

Chapitre 03 : Les outils de mesure

1. Les capteurs

Le capteur, quelle que soit la nature du signal qu'il délivre (accélération, vitesse, déplacement...) constitue le premier maillon de la chaîne de mesure. Sa fonction est de transformer le mouvement vibratoire en un signal électrique.

Un capteur se caractérise principalement par :

Sa bande passante. La bande passante (linéarité du capteur) est la plage de fréquences (par exemple [3-8 000 Hz]) à l'intérieur de laquelle la constitution du capteur permet une mesure de l'amplitude en rapport direct avec les forces génératrices du mouvement vibratoire à mesurer.

Sa dynamique. C'est le rapport entre la plus petite et la plus grande valeur d'amplitude mesurable du capteur sans distorsion du signal ni bruit de fond.

Sa sensibilité. C'est la relation qui lie la grandeur électrique délivrée par le capteur à l'amplitude du mouvement mécanique qui lui donne naissance (par exemple, millivolts par μm).

Sa tenue en température. Elle est précisée par le constructeur. Au-delà d'un certain point qui est fonction du type de capteur et des matériaux le constituant, la température peut sensiblement modifier la sensibilité du capteur et même dans le cas d'un capteur piézoélectrique le détruire.

Ses grandeurs d'influence. Le capteur, selon ses conditions d'utilisation, peut être sensible non seulement à la grandeur physique pour laquelle il a été conçu mais aussi à d'autres grandeurs physiques, appelées « grandeurs d'influence », susceptibles d'avoir une action non négligeable sur la justesse des mesures (figure 3.1)

Sa masse et ses dimensions. Pour certaines applications sur des petites pièces, plaques ou carters de faible épaisseur, le poids et les dimensions du capteur peuvent être des contraintes importantes à ne pas négliger. Les dimensions peuvent créer des difficultés de mise en place et le poids peut fausser la mesure en modifiant la raideur du support.

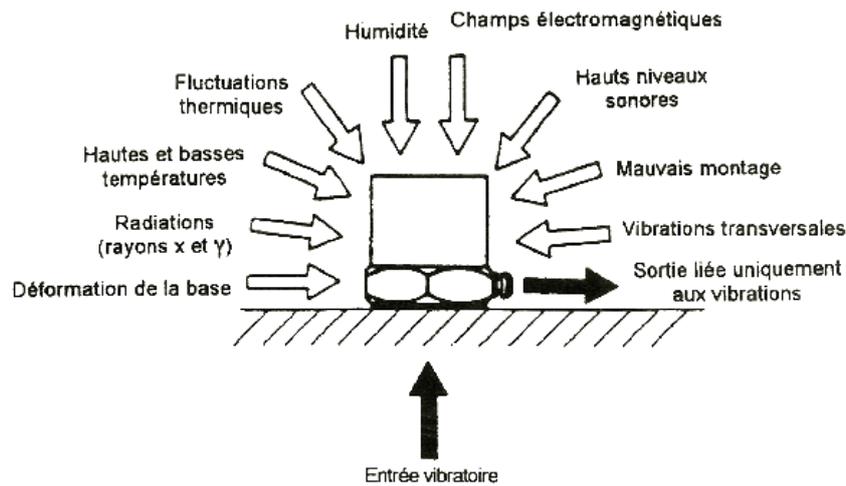


Figure 3.1. Grandeurs d'influence sur un accéléromètre

1.1. Les proximètres

Aujourd'hui, le proximètre le plus utilisé pour la surveillance de machines est le capteur inductif à courants de Foucault (figure 3.2.). Sa bande passante est très étendue mais sa dynamique est faible à cause du bruit élevé (run-out) induit par les imperfections d'usinage de l'arbre et la non homogénéité magnétique des matériaux le constituant. Pour pallier ces défauts, une action corrective préalable est souvent nécessaire (redressement, démagnétisation du rotor, réusinage, écouissage, brunissage ou micromatage des zones de visée des capteurs). Ces capteurs mesurent le déplacement et leur emploi est de ce fait limité à la surveillance des défauts se manifestant aux basses fréquences. Sa principale utilisation concerne la surveillance permanente des machines à paliers fluides, soit pour surveiller le déplacement axial de l'arbre, soit pour mesurer son mouvement radial relatif et déterminer la position de son axe de rotation par rapport au centre du palier.

