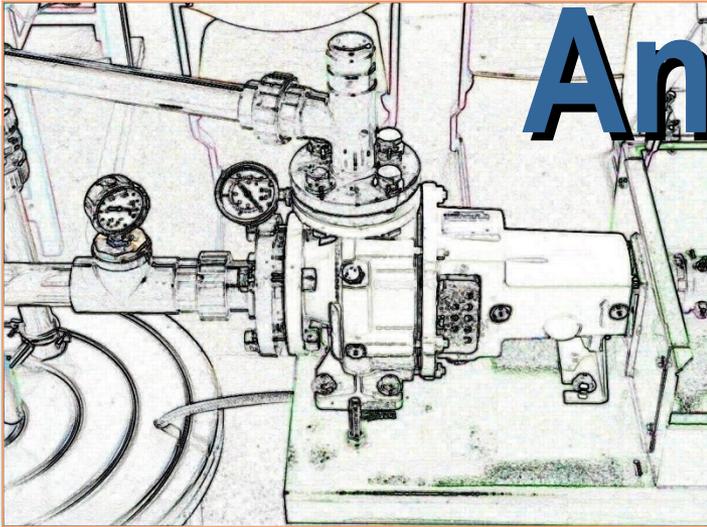


# Analyse vibratoire

Initiation à l'analyse vibratoire.



Généralités sur l'analyse vibratoire

Modélisation d'une vibration

Les différentes mesures

Les capteurs

La chaîne de mesure

Logiciel eDiag- Généralités

Tableau de sévérité vibratoire (normes)

Tableau d'analyse des spectrales

## L 'analyse des vibrations - Généralités

Toutes les machines vibrent et le spectre des fréquences de leurs vibrations a un profil particulier lorsqu'elles sont en état de "bon fonctionnement". Mais dès que les phénomènes d'usure, de fatigue, de vieillissement apparaissent, le profil de ce spectre se modifie.

L'analyse des vibrations ouvre de réelles perspectives de diagnostic et devient par là un élément important de la **maintenance conditionnelle**.

Une machine idéale ne vibrerait pas car toute l'énergie serait employée pour effectuer le travail. Des vibrations apparaissent, provoquées par des excitations provenant des organes en mouvement. Une partie de l'énergie est dissipée dans la structure sous forme de vibrations. La machine vieillissant, les pièces se déforment et de légers changements dans leurs propriétés dynamiques apparaissent. Les arbres se désalignent, les paliers et les roulements s'usent, les rotors se déséquilibrent, les jeux augmentent. Tous ces facteurs se traduisent par une augmentation de l'énergie vibratoire donc une baisse de l'énergie efficace. L'intérêt des signaux de vibrations est de pouvoir accéder, par l'intermédiaire de traitements adaptés, à la caractérisation des efforts dynamiques, et particulièrement ceux résultant d'excitations anormales.

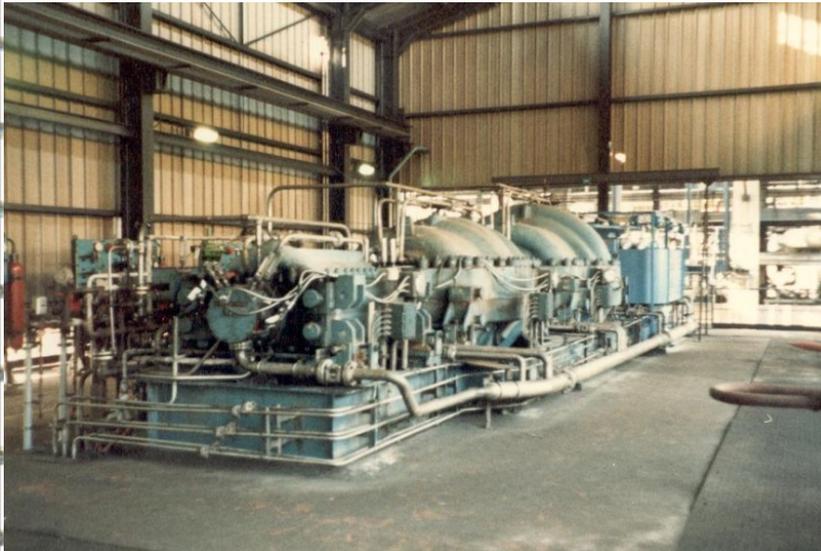
Suite

# Généralités -Exemples d'application



Papeteries EMIN LEYDIER  
Site de St Vallier (26)

La mise en place de 110 capteurs SVT-1100 sur la nouvelle machine à papier (l'une des plus grande d'Europe), permet au service maintenance de suivre l'état de tous les roulements de la MAP ainsi que l'état vibratoire des groupes moto-réducteurs.



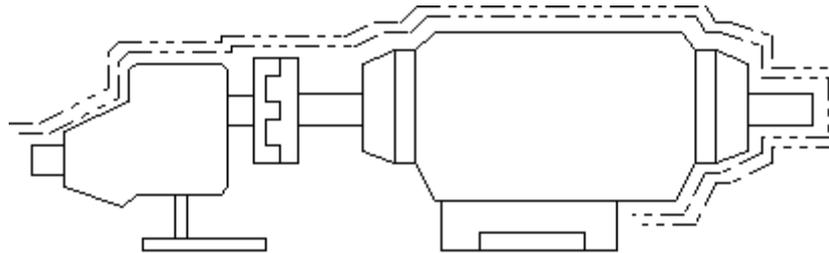
RHODIA

Contrôles vibratoires périodiques mensuels sur l'ensemble des machines tournantes du site, soit plusieurs centaines de points de mesures contrôlés chaque mois.

