

ANALYSE DE VIBRATION

NIVEAU I

Par: Louis Lavallée, ing.

lavalleel@delstar.qc.ca

Révision Mars 2007

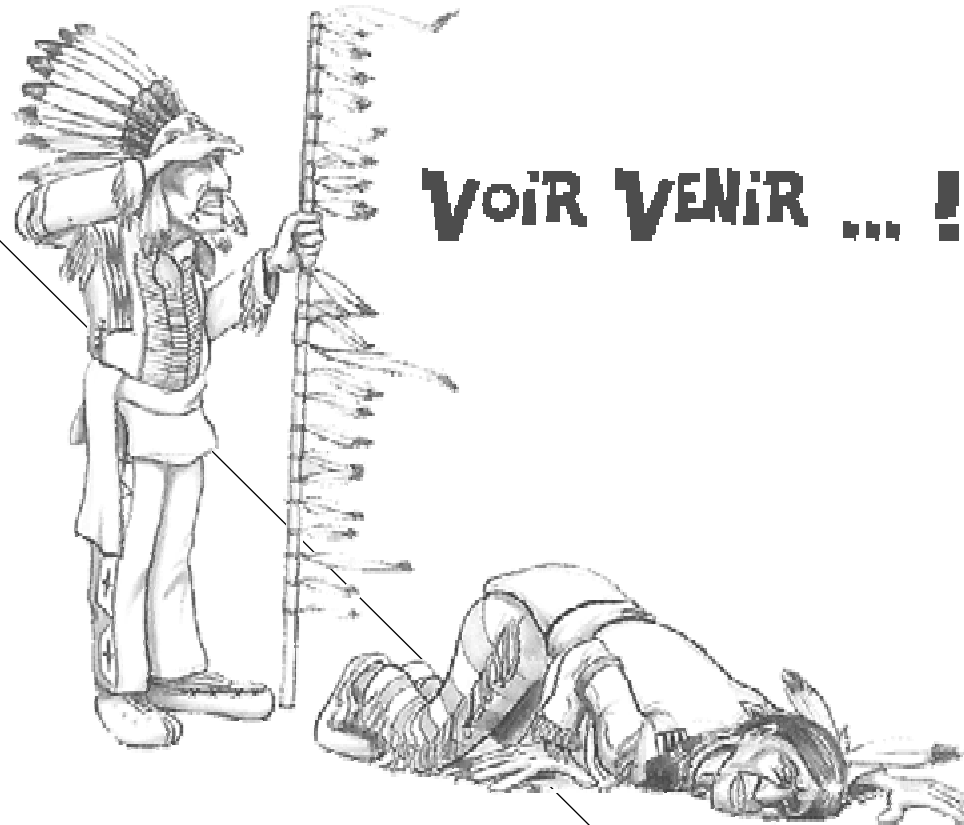
ISO 18436-2



Syllabus

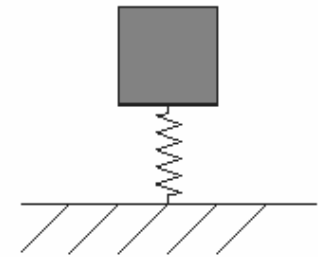
1. Introduction
2. Théorie de la vibration
3. Instrumentation
4. Caractéristiques des machines
5. Évaluation d'un moteur.

Historique



1.1 Qu'est ce que la vibration ?

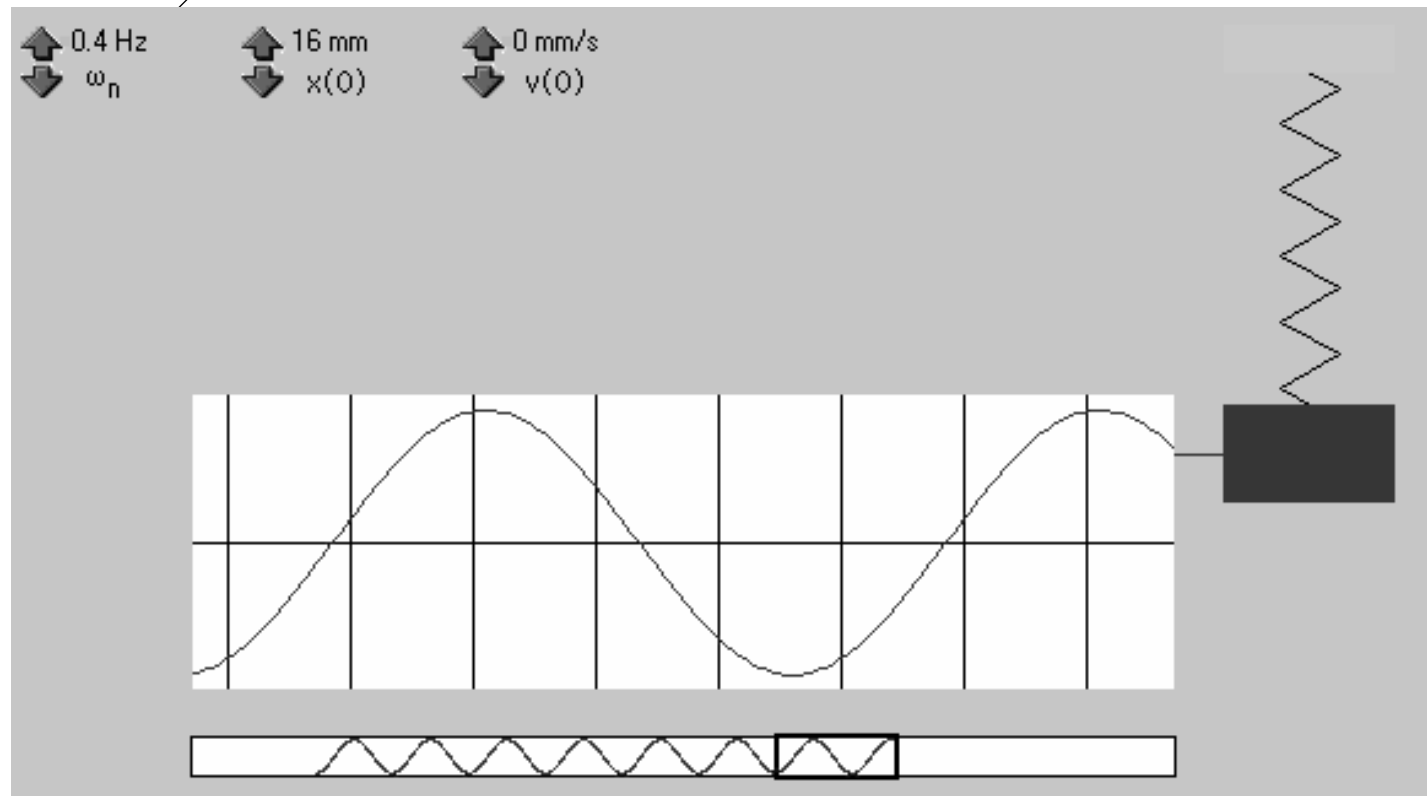
- ✓ Déplacement forcé à partir de la position de repos
- ✓ Mouvement répétitif d'un corps élastique
- ✓ Un mouvement cyclique par rapport à son point d'équilibre
- ✓ Fréquence de vibration : Source du problème
- ✓ Amplitude de vibration : Sévérité du problème



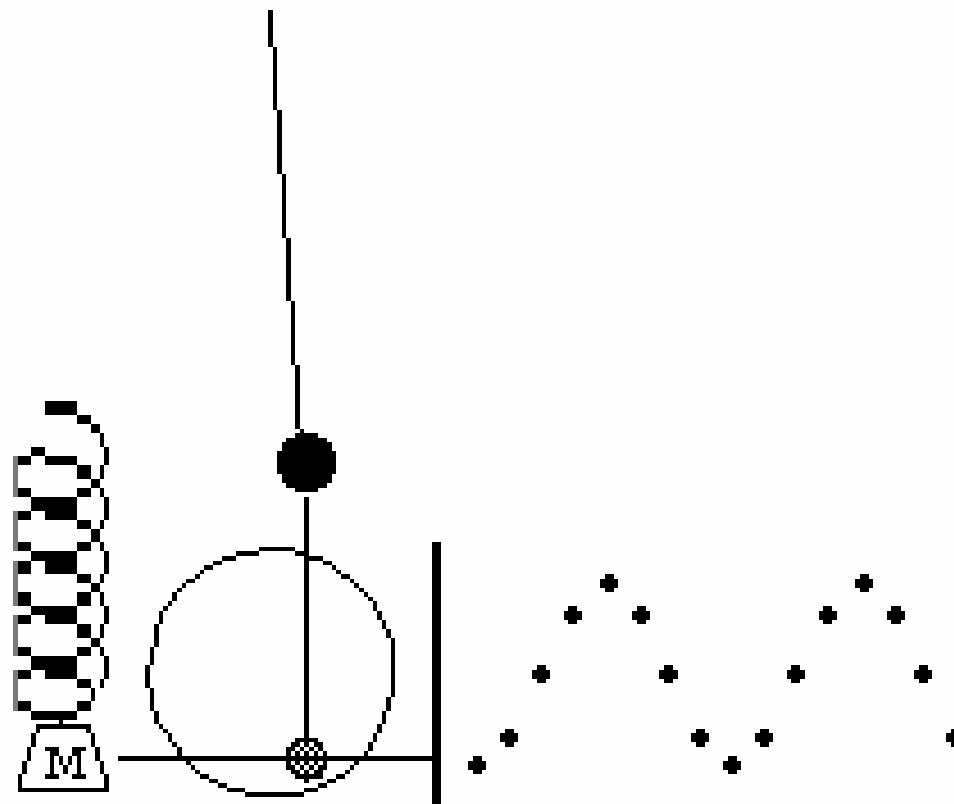
1.1 Qu'est-ce que l'analyse de vibration ?

- ✓ Prédit le bris des machines
- ✓ Indique la santé des machines
- ✓ Compare les signatures de vibration avec des critères acceptables

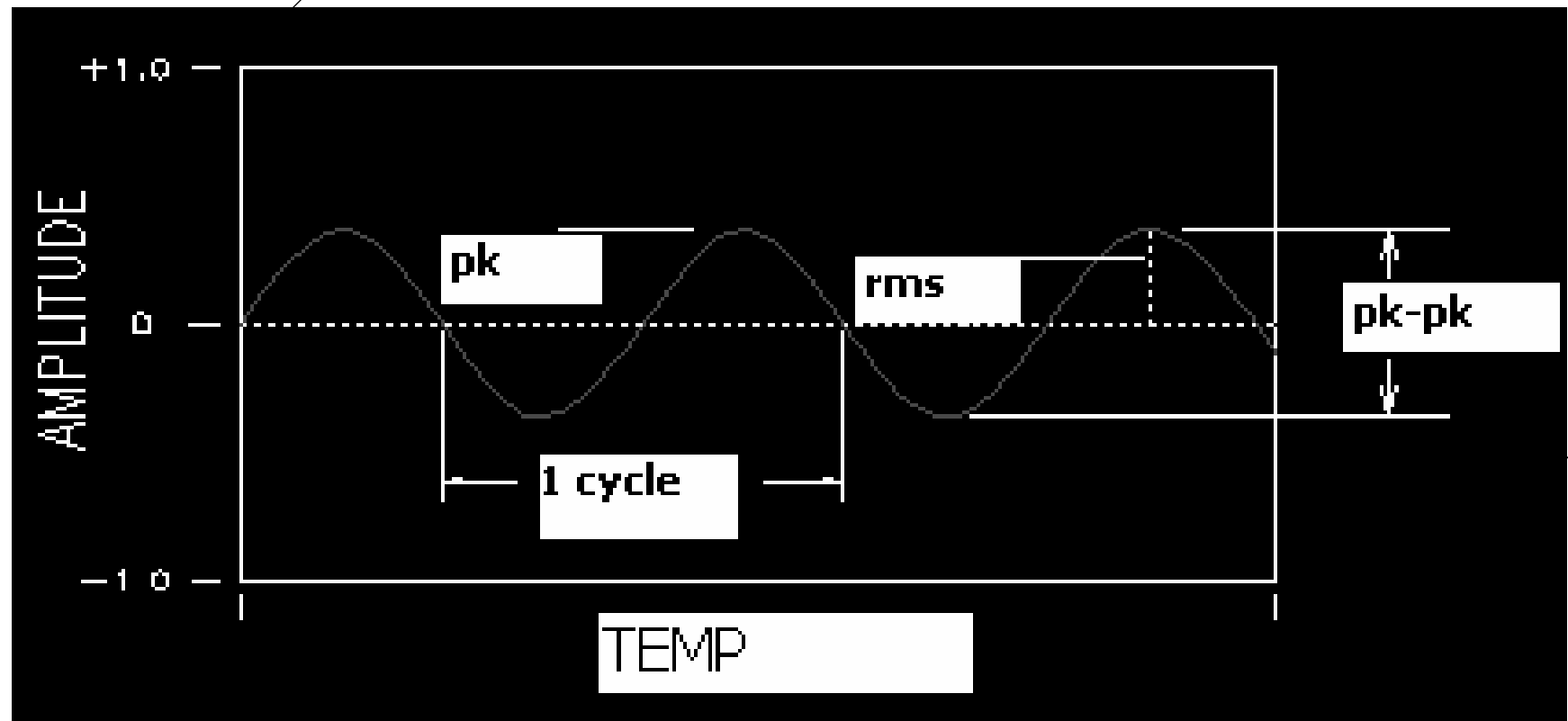
1.2 Mouvement simple



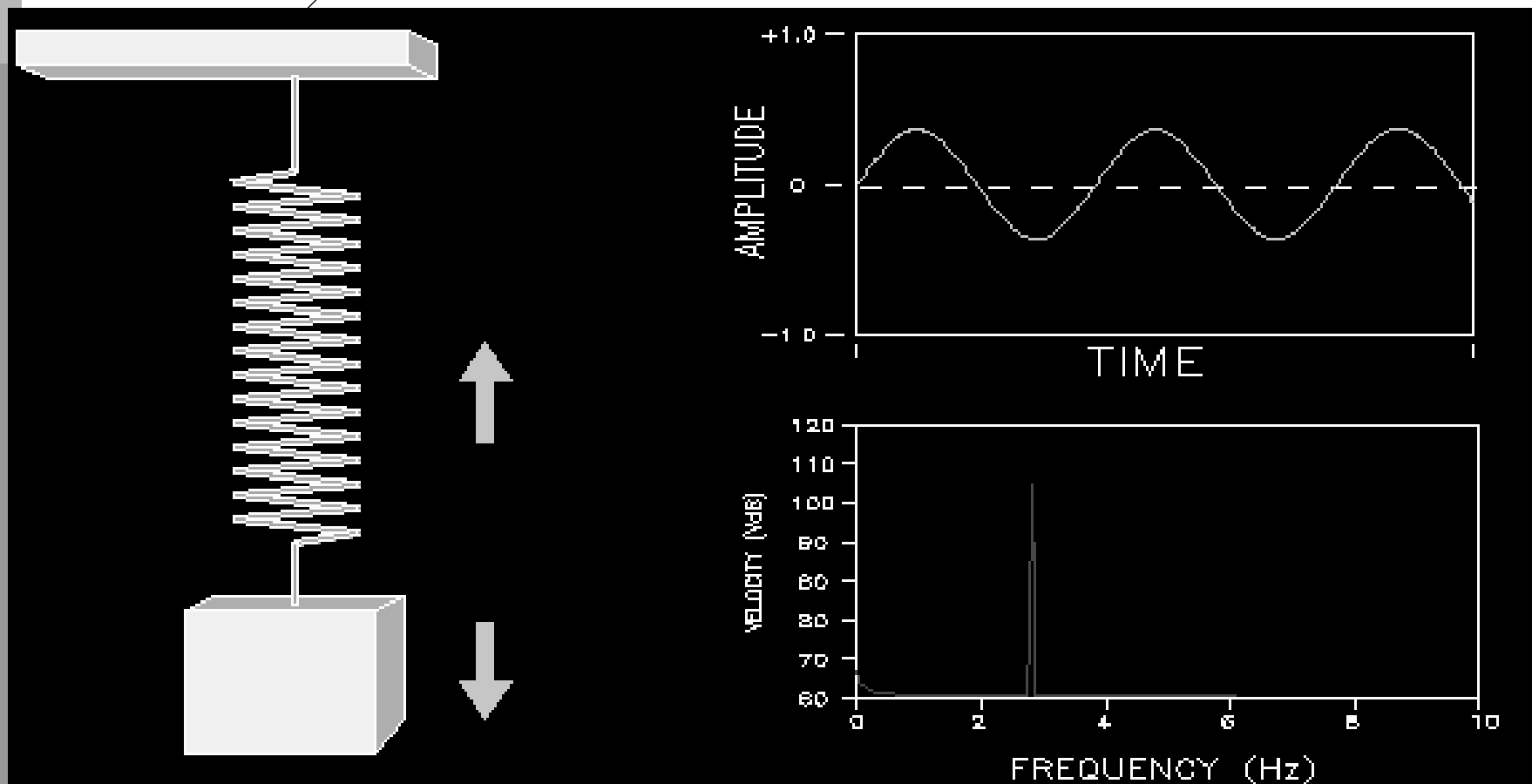
1.2 Vibration en rotation



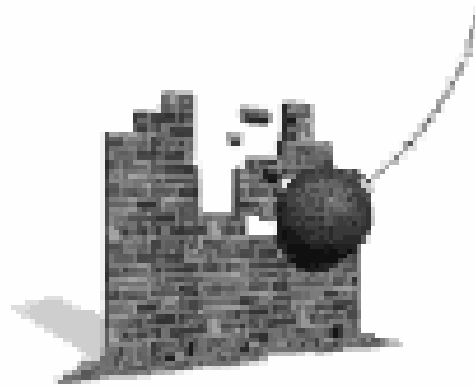
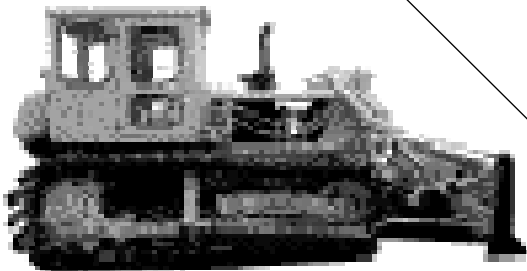
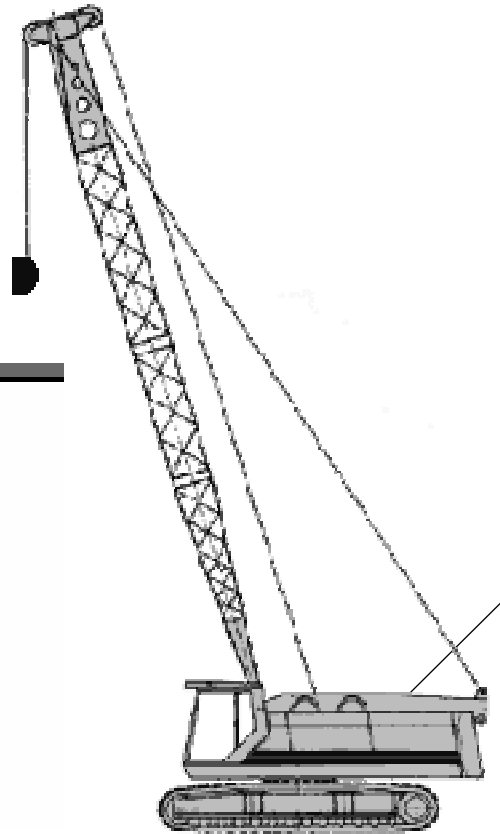
1.2 Unités d'amplitude



1.2 Domaine temps vs fréquence



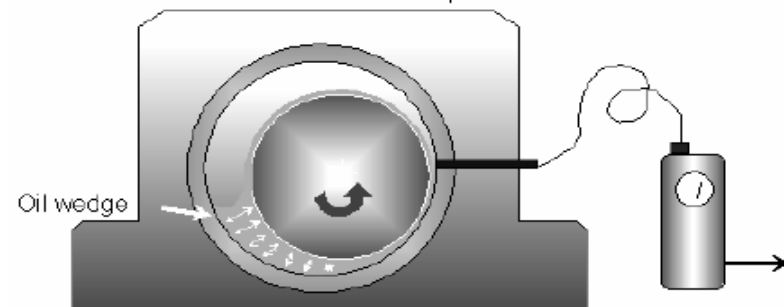
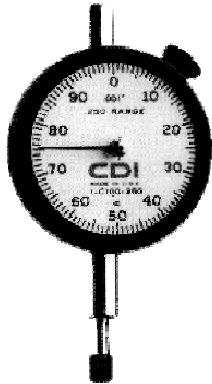
1.6 Déplacement - Vitesse – Accélération ?



1.6 Unité de Vibration « Mils »

Déplacement : Mils.

- Un mils = 0.001 po. Crête à crête.
- Peut être mesuré à l'indicateur à cadran
- Est relié au stress dans les matériaux flexibles.
- Mesure le déplacement relatif entre l'arbre et le palier lisse.
- Sert à l'équilibrage en basses vitesses (i.e. < 500 RPM)



Capteur de déplacement : Utilisé pour mesurer le déplacement relatif d'un arbre par rapport à son bâti. Très utilisé pour les paliers lisses car il mesure directement l'usure. Bon pour des fréquences < 1200 cpm.

1.6 Tolérance en Déplacement « Mils »

Évaluation	1200	1800	3600
Dangereux	10	7	3
Très Mauvais	5	3	1.8
Mauvais	2.5	1.8	0.8
Passable	1.2	0.8	0.4
Bon	0.6	0.4	0.2
Très Bon	1.6	0.2	0.1
Précision	0.06	0.05	0.03

Le niveau de vibration vari avec la fréquence.

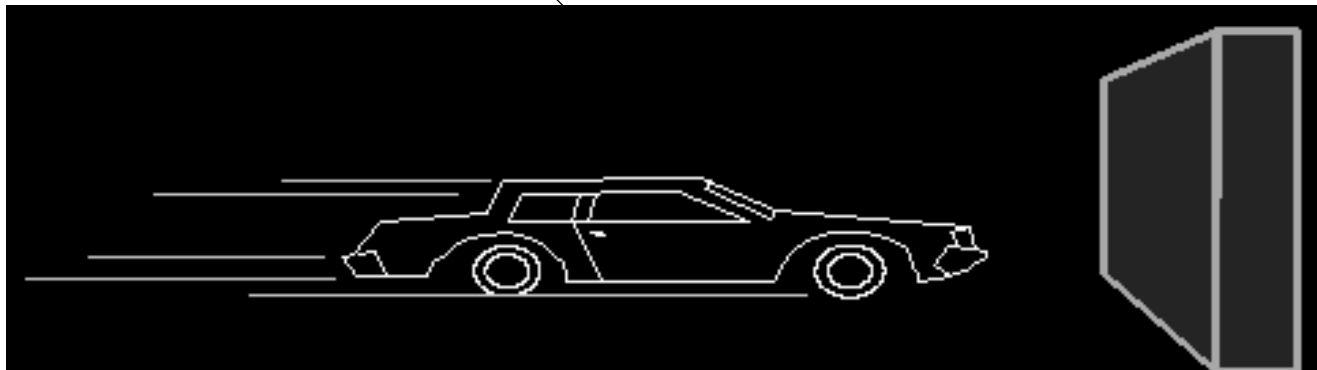
1.6 La vitesse ...

Ce n'est pas comment loin vous avez été ! (déplacement)

Comment vous avez enfoncé l'accélérateur (accélération)

Mais combien vite vous allez ... (vitesse)

Avant de frapper le mur ...



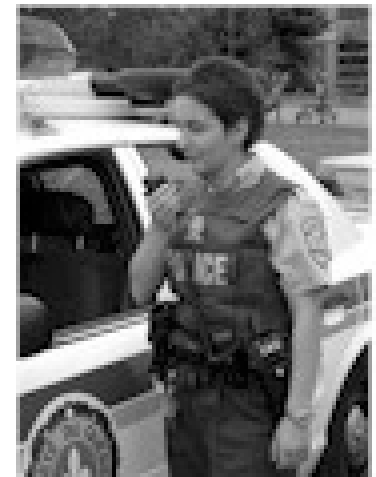
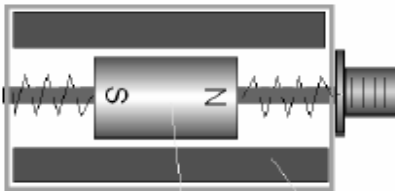
*elom
olutions*

DELSTAR • ROBERGE • OMEGA

1.6 Unités de Vibration « po./sec. »

Vélocité: Po./sec.