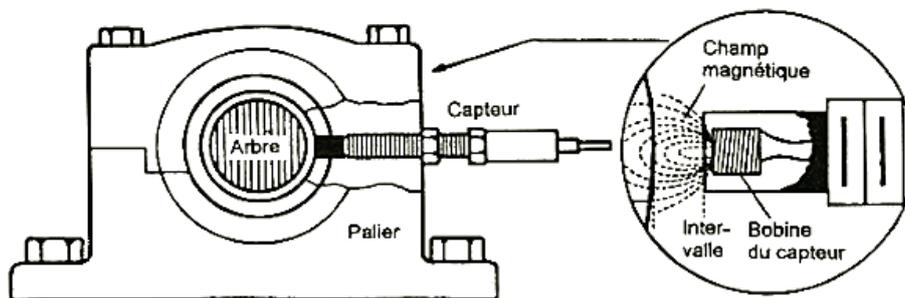


Figure 3.2. Principe du capteur inductif à courants de Foucault

1.2. Les vélocimètres

Les capteurs de vitesse ou vélocimètres sont constitués d'une sonde à contact dite sonde sismique qui mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée.

Ce type de capteur présente l'avantage de ne nécessiter ni source d'alimentation ni préamplificateur. L'amplitude du signal délivré est directement proportionnelle à la vitesse de la vibration absolue du palier au point de mesure. La bande passante de ce type de capteur se situe généralement entre 10-20 Hz et 2000 Hz environ. L'utilisation des vélocimètres tend aujourd'hui à disparaître au profit des accéléromètres piézoélectriques qui, moins encombrants et plus fiables, présentent une bande passante et une dynamique de mesure beaucoup plus étendues.

1.3. Les accéléromètres

Les accéléromètres piézoélectriques tendent à devenir les capteurs de vibrations absolues les plus utilisés pour la surveillance des machines tournantes.

Leur principe de fonctionnement repose sur la propriété des matériaux piézo-électriques de générer une charge électrique proportionnelle à la contrainte de compression ou de cisaillement subie.

L'examen de la courbe de réponse en fréquence d'un accéléromètre piézoélectrique montre l'existence de deux zones (figure 3.3) :

- Une zone linéaire (bande passante) qui correspond à une plage de fréquences où la réponse du capteur permettra une mesure directement proportionnelle à l'amplitude des efforts générateurs de la vibration.
- Une zone englobant la résonance du capteur à l'intérieur de laquelle sa sensibilité dépend fortement de la fréquence observée. Toute composante vibratoire dont la fréquence se situe dans cette zone voit son amplitude considérablement modifiée par le capteur. L'amplitude du signal délivré n'est plus directement représentative de la vibration que l'on veut mesurer.

L'accéléromètre présente de nombreux avantages :

- l'étendue de la bande passante,
- une gamme dynamique très étendue
- l'obtention de la vitesse vibratoire et du déplacement instantanés par intégration,
- une excellente précision pour un large « éventail » de conditions environnementales,
- une excellente fiabilité dans le temps puisqu'aucun élément n'est mobile,
- un faible encombrement et un grand rapport sensibilité/masse.

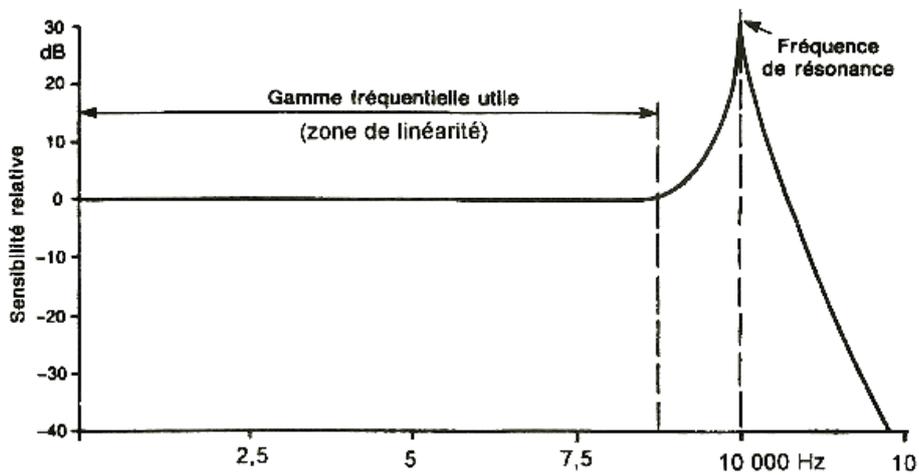


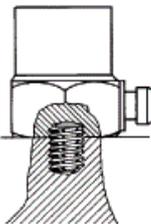
Figure 3.3. Courbe de réponse d'un accéléromètre