[Retour](#)

## Présentation d'une vibration - Modélisation

Une vibration est un mouvement répétitif autour d'une position centrale appelée position d'équilibre. Ce mouvement d'aller et retour est appelé cycle. Le nombre de cycles par seconde est appelé **Fréquence** d'oscillation et s'exprime en **HERTZ**



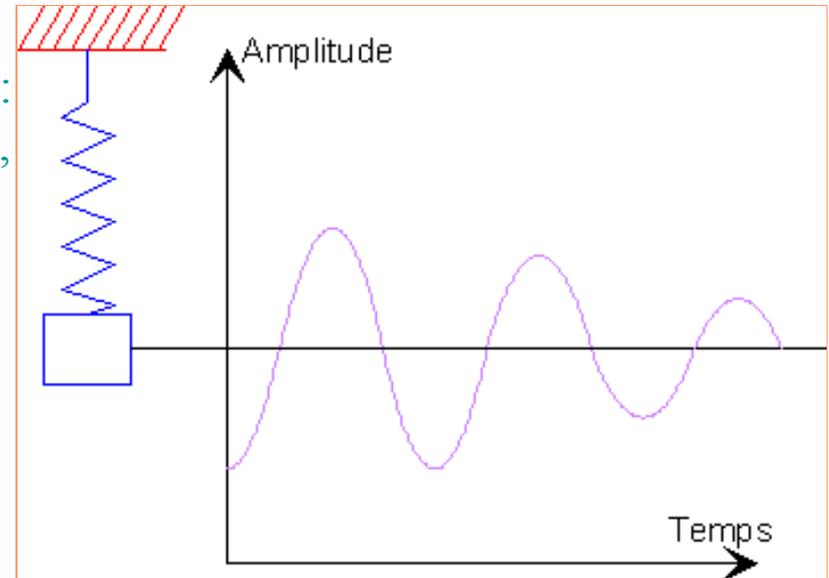
Suite

## Modélisation d'une vibration

Pour modéliser un signal vibratoire, prenons le système masse ressort représenté ci-contre.

En appliquant une impulsion verticale à la masse suspendue au ressort, celle-ci va s'animer d'un mouvement de haut en bas: c'est **l'amplitude vibratoire**. Par ailleurs, ce mouvement va se répéter un certain nombre de fois dans l'unité de temps (seconde): c'est **la fréquence**.

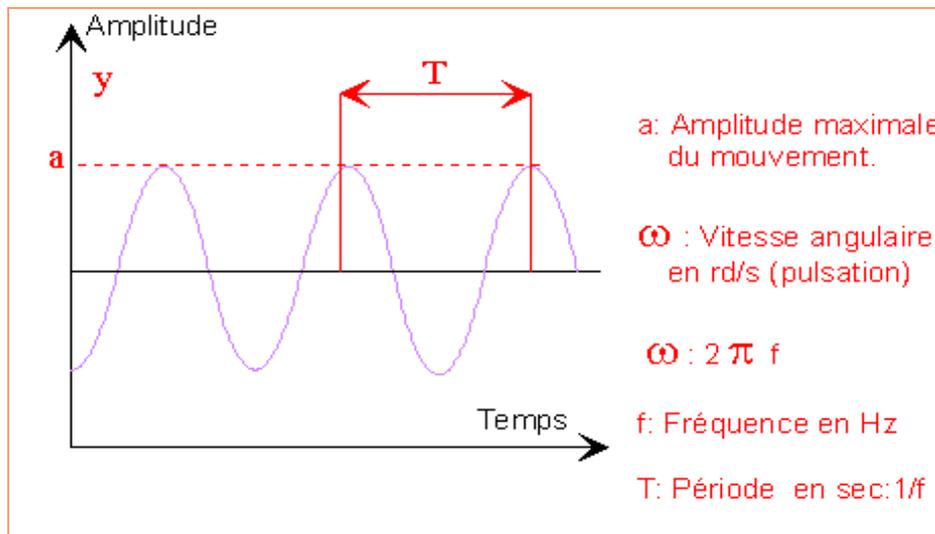
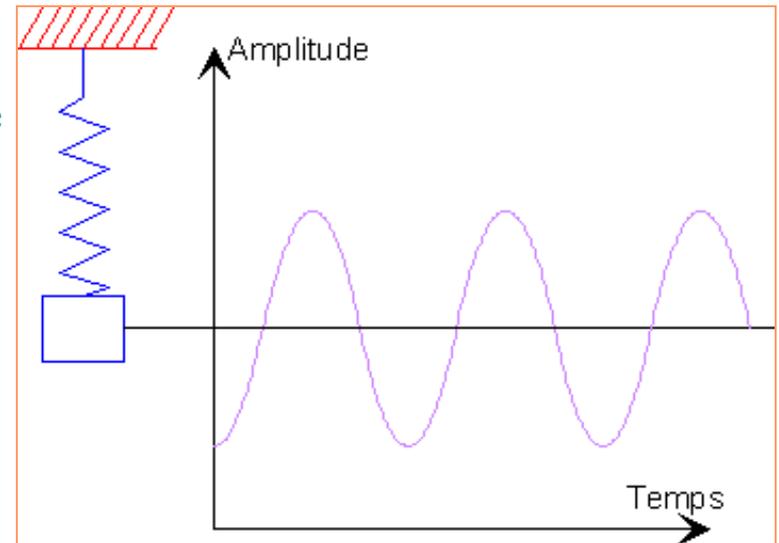
Mais l'amplitude du mouvement s'amortit dans le temps, à cause des forces extérieures (résistance de l'air, poids de la masse) et des forces internes (raideur du ressort).