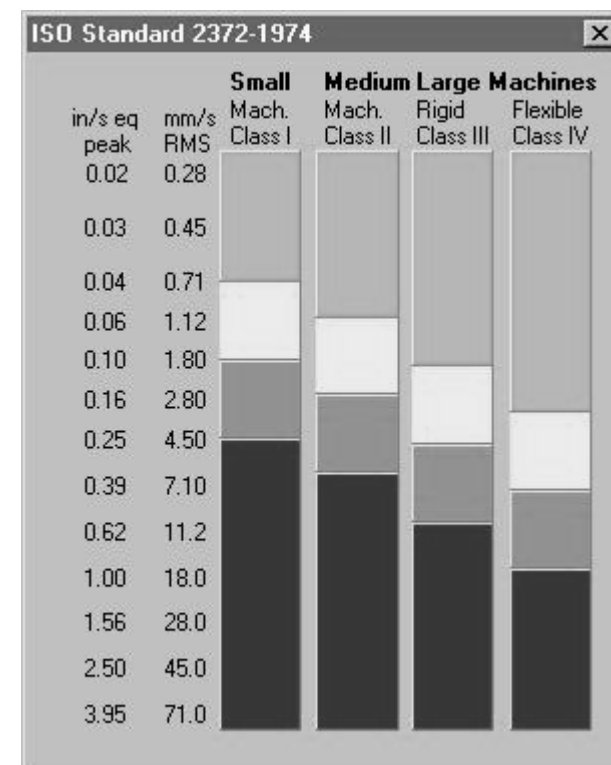
- Est un compromis entre le déplacement et l'accélération
- Constant sur toute une gamme de vitesse
- Mesure l'usure en fatigue
- Se mesure avec un vélocimètre ou un accéléromètre



Capteur de vélocité: Utilisé pour l'équilibrage et équipement de moyennes vitesses. Sensible aux champs magnétiques. Pour des fréquences de 10Hz à 1 kHz.

1.6 Tolérance en Vitesse « po./sec. »

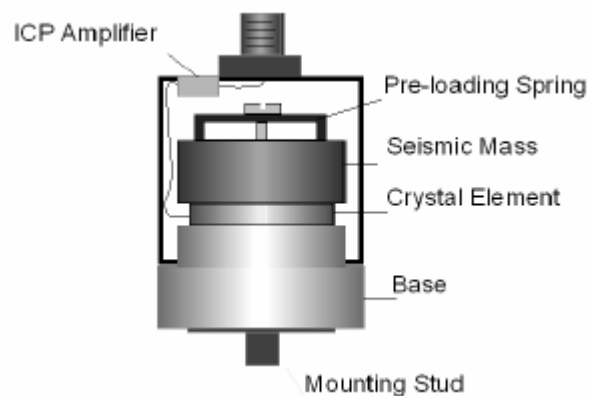
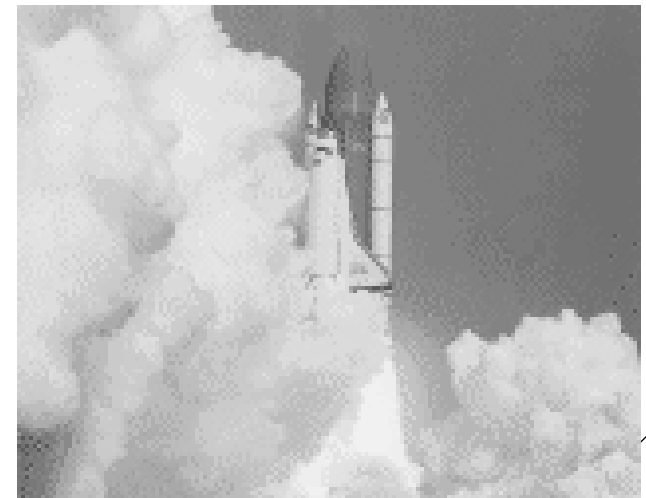
Évaluation	po/sec	mm/sec	dB mm/sec	dB po/sec
Dangereux	1	10	140	140
Très Mauvais	0.6	5	135	135
Mauvais	0.3	3	130	130
Passable	0.2	2	125	125
Bon	0.1	1	120	120
Très Bon	.05	0.5	110	110
Précision	.01	0.15	100	100



1.6 Unités de Vibration « G »

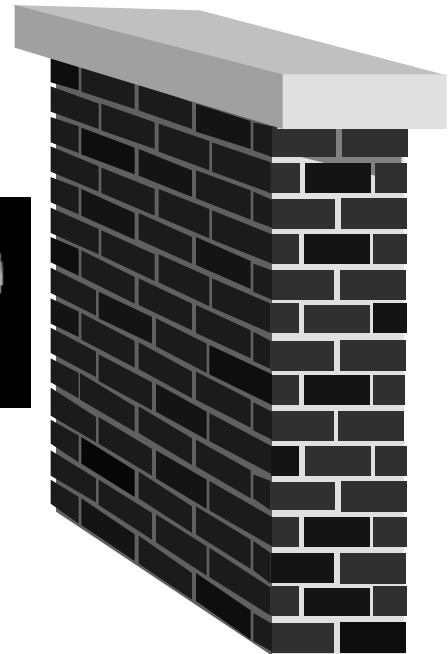
Accélération :

- Sert principalement à mesurer l'usure des roulements
- Se mesure de préférence avec un aimant, éviter une pointe
- $1\text{ G} = 32.2\text{ pieds/sec.}^2$
- Quelques variantes : g 'Se, G 's, BCU, HFD



Capteur d'accélération : Le plus utilisé des capteurs - Gamme de fréquence très large 0,1 à 10 kHz - Montage simple et robuste - Petites dimensions - Résiste aux intempéries.

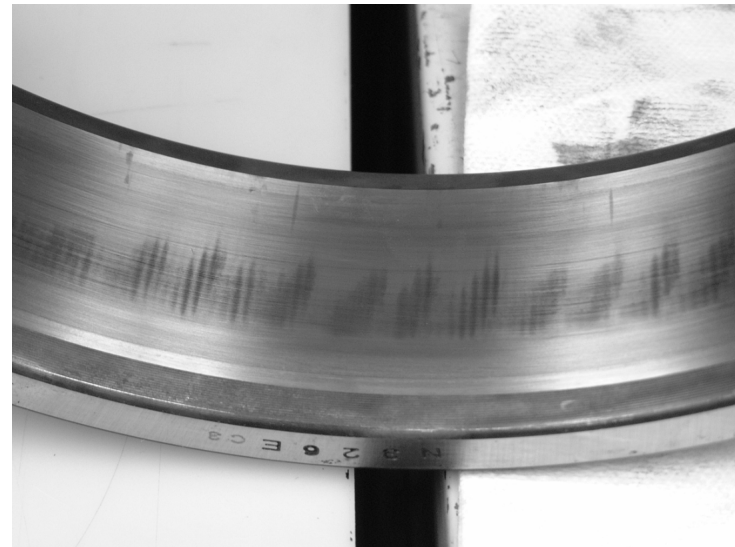
1.6 L'accélération



À quel endroit se situe le maximum d'accélération ?

1.6 L'accélération

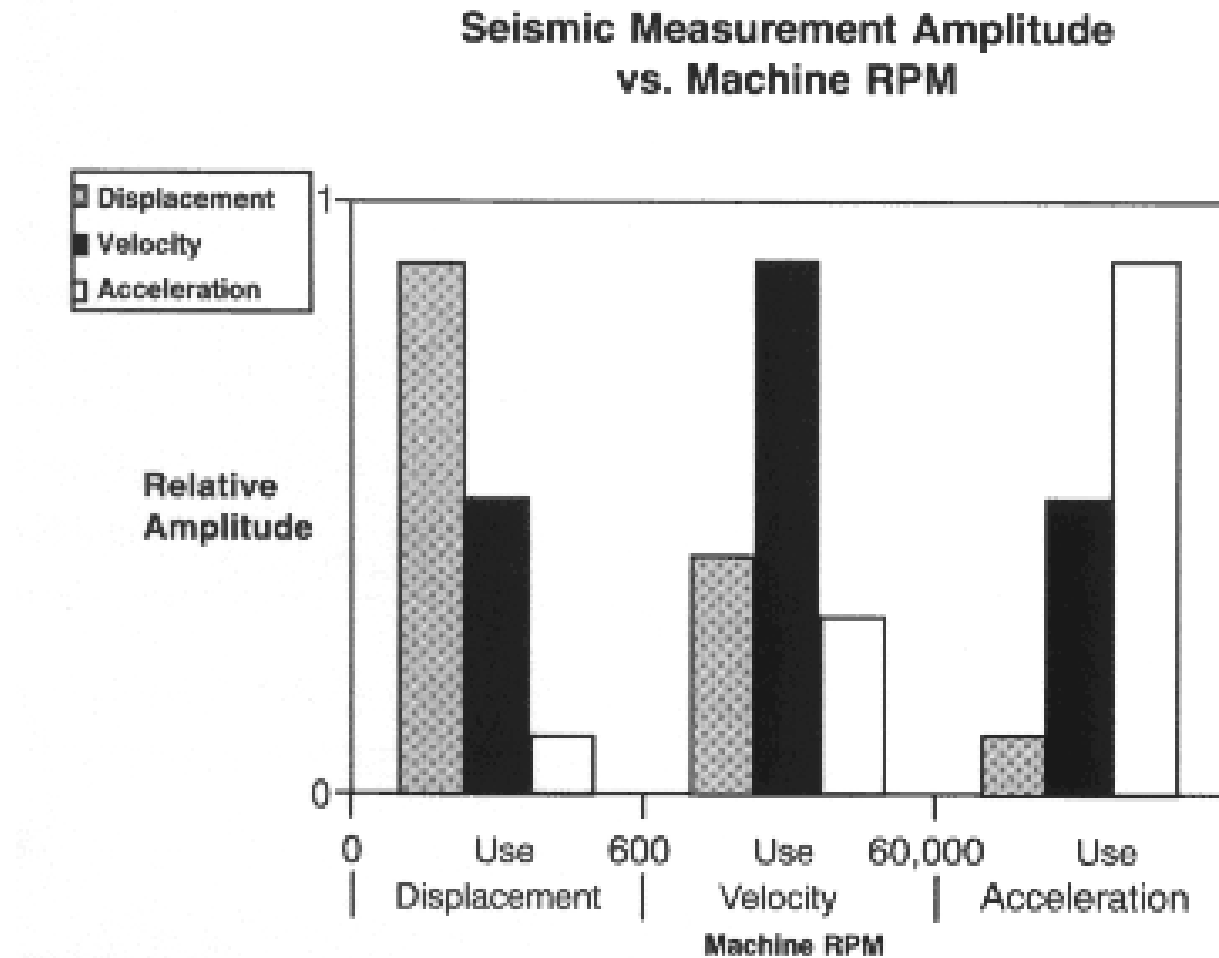
Les marques à la surface d'une bague de roulement génère une grande accélération mais très peu de déplacement.



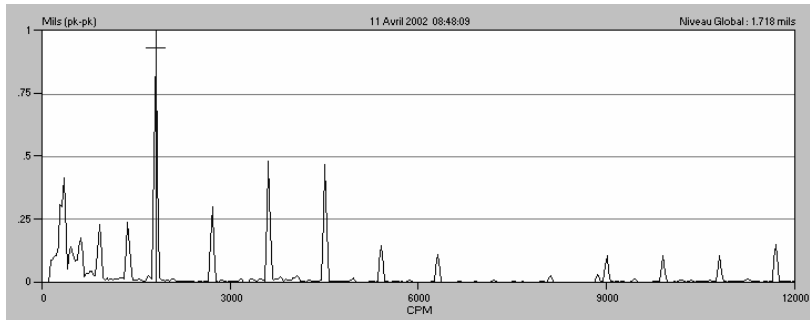
1.6 Tolérance en Accélération

<i>Évaluation</i>	<i>SPM Acoustique</i>	<i>SKF, CSI -HFD</i>	<i>IRD Spike Energy</i>
	dB	G-S	G-SE®
Dangereux	50+	5+	3 +
Très Mauvais	40 - 49	3 – 5	1.5 – 3
Mauvais	30 - 39	1.5 – 3	0.8 – 1.49
Passable	20 - 29	0.75 – 1.49	0.40 – 0.79
Bon	10 - 19	0.3 – 0.74	0.20 - 0.39
Très Bon	1 - 9	0.01 - 0.29	0.01 – 0.19

1.6 Déplacement - Vitesse – Accélération ?

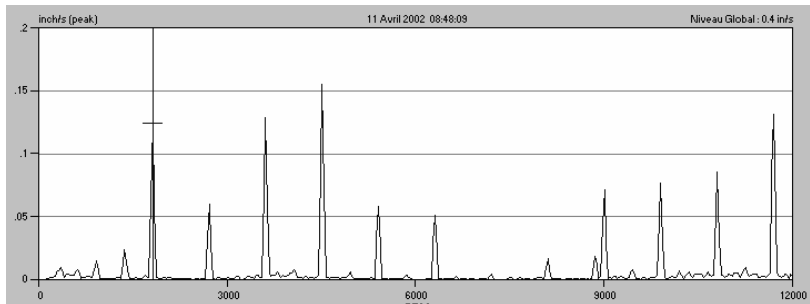


1.6 Types de lectures



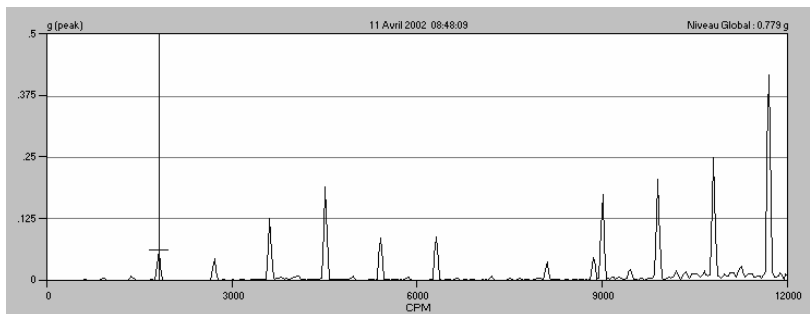
Déplacement : Mils

- ✓ Meilleure représentation des basses vitesses
- ✓ Mesure à basse vitesse (0 – 2000 cpm)



Vélocité : Po./sec.

- ✓ Moyenne vitesse entre 600 et 60000 cpm.



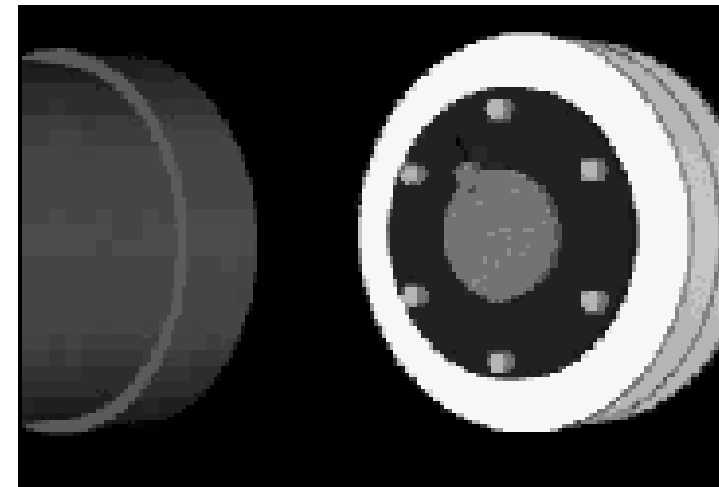
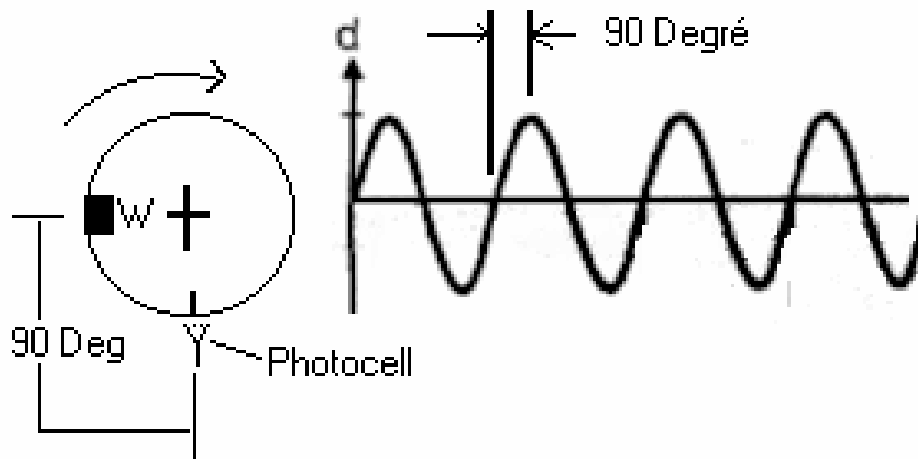
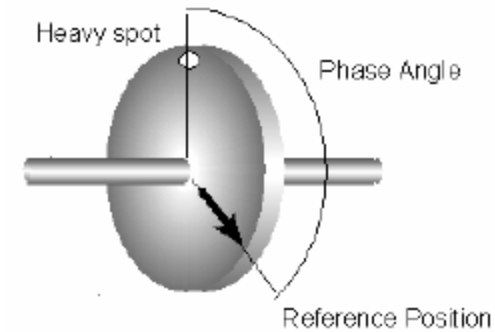
Accélération : G

- ✓ Meilleure représentation des hautes fréq.
- ✓ Vérification des roulements à billes

1.6 Conversion

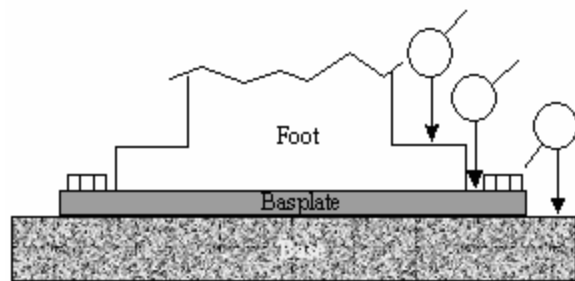
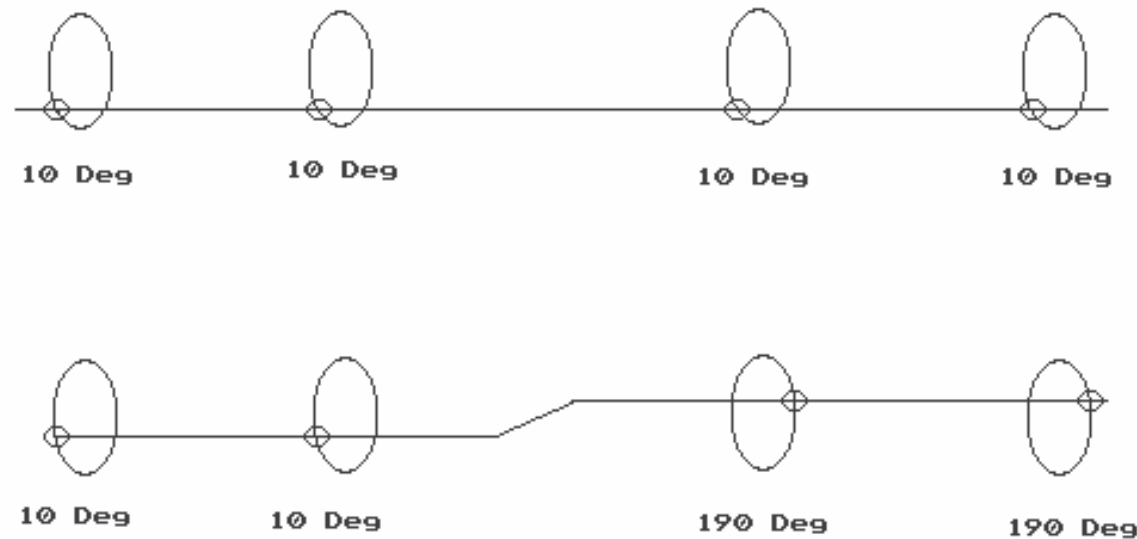
- Déplacement = $D = 0.001$ po.
- Vitesse = $2 \pi f D = \text{po/sec.}$
- Accélération = $2 \pi f V$ ou $(2 \pi f)^2 D = g's$
- Crête * 2 = crête à crête
- Crête * 0.707 = rms
- $1 g = 386.1 \text{ po/sec}^2$
- $\pi = 3.1416$
- $f = \text{Fréquence en Hz ou CPS.}$

1.10 Analyse de Phase



La phase est l'angle entre la position du déséquilibre W et une marque arbitraire sur l'arbre. Elle peut-être mesurée à l'aide d'un tachymètre ou d'une lampe stroboscopique.

1.10 Analyse de Phase

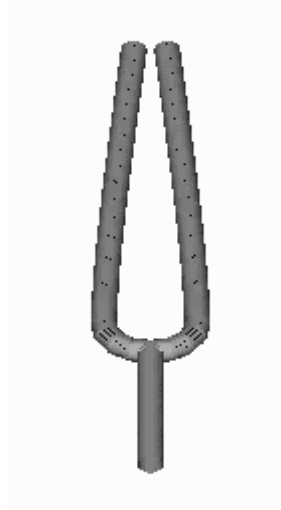


La phase permet de déterminer le mouvement relatif d'une pièce par rapport à une autre.

1.15 Vibration Forcée VS Naturelle



Forcée

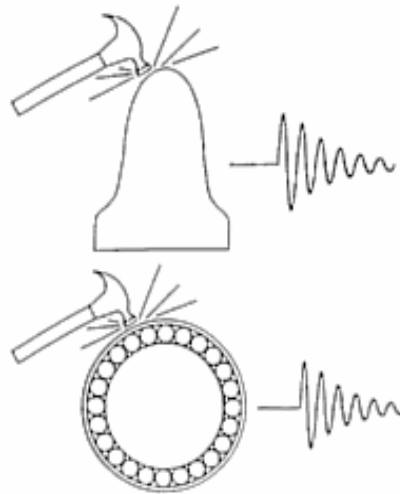


Naturelle



1.15 Résonance $\Rightarrow F_{\text{naturelle}} = F_{\text{forcée}}$

Essai de frappe



$$F_n = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

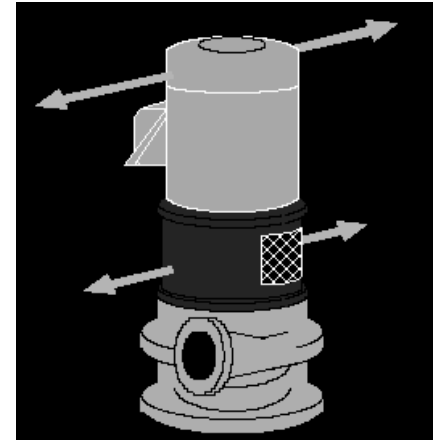
Une vibration d'amplitude très élevée pouvant causer le bris de la machine sera alors produite.

Le test de frappe permet de déterminer la fréquence naturelle d'une pièce. Si la fréquence naturelle égale une fréquence forcée, il y aura alors résonance.

