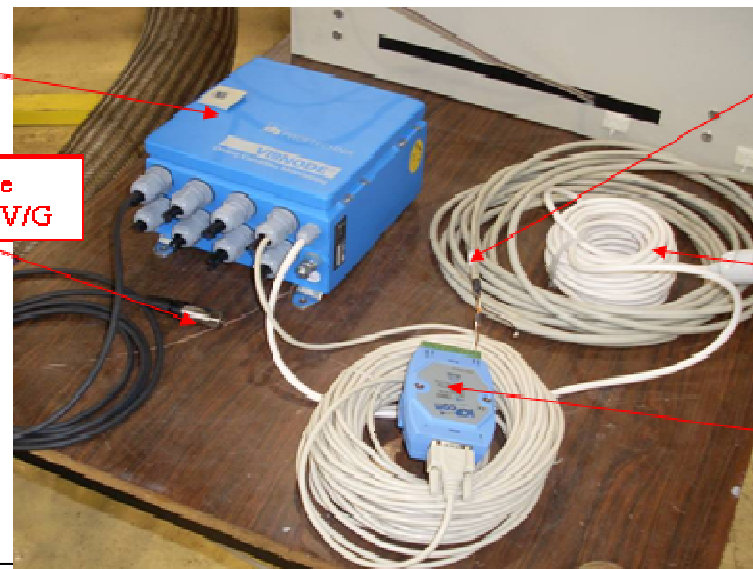
Roulement ou palier instrumentés, intégrant des fonctions électroniques pour connaître :

- ✓ vitesse et sens de rotation d'une roue,
- ✓ nombre de tours de cette roue,
- ✓ température du roulement.



Doc. SNR

Stratégie de Surveillance Exemple: le secteur hydraulique



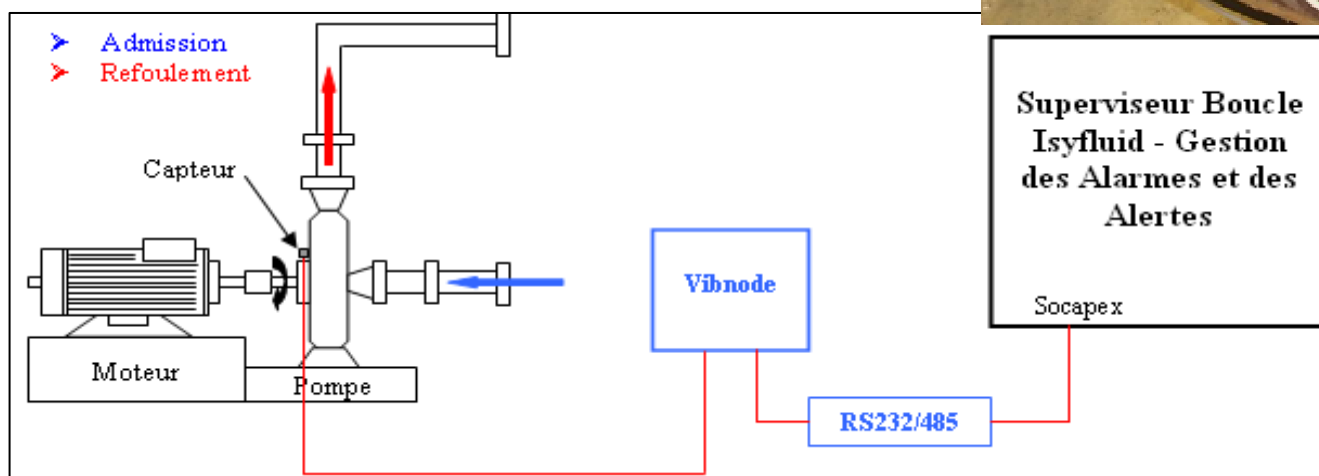
Vibnode

Accéléromètre
Industriel 100 mV/G

Connectique
Socapex (vers
Superviseur)