Suite

# Modélisation d'une vibration

Imaginons que nous puissions appliquer, à intervalles réguliers, une impulsion à la masse suspendue, l'amplitude n'aurait pas le temps nécessaire pour s'amortir totalement. Nous aurions une amplitude entretenue. La courbe obtenue représente la position d'un point de la masse en fonction du temps. C'est une sinusoïde. En réalité, un signal vibratoire n'est jamais un sinus pur, mais il peut se ramener à une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences différentes.



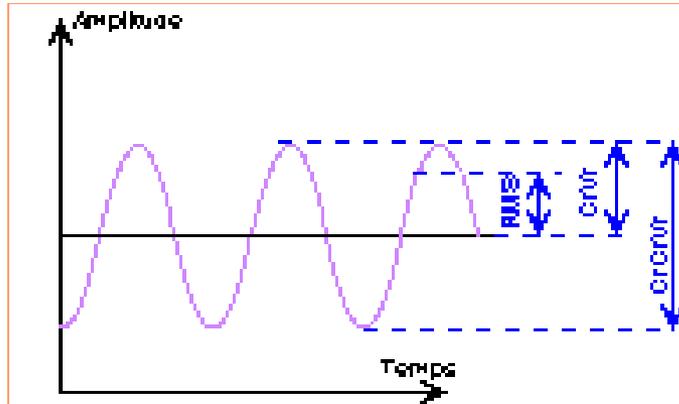
On peut à tout moment connaître l'amplitude de la vibration en fonction du temps par la relation:

$$y = a \sin \omega t$$

Suite

# Modélisation d'une vibration

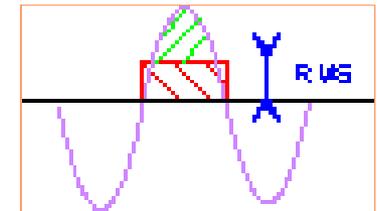
Sur une sinusoïde, nous pouvons déterminer les grandeurs suivantes:



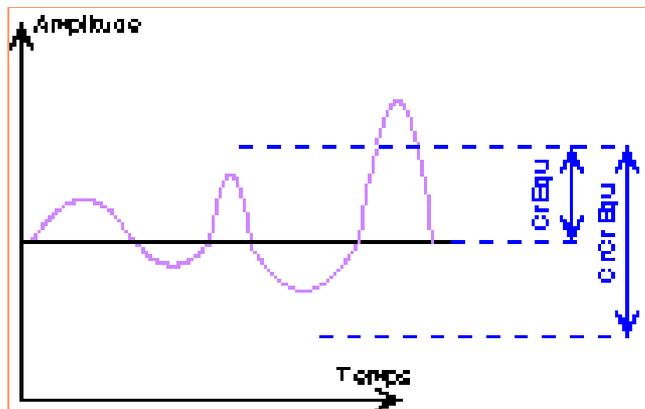
- Valeur crête vraie ( $Cr Vr$ )
- Valeur crête à crête vraie ( $CrCrVr$ )
- Valeur RMS ou valeur efficace.

On peut définir la valeur efficace comme étant la hauteur du rectangle ayant la même surface que l'arc de sinusoïde qu'il encadre.

RMS: Root mean square. ( racine carrée de la moyenne des carrés)



Or un signal vibratoire n'est jamais un sinus parfait.  
Deux nouvelles valeurs sont donc définies:



- Valeur crête équivalent ( $CrEqu$ )
- Valeur crête à crête équivalent. ( $CrCrEqu$ )
- En fait ces nouvelles valeurs représentent les valeurs crête, et crête à crête équivalent qu'aurait un signal sinusoïdal parfait de valeur RMS.

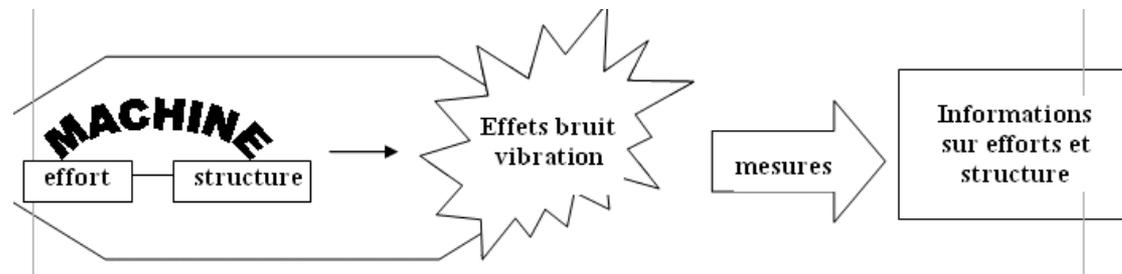
[Retour](#)

## Les différentes mesures:

**L'amplitude des vibrations informe sur l'importance du défaut surveillé.**

**L'analyse de la fréquence de vibration informe sur la cause du défaut et permet le diagnostic.** Pour établir ce diagnostic, remarquons qu'il existe deux grands types de vibrations:

- **Les vibrations synchrones:** Elles sont multiples ou sous-multiples de la fréquence de rotation, ce sont les divers harmoniques de cette fréquence.
- **Les vibrations asynchrones:** Elles se produisent à des fréquences autres que celles liées à la fréquence de rotation, elles peuvent être à des fréquences propres aux divers éléments du mécanisme.