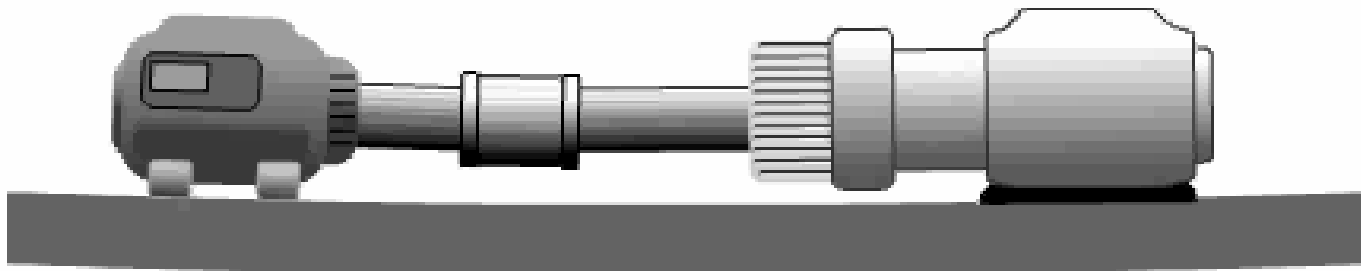
1.15 Résonnance



1.15 Résonance => Flexibilité

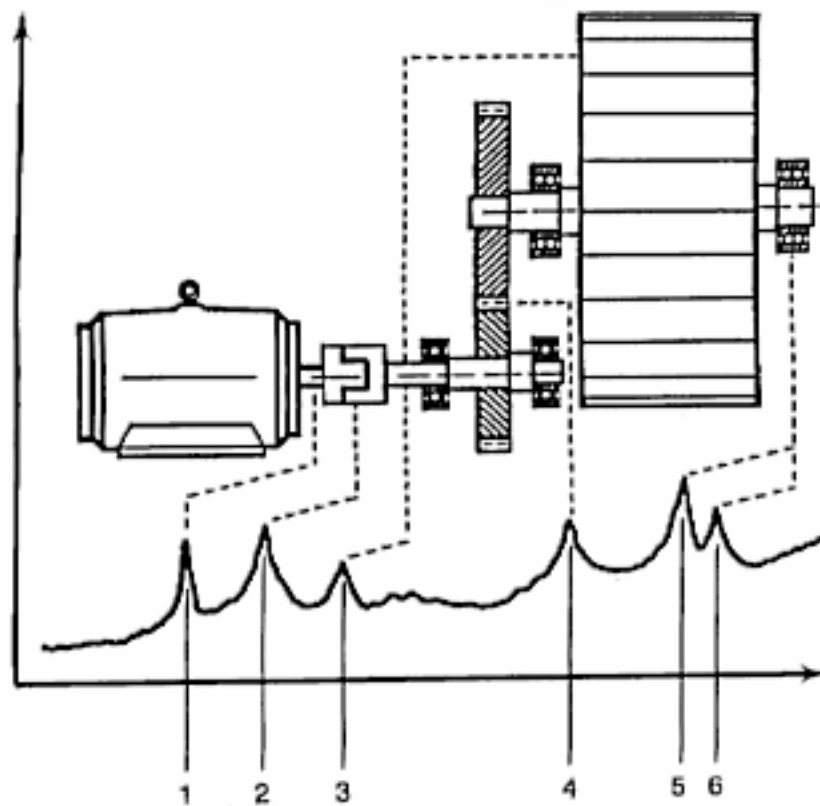


100 mm/s.



On retrouve souvent le phénomène de résonance lorsque le montages des machines est très flexible.

1.16 Analyse du spectre



L'analyse du spectre de vibration permet de relier les vibrations à des composantes de la machine.

1. Déséquilibre $1 * \text{RPM}$
2. Désalignement $2 * \text{RPM}$
3. Nombre de pales $N * \text{RPM}$
4. Foret d'engrenages
5. Cage extérieure du roulement
6. Cage intérieure du roulement

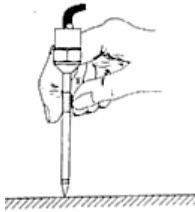
1.16 Analyse du spectre

SOURCE	FRÉQUENCE (MULTIPLE DE RPM)
Problème:	
Déséquilibre	1 x (RPM de la machine)
Désalignement	1x , 2x
Arbre croche	1 x
Jeu mécanique	Harmoniques impaires
Distorsion (soft foot)	1 x
Roulement	Fréquence de roulement, nombre non entier
Impacts	Fréquences multiples, dépends du timewaveform
Design de la machine:	
Joints universels	2 x
Arbre asymétrique	2 x
Foret d'engrenages (n dents)	n x
Accouplement (m pièces)	m x
Film d'huile	0.43 x à 0.47 x
Pales ou aubes	m x
Machines réciproques	½ x et 1 x

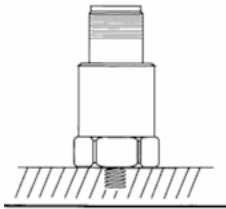
2.1 Plages de fréquences

COMPOSANTE	FENÊTRE
Vibration de l'arbre	10 x RPM
Réducteur de vitesse	3 x Gearmesh
Roulement à billes	10 x BPFI
Pompes	3 x Passage aube
Moteur et générateurs	3 x 2 Fréquence réseau
Ventilateurs	3 x Passage des pales
Paliers lisses	10 x RPM.
BPFI	0.6 x RPM x N

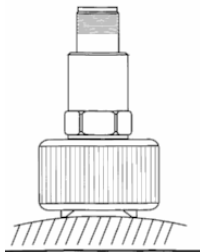
2.1 Prise de Lectures



Capteur à prise manuelle: Installation facile. Bon pour les endroits difficiles d'accès. Attention aux pointes et aux longues tiges. Perte de précision pour l'analyse des roulements.



Capteur vissé: Méthode la plus précise. Idéal pour capteurs permanents.

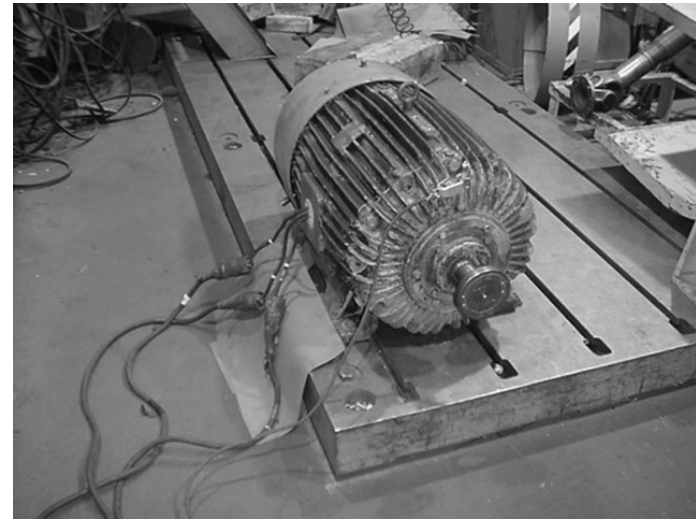


Capteur à aimant: Très bon compromis entre la prise manuelle et vissée. Installation rapide. Problème de fixation avec la fonte, l'aluminium et l'acier inoxydable.

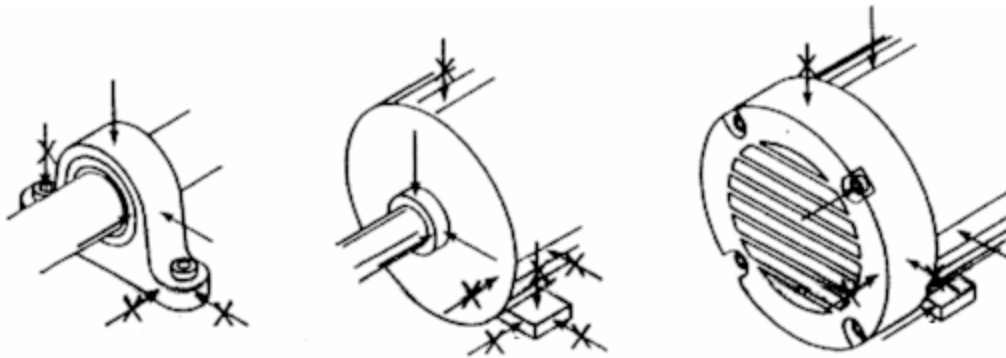
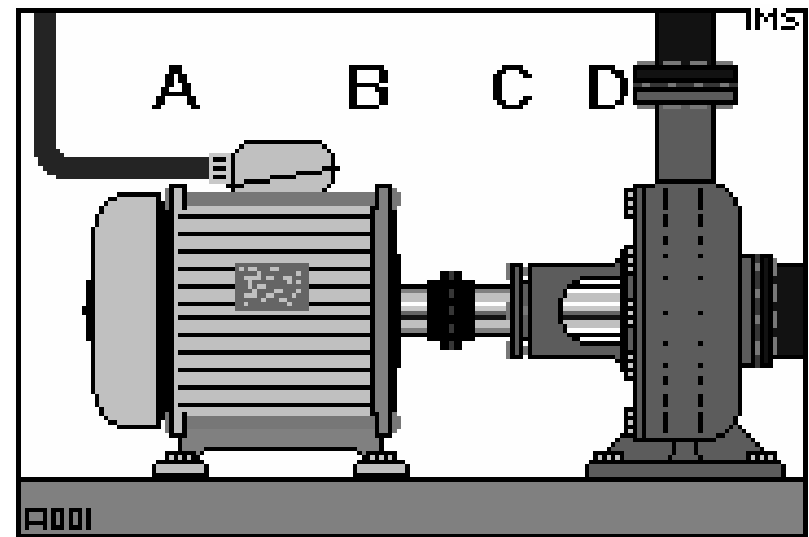
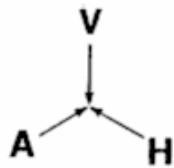
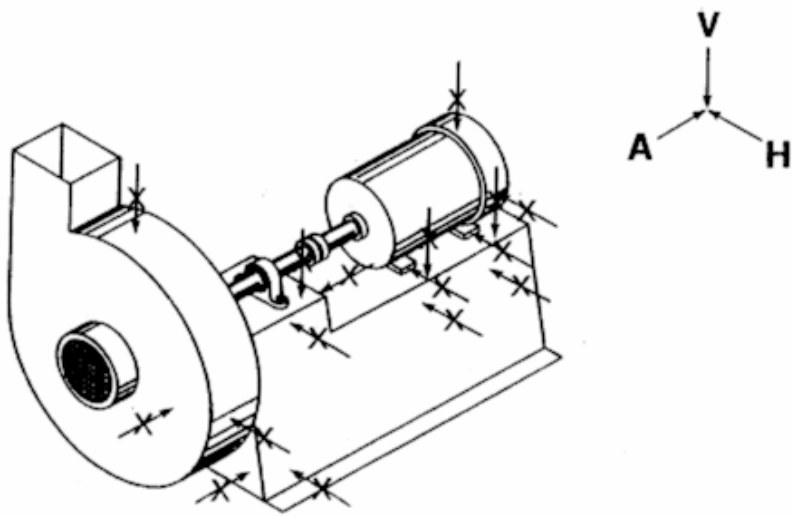
2.1 Montage du capteur

Méthode	Limite en fréquence
Manuel (tige)	500 Hz
Aimant	2000 Hz
Coller	2500 et 4000 Hz
Cire d'abeille	5000 Hz
Vissé	6000 et 10000 Hz

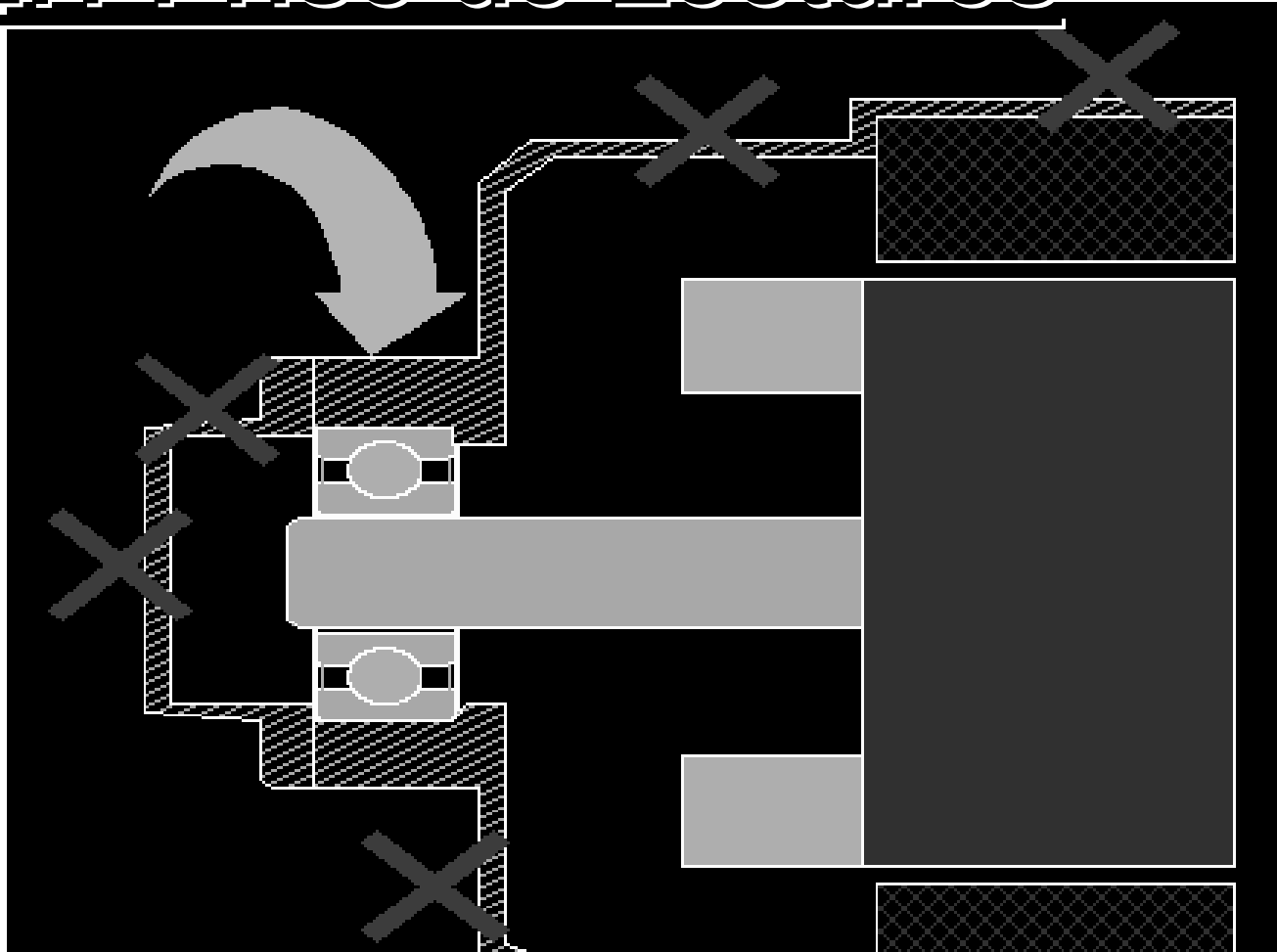
2.1 Prise de Lectures



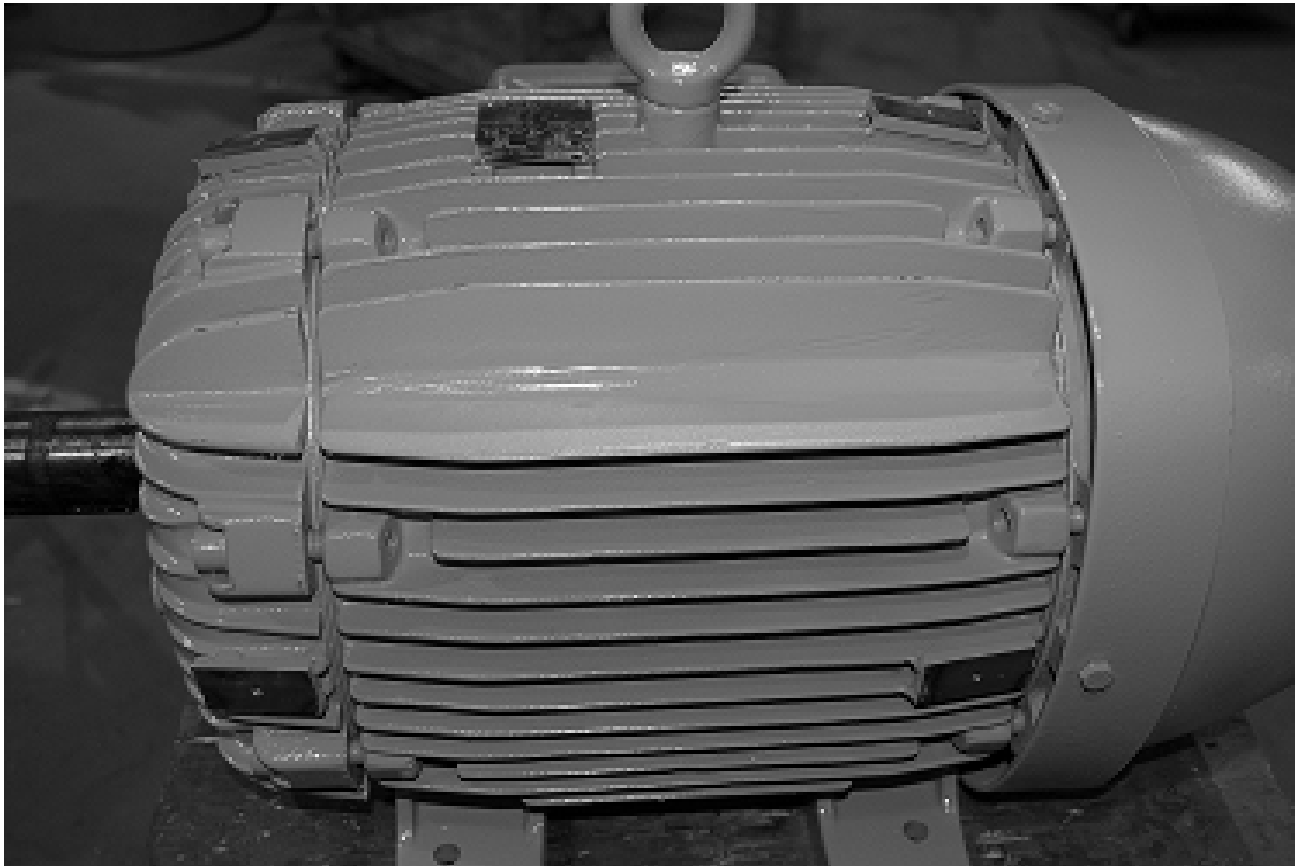
2.1 Prise de Lectures



2.1 Prise de Lectures

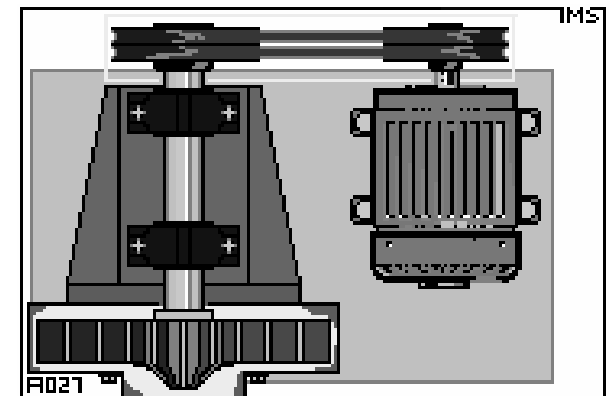
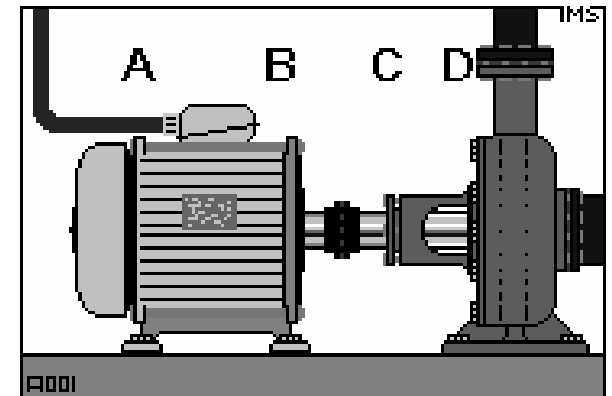


2.1 Prise de Lectures

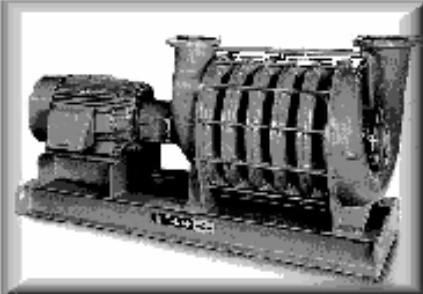


2.1 Tableau de données

CLIENT:			
DATE:	LOAD:		
MACHINE:			
CAPTEUR		VELOCITE	ACCEL
POINT	POS	IN/SEC	G
A	H		
	V		
	A		
B	H		
	V		
	A		
C	H		
	V		
	A		
D	H		
	V		
	A		



2.1 Fiche Technique de la Machine

Définition de Machine			
Machine(s) pour Usager: LALE		Vitesse nominale RPM 3580	
SECHOIR 350 HP 2 SECHOIR 350 HP 3 SOUFFLANTE #2 SOUFFLANTE #5 SOUFFLANTE M1 SOUFFLANTE M2 SOUFFLANTE M3 SOUFFLANTE M4		Plage de vitesse De à 3580 3600	
		Type de Moteur Siemens 450 HP	
		Type d'accouplement A Disques	
		Type de Machine Soufflante Hoffman	
		Endroit de l'usine Nouvelle Section	
Fréquence de maintenance 2 mois		Coût de réparation Elevé	
Importance Elevé		Notes Moteur réparer sur CA-38609 BRG Moteur: 2 * 6315 BRG Soufflante: 2 * 6316 Impulseur : 21 Pales Rotor Moteur : 62 Barres	
Sketch blower.bmp			
Ajouter Sauver			
Effacer Aide			
Copier Machine...			
Point(s)			
Diagnostiques...			
Retour			

2.1 Points de Mesure

Définitions de points

Point(s) définis pour :
Machine
SOUFFLANTE M1

A AXIAL
A HOR
A VERT
B AXIAL
B HORZ
B VERT
C AXIAL
C HORZ
C VERT
D AXIAL
D HORZ
D VERT

Ajouter Sauver
Effacer Aide
Copier Point
Route de Mesures
Retour

Point
C HORZ

Statut ☐

Vitesse(rpm)
3565

Type de Machine
Soufflante

Orientation
Horizontal

Emplacement
Boitier du roulement

Type de Mesure
Vibration

Roulement **Simple**

Librairie	Désignation	Préfixe	Suffixe	Manufacturier	Code	Vie de Service(mois)
SKF	6316			SKF		


Paramètres définis...