1.4. Méthodes de montage des accéléromètres

Il est très important pour la qualité des mesures que l'accéléromètre soit fixé aussi rigidement que possible sur la machine. L'accéléromètre doit être fixé sur une partie fixe de la machine aussi près que possible des éléments en mouvement et monté dans une direction radiale pour que son axe de mesure coïncide avec le plan de rigidité minimale. Il peut aussi être fixé dans une direction axiale. Tout ajout au montage de l'accéléromètre (boulon, cire, colle, aimant, tige) modifie la rigidité de l'accéléromètre et, par conséquent, affecte la gamme d'analyse en fréquence (figure 3.4).

La solution donnant le résultat le plus fidèle à la réalité est la fixation par goujon. C'est en effet la solution de montage la plus rigide donc provoquant le moins de pertes du signal de départ.

Le tableau 3.1 résume les caractéristiques principales de quelques montages d'accéléromètres.

| Type de montage | Gamme utile de fréquence | remarques |
|---|--------------------------|--|
| Goujon  | 10000 Hz | Recommandé avec un film d'huile. Excellente répétitivité de la mesure. |
| Goujon + rondelle de mica | 9000 Hz | Recommandé pour assurer l'isolation électrique de l'accéléromètre. Excellente répétitivité de la mesure. |

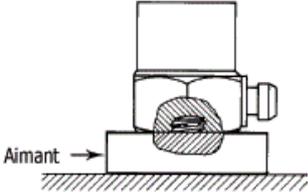
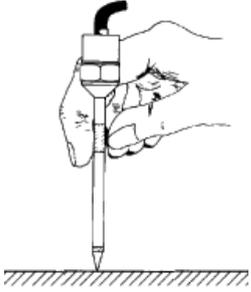
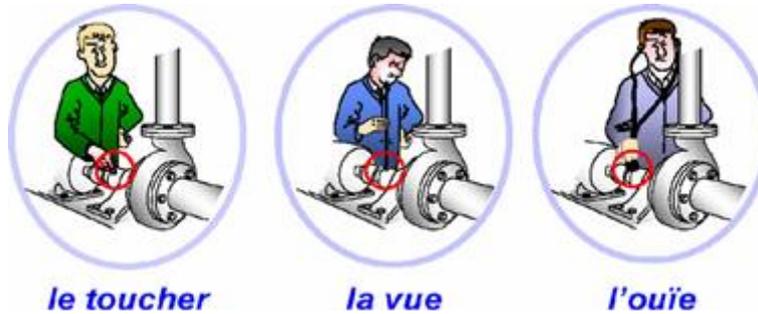
| | | |
|---|---|--|
| Cire d'abeille | 9000 Hz | Montage rapide, mauvaise tenue aux chocs, limité par la température (40 °C). |
| Colle | <ul style="list-style-type: none"> • Dure 5000 Hz • Molle 500 Hz | À utiliser lorsqu'on ne peut pas percer la structure ou lorsqu'une isolation électrique est nécessaire. Il est préférable d'utiliser une fine couche de colle dure, du type catalytique ou thermodurcissable, plutôt qu'une colle molle qui réduit la gamme utile de fréquences. Limité par la température (80°C). Excellente répétitivité de la mesure. |
| Ruban adhésif à 2 faces | <ul style="list-style-type: none"> • Mince 5000 Hz • Epais 500 Hz | Limité à des températures moyennes (95°C). Il est préférable d'utiliser un ruban mince. |
| Aimant  | 2000 Hz | Montage rapide. Le plus utilisé en surveillance des machines, mais limité en fréquence. Donne une isolation électrique. Ce type de montage est limité par les chocs supérieurs à 100 g. Ce montage peut s'employer pour des températures allant jusqu'à 150°C. La répétitivité de la mesure est douteuse. |
| Sonde manuelle  | 400 Hz | À éviter en surveillance des machines, sauf lorsque l'accessibilité est restreinte. Limité aux très basses fréquences. Il est recommandé d'utiliser un filtre passe-bas de 400 Hz. Problème de répétitivité de la mesure |