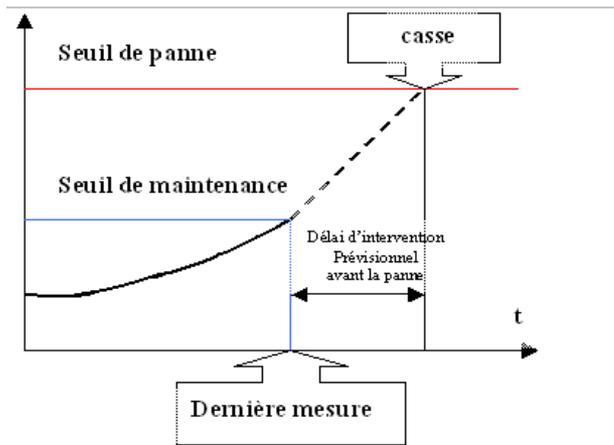
Suite

# Les différentes mesures(suite):

## Mesure de niveau global:

Ce type de mesure permet de suivre la valeur de l'énergie vibratoire d'un système. Ce paramètre est caractéristique de l'état de la machine et permet de suivre la dégradation d'un équipement et d'anticiper un problème.

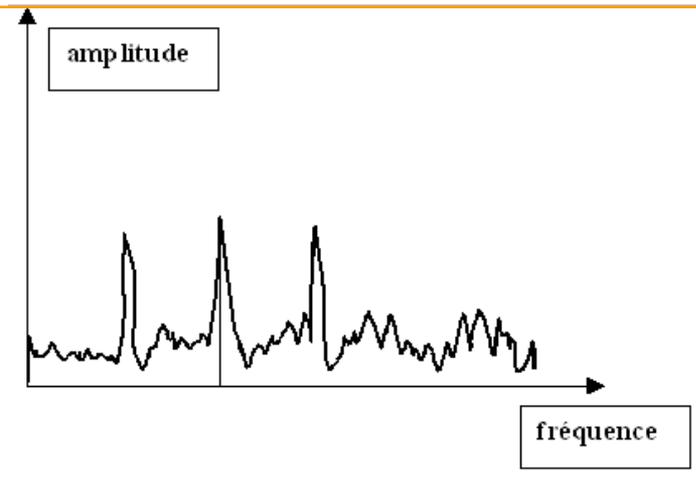
Le niveau global ne permet pas le diagnostic.



## Mesure spectrale ou fréquentielle.

Ce type de mesure permet de répartir l'énergie vibratoire en fonction de la fréquence, ce type de mesure permet de donner différentes amplitudes à différentes fréquences.

Nous remarquerons que un type de défaut se produit toujours à une fréquence particulière ainsi en fonction de l'amplitude à une certaine fréquence nous pourrons déterminer d'où provient le défaut donc la mesure spectrale est utilisée pour diagnostiquer l'origine de la défaillance.