SPECTRE FFT
ACC OVR
VEL OVR

Nouveau...
Editer
Effacer

Sketch
f2.bmp

Notes
Roulements remplacés le 08-JAN-01



2.1 Paramètres à Mesurer

Définir les routes de mesure

Machine : **SOUFFLANTE M1**
Point : **C HORZ**

Items de Route définis :

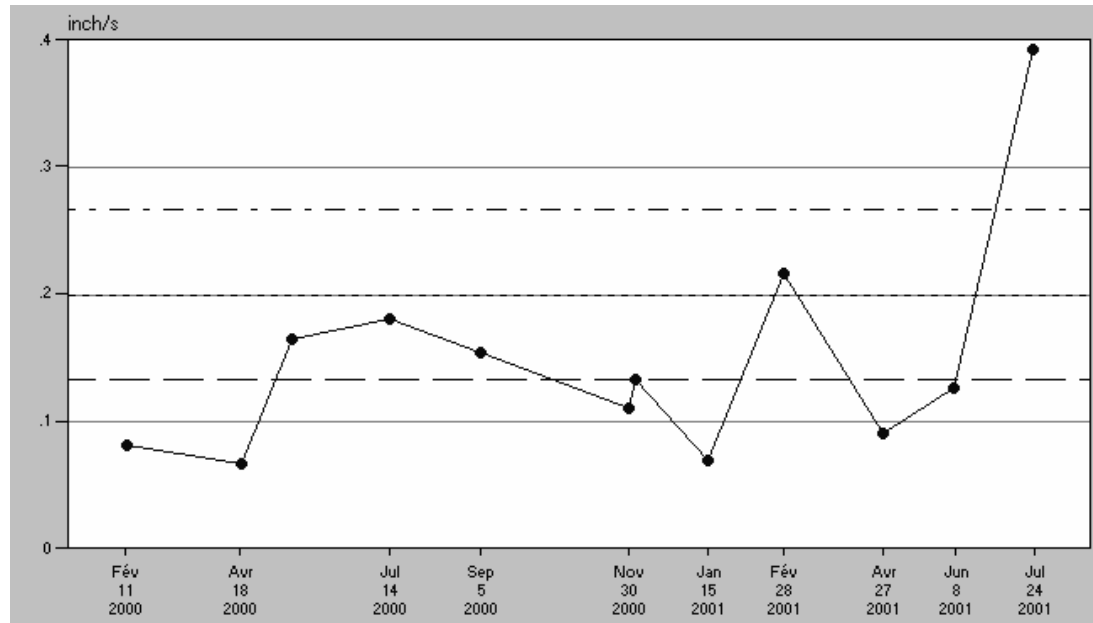
Paramètre	Fil.	P.E.	Lignes	Nb Moyenne	AL	Act
ACC FFT	ENV2	500	800	Default	Abs	Oui
VEL FFT	OFF	2000	800	Default	Abs	Oui
ACC OVR	OFF	10000	400	Default	Abs	Oui
VEL OVR	OFF	2000	400	Default	Abs	Oui

Paramètre: Filtre: Pl. Echelle: Echantillons: Nb Moyenne: Type d'Alarme: Active:

Transducteur: Signature: Norme:

Accéléromètre
+100.0

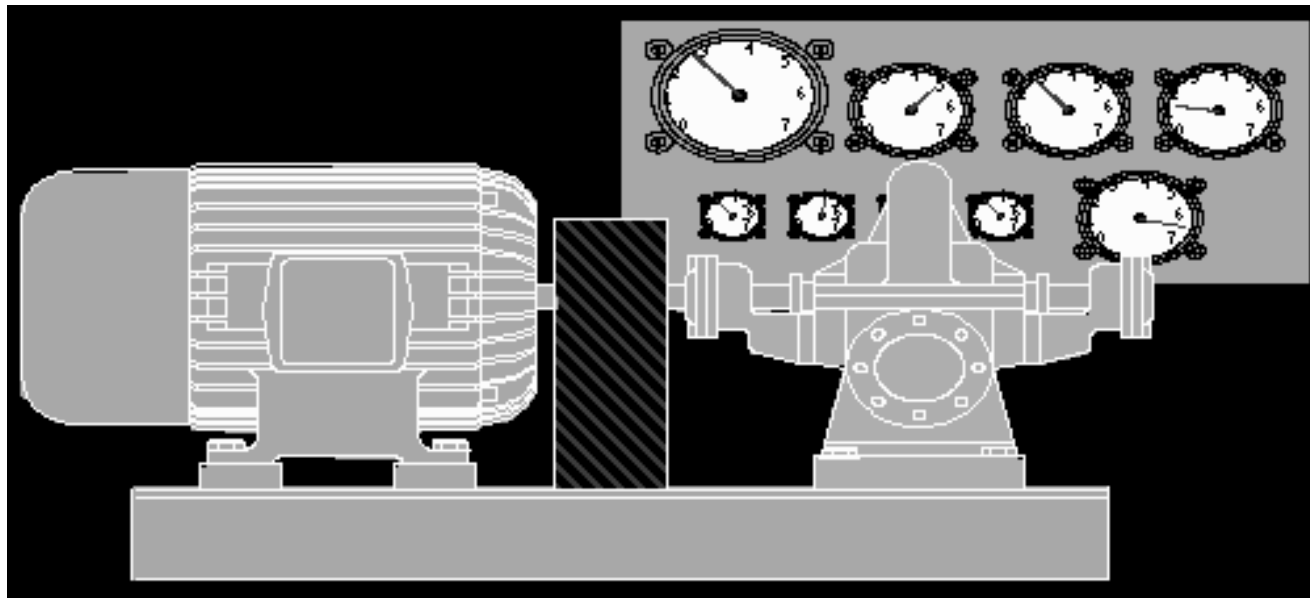
Alarmes: Analyse de tendance



L'analyse des vibrations est grandement basée sur l'analyse des tendances. Lorsque l'équipement est neuf ou vient d'être remis à neuf, on enregistre un niveau de vibration de base comme référence. Lorsque l'on enregistre une augmentation significative du niveau de vibration par rapport à la référence de départ, l'équipement doit être réparé à nouveau. Le principe est:

Si l'équipement fonctionne bien, n'y touchez pas !

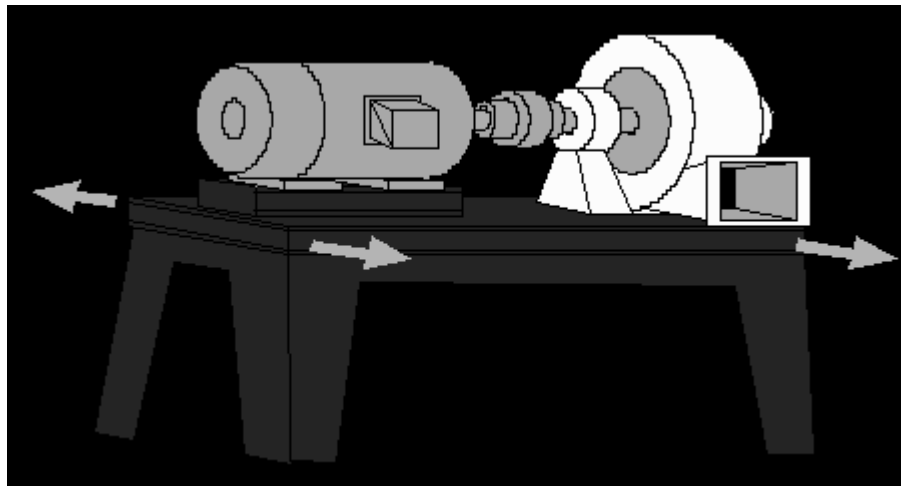
Conditions de la machine



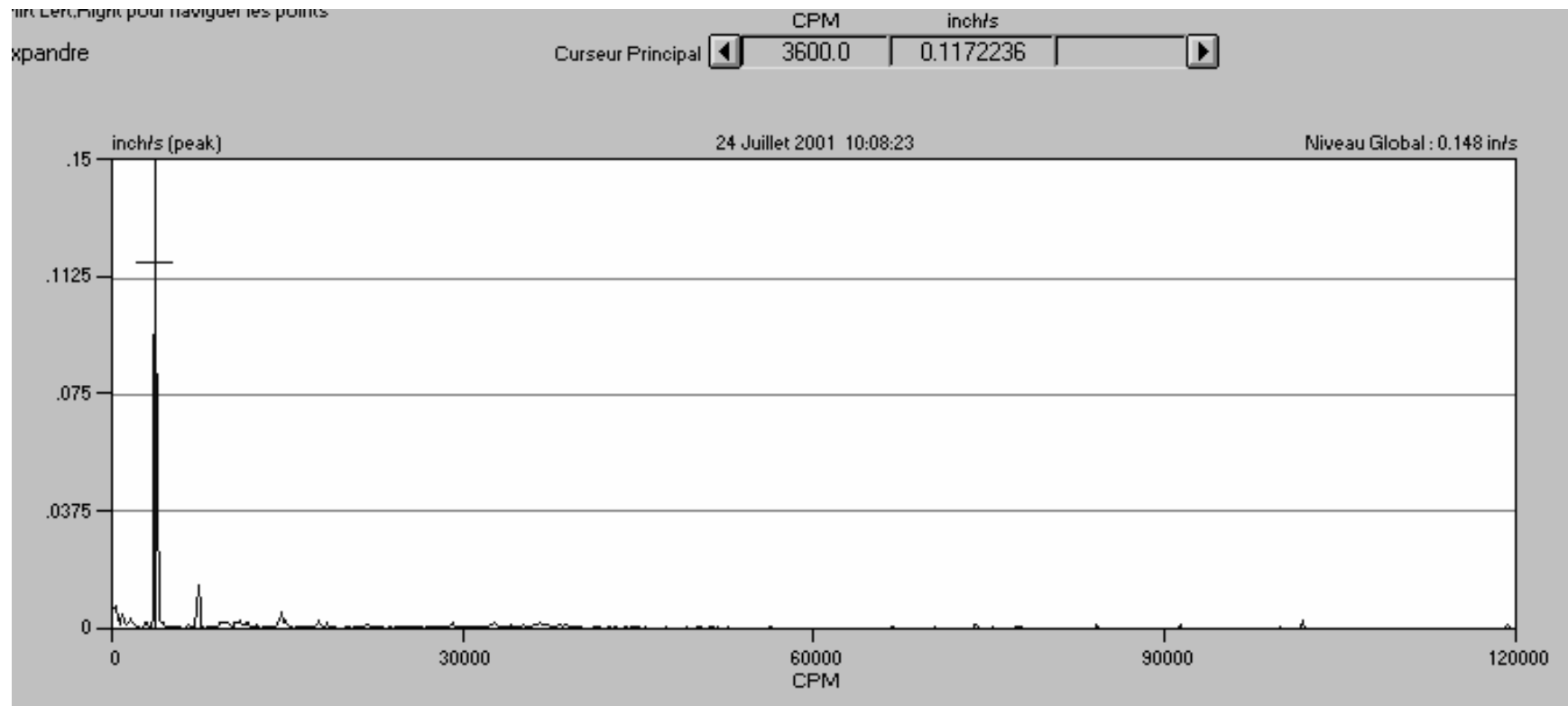
Assurez-vous que la machine soit toujours dans les mêmes conditions. Sinon prenez en note : Les AMP, Pression , etc.

Diagnostic de base

- ✓ L'amplitude de vibration doit normalement avoir :
 - > amplitude en horizontal
 - = ou < en vertical
 - ≈ 50% de moins en axial

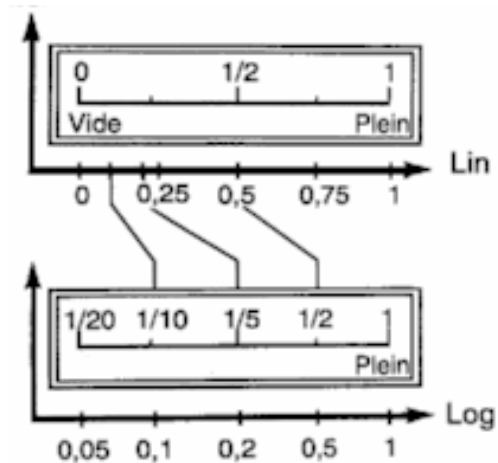
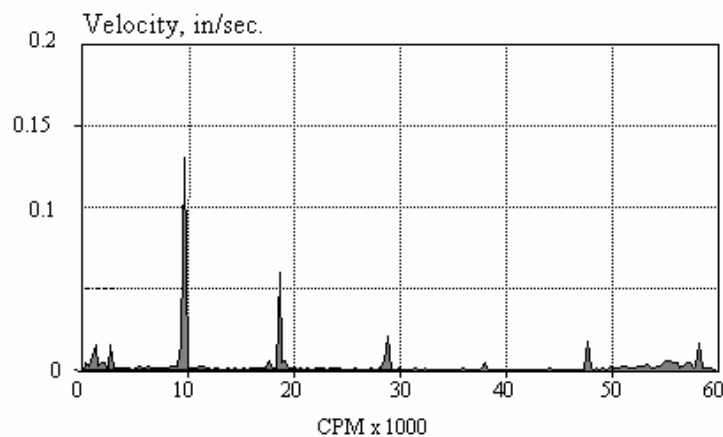


Spectre de Vibration



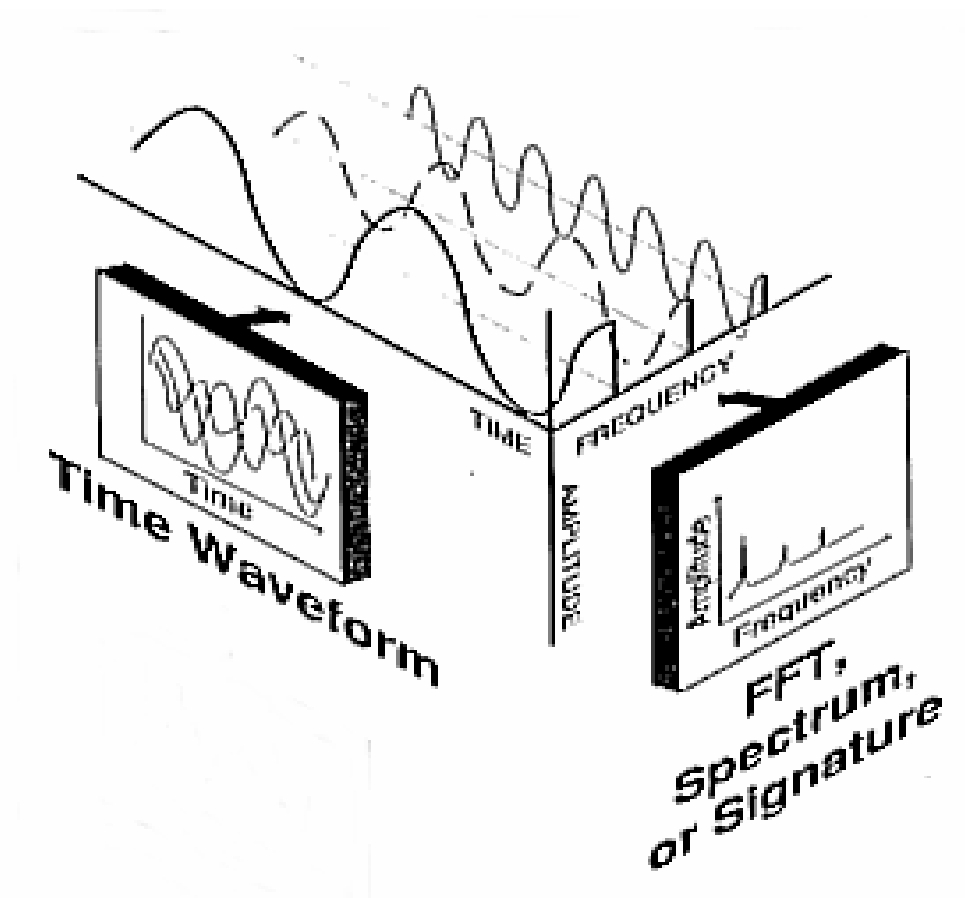
Fréquence versus amplitude

Échelle de vibration Linéaire

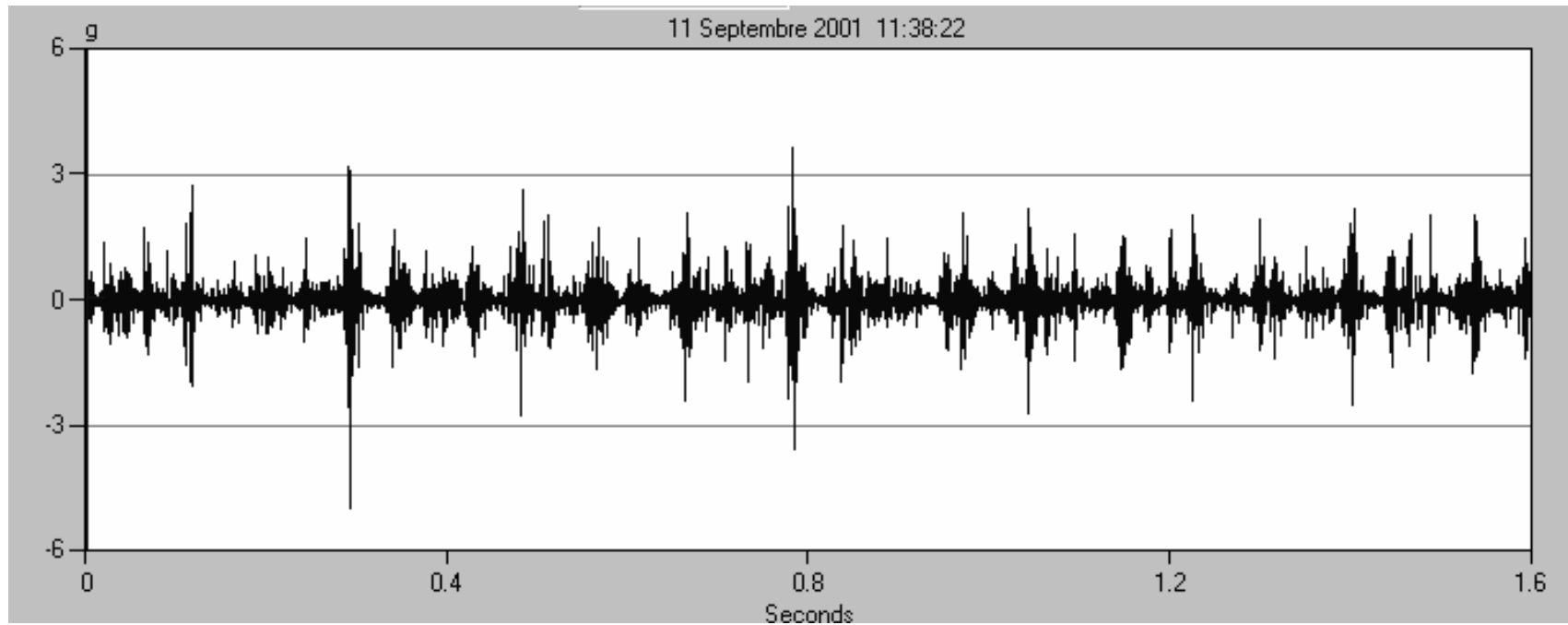


Sur le spectre linéaire, les crêtes plus grandes sont très bien représenté. Cependant l'information de plus basse amplitude est absente. Dans le cas de l'analyse de vibration de machine, nous sommes souvent intéressés par les composants les plus petits du spectre, c.-à-d., dans le cas du diagnostic d'élément de roulement.

Domain temps vs fréquence



Spectre Temporel



- $F = 1/T$



L'ANALYSE DE VIBRATION

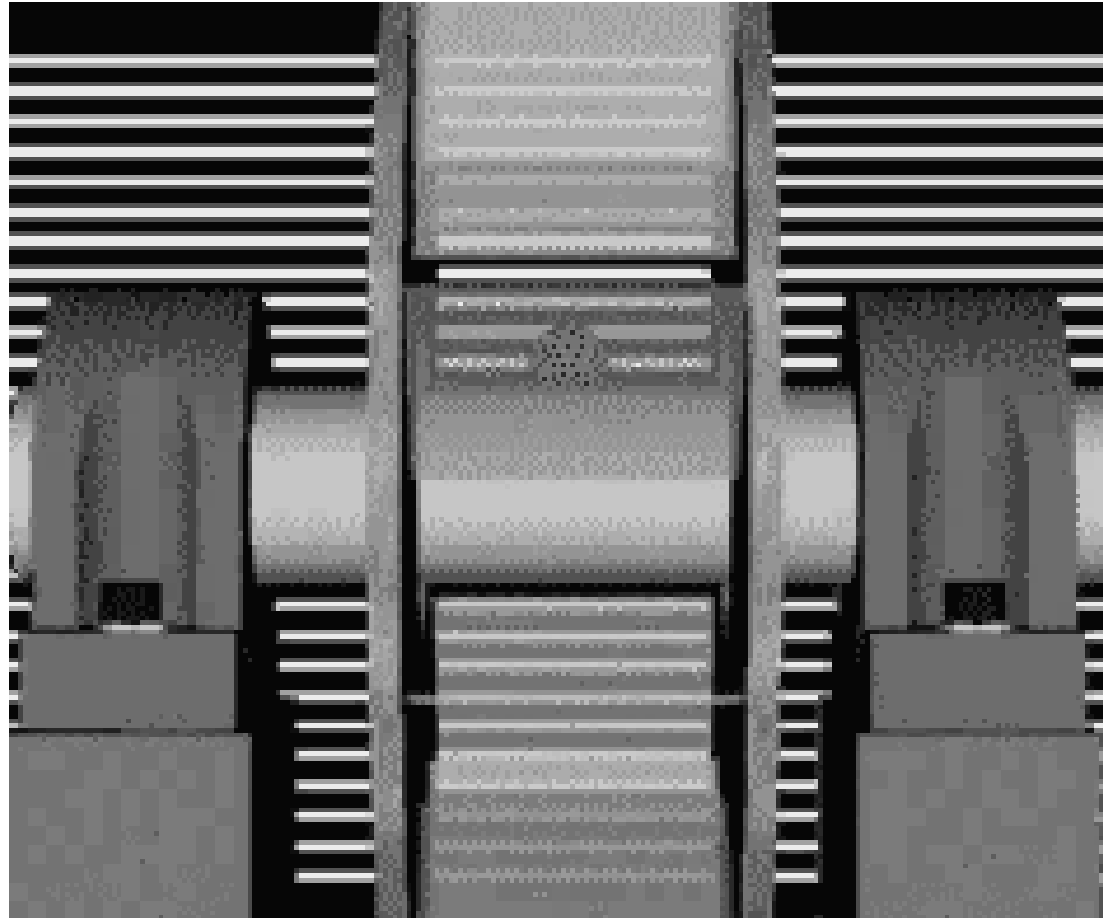
Spectre de vibration

Par: Louis Lavallée, ing.

lavalleel@delstar.qc.ca

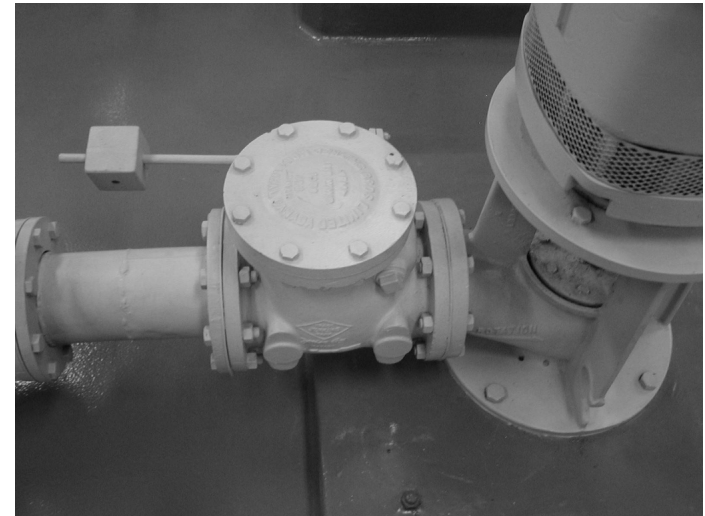
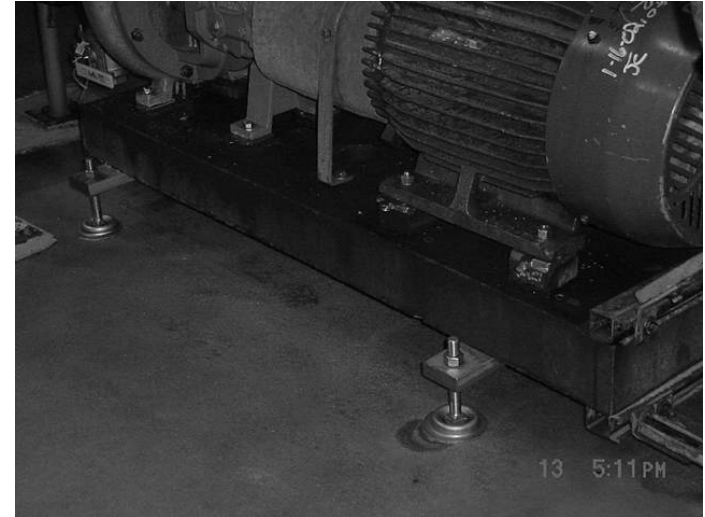
Révision Avril 2005

Animation d'un Déséquilibre

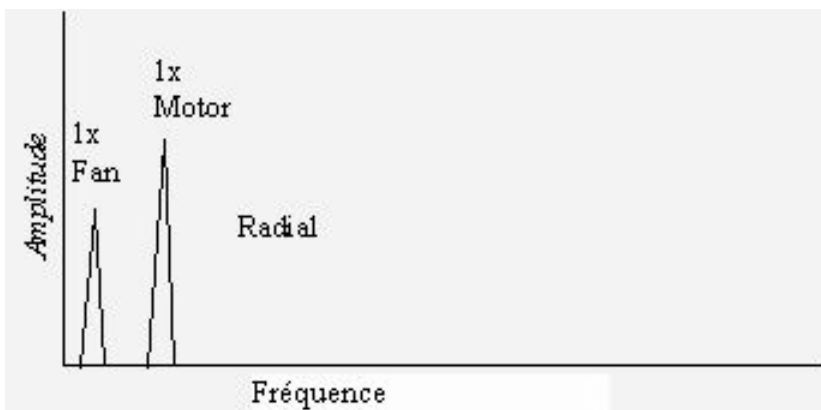
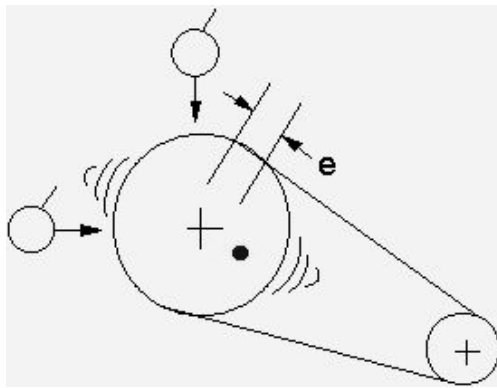