Alimentation
Secteur Vibnode

Convertisseur
RS232/485

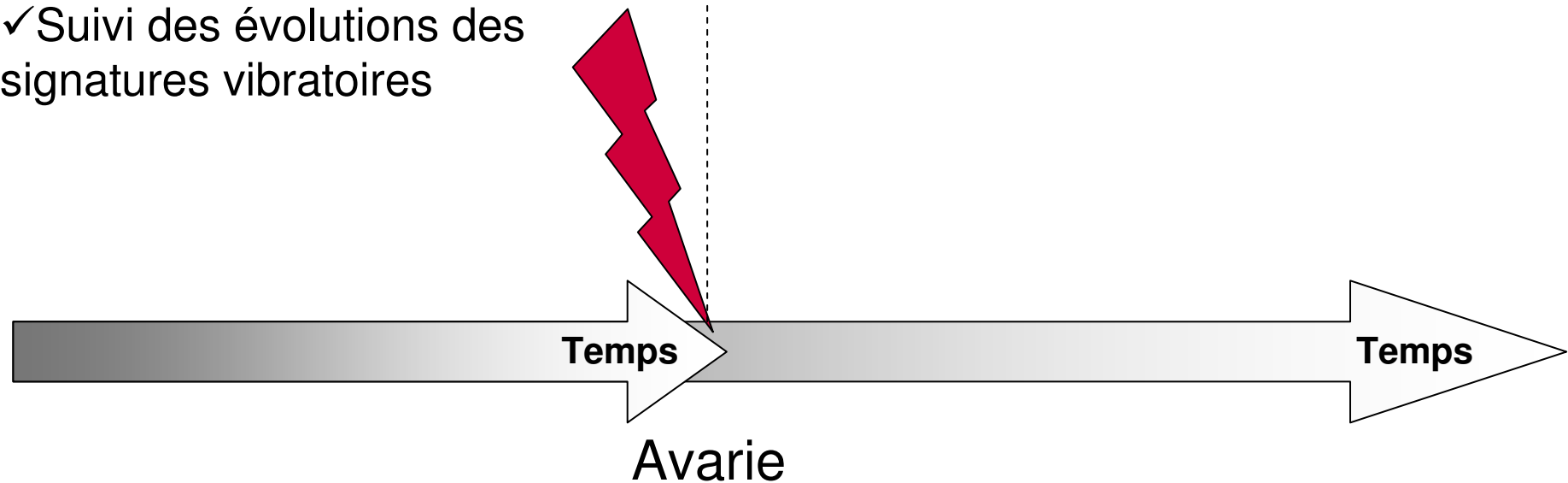


Analyse Vibratoire

- ✓ Suivi vibratoire
- ✓ Surveillance en temps réel
- ✓ Maintenance prédictive
- ✓ Suivi des évolutions des signatures vibratoires

Expertise / Diagnostic

- ✓ Analyse des composants
- ✓ Identification cause de l'avarie
- ✓ Suivi vibratoire après avarie



Répartition des avaries par cause et par organe sur les réducteurs industriels

Cause du sinistre	Fréquence en %	Organe concerné	Fréquence en %
▪ Défaut du produit	53,7	Roues dentées	58,2
Défaut de fabrication	17,4	Paliers	12,5
Défauts de conception et de dimensionnement	15,4	Paliers radiaux	11,1
Défaut de matière	10,9	Paliers de butée	1,4
Défaut de montage	7	Corps	9,7
Défaut de réparation	3	Arbres	6,4
▪ Erreur d'exploitation	39,3	Bâti	5,7
Fausse manœuvre	21,4	Divers	7,5
Défaut d'entretien	17,9		
▪ Phénomènes externes	7		
Corps étrangers	2,5		
Alimentation électrique	1,5		
Autres	3		

