

## 10. Outils de contrôle

### 10.1 Analyse vibratoire

#### 10.1.1 Définition

Il s'agit d'une forme spécifique de la maintenance conditionnelle appliquée « aux machines tournantes ».

Elle consiste à collecter des signaux sonores ou vibrations mesurés sur les parties externes de la machine, et donnant des informations sur les processus de dégradations internes.

Elle concerne les machines tournantes, à savoir la majorité des équipements industriels :

- a) Moteurs (électriques, thermiques, turbomachines...)
- b) Transmissions (paliers, réducteurs, boîtes de vitesse...)
- c) Récepteurs (pompes, compresseurs, broyeurs, alternateurs...)

#### 10.1.2 Possibilités de diagnostic

A partir de mesures de niveaux de vibrations, nous pouvons détecter et localiser les défauts suivants :

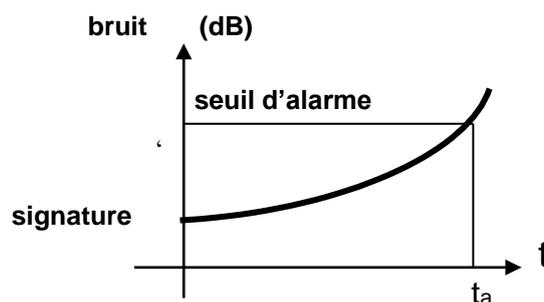
- a) déséquilibre (balourd) du rotor
- b) désalignement (desserrage d'un palier...)
- c) mauvais état des paliers :
  - palier lisse : jeu excessif, grippage...
  - roulement : dégradation,
- d) transmission défectueuse (engrenages endommagés, courroies...)
- e) surcharge (flèche de l'arbre...)

#### 10.1.3 Diverses formes

- ❖ Mesures sonores

Effectuées à partir de sondes acoustiques, elles concernent des machines tournantes ou non tournantes.

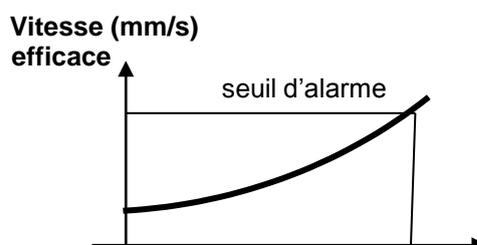
Unités : niveau de bruit en dB



- ❖ Mesures vibratoires

A partir d'accéléromètres, on peut mesurer le déplacement, la vitesse ou l'accélération de la vibration.

L'indicateur de base : la vitesse efficace, exprimée en mm/s.



signature

ta t

## 10.2 Analyse d'huile

### 10.2.1 Principe

L'analyse fine d'une huile usagée met en évidence son degré de détérioration et détermine la nature des particules qu'elle véhicule au réservoir. L'évolution de résultats d'analyse permet un diagnostic par des spécialistes selon un processus analogue à « l'analyse d'urine ».

*Exemple 1* : dans un moteur thermique, l'augmentation du pourcentage du sodium indique une fuite d'eau (Na de l'antigel) dans l'huile. Ce qui, à un seuil connu, implique le changement de joint de culasse avant défaillance grave.

*Exemple 2* : l'évolution des résultats physicochimiques va permettre de vidanger une bêche d'installation hydraulique lorsqu'un seuil de détérioration est atteint : grosse économie et bonne protection du circuit.

### 10.2.2 Possibilités offertes

*Cas d'un moteur thermique :*

Les résultats des analyses effectuées sur l'huile permettent de détecter les anomalies :

- du système de filtration d'air (filtre, durites, collier),
- du système de refroidissement (fuite joint de culasse),
- du système d'injection (essence : réglage carburation ; diesel : réglage injecteur),
- de l'état mécanique du moteur (usure en parties hautes ; usure en parties basses),
- des qualités physico-chimiques du lubrifiant (compatibilité des performances de l'huile et des conditions d'exploitation du moteur).

Ce suivi permet donc de prévenir et planifier les réglages et les interventions quand nécessaire (selon l'état).

Il permet également d'ajuster l'intervalle entre vidanges aux conditions particulières de chaque moteur.

En résumé, il permet d'augmenter la longévité d'un moteur en abaissant considérablement le niveau de « fortuit », donc des coûts inhérents aux arrêts inattendus.