Causes de Déséquilibre

- ✓ Rigidité de la base
- ✓ Saleté sur les pales
- ✓ Eau dans les pales
- ✓ Rouille dans les pales.
- ✓ Pièces manquantes
- ✓ Usinage non-concentrique
- ✓ Arbre croche
- ✓ Longueur des clavettes
- ✓ Pieds boiteux
- ✓ Torsion dans la tuyauterie

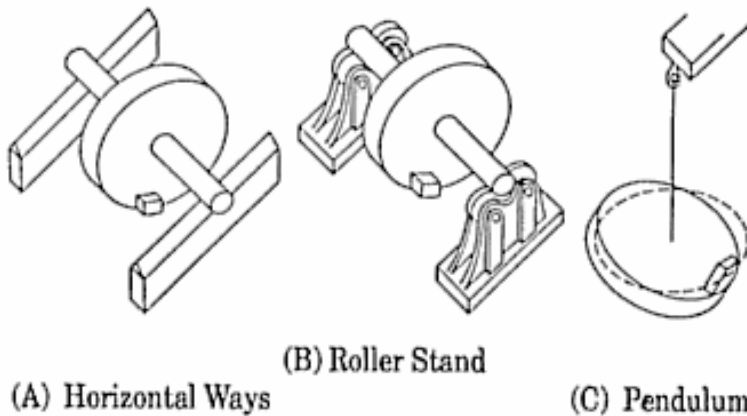


Excentricité



- Un arbre croche ou un jeu excessif entre l'arbre et le cœur du ventilateur causeront un déséquilibre résiduel proportionnel au poids du ventilateur et du jeu « e ».
- $Oz-po = Poids * Mils$

Déséquilibre Statique



(B) Roller Stand

(A) Horizontal Ways

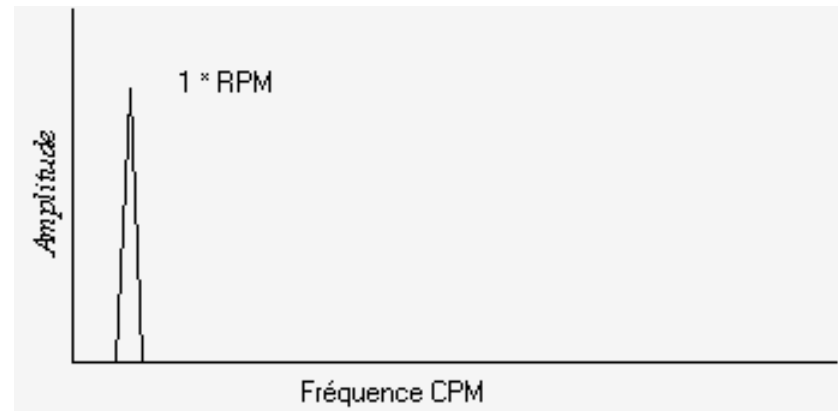
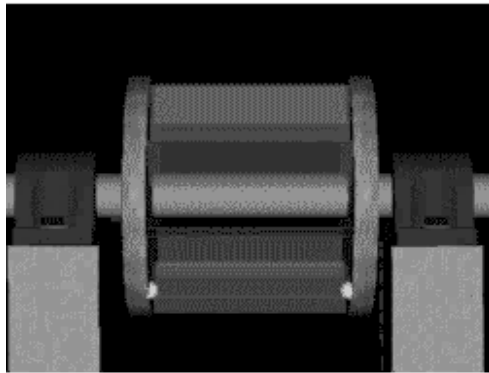
(C) Pendulum

Static (Gravity) Balancing Devices.

Suffisant pour des pièces tournant à moins de 200 RPM avec une bonne base

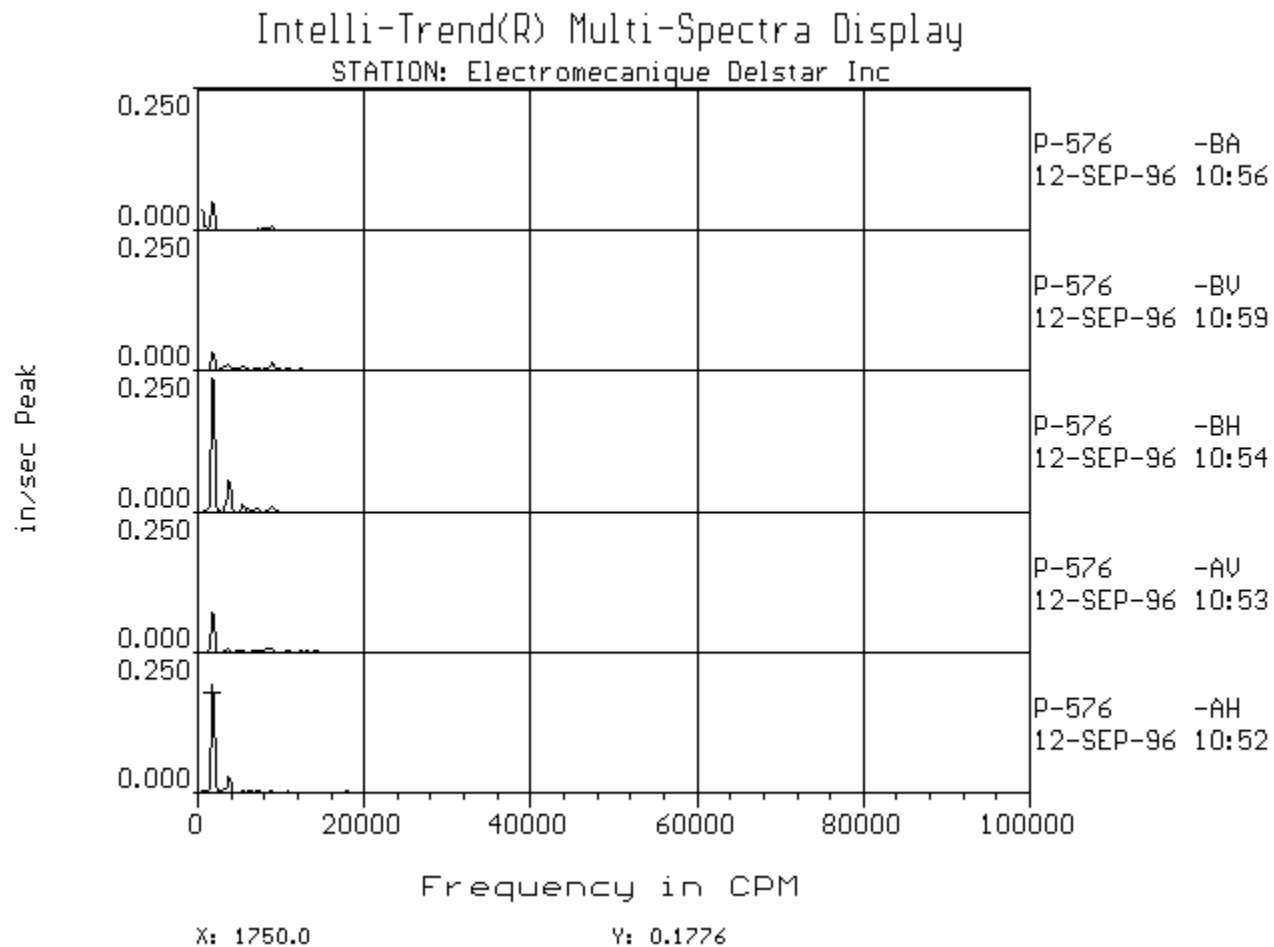
L'équilibrage statique peut être réalisé avant l'équilibrage dynamique afin de minimiser les risques de bris lors du démarrage

Déséquilibre Dynamique

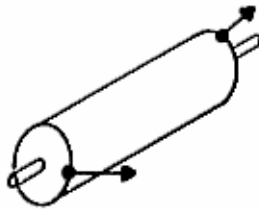
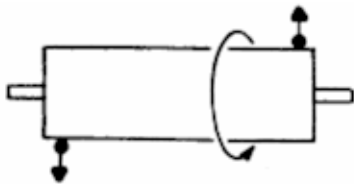
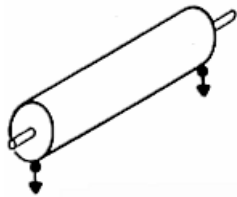


- ✓ La vibration à 1 * RPM doit normalement avoir:
 - > amplitude en horizontal
 - = ou < en vertical
 - ≈ 50% de moins en axial

Exemple de déséquilibre

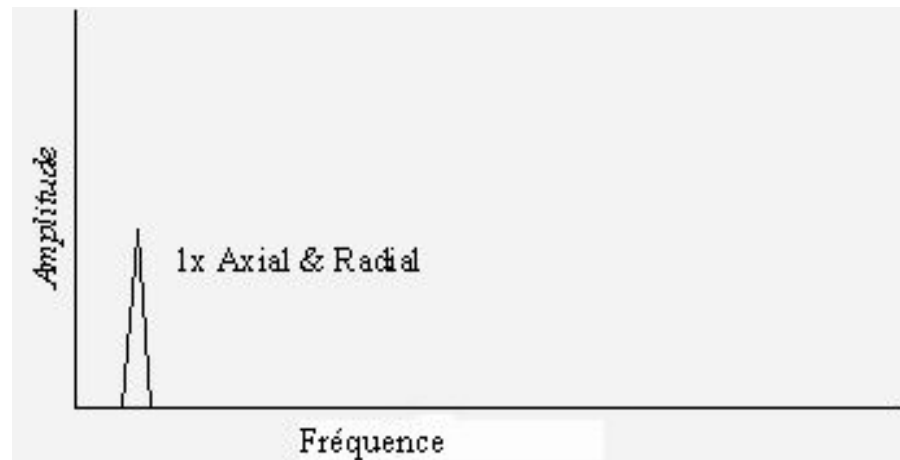
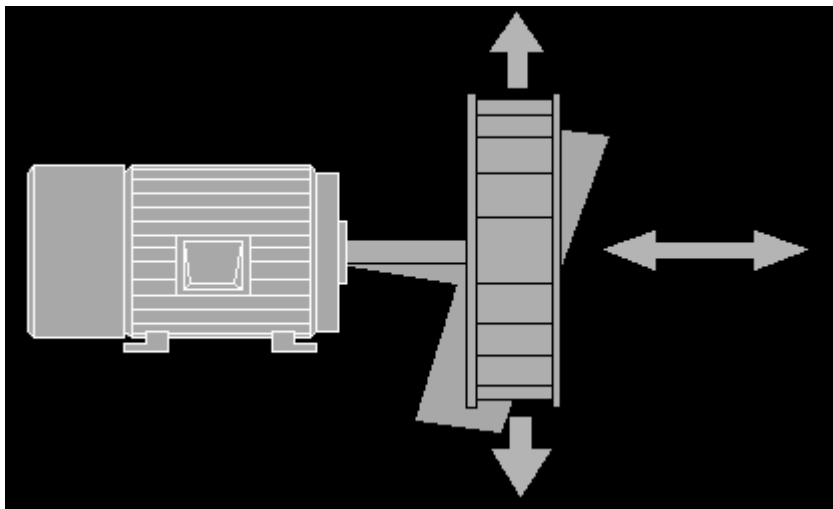


Types de déséquilibres



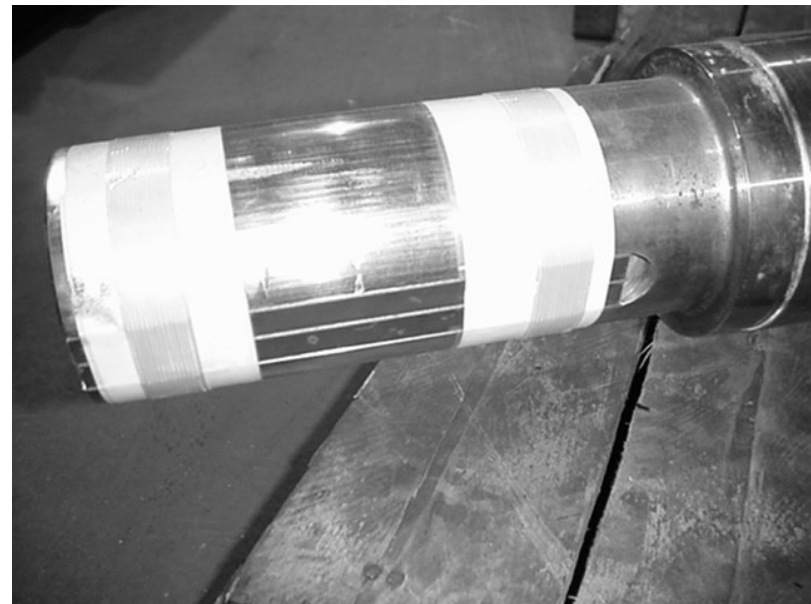
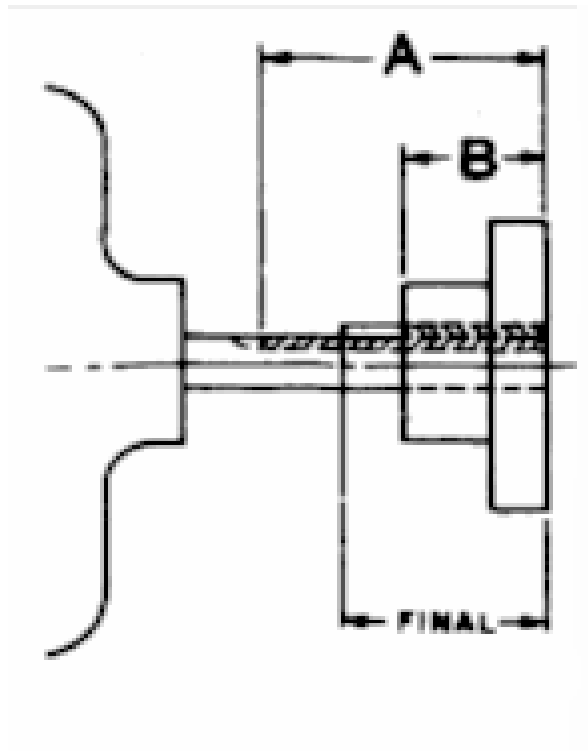
- Statique: Lorsque les balourds se trouvent au même angle.
- Couple: Lorsque les balourds se retrouvent à 180° l'un de l'autre.
- Dynamique: Les balourds sont aléatoirement répartis.

Déséquilibre de couple



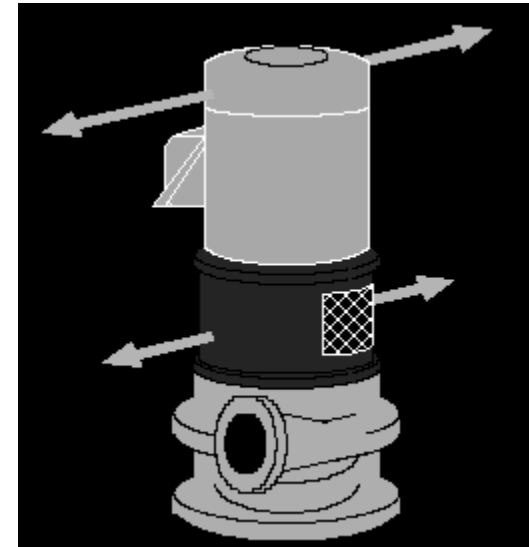
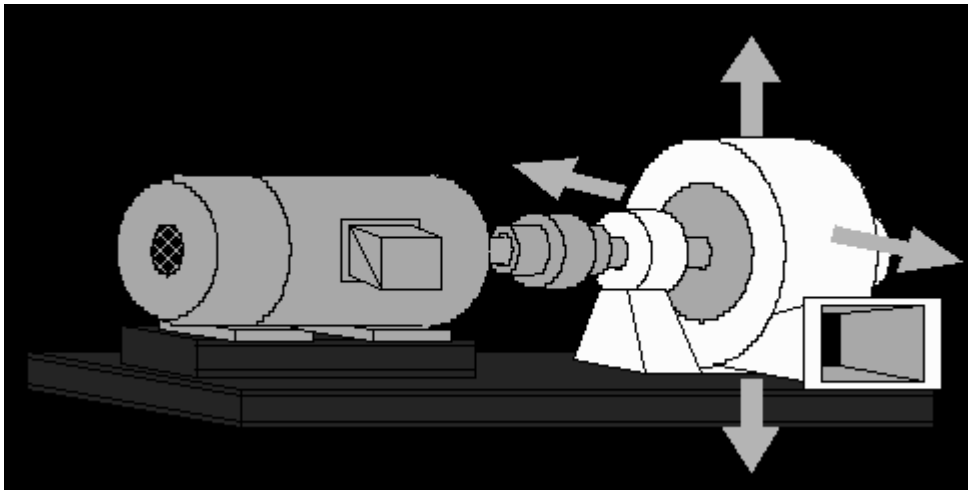
Les ventilateurs dont le montage est en porte-à-faux génèrent des vibrations prédominantes en axial lorsqu'ils sont déséquilibrés.

Chemin de clé carré ▮



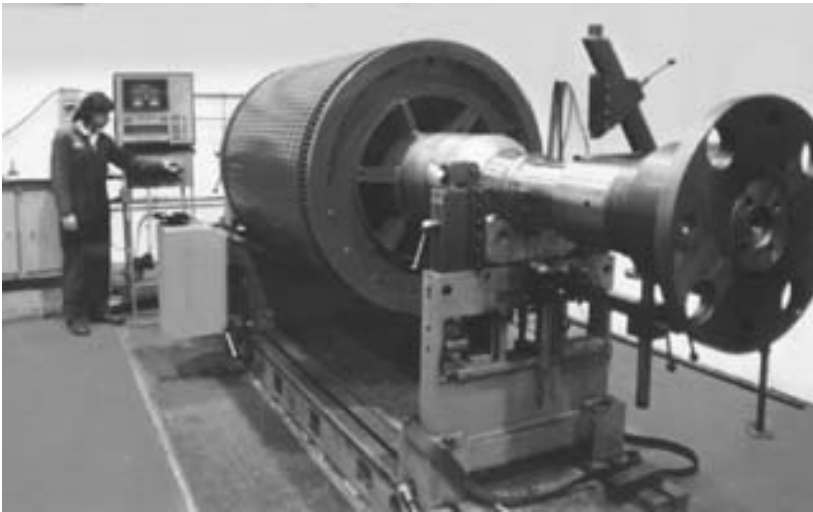
$$L = (A + B) / 2$$

Équilibrage en Chantier

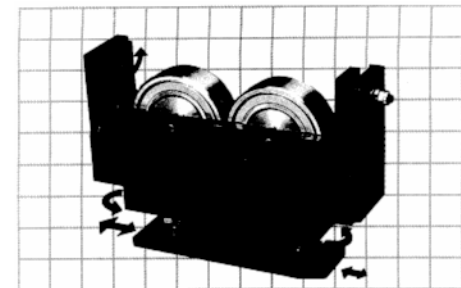


- ✓ Diminution des coûts de démontage et de transport
- ✓ Pour équilibrage de pompes verticales
- ✓ Demande une structure très solide
- ✓ Tolérance en po./sec.

Équilibrage en atelier



- ✓ La pièce est montée sur 2 paliers flottants.
 - ✓ Un faux arbre est nécessaire pour maintenir la pièce sur les paliers.
 - ✓ On augmente la vitesse pour dépasser la vitesse critique (+500 RPM).
-
- ✓ L'ordinateur détermine les poids de correction.
 - ✓ La tolérance d'équilibrage est en once-pouce.
 - ✓ Les rotors de moteur sont toujours équilibrés en éléments séparés (i.e.: poulie, accouplement, ventilateur).



Équilibrage en Atelier

Grade ISO 1940 et ANSI S2.19



Grade G1.0 → Rotor de haute précision

Grade G-2.5 → Rotor moteur général

Grade G-6.3 → Ventilateur < 1000 RPM

Grade G-40 → Roue d'automobile

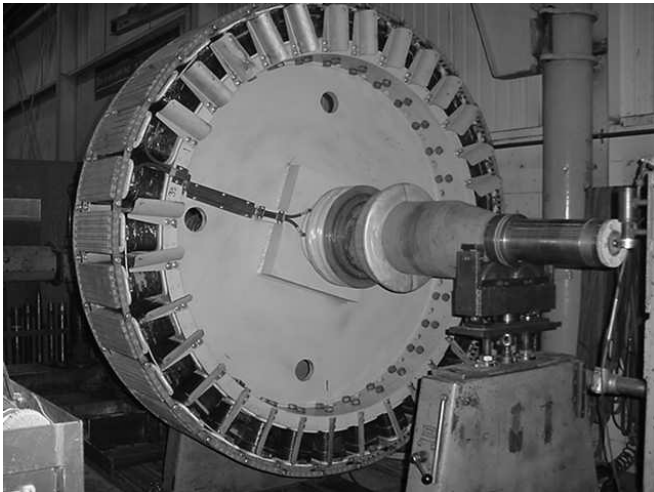
Où $G-2.5 = 2.5 \text{ mm/sec} = 0.1 \text{ po/sec}$

