

## MESURE VIBRATOIRE EN NIVEAU GLOBAL

### I. Principe

La mesure des vibrations en niveau global permet de qualifier l'état général d'une machine par comparaison à des normes ou des mesures précédentes. Cette stratégie de surveillance consiste en un suivi de l'évolution dans le temps d'un ou de plusieurs indicateurs (déplacement, vitesse ou accélération). Les vibrations mécaniques sont détectées par un capteur de vibrations, monté sur le palier de la machine, qui convertit le signal mécanique en un signal électrique qui sera acheminé à un mesureur de vibrations pour l'analyser et afficher la valeur globale.

Le suivi se fait de deux façons différentes : **continu**, ou en ligne, ou **périodique** sous forme de rondes plus ou moins espacées dans le temps. La périodicité des mesures est adaptée en fonction de l'évolution des indicateurs. Plus une augmentation est rapide, plus les contrôles doivent être rapprochés.

Il est obligatoire que les conditions de fonctionnement de la machine ainsi que les conditions de mesure (vitesse, charge, températures etc.) doivent être rigoureusement identiques d'une mesure à l'autre.

### II. Choix de la grandeur à mesurer

Le choix de la grandeur à mesurer (déplacement, vitesse ou accélération) pour la surveillance d'une machine tournante dépend essentiellement du défaut recherché et la plage de fréquences dans laquelle il est susceptible de s'exprimer. La grandeur retenue est appelée paramètre ou **indicateur de surveillance**. Le tableau 3.1 donne le domaine de surveillance pour chaque indicateur.

Indicateur (Niveau global)	Domaine de surveillance
Déplacement ( $\mu\text{m c/c}$ )	Phénomènes lents basses fréquences [2–100 Hz] : balourd, désalignement, instabilités de paliers etc.
Vitesse (mm/s eff)	Moyennes fréquences [1 000 Hz] : balourd, lignage, instabilités de paliers, cavitation, passage d'aubes, engrènement etc.
Accélération (g eff)	Phénomènes très rapides Hautes fréquences [20 000 Hz] : engrenages, roulements, passages d'ailettes, cavitation...

Tableau 3.1 : Domaine de surveillance des indicateurs vibratoires

La figure 3.1 montre les signaux vibratoires (spectres) pris sur une machine en mode déplacement, vitesse et accélération. Commenter les résultats de mesure