Suite

# Exemple de mesure GLOBALE pour suivre l'état de la machine

## TENDANCE DES MESURES GLOBALES

ID SET: S714329 BML12  
ID POINT: 001BML12 AX  
TYPE ALARME: SUR NIVEAU  
ALARME1:10

DESC SET:  
DESC POINT:  
UNITE:G HFD

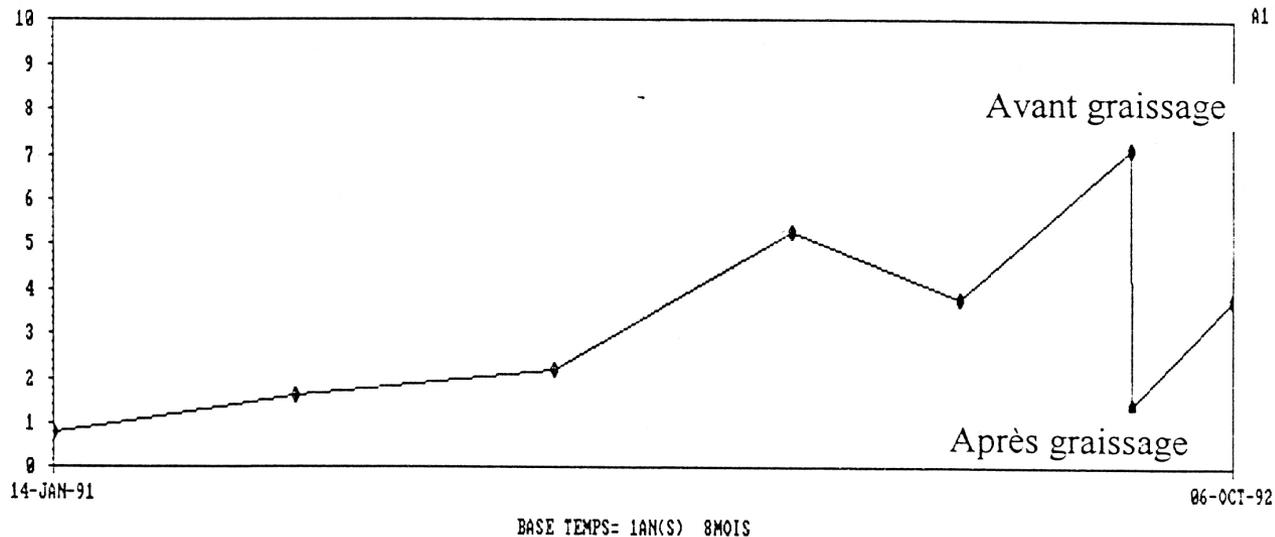
ALARME2:20

STD:2.074

MOY.:3.382

DATE: 06-OCT-92 15:51:21

VALEUR: 3.748

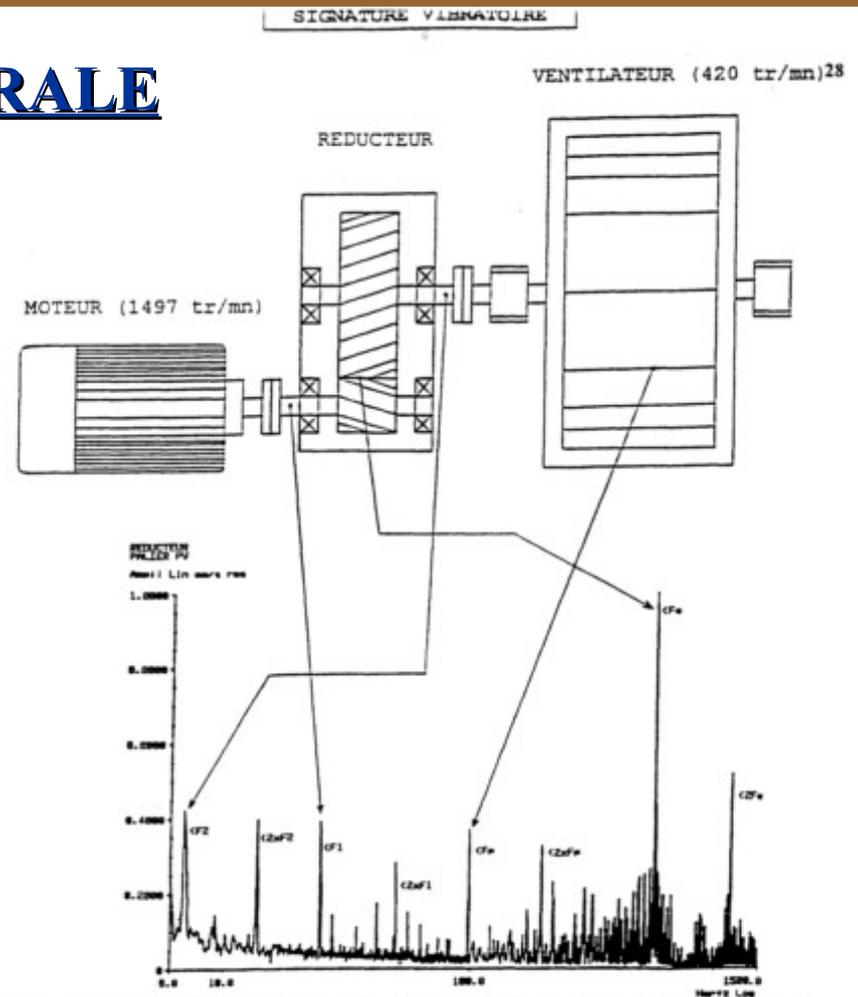


NO.	DATE	HEURE	VALEUR	INCL	NO.	DATE	HEURE	VALEUR	INCL
1.	14-JAN-91	14:06:06	0.7452	Y	5.	13-MAI-92	08:03:46	3.718	Y
2.	23-MAI-91	09:05:16	1.552	Y	6.	12-AOU-92	09:15:09	7.087	Y
3.	08-OCT-91	15:32:17	2.144	Y	7.	13-AOU-92	09:08:55	1.371	Y
4.	14-FEV-92	10:46:53	5.225	Y	8.	06-OCT-92	15:51:21	3.749	Y

Suite

# Exemple de mesure SPECTRALE

## pour réaliser un diagnostic

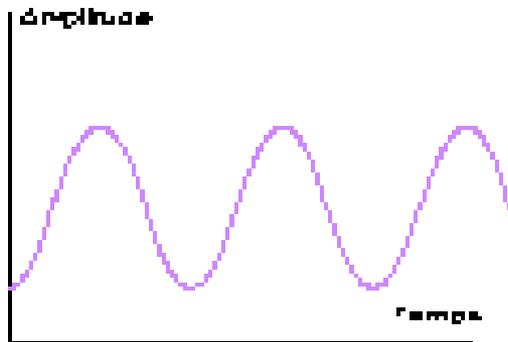


Fréquences cinématiques principales (en Hz)			
F1 : 24,95	Fondamental de rotation moteur	Fp : 98	passage des pales turbine
2 F1 : 49,9	Harmonique 2 de F1 (lignage moteur / réducteur)	2 Fp : 196	Harmonique 2 de Fp
F2 : 7	Fondamental de rotation ventilateur	*Fe : 574	Engrènement pignons réducteur
2F2 : 14	Harmonique 2 de F2 (lignage réducteur / ventilateur)	2Fe : 1148	Harmonique 2 Fe