Grade MIL STD 167

Tolérance (on.-po.) pour rotor RPM < 150 RPM → 0.177 W

Tolérance (on.-po.) pour rotor RPM < 1000 RPM → 4000W/N²

Tolérance (on.-po.) pour rotor RPM > 1000 RPM → 4 W/N



W = Poids du rotor en livre

N = RPM

Tolérance / plan de correction

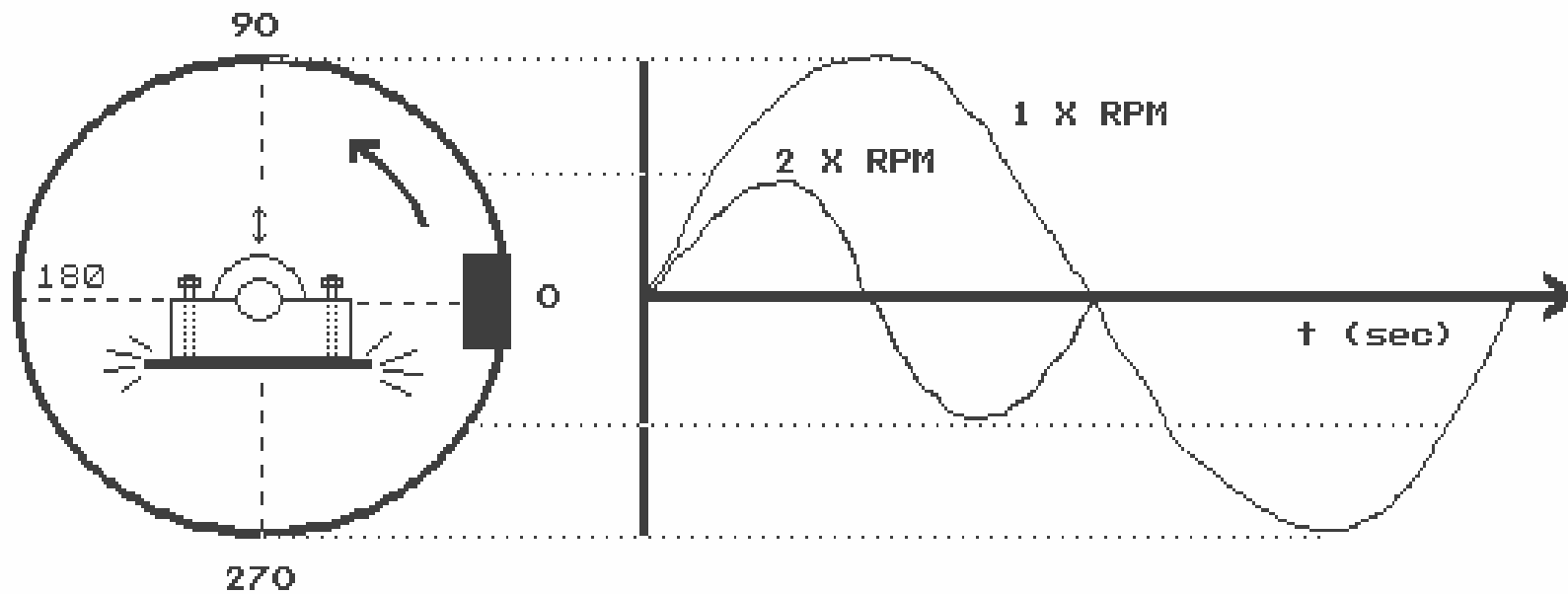
Tolérance / rayon de correction

Jeu Mécanique = N * RPM



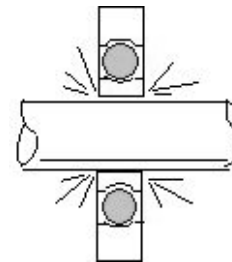
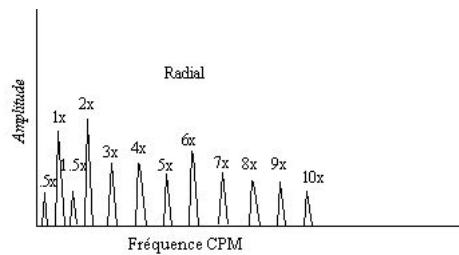
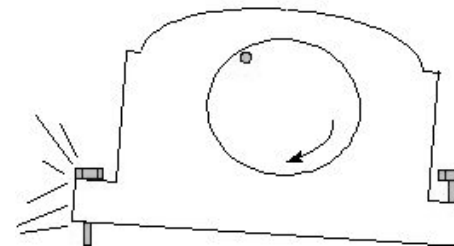
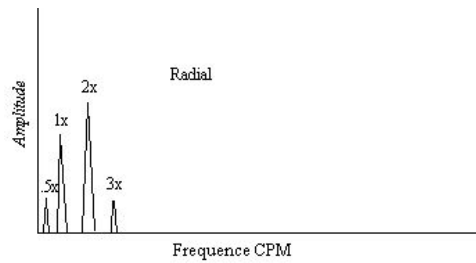
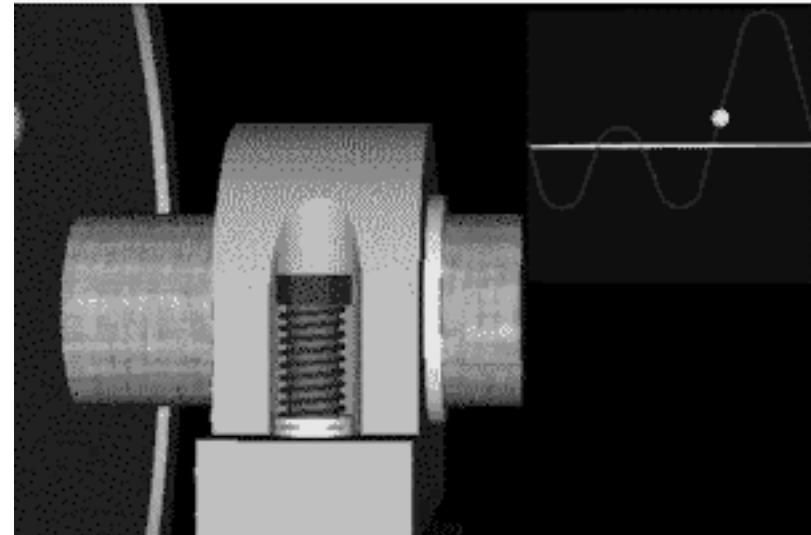
Vibration à 2 * RPM

$$\text{Impulse} + \text{Sine} = 2 \times \text{RPM}$$

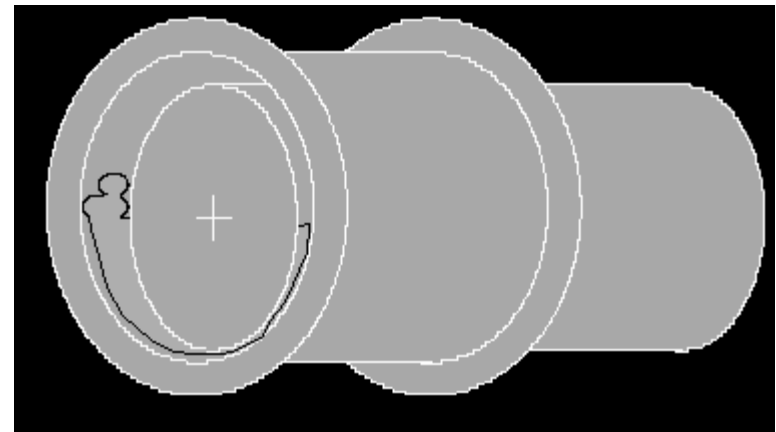
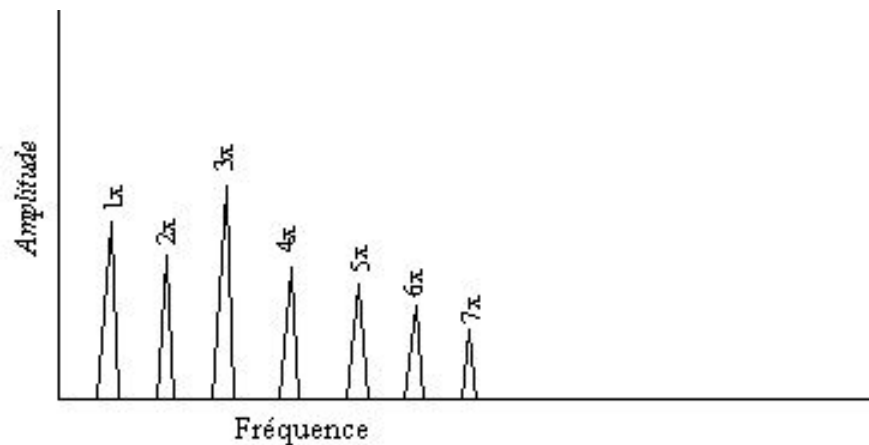


Jeux Mecaniques/Looseness

Les Harmoniques



Jeux dans les coussinets



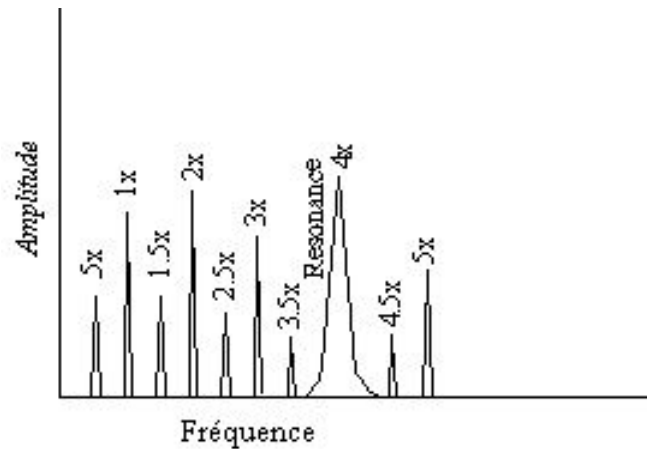
Les paliers lisses (Babbitt) utilisés montrent des harmoniques. Le moteur peut faire un bruit de modulation. Vérifier la température des paliers. Une coloration grisâtre de l'huile indique une usure des paliers.

Mesurer les Boîtiers

- Mesurer le boîtier du roulement à 6 endroits.
- Déterminer l'ovalité.
- Déterminer la conicité.
- Porter attention à la couleur du boîtier.
- Comparer les lectures avec les normes ISO.
- S'assurer de la bonne adhérence de l'acier dans le cas de réparation de la douille.



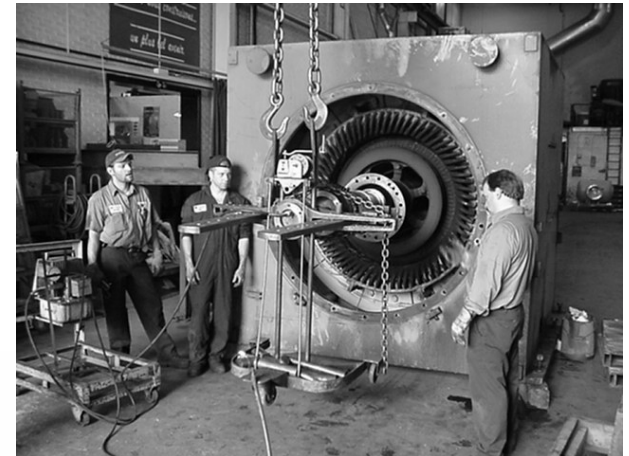
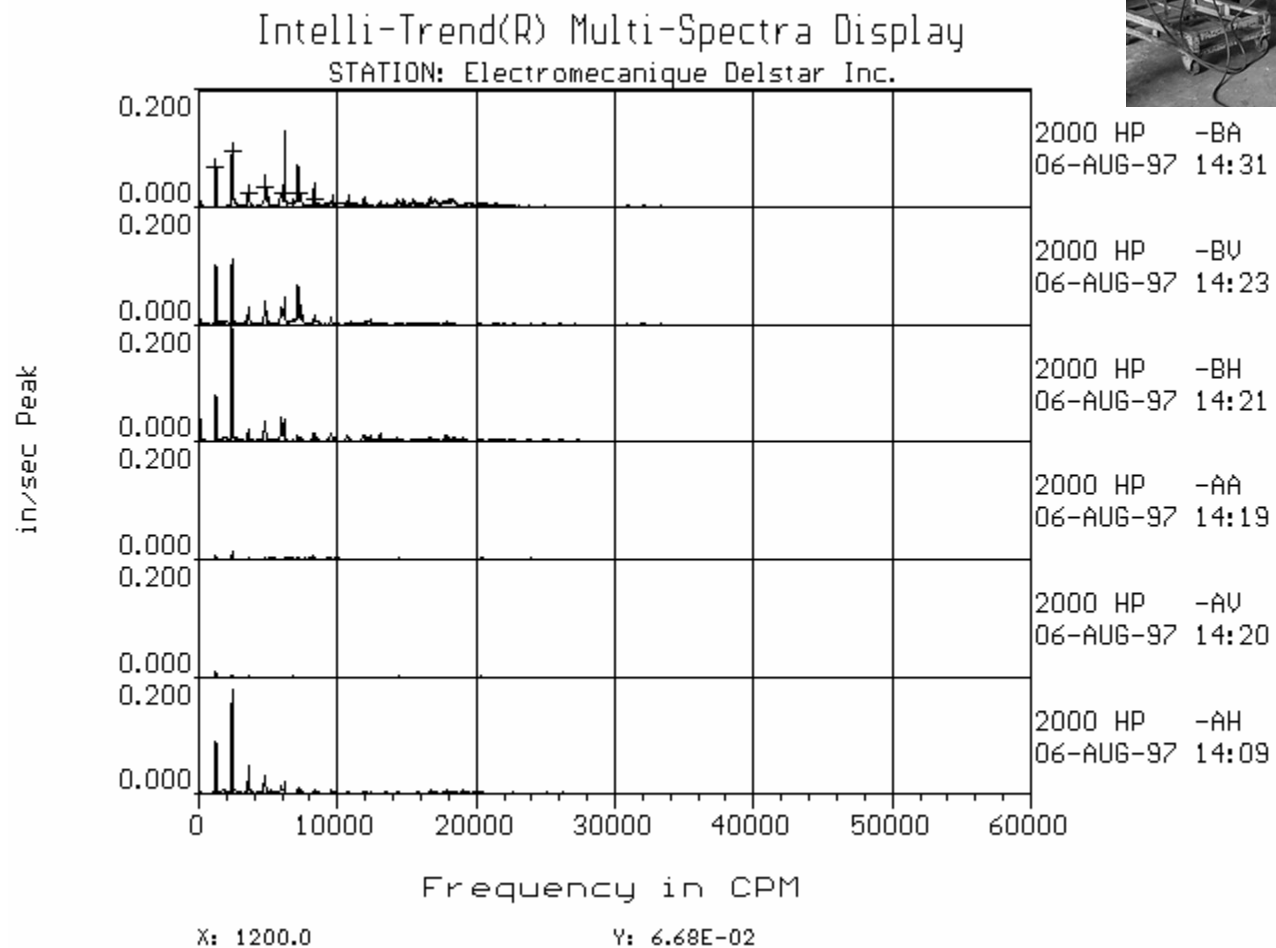
Frottements



Les vibrations dues aux frottements ressemblent à du jeu mécanique. Le spectre montre des harmoniques et des sous-harmoniques de la vitesse de rotation ($1/3$, $1/2$, $1/4$, etc.).

De plus, la signature temporelle montre une partie tronquée.

Vibrations Harmoniques



Tolérances des Pillow Blocs

<i>SHAFT TOLERANCES</i>				
Nominal Shaft Size—Inches	Commercial Shaft Tolerance ▲	Recommended Shaft Tolerances		
		Set Screws in Inner Race or Collar	Eccentric Lock Collar	Adapter Mounting ■
Up to 1-1/2"	+ .000-.002	+ .0000-.0005	+ .0000-.0005	+ .000-.002
1-9/16 to 2-1/2"	+ .000-.003	+ .0000-.0010	+ .0000-.0010	+ .000-.003
2-5/8 to 4"	+ .000-.004	+ .0000-.0010	+ .000-.004
4-3/16 to 6"	+ .000-.005	+ .0000-.0015	+ .000-.005
6-7/16 to 8"	+ .000-.006	+ .0000-.0020	+ .000-.006

▲ Cold finished low carbon bars (Ref.—A.I.S.I Tables 5-1 and 5-2)

■ SPLIT-SPHER and Sleeve bearings excluding SLEEVOIL

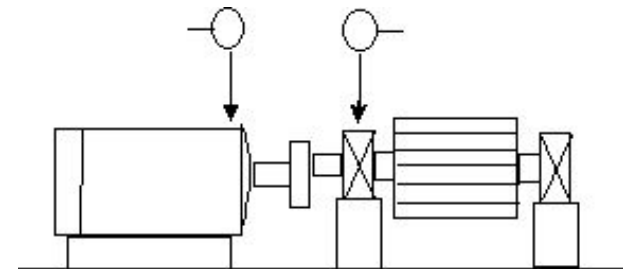
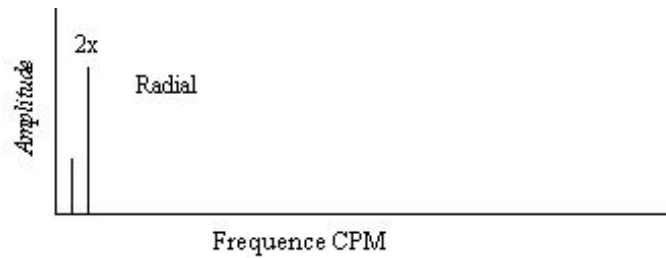
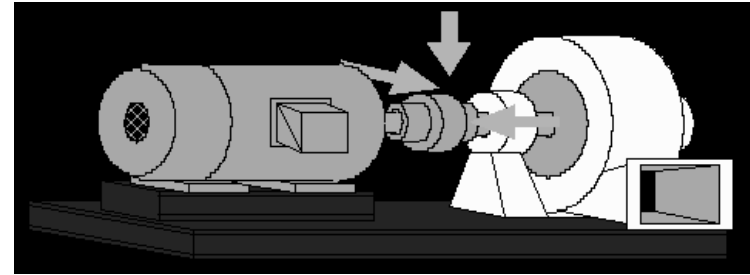
Ne pas trop serrer la bague ou les écrous de serrage.

Faire une pointe sur l'arbre à l'aide d'une mèche.

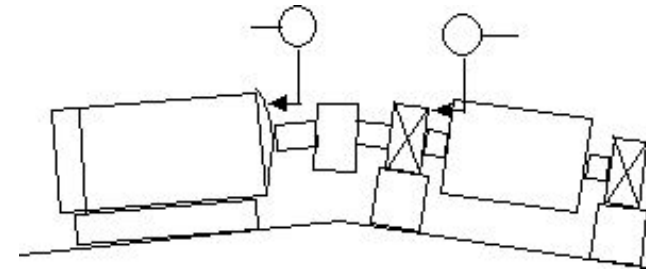
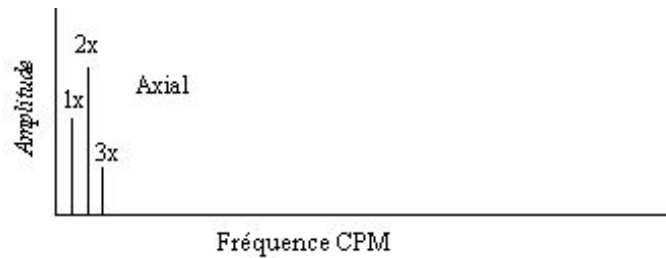
Serrer l'excentrique dans le sens de rotation.



Alignement

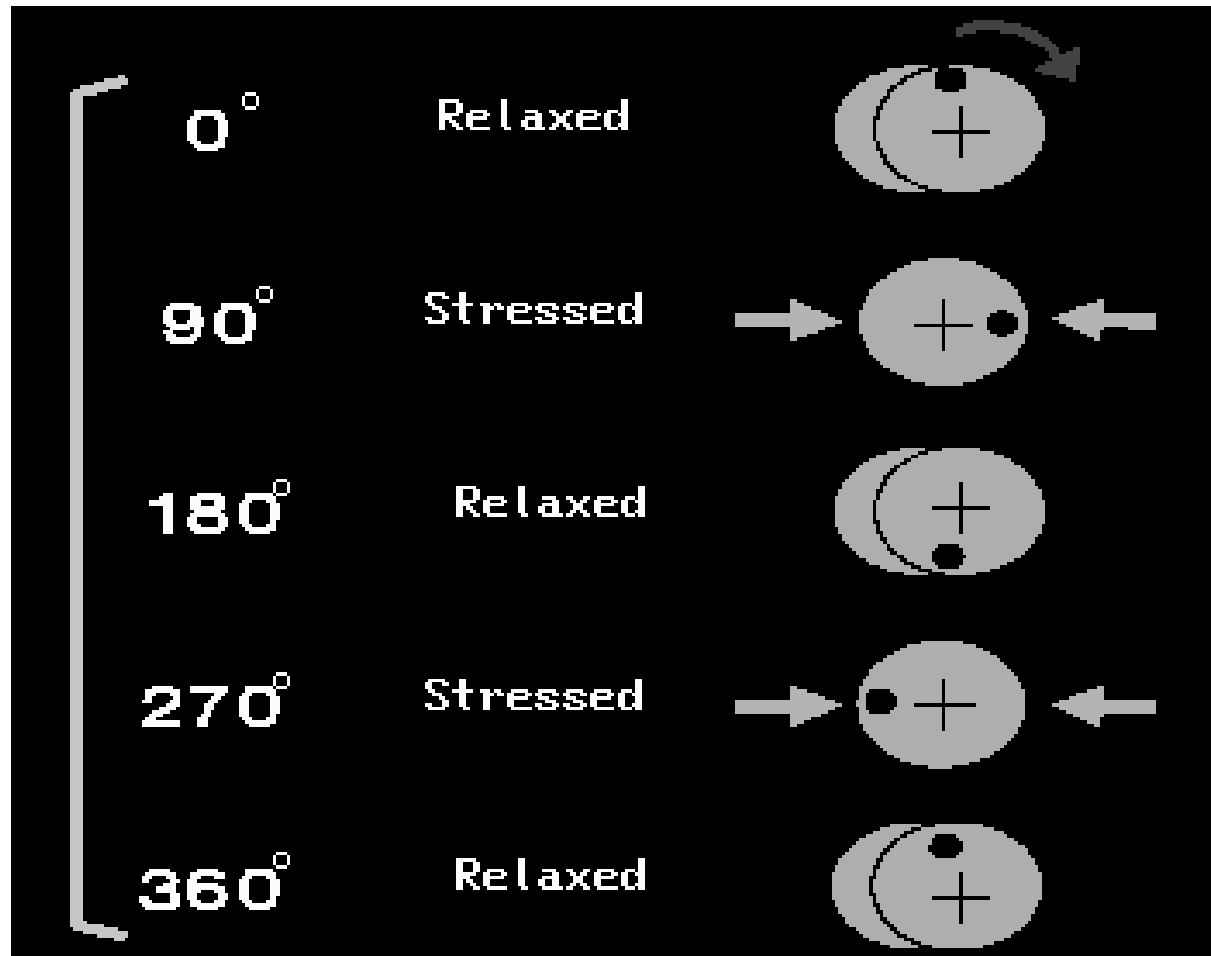


Parallèle = $2 * \text{RPM}$

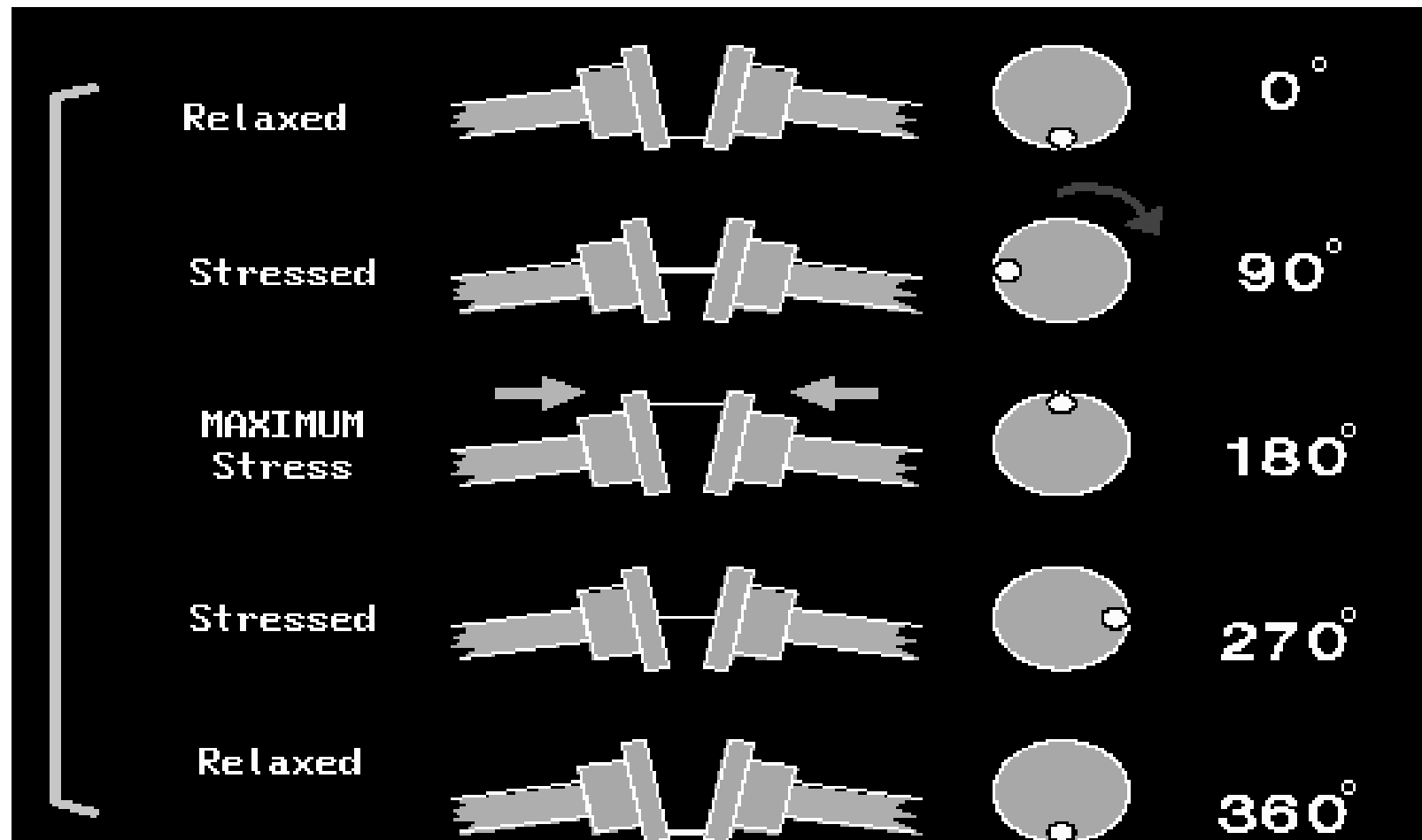


Angulaire = Axial

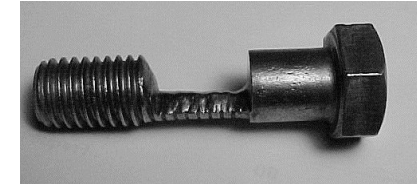
Désalignement Parallèle





Désalignement Angulaire



Alignement de l'équipement

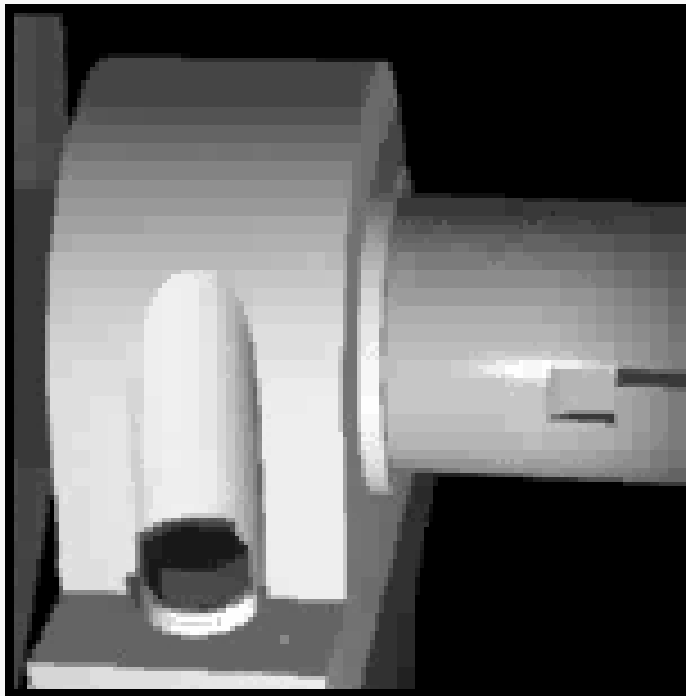


RPM	Angular Misalignment Mils per in. .001/1 in.		Offset Misalignment Mils .001 in.	
	Excellent	Acceptable	Excellent	Acceptable
				