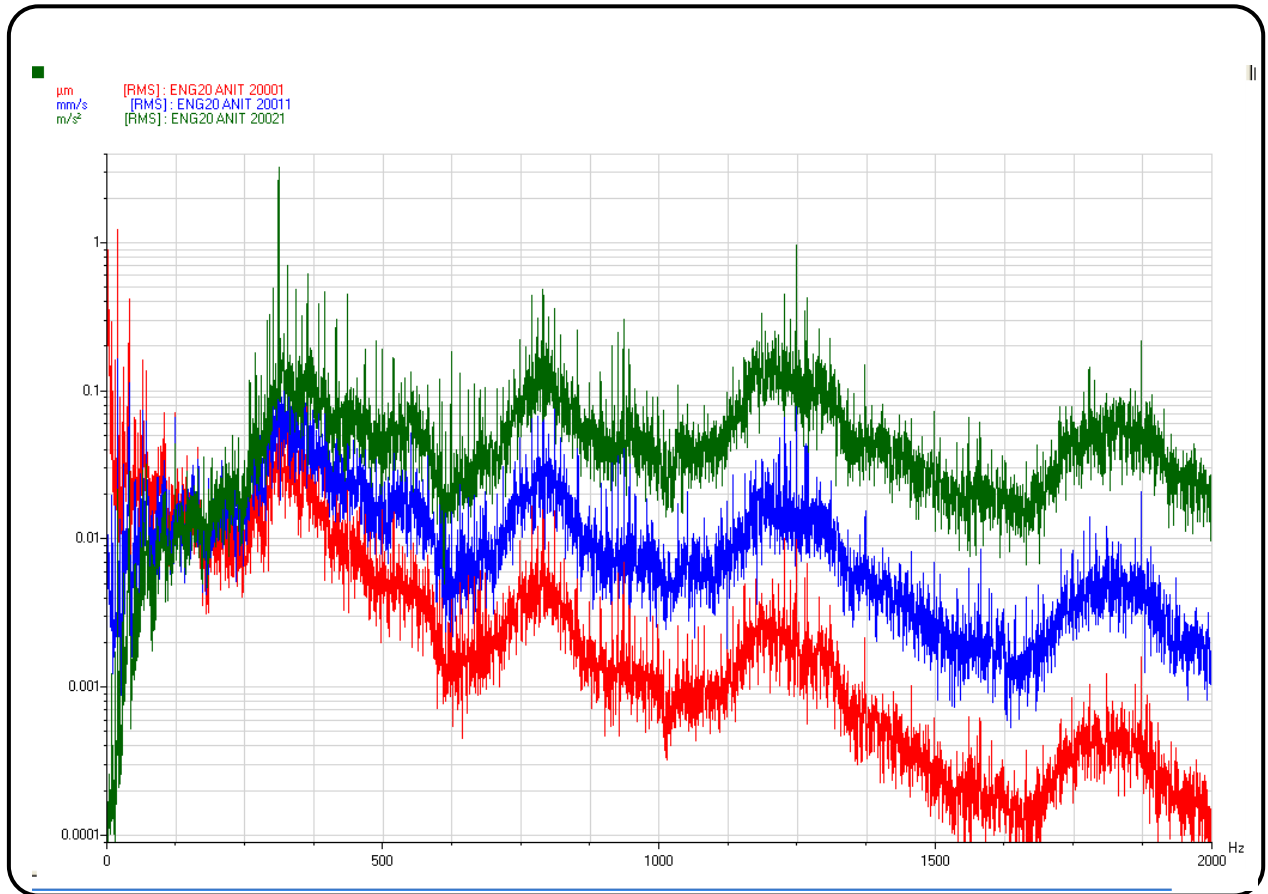


Figure 3.1 : signaux vibratoires en mode déplacement, vitesse et accélération

### III. Prise de mesure

#### 1. Matériel utilisé

Les appareils de mesure sont toujours constitués d'un minimum de deux éléments [figure 3.2] :

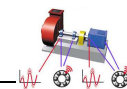
- **Le capteur** : il transforme une vibration en signal électrique.
- **Mesureur ou contrôleur de vibration** : il donne l'amplitude de ce signal

#### 2. Mesureur de vibration

Le mesureur de vibrations est l'instrument le plus simple utilisé pour la mesure précise de l'amplitude vibratoire. En effet, il s'agit d'un instrument qui affiche une valeur unique indiquant, par exemple, la valeur efficace de la vitesse dans différentes gammes de fréquences. Il est conçu pour être utilisé facilement par du personnel d'entretien pour qui la mesure des vibrations n'est qu'une tâche parmi d'autres.



Figure 3.2 : exemple d'appareil de mesure



Les caractéristiques les plus courantes communes aux différents mesureurs de vibrations sont :

- une construction robuste et compacte (il peut typiquement être tenu d'une seule main);
- un capteur de vibrations incorporé (le plus courant étant un accéléromètre piézoélectrique avec ou sans préamplificateur intégré);
- la mesure dans différentes gammes de fréquences comprises habituellement entre 10 Hz et 10 kHz;
- le choix du paramètre de vibration;
- une gamme de mesure d'amplitudes typiques de l'ordre de 1000/1 (60 dB);
- le choix dans l'affichage de la valeur efficace ou de la valeur de crête ou de la valeur de crête-à-crête (déplacement).

Deux exemples de fiches techniques de mesureur de vibration sont illustrés en annexe 4 et 5.

#### IV. Exploitation des mesures

Une valeur de niveau global unique est souvent difficilement exploitable en valeur absolue, mais nous pourrions par contre les utiliser en relatif, c'est-à-dire que l'évolution dans le temps d'un niveau global est réellement significative de l'évolution de l'état vibratoire de la machine.

Certes, un niveau très important doit demander des investigations supplémentaires (diagnostic), mais il n'est pas forcément lié à une anomalie mécanique, alors qu'une forte et rapide augmentation des amplitudes est toujours liée à une dégradation si toutes les conditions de fonctionnement sont identiques.

##### 1. Courbes d'évolution ou de tendance

###### a. Définition

L'évolution dans le temps d'un indicateur vibratoire est représentée par une courbe [figure 3.3], appelée courbe de tendance. Le résultat de mesure est comparé aux mesures précédentes et à des seuils prédéfinis.