## 10.3 Contrôle non destructif

Le **contrôle Non Destructif (C.N.D.)** est un ensemble de méthodes qui permet de caractériser l'état d'intégrité de structures industrielles, sans les dégrader, soit au cours de la production (les pièces qui sortent des fonderies ne sont jamais exemptes de défaut), soit en cours d'utilisation (apparition de défaut). Il faut donc déterminer (à la casse, de façon empirique) quelle taille de défaut est acceptable et ensuite pouvoir les détecter, sans casser la pièce, et la remplacer si besoin est. On parle aussi d'**Essais Non Destructifs** ou d'**Examen Non Destructifs (E.N.D.)**.

Ces méthodes sont très utilisées dans :

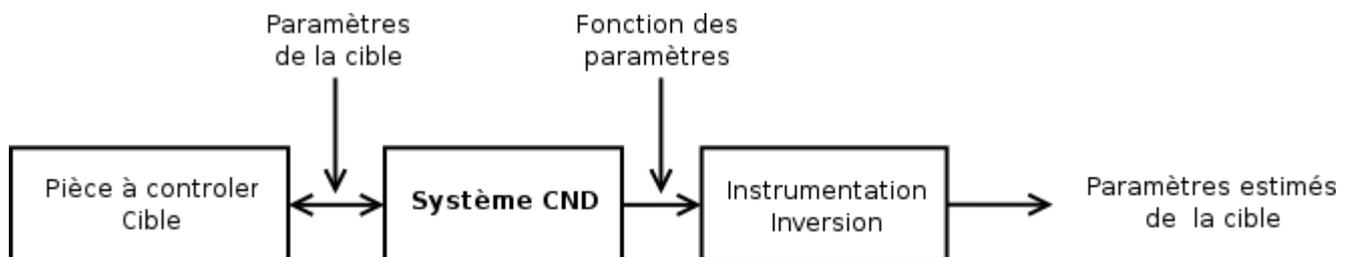
- l'industrie automobile (contrôle des blocs moteurs) ;
- l'industrie pétrolière (pipelines, tubes, barres, soudures, réservoirs) ;
- l'industrie navale (contrôle des coques) ;
- l'aéronautique (poutres, ailes d'avion, nombreuses pièces moteurs, trains d'atterrissage, etc.) ;
- l'aérospatiale et l'armée (dont la totalité des programmes sont confidentiels ou secret défense) ;
- l'industrie de l'énergie (réacteurs, chaudières, tuyauterie, turbines, etc.) ;
- le ferroviaire en fabrication et en maintenance notamment pour les organes de sécurité (essieux, roues, bogies) ;
- autres (fabrication de mousquetons d'escalade, ouvrages d'art, etc.) ;

Et en règle générale dans tous les secteurs produisant :

- des pièces à coût de production élevé en quantité faible (nucléaire, pétrochimique...) ;
- des pièces dont la fiabilité de fonctionnement est critique (BTP, nucléaire, canalisation de gaz...).

### 10.3.1 Principes généraux

Quelle que soit la méthode adoptée, on peut représenter la mise en œuvre d'un système CND suivant le synoptique suivant :



La cible se caractérise par un ensemble de paramètres que l'on va chercher à estimer afin de former un diagnostic d'intégrité. La mise en œuvre d'un système CND adéquat va permettre de produire un certain nombre de signaux qui sont fonction des paramètres recherchés. Une étape « d'inversion », plus ou moins compliquée, est bien souvent nécessaire afin de retrouver les paramètres initiaux de la pièce.

### 10.3.2 Différentes méthodes de contrôle

La norme EN 473 définit un certain nombre de symboles pour les méthodes usuelles (cf. tableau).

Ces symboles correspondent généralement à l'abréviation de la désignation anglaise de la méthode, par exemple, le symbole PT pour le ressuage vient de **P**enetrant **T**esting.