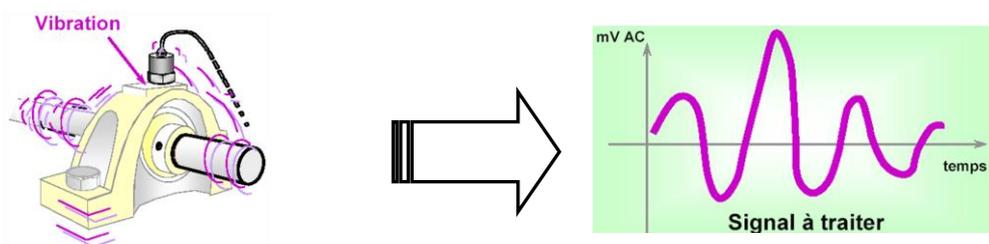
Tableau 3.1. Caractéristiques des montages des accéléromètres

1.2. Matériel de mesure :

La première méthode de mesure des vibrations est l'homme. Cette méthode a ses limites dues à la précision de mesure de nos sens.

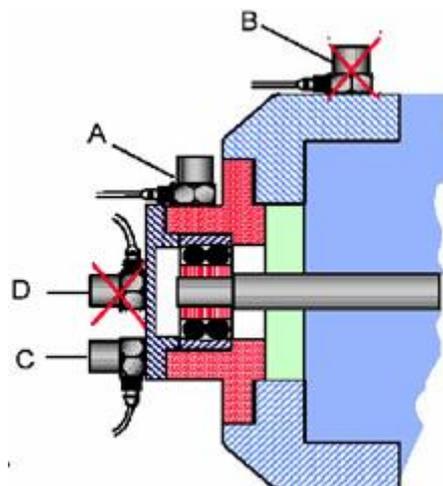


C'est pourquoi on préférera utiliser un capteur. Le but de ce capteur est de transformer la vibration en un signal exploitable que l'on va pouvoir traiter.



Les 3 grandeurs que l'on est amené à mesurer en technique vibratoire sont le **déplacement**, la **vitesse** et l'**accélération**.

En analyse vibratoire des machines tournantes, on utilise principalement des accéléromètres que l'on dispose au niveau des paliers comme indiqué sur la figure suivante.

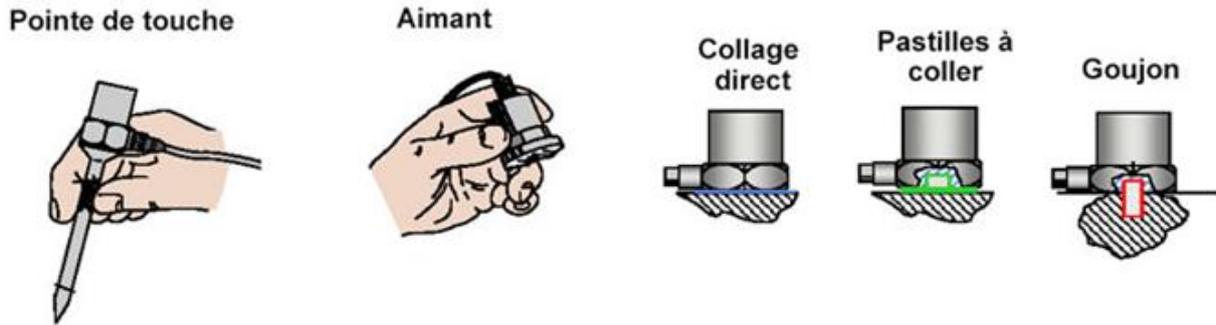


Les capteurs correctement positionnés sont les capteurs A (position «radial») et C (position «axial»).

Le capteur B est trop loin du palier. Le palier D n'est pas sur une structure rigide.

Les vibrations dépendant des mobilités des structures (jeu, manque de rigidité), il faut les positionner au plus près des paliers sur des structures rigides.

Les capteurs peuvent être fixés de différentes façons sur les structures. La solution donnant le résultat le plus fidèle à la réalité est la fixation par goujon. C'est en effet la solution de montage la plus rigide donc provoquant le moins de pertes du signal de départ.



Les signaux sortant des capteurs doivent être enregistrés et traité par un collecteur et un analyseur de vibrations. On distingue alors 2 types de surveillance : la surveillance On Line et la surveillance Off line.

En « **On Line** », la machine est surveillée en permanence par un moniteur de vibrations.

En « **Off Line** », les mesures sont effectuées lors de rondes à intervalles réguliers. On utilise alors un collecteur de données. Les collecteurs modernes permettent également d'analyser les mesures.

On peut également analyser les mesures sur des ordinateurs équipés de logiciels spécifiques en y transférant les mesures effectuées.