La courbe de tendance est accompagnée parfois d'une courbe de tendance extrapolée qui indique la pente de la dégradation et permet, en théorie, d'estimer ainsi une date présumée de défaillance [figure 3.4].

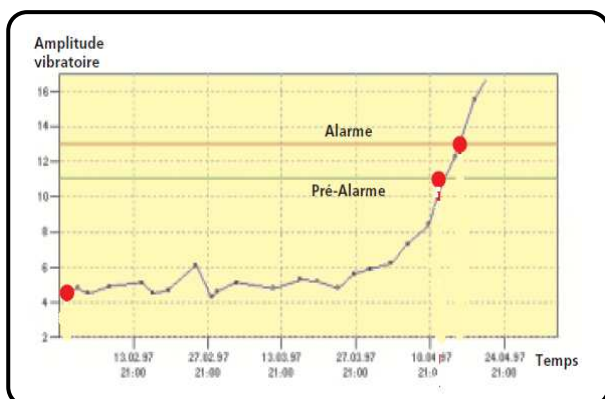


Figure 3.3: courbe de tendance

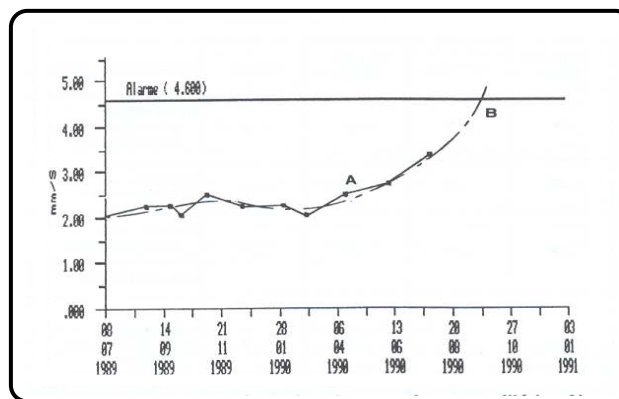
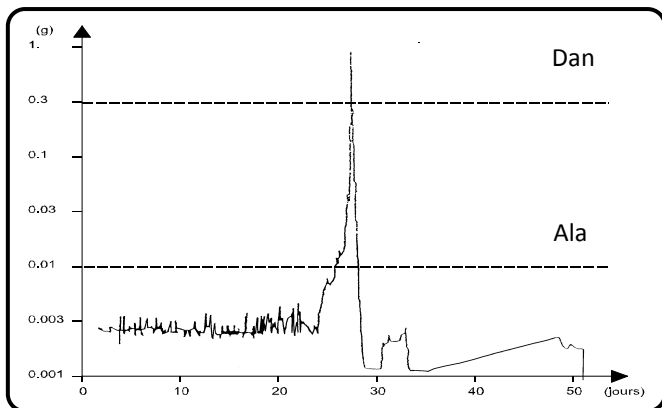
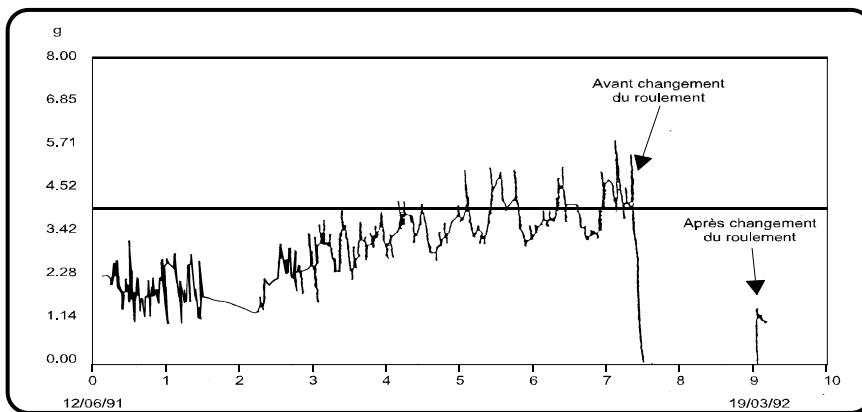