3600	0.3/1 in.	0.5/1 in.	1.0	2.0
1800	0.5/1 in.	0.7/1 in.	2.0	4.0
1200	0.7/1 in.	1.0/1 in.	3.0	6.0
900	1.0/1 in.	1.5/1 in.	4.0	8.0



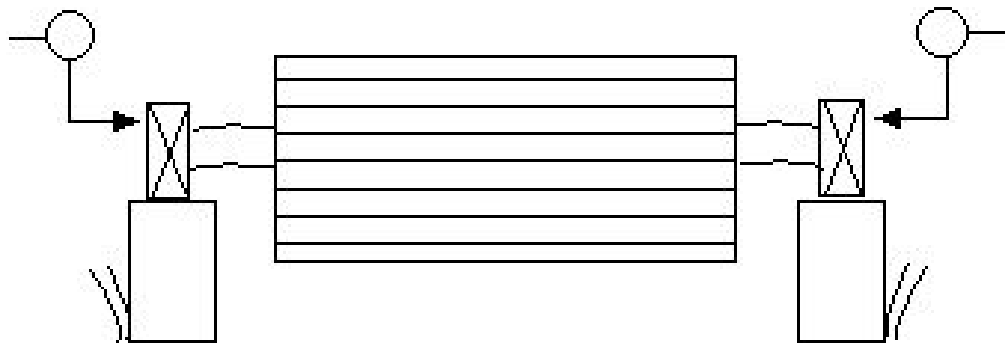
Faire l'alignement en respectant les tolérances et tenir compte de l'expansion thermique. Attention aux tolérances fournies par les manufacturiers d'accouplement. Vérifier les pieds boiteux.

Vibration axiale: Arbre Croche

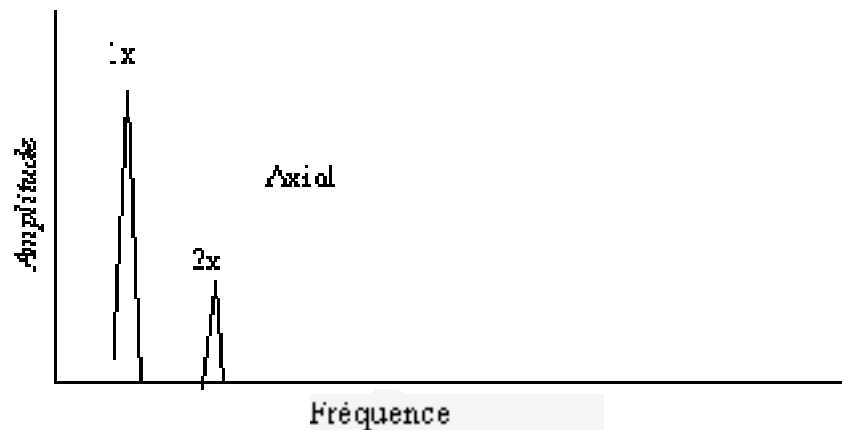


L'arbre croche produit une vibration axiale.

Arbre Croche

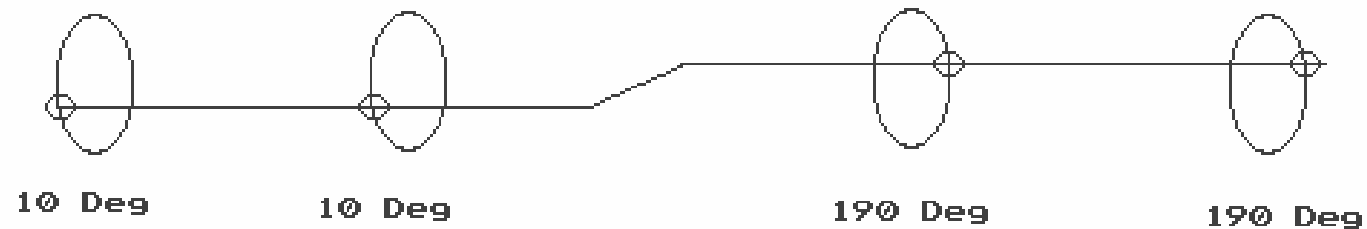


L'arbre croche donne une vibration dont la phase est opposée de 180° .



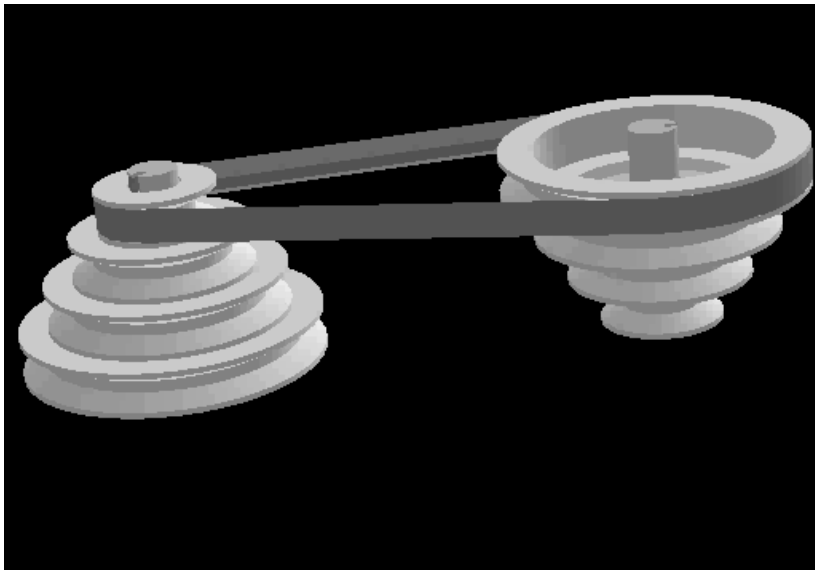
L'arbre croche donne une vibration principalement à $1 * \text{RPM}$ en axial.

Alignement VS phase



- Ci-haut, un déséquilibre
- Ci-bas, un désalignement parallèle.

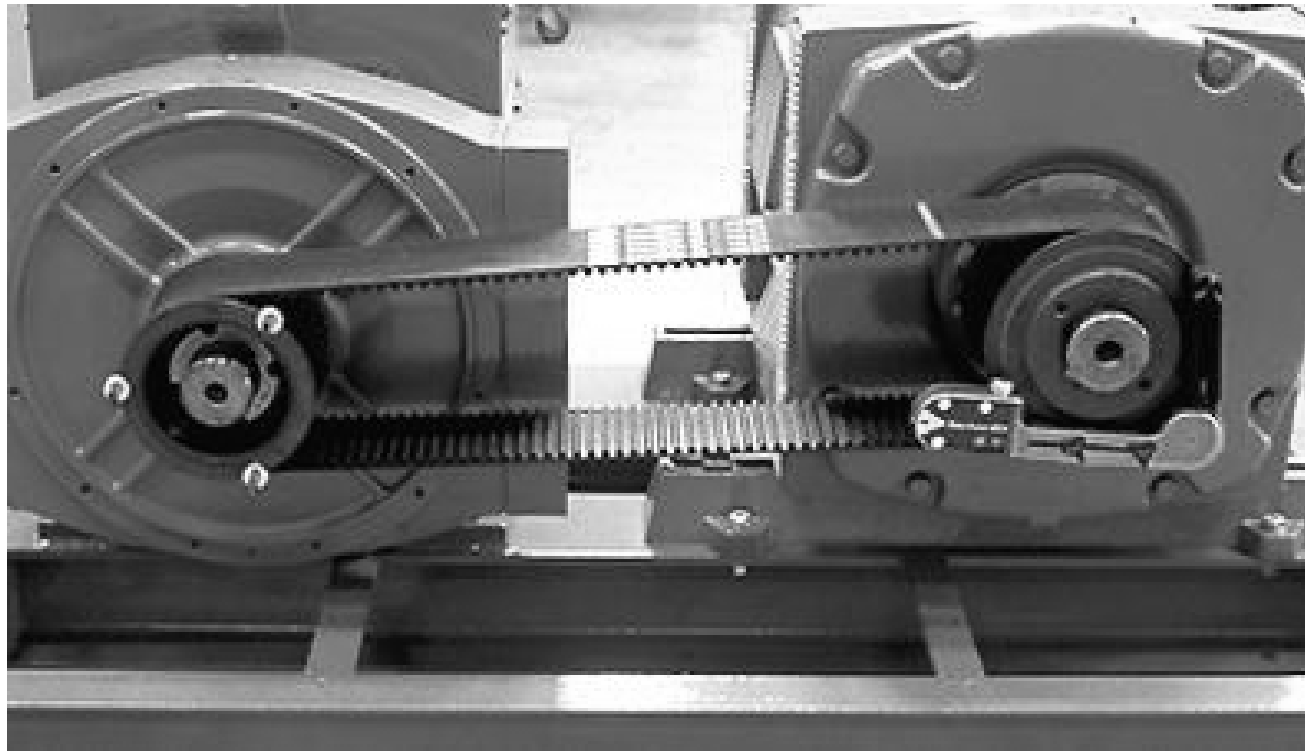
Les Courroies



La fréquence qui caractérise les défauts de courroies dépend du temps mis par la courroie pour faire un tour complet des deux poulies. Très souvent on voit des multiples de la fréquence fondamentale des courroies généralement lorsque celles-ci sont trop tendues. Des courroies trop tendues réduiront considérablement la vie des roulements. Dans le cas du moteur, installer un roulement à rouleaux (N ou NU) du côté de la poulie. Assurez-vous du bon alignement des poulies.

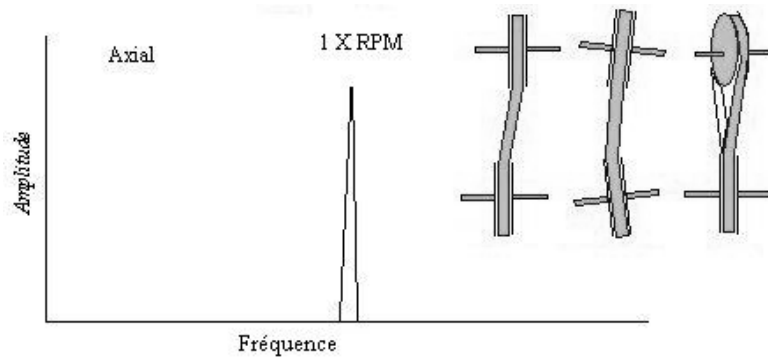
$$F_c = (\varnothing \text{ poulie}_1 * \pi / \text{longueur des courroies}) * \text{RPM poulie}_1$$

Alignement des courroies

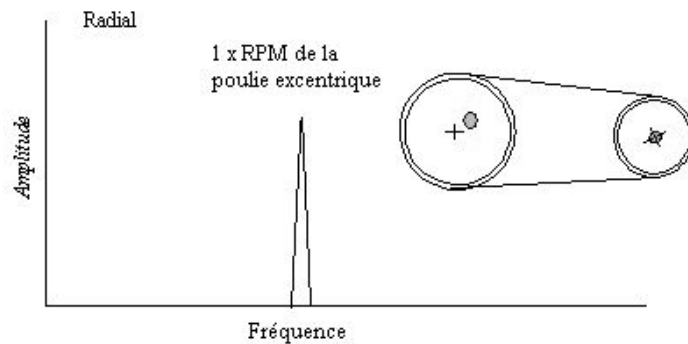


Différentes méthode: Laser, corde, règle droite.

Les Courroies

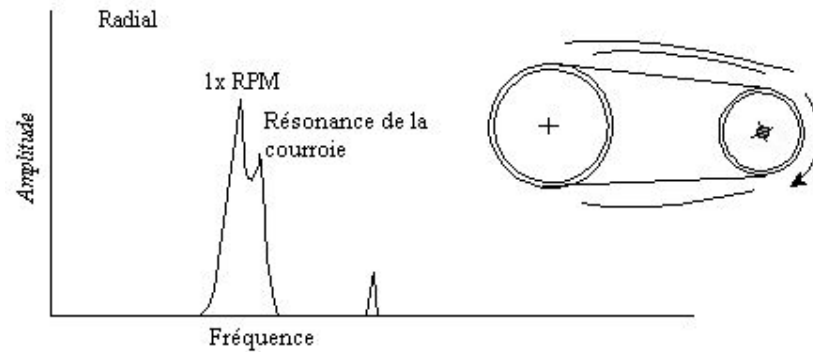


Des courroies désalignées génèrent habituellement des vibrations à $1 \times$ RPM en axial.

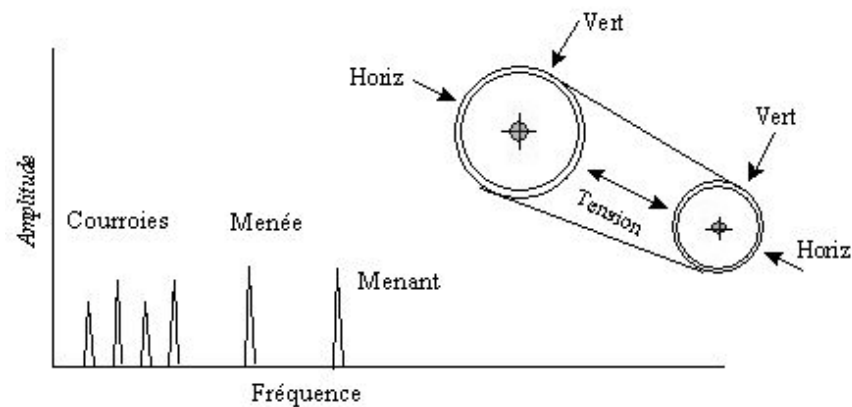


Une poulie excentrique génère des vibrations à $1 \times$ son RPM.

Les courroies



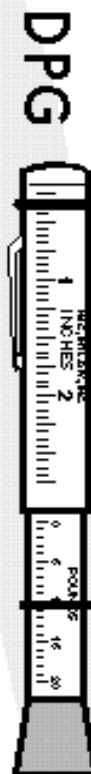
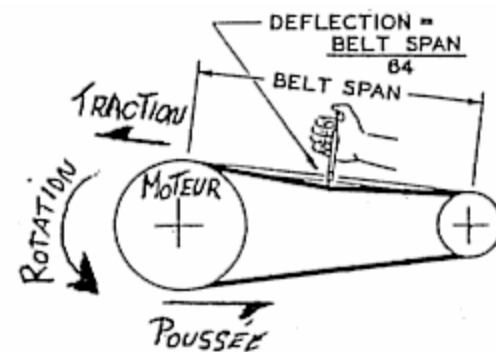
Certains critères physiques tels que la longueur de la courroie ou sa tension peuvent influencer sa fréquence de vibration. Lorsque celle-ci s'approche de celle des poulies, il y a une vibration plus élevée.



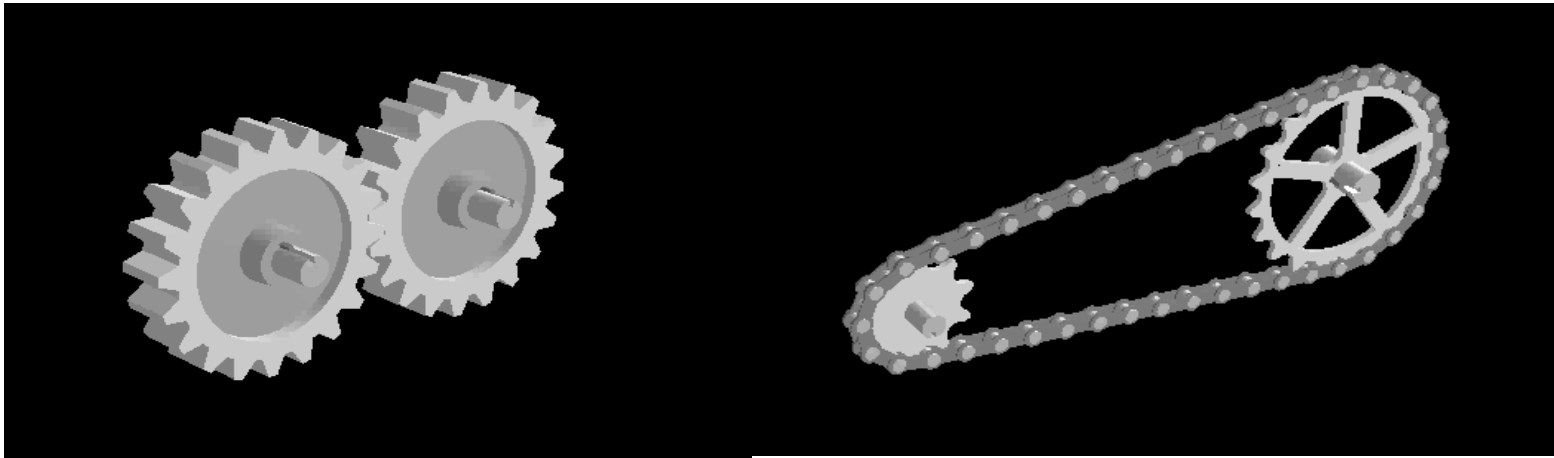
Des courroies lâches ou usées génèrent des fréquences généralement plus petites que celles des poulies. On rencontre souvent des multiples de la fréquence des courroies.

Tension des Courroies

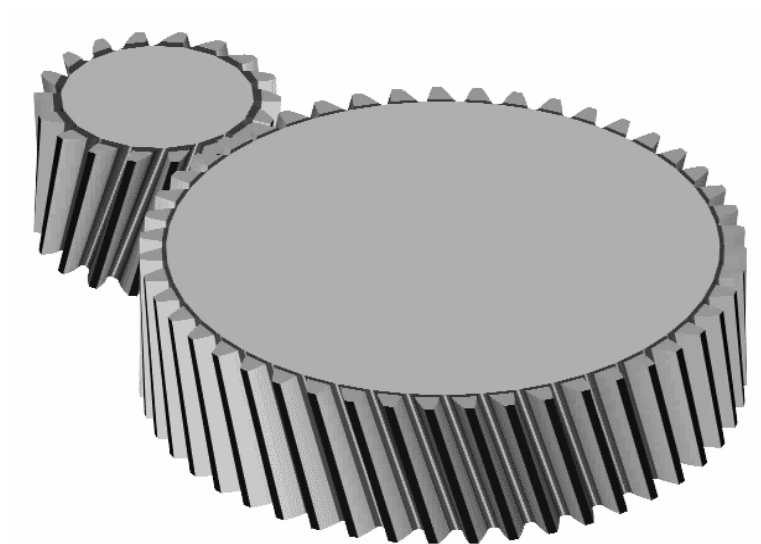
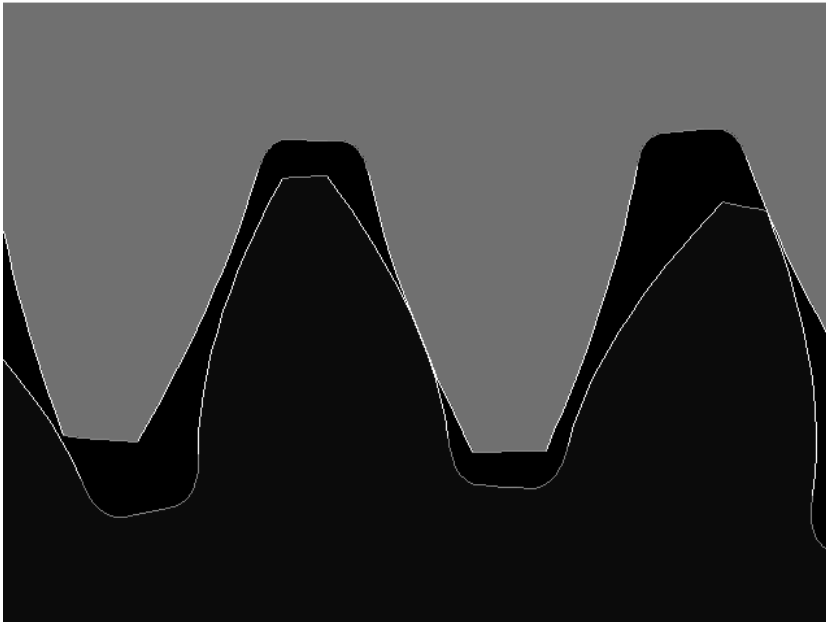
Type de courroies	Dia. de la petite poulie	R.P.M.	Force (lbs) pour déflexion (distance c-à-c ÷ 64)			
			Courroies sans encoches		Courroies avec encoches	
			Usagées	Neuves	Usagées	Neuves
A, AX	3.0 à 3.6	1000 à 2500,	3.7	5.5	4.1	6.1
		2501 à 4000	2.8	4.2	3.4	5.0
B, BX	3.4 à 4.2	860 à 2500	-	-	4.9	7.2
		2501 à 4000	-	-	4.2	6.2
	4.4 à 5.6	860 à 2500	5.3	7.9	7.1	10.5
		2501 à 4000	4.5	6.7	7.1	9.1
	5.8 à 8.6	860 à 2500	6.3	9.4	8.5	12.6
		2501 à 4000	6.0	8.9	7.3	10.9
C, CX	7.0 à 9.0	500 à 1740	11.5	17.0	14.7	21.8
		1741 à 3000	9.4	13.8	11.9	17.5
	9.5 à 16.0	500 à 1740	14.1	21.0	15.9	23.5
		1741 à 3000	12.5	18.5	14.6	21.6
D	12.0 à 16.0	200 à 850	24.9	37	-	-
		851 à 1500	21.2	31.3		
	18.0 à 20.0	200 à 850	30.4	45.2	-	-
		851 à 1500	25.6	38		
3V, 3VX	2.2 à 2.4	1000 à 2500	-	-	3.3	4.9
		2501 à 4000			2.9	4.3
	2.65 à 3.65	1000 à 2500	3.6	5.1	4.2	6.2
		2501 à 4000	3.0	4.4	3.8	5.6
	4.12 à 6.9	1000 à 2500	4.9	7.3	5.3	7.9
		2501 à 4000	4.4	6.6	4.9	7.3