Détection vibratoire de défauts

-Engrenages-

Détériorations des roues dentées



Usure abrasive



Écaillage

-Engrenages-

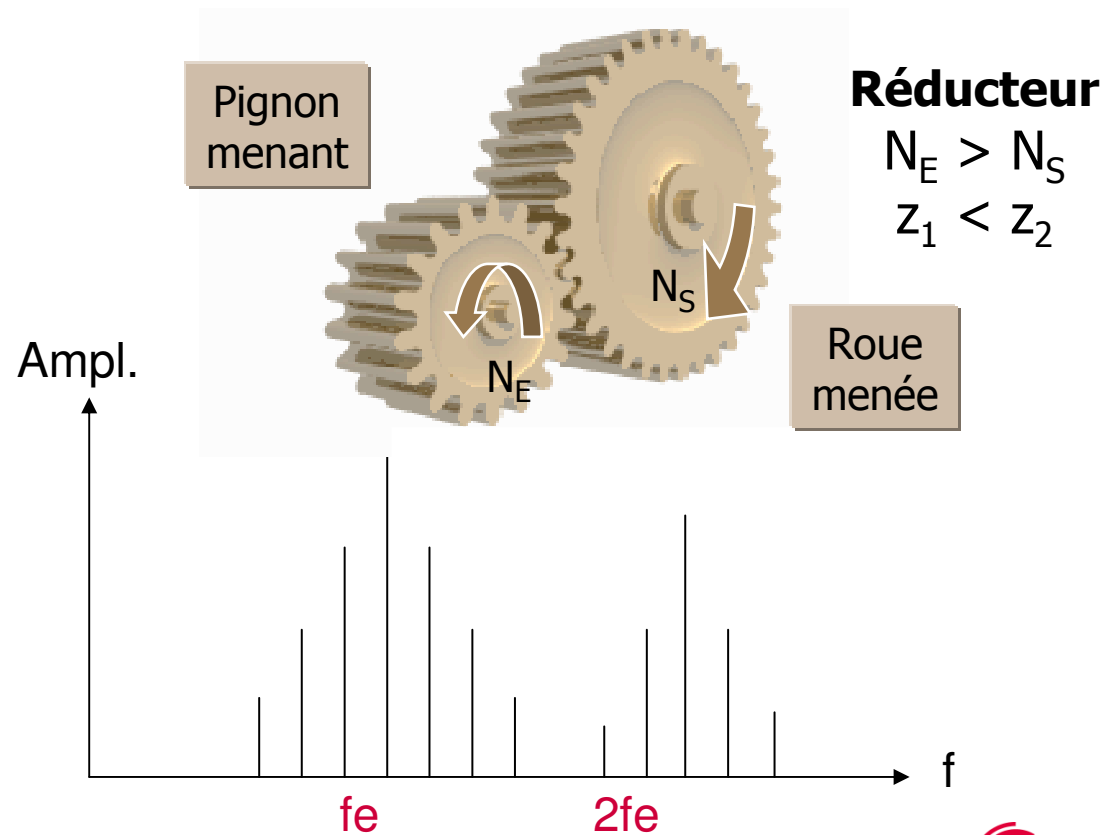
Défauts et Diagnostics

Fréquence d'engrènement
d'une roue dentée montée sur
un arbre tournant: **$f_e = n \cdot z$**

Défaut d'excentricité ou défaut
localisé sur une dent



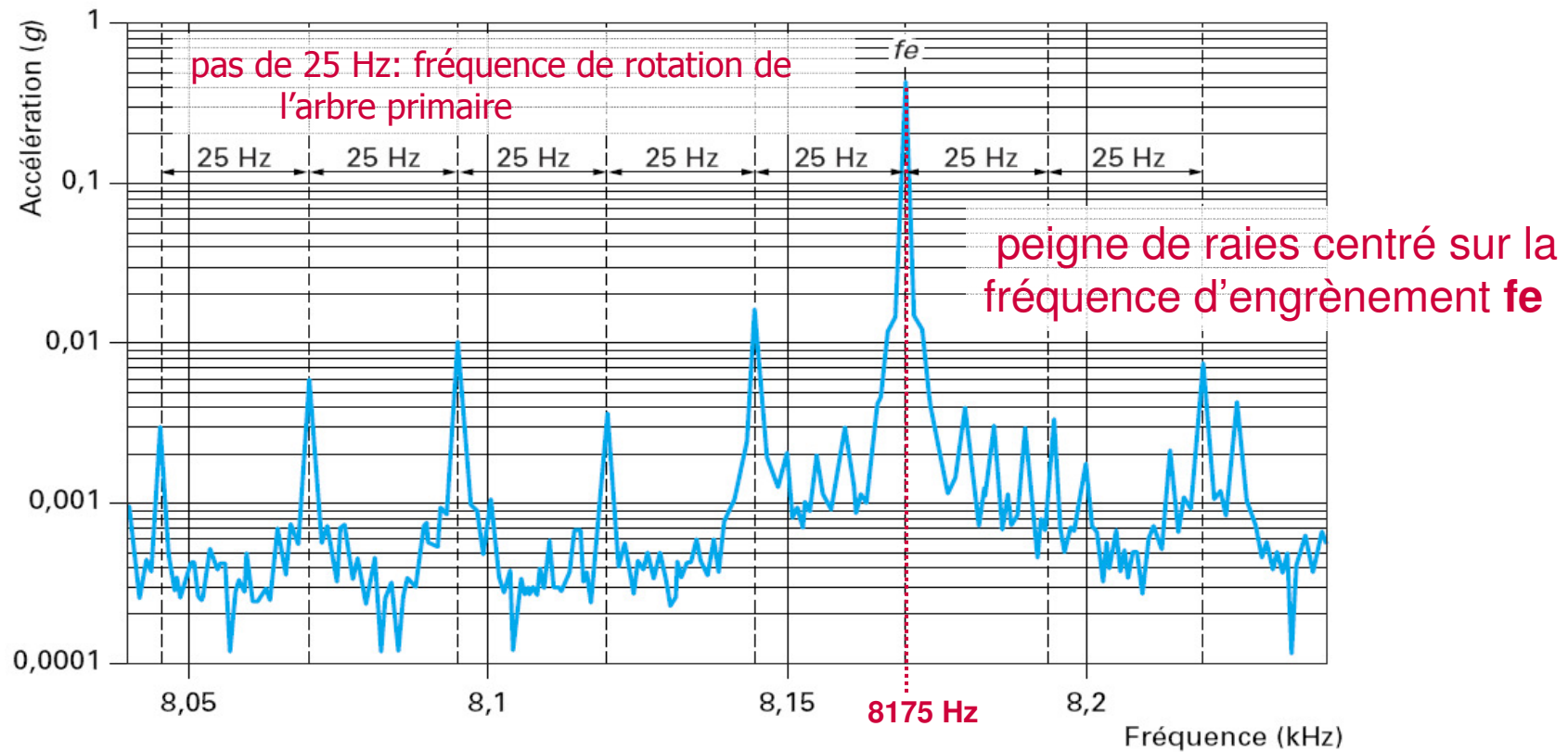
Modulations d'amplitude **autour**
des multiples de la
fréquence d'engrènement