Figure 3.4

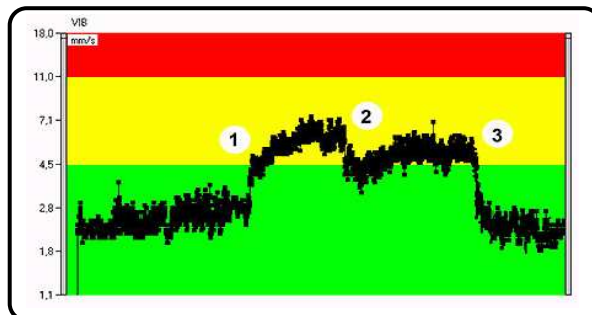
A : courbe de tendance. B : courbe extrapolée

b. Exemples

**Figure 3.5**  
Détérioration lente d'un roulement



**Figure 3.6**  
Détérioration intempestive d'un roulement



**Figure 3.7** : Surveillance d'un ventilateur (mesure en ligne)

- 1- Déséquilibre, probablement dû aux dépôts de saleté sur les pales du ventilateur.
- 2- Le ventilateur est partiellement nettoyé.
- 3- Le ventilateur est complètement nettoyé.

Indiquer pour chaque courbe l'indicateur choisi, l'échelle utilisée et le type de suivi

**Figure 3.5** .....

**Figure 3.6** .....

**Figure 3.7** .....

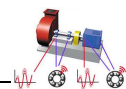
**2. Définition des seuils d'intervention**

Le tracé des courbes d'évolution des amplitudes vibratoires doit être complété par une comparaison des mesures à des seuils d'alarme et de danger.

**Seuil d'alarme** : déclenche systématiquement une procédure de diagnostic afin de localiser voir de déterminer l'origine exacte de l'anomalie. Selon la nature et la gravité du défaut, les modalités de surveillance seront modifiées pour mieux suivre son évolution ou procéder à un arrêt pour inspection.

**Seuil de danger** : nécessité de procéder à un diagnostic immédiat de l'état de l'installation. Arrêt suivi d'une action corrective.

La quantification de ces seuils est très délicate et dépend de nombreux paramètres, tels



que montage (fondations, châssis, paliers...), tolérance du constructeur, vécu de la machine, besoins de l'utilisateur... Cependant, des ordres de grandeurs de niveaux acceptables, alarmants ou dangereux, sont indiqués dans les normes (NF, ISO, VDI, API...). Ces normes [Annexes 6 et 7] ne doivent être pris que comme des suggestions et non comme une référence absolue. En début de suivi les seuils peuvent se référer aux normes, mais les seuils ne seront fixés qu'après retour à l'expérience.

### 3. Application

Donner les valeurs des seuils d'alarme et de danger pour ces deux machines.

- un tour de puissance 4 KW posé directement sur le sol.

- une scie à ruban de menuiserie de puissance 20 KW lié au sol par des boulons.

### 4. Suivi de l'évolution des trois indicateurs

Le suivi d'un seul niveau global ne permet pas d'établir un quelconque diagnostic, mais en comparant l'évolution des différents indicateurs classiques, on peut avec des moyens simples se faire une première idée des types de défauts qui affectent la machine. Le tableau fourni en Annexe 8 permet l'interprétation de l'évolution des indicateurs de suivi en mode global.

Par exemple si la mesure effectuée, au même endroit, sur un même palier montre une évolution importante des indicateurs de déplacement et de vitesse, alors que l'indicateur d'accélération reste stable ; on peut donc supposer que l'anomalie se situe en basses fréquences et que le défaut est du à un balourd, un désalignement ou un desserrage du palier.

## V. Différents types de suivi

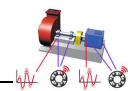
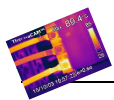
### 1. Suivi en mode global « large bande »

Pour ce type de suivi les capteurs mesurent l'amplitude sur une plage de fréquences très large, généralement la bande passante de l'appareil de mesure.

Le niveau global mesuré NG est tel que:  $NG = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + \dots}$  avec a, b, c, ...les amplitudes respectives des composantes A, B, C, ... dues aux différents défauts présents dans la machine. Compte tenu de cette élévation au carré, il est certain que cette valeur de NG est essentiellement sensible à l'évolution de défauts induisant des vibrations d'amplitude élevée et qu'une évolution importante d'un défaut induisant des vibrations d'amplitude moindre (mais pas forcément de gravité moindre) risque d'être complètement masquée. Ce phénomène, nommé **l'effet de masque**, est l'écueil le plus sérieux de ce type de suivi et en limite considérablement le domaine d'utilisation et la fiabilité.