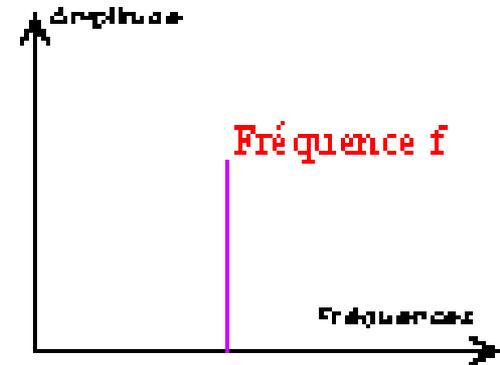
\* nombre de dents pignons GV = 23 / PV = 82

Suite

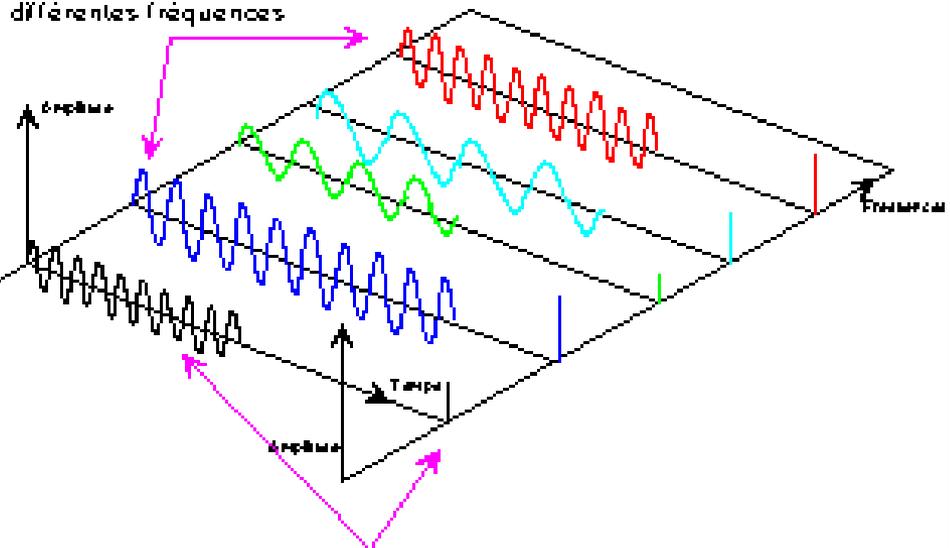
## Les différentes mesures:



Nous passerons d'une mesure de niveau global à une mesure spectrale par un calcul mathématique nommé Transformation de FOURIER (FFT: Fast Fourier Transform).



Différentes vibrations à différentes fréquences



Si le spectre est pratiquement indispensable pour l'établissement d'un diagnostic, il est par contre impensable de suivre l'ensemble des ses composantes. Seules quelques raies ou groupes de raies significatifs sont suivis.

Passage de l'une à l'autre des analyses par transformation de Fourier.

Retour

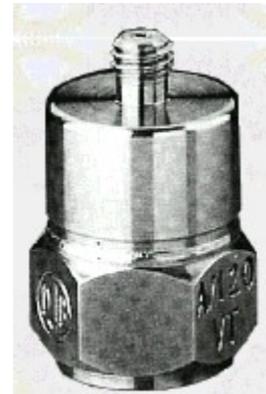
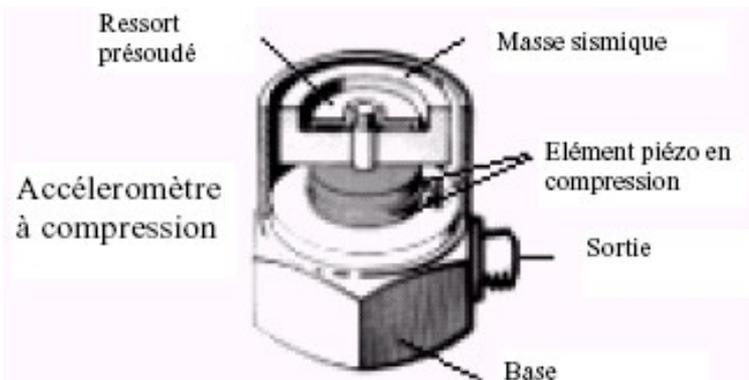
## Les différents capteurs

Les vibrations d'un organe peuvent être caractérisées indifféremment par l'un des paramètres:

- Déplacement en  $m$
- Vitesse en  $mm/s$
- Accélération en  $m/s^2$

Le capteur le plus utilisé est un **accéléromètre**. Il délivre un signal directement proportionnel à l'accélération. Par traitement mathématique il est facile de remonter à la vitesse ou au déplacement. en effet la dérivée du déplacement par rapport au temps nous donnera la vitesse, et la dérivée de la vitesse par rapport au temps nous donnera l'accélération.

Une simple ou double intégration nous permettra de définir vitesse et déplacement après mesure de l'accélération.



[Retour](#)

## La chaîne de mesure

### *Le prélèvement de l'information:*

Le capteur, accéléromètre ou sonde de proximité, capte les informations et les transmet au collecteur de données. (Movipack

### *Le conditionnement et le traitement du signal:*

C'est le rôle du collecteur de données qui, en plus, affiche les résultats.