Détection vibratoire de défauts

-Engrenages-

Mise en évidence d'un défaut de denture sur pignon



Détection vibratoire de défauts

-Roulements-

Symptôme résultant :	Montage					Contraintes de service			Ambiance					Lubrification		
	Procédés ou outils mal appropriés	Propreté insuffisante	Ajustement trop serré, pré-charge trop élevée	Ajustement trop libre, pré-charge trop faible	Désalignement	Charge trop faible ou trop élevée	Vibrations	Vitesses excessives	Chauffage extérieur	Poussière, boue	Passage de courant électrique	Humidité	Agents corrosifs	Lubrifiant mal adapté	Manque de lubrifiant	Lubrification surabondante
1. Aspect des pièces de roulements																
Empreintes de corps roulants, rayures	✓				✓											
Empreintes de corps étrangers		✓								✓						
Corrosion (humidité, agents corrosifs)											✓	✓	✓			
Empreintes dues aux vibrations à l'arrêt							✓									
Corrosion de contact				✓			✓									
Cratères et stries											✓					
Détériorations des cages					✓		✓									
Usure		✓								✓				✓	✓	
Grippage sous charge élevée						✓		✓						✓	✓	
Glissement				✓		✓									✓	
Fatigue, écaillage	✓	✓			✓	✓			✓	✓				✓	✓	
Echauffement, coloration			✓					✓	✓					✓	✓	✓
2. Anomalies de fonctionnement																
Rotation irrégulière	✓	✓		✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓		
Bruit anormal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Température anormale			✓		✓	✓		✓	✓					✓	✓	✓

-Roulements-

Roulements à billes et à rouleaux

Défaut réparti \Rightarrow Spectre large bande

Défaut localisé \Rightarrow Fréquences définies

• Bague externe

$$\frac{n}{2} \frac{N}{60} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \Theta \right)$$

• Bague interne

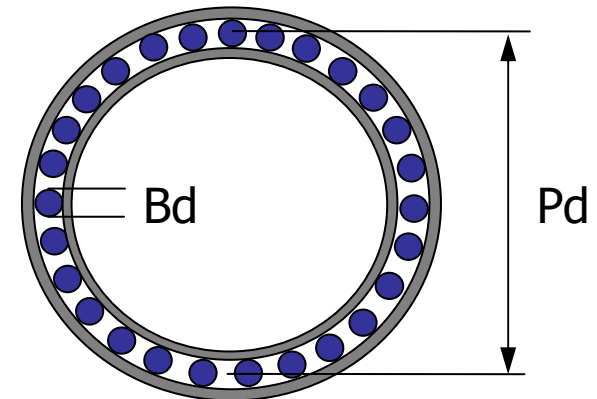
$$\frac{n}{2} \frac{N}{60} \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \Theta \right)$$

• Billes

$$\frac{Pd}{2Bd} \frac{N}{60} \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \right)^2 \cos^2 \Theta \right)$$

• Cage

$$\frac{1}{2} \frac{N}{60} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \Theta \right)$$



n : nombre de billes

N : vitesse de rotation

Bd : diamètre des billes

Pd : diamètre situant le centre des billes

Θ : angle de contact oblique

✓ Démarche usuelle en phase conception:

- dimensionnement mécanique et adéquation/charge et puissance,
- respect des normes et directives,
- absence ou prise en compte partielle des aspects « maintenance »

✓ Démarche différenciatrice:

- Identifier les éléments dynamiques critiques,
- Intégrer l'instrumentation existante (palier de turbine) dans la démarche qualité à part entière ou la compléter pour faciliter le diagnostic,
- Monter en compétence les équipes de maintenance à même de proposer des solutions et réduire les temps d'immobilisation des équipements.

Merci de votre attention

arnaud.caracciolo@cetim.fr