Méthode END	symbole
Emission acoustique	AT
Courants de Foucault	ET
Etanchéité	LT
Magnétoscopie	MT
Ressuage	PT
Radiographie	RT
Ultrasons	UT
Examen visuel	VT
Interférométrie de Speckle	ST
Thermographie	IT

#### a) Le contrôle par ressuage (PT)

C'est une méthode destinée à révéler la présence de discontinuités ouvertes en surface de pièces métalliques, essentiellement, mais aussi en céramique. Elle consiste à badigeonner (par immersion ou par pulvérisation électrostatique, parfois mais rarement, au pinceau) la cible avec un liquide fluorescent ou coloré en rouge, qui pénètre dans les discontinuités. Après nettoyage de la cible, un révélateur est appliqué et, en faisant « ressuer » le liquide resté dans les fissures, va les révéler.

Cette méthode semble très simple à mettre en œuvre et elle est sensible aux discontinuités ouvertes. On peut mettre en évidence des discontinuités de 1  $\mu\text{m}$  d'ouverture, 100 fois plus fines qu'un cheveu. Par contre, elle n'est pas automatisable et les résultats restent à l'appréciation de l'opérateur. De plus, elle nécessite l'utilisation de produits non récupérables, voire contaminés après utilisation (ex. : centrale nucléaire : on essaie de réduire le volume des déchets), mais cette méthode est irremplaçable pour la mise en évidence de discontinuités débouchantes, quel que soit leur emplacement, quelle que soit leur orientation.

#### b) La radiographie (RT)

Cette méthode présente l'avantage de fournir des images directement exploitables, l'étape d'inversion peut être extrêmement réduite et la résolution spatiale excellente. Toutefois, l'interprétation des images demande un fort niveau

d'expertise de la part de l'opérateur. De plus, cette méthode est extrêmement coûteuse et impose des conditions de sécurité pour l'opérateur et l'environnement, qui rendent son utilisation en industrie difficile. Le contrôle à l'aide des rayons X est particulièrement utilisé pour contrôler les soudures en micro-électronique.

### **c) Les ultrasons (UT)**

---

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission, la réflexion et l'absorption d'une onde ultrasonore se propageant dans la pièce à contrôler. Le train d'onde émis se réfléchit dans le fond de la pièce et sur les défauts puis revient vers le transducteur (qui joue souvent le rôle d'émetteur et de récepteur). L'interprétation des signaux permet de positionner le défaut. Cette méthode présente une résolution spatiale élevée et la possibilité de trouver des défauts en profondeur. L'étape d'inversion est simple, du moins pour les pièces géométriquement et matériellement simples. Par contre, c'est une méthode lente car il faut faire un balayage mécanique exhaustif de la pièce. Il est d'ailleurs souvent nécessaire de contrôler plusieurs surfaces de la pièce pour pouvoir faire une représentation tridimensionnelle des défauts.

### **d) L'étanchéité**

Les méthodes de contrôle d'étanchéité font appel à des gaz traceurs, couplés à des instruments très sensibles à des concentrations minimales de ces gaz traceurs. Les plus courants sont l'hélium, l'hydrogène (azote hydrogénée), éventuellement le SF6.

### **e) La thermographie**

---

Les méthodes de contrôle thermique consistent à exciter un matériau ou une structure par un apport d'énergie (mécanique, photonique, chauffage par induction, air chaud...). La diffusion de la chaleur dans le matériau et l'impact qu'elle a sur la distribution de température de surface renseignent sur les propriétés thermophysiques des matériaux et sur d'éventuels défauts. Les principaux avantages de l'ensemble de ces méthodes résident dans la possibilité d'effectuer un contrôle sans contact et automatisable. Les inconvénients sont liés à la lenteur du contrôle, au coût de l'investissement et à la difficulté de mise en œuvre des étapes d'inversion pour établir le diagnostic.

### **f) La magnétoscopie (MT)**

---

**La magnétoscopie est une technique de contrôle non destructif qui consiste à créer un flux magnétique intense à l'intérieur d'un matériau ferromagnétique.**

---

Lors de la présence d'un défaut sur son chemin, le flux magnétique est dévié et crée une fuite qui, en attirant les particules (colorées ou fluorescentes) d'un produit révélateur, fournit une signature particulière caractéristique du défaut.

**g) Les méthodes  
couplées**

Récemment, des méthodes couplées ont vu le jour, et pour certaines sont encore dans le domaine de la recherche : les méthodes électromagnétiques acoustiques, électromagnétiques ultrasonores ou magnéto-optiques.

---