### *La gestion des résultats:*

Un logiciel (eDiag) et un ordinateur permettent de suivre l'évolution et la dérive des mesures.



Retour



## Tableau de sévérité vibratoire ( seuils d 'alarmes préconisés.

Les valeurs proposées sont issues des normes internationales en vigueur mais aussi des constructeurs de matériels tels que: IRD Mechanalysis , Brüel & Kjaer, SCHENCK....

Les prestataires de service tels que : AIF, S'TELL Diag, CVI, COMMINS.... peuvent aussi apporter des réponses intéressantes.

Par contre l'expérience acquise au fil du temps sur nos propres équipements est la meilleure réponse que l'on peut apporter. Les seuils d'alarme seront précis et efficaces avec le retour d'expérience. Tous les industriels utilisant ces techniques s'accordent aujourd'hui pour dire que un an à deux ans de mesures sont indispensables avant de maîtriser des valeurs de seuils représentatives.

**Suite**

# Tableau de sévérité vibratoire ( seuils d 'alarmes préconisés)

149 145 141 137 133 129 125 121 117 119 109 105 valeur efficace de la vitesse en dB (ref. 10 <sup>-6</sup> mm/s)	28,00	<b>NON TOLERE</b>	<b>NON TOLERE</b>	<b>NON TOLERE</b>	<b>NON TOLERE</b>
	18,00				
	11,20			<b>PERMIS</b>	<b>BON</b>
	7,10	<b>PERMIS</b>	<b>BON</b>		
	4,50			<b>BON</b>	<b>BON</b>
	2,80	<b>BON</b>	<b>BON</b>		
	1,80			<b>BON</b>	<b>BON</b>
	1,12	<b>BON</b>	<b>BON</b>		
	0,71			<b>BON</b>	<b>BON</b>
	0,45	<b>BON</b>	<b>BON</b>		
	0,28			<b>BON</b>	<b>BON</b>
	0,18	<b>BON</b>	<b>BON</b>		

Petites machines jusqu'à 15 kw

Machines moyennes 15 - 75 kw ou jusqu'à 300 kw sur fondations spéciales.

Machines lourdes sur fondation rigides dont la fréquence naturelle dépasse la vitesse de la machine.

Machines lourdes fonctionnant à des vitesses supérieures à la fréquence naturelle de leurs fondations (turbo-machines)

# Tableau de sévérité vibratoire ( seuils d 'alarmes préconisés)

**ISO 10816-3**

**Evaluation standard for vibration monitoring**

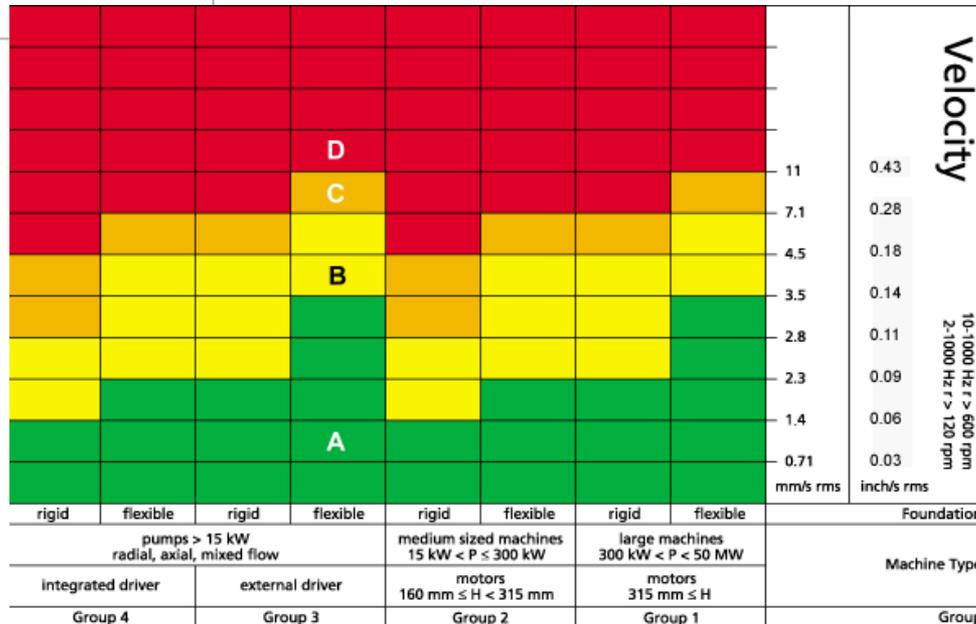
The effective value of the vibration velocity is used for assessing the machine condition. This value can be determined by almost all conventional vibration measurement devices.

DIN ISO 10816-3 separates the machines into different groups and takes the type of installation into account.

- Green: Zone A  
Vibration values from machines just put into operation.
- Yellow: Zone B  
Machines can run in continuous operation without any restrictions
- Orange: Zone C

Vibration values in yellow indicate that the machine condition is not suitable for continuous operation, only for a limited period of time. Corrective measures should be taken at the next opportunity.

- Red: Zone D  
Dangerous vibration values - damage could occur to the machine.