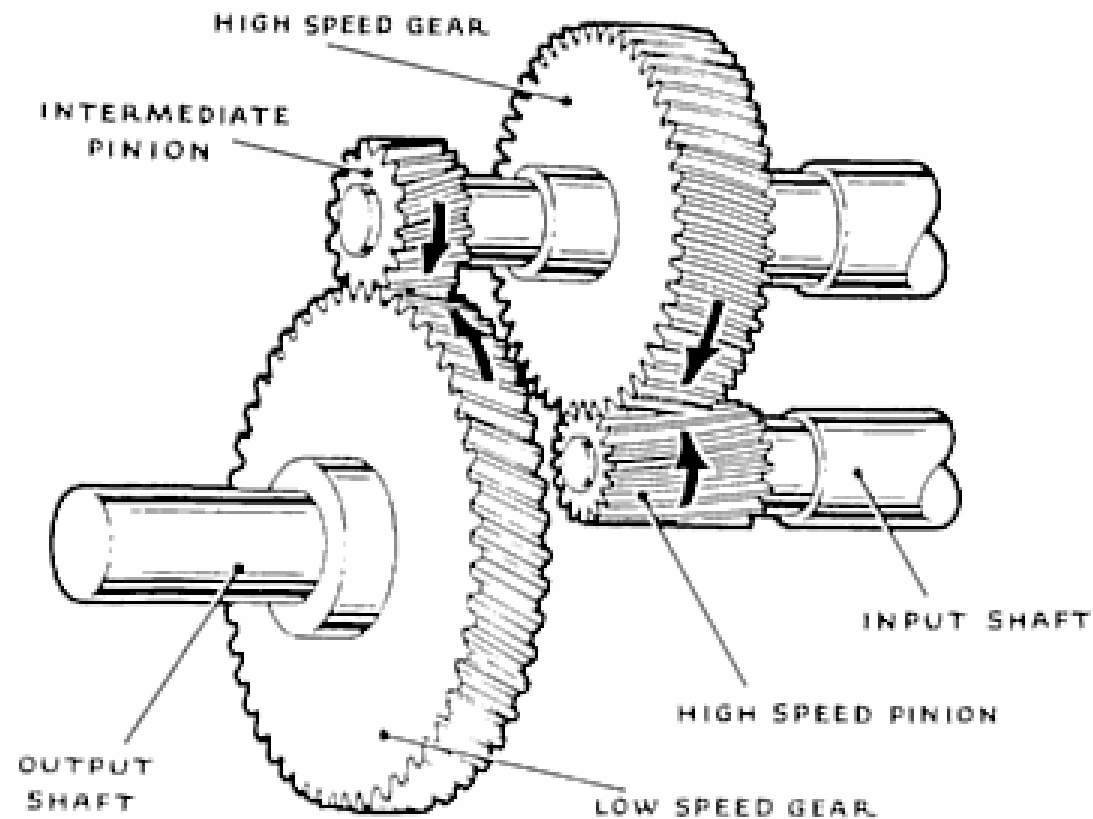
Les Engrenages



Les Engrenages



Engrenage Double



Calculs : Engrenage double

<i>Engrenages</i>	<i>Dents</i>	<i>RPM</i>	<i>Mesh</i>
<i>Pignon Haute Vitesse</i>	18	1800	32400
<i>Engrenage Haute Vitesse</i>	62	522.58	32400
<i>Pignon Intermédiaire</i>	24	522.58	12541.94
<i>Engrenage Basse Vitesse</i>	84	149.31	12541.94

Exemple: RPM Moteur = 1800

Pignon haute vitesse = 18

Engrenage haute vitesse = 62

Pignon intermédiaire = 24

Engrenage basse vitesse = 84

Vitesse sortie arbre = 149.31

Règles: $RPM1 * N1 = RPM2 * N2$

Usure des Engrenages

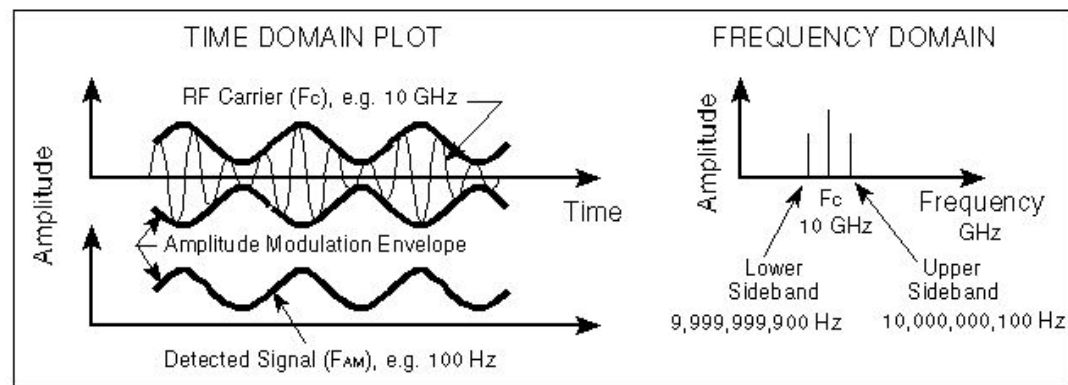


FIGURE 3. SINEWAVE MODULATED RF SIGNAL

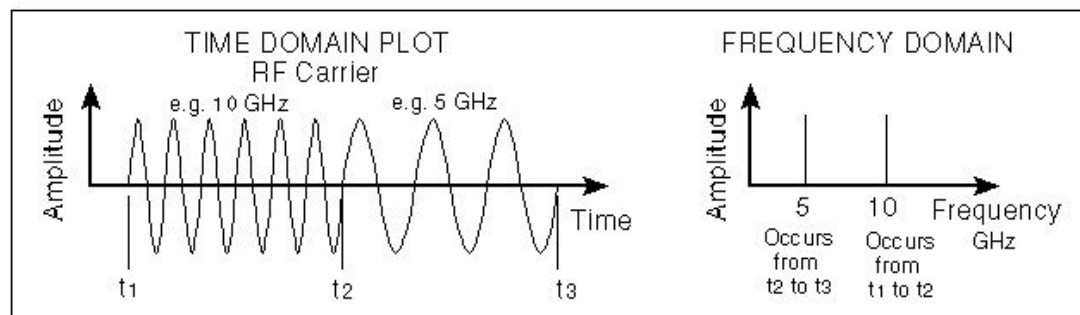
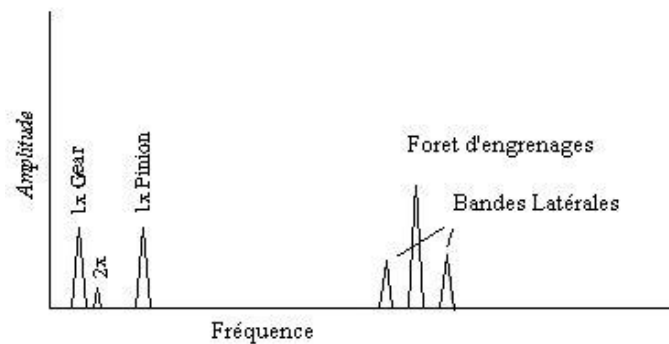
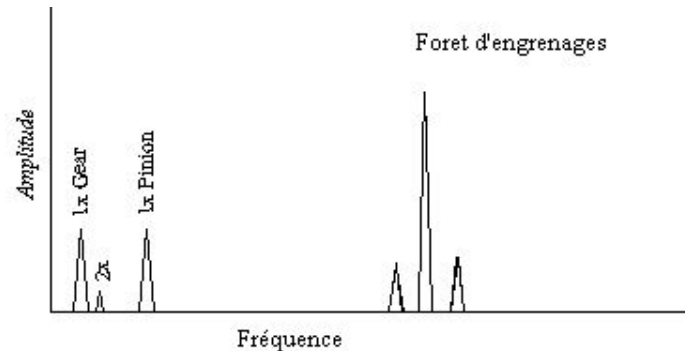


FIGURE 2. RF SIGNAL WITH FREQUENCY MODULATION

Usure des Engrenages

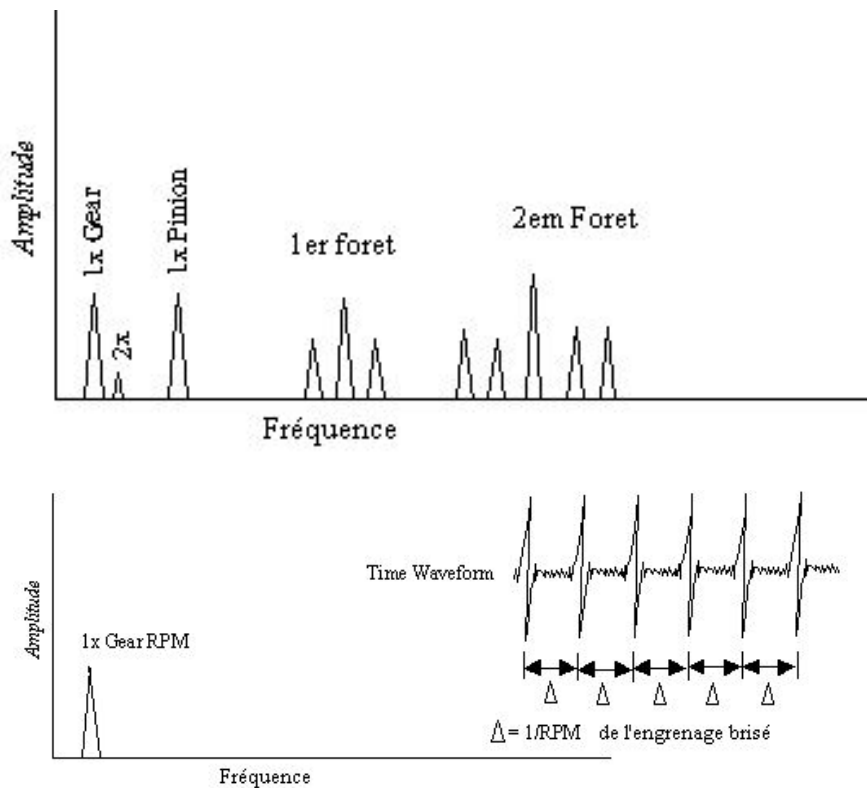


Un engrenage excentrique ou un arbre croche causeront des bandes latérales dont l'espacement sera celui de l'engrenage fautif.



Une charge excessive causera une augmentation de l'amplitude du foret d'engrenage.

Usure des Engrenages



Un jeu excessif entre les dents (backlash) causera un ou des harmoniques du foret d'engrenage.

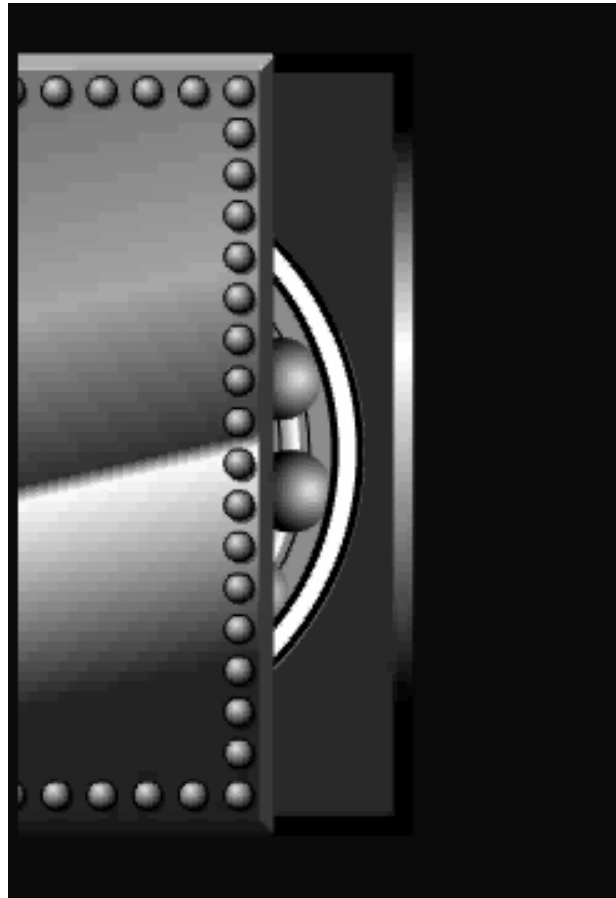
Une dent brisée causera une vibration au RPM de l'engrenage défectueux. Le signal temporel sera plus représentatif.

Paramètres de Lecture

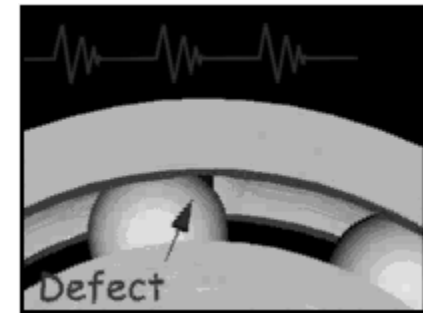
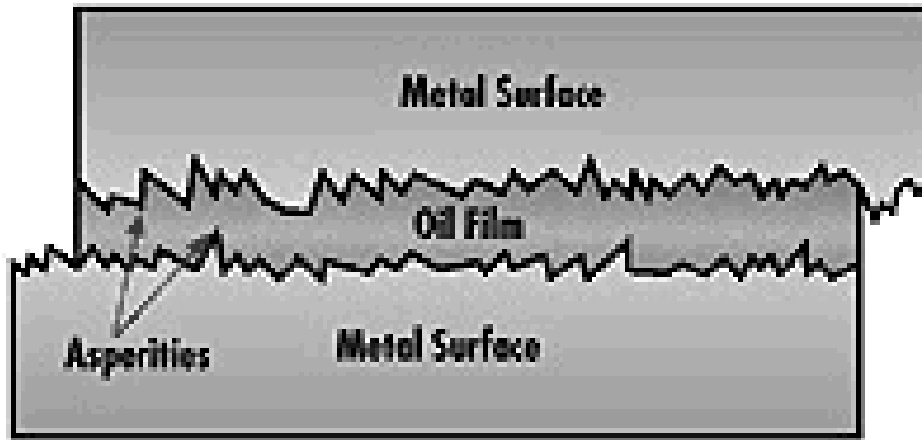
Items de Route définis :

Paramètre	Flt.	P.E.	Lignes	Nb Moyenne	AL	Act
ACC FFT	ENV1	500	800	Default	Abs	Oui
ACC FFT	ENV2	500	800	Default	Abs	Oui
ACC TIME	OFF	1000	4096	Default	Abs	Oui
VEL FFT	OFF	2000	800	Default	Abs	Oui
ACC OVR	OFF	10000	800	Default	Abs	Oui
VEL OVR	OFF	2000	400	Default	Abs	Oui

Les Roulements



Principe



La mesure de l'accélération dans la zone de 10000 Hz permet de détecter un manque de lubrifiant et aussi le début de l'usure du roulement.

S'il s'agit d'un roulement à rouleaux, la lecture de g-Se sera plus élevée si le roulement n'est pas chargé.

Fréquence de Vibration



Les roulements usés génèrent environ 4 fréquences de base auxquels s'ajoutent des multiples de ces mêmes fréquences. Ces fréquences sont les mêmes pour les roulements à billes qu'à rouleaux. Ces fréquences sont reliées à la géométrie des roulements, i.e. au rapport entre le diamètre des billes et des bagues. **Ces fréquences ne sont pas des multiples entiers de la vitesse de rotation de l'arbre.**

Ces fréquences sont:

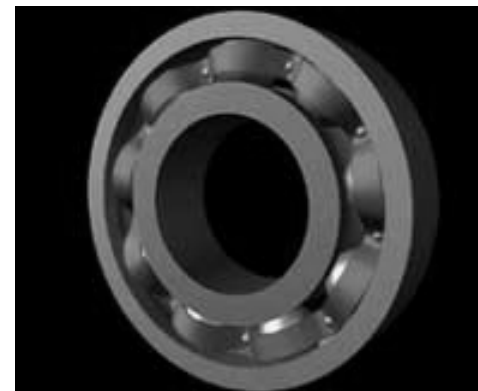
BPFI: Fréquence de Passage de la Bille sur la Bague Interne.

BPFO: Fréquence de Passage de la Bille sur la Bague Ext.

BSF: Fréquence de Rotation d'une Bille.

FTF: Fréquence Fondamentale de la Cage.

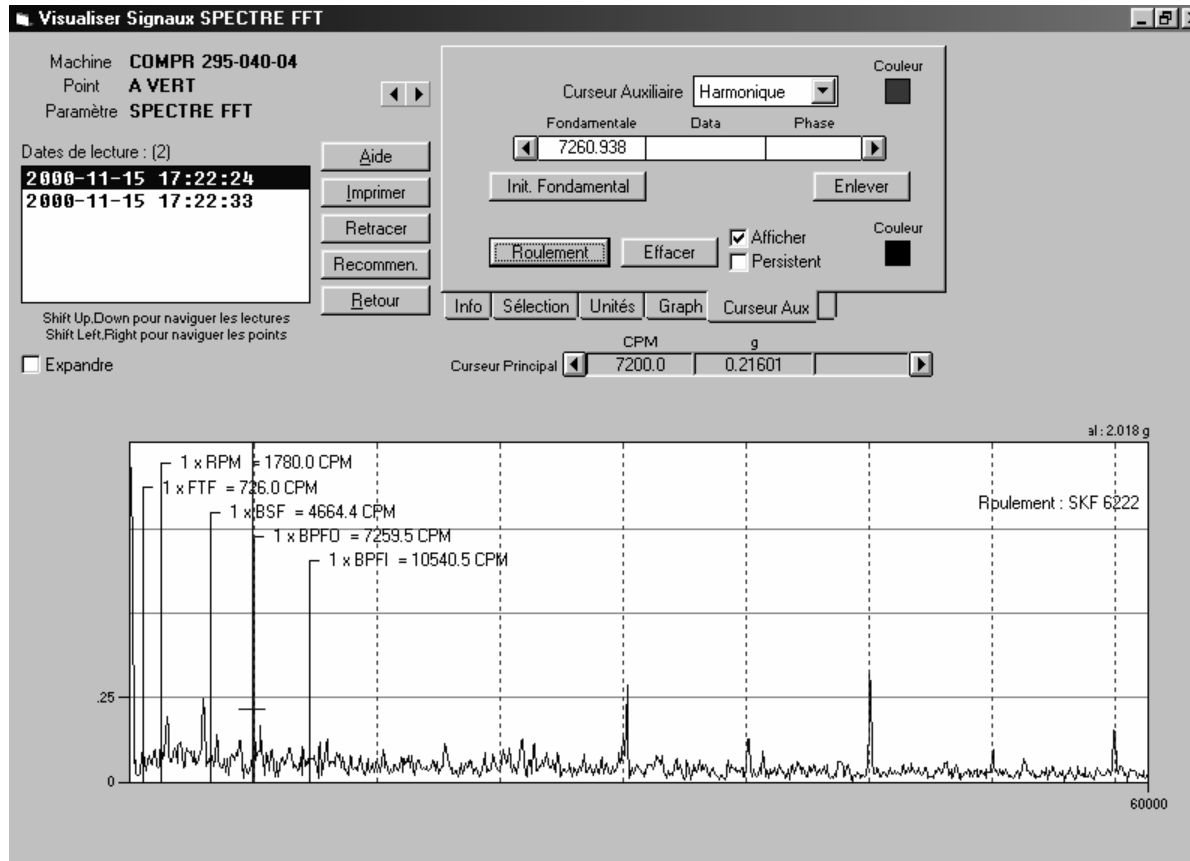
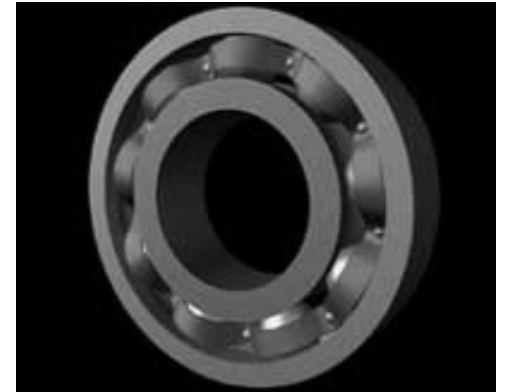
Fréquence de Vibration



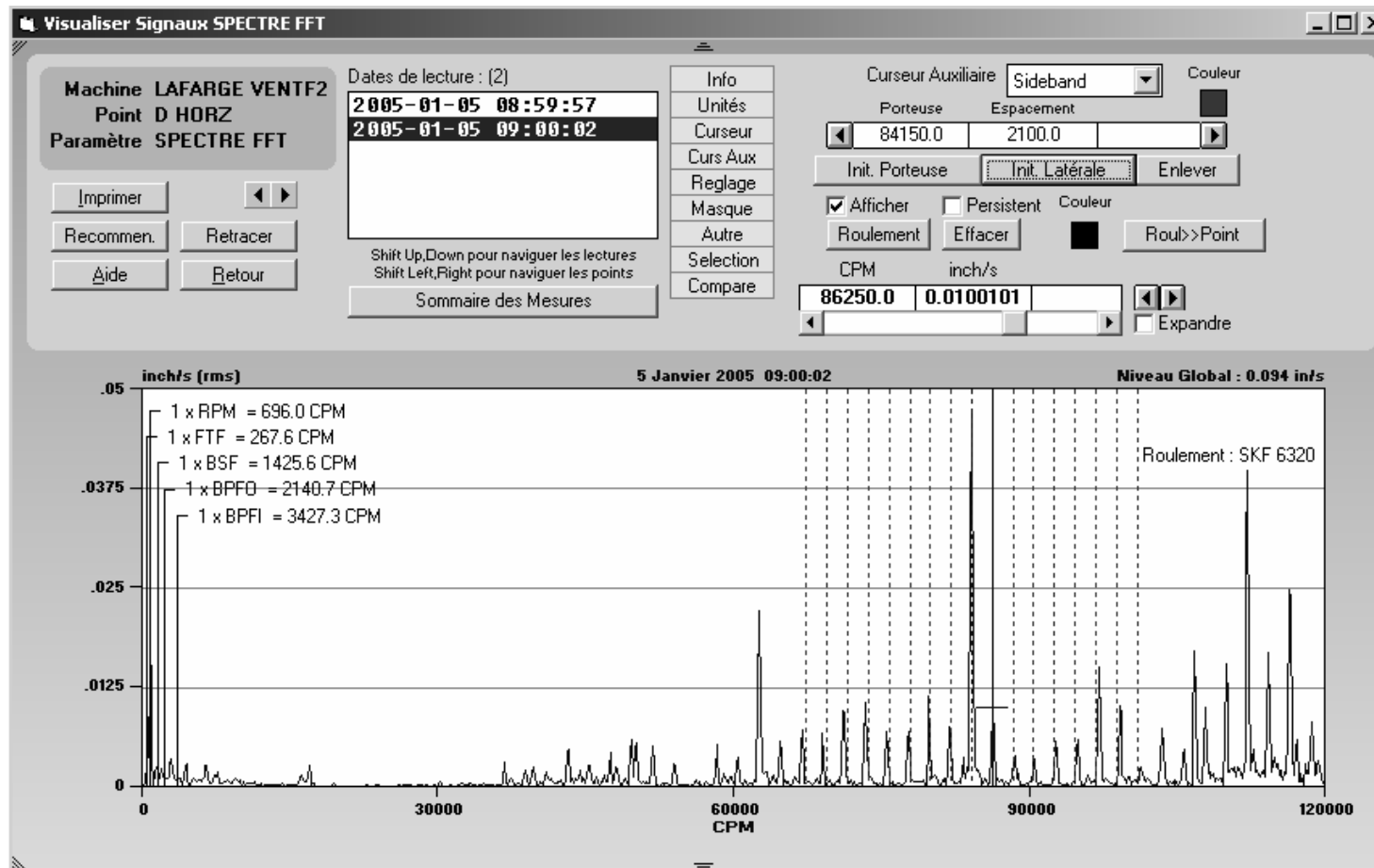
VIBRATIONS D'UN ROULEMENT 6316 A 1800 R.P.M.

MARQUE	#BILLES	FTF	BPFO	BPFI	BSF
FAFNIR	8	682.20	5462.996	8937.000	3511.804
FAG	8	694.44	5551.200	8856.000	3726.000
MRC	8	682.20	5462.996	8937.000	3511.804
NAC	8	689.36	5634.036	8766.036	3726.000
NSK	8	694.80	5554.796	8845.200	3731.400
NTN	8	694.80	5554.796	8845.200	3731.400
RHP	8	695.52	5564.160	8835.480	3758.400
SKF	8	694.80	5554.796	8845.200	3731.400

Analyse d'Enveloppe