#### Exemple

Le niveau global initial NG, fourni par un capteur fixé sur l'un des paliers d'une moto-soufflante [figure 3.8], correspond à des vibrations dues à un déséquilibre (5 mm/s), un mauvais serrage (1mm/s), un défaut d'engrènement (1 mm/s) et un défaut de roulement (1 mm/s)



a – Calculer le NG résultant.

.....  
.....  
.....

b – Calculer le NG pour une variation de 25 % sur le déséquilibre et commenter le résultat.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

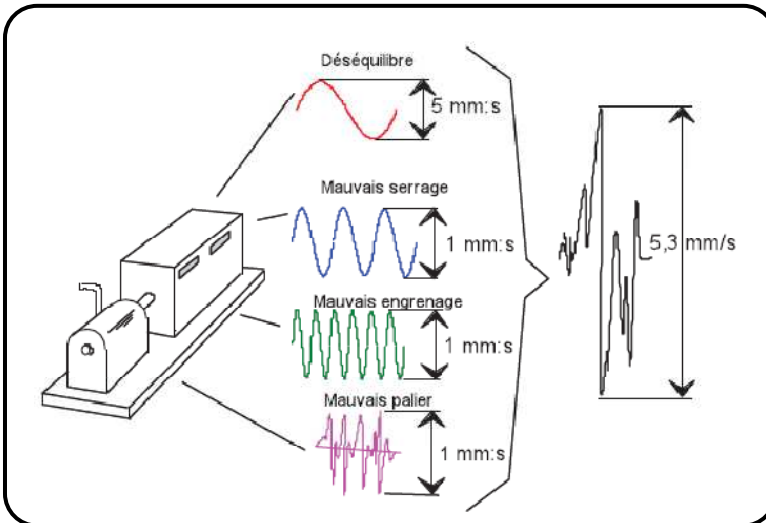


Figure 3.8 : Moto-soufflante

c – Calculer le NG pour une variation de 200 % sur le roulement du palier et commenter le résultat.

.....  
.....  
.....  
.....

L'exemple met en évidence le danger de l'effet de masque dans le suivi en mode global « large bande » ; cette technique privilégie le dépistage de défauts induisant des vibrations de grande amplitude au détriment des défauts qui induisent des vibrations d'amplitude plus faible, mais dont la gravité peut être parfois au moins aussi importante.

Il montre aussi combien il est difficile avec ce type de suivi déterminer les seuils d'intervention. Si l'on arrêta la machine à un seuil de 4 mm/s, elle pourrait être fréquemment stoppée pour des problèmes peu importants de balourd et, en revanche, ne pas l'être pour le problème du roulement, bien que celui-ci présente des signes proches de la casse.

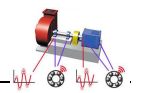
**2. Suivi en mode global par bande de fréquence**

Pour minimiser le danger d'effet de masque, certains appareils offrent la possibilité de mesurer les indicateurs à l'intérieur de plusieurs bandes de fréquences définies par l'utilisateur et de suivre l'évolution du niveau global à l'intérieur de chacune de ces bandes.

Cette technique est aisée à mettre en place et à exploiter lorsqu'il est possible de :

- définir des bandes de fréquences bien dissociées en fonction des principaux défauts redoutés sur la machine à surveiller;
- fixer, pour chacune de ces bandes, un seuil d'intervention.

Sur la moto-soufflante [figure 3.8], nous pouvons définir:



- une bande « basses fréquences » pour suivre les défauts de déséquilibre et désalignement;
- une bande « moyennes fréquences » pour suivre les défauts d'engrènement;
- une bande « hautes fréquences » pour suivre les défauts de roulement.

### VI. Limites du suivi en mode global

Le suivi en mode global permet d'appréhender l'état de la machine par une évolution significative d'une dégradation ou par la comparaison à des seuils d'alarme et de danger, mais ne permet pas d'établir un diagnostic précis. C'est l'**analyse spectrale** qui le permettra.