**A** New machine condition

**C** Short-term operation allowable

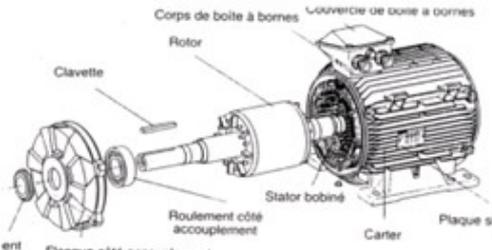
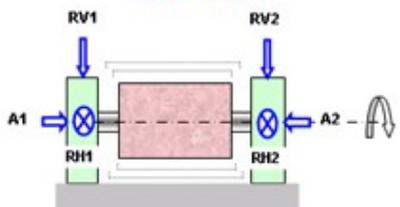
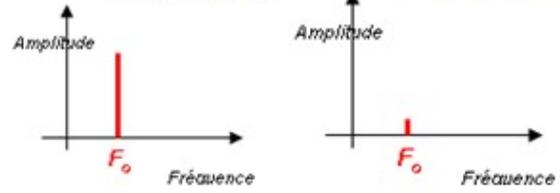
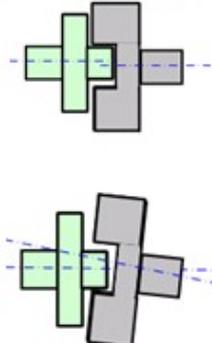
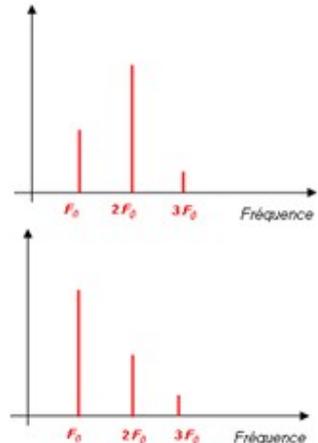
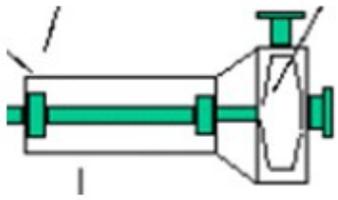
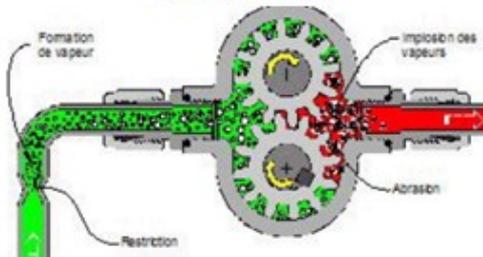
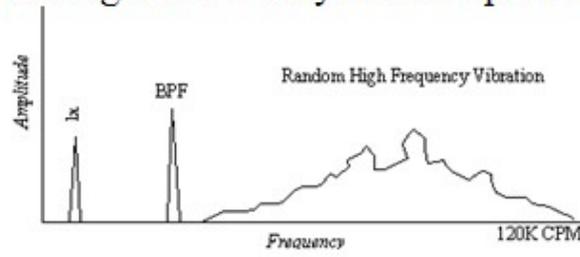
**B** Unlimited long-term operation allowable

**D** Vibration causes damage

Suite

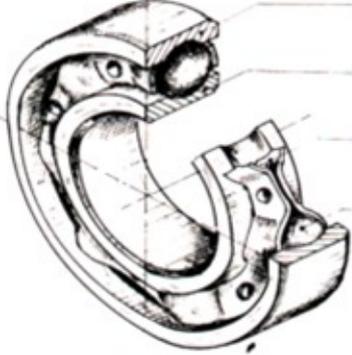
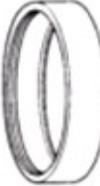
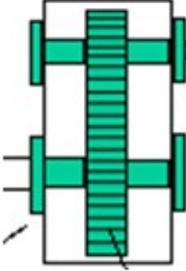
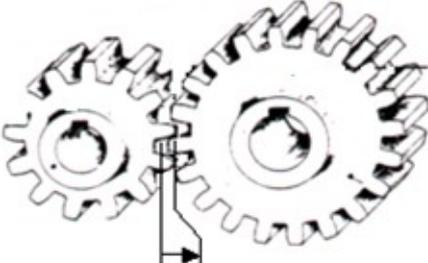


# Tableau d'analyse spectrale

Machine	Phénomène vibratoire	Fréquence fondamentale du défaut
	<p>Electromagnétique</p>	<p>2 x Fréquence réseau</p>
	<p>Balourd</p> 	<p>Mesure radiale      Mesure axiale</p> 
	<p>Déalignage</p> 	
	<p>Cavitation</p> 	<p>Vit large bande moyenne fréquence</p> 

# Tableau d'analyse spectrale

Retour

Machine	Phénomène vibratoire	Fréquence fondamentale du défaut
 <p> <b>PD</b> &gt; Diamètre moyen d'évolution  <b>BD</b> &gt; Diamètre des billes  <b>n</b> &gt; Nombre de billes  <b>fr</b> &gt; Fréquence rotation  <b>β</b> &gt; angle de contact                 </p>		$f(\text{Hz}) = \frac{PD}{BD} f_r \left[ 1 - \left( \frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right]$
		$f(\text{Hz}) = \frac{n}{2} f_r \left( 1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta \right)$
		$f(\text{Hz}) = \frac{n}{2} f_r \left( 1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right)$
		
	<p>Jeu dans la denture</p> 	$Z1 \times F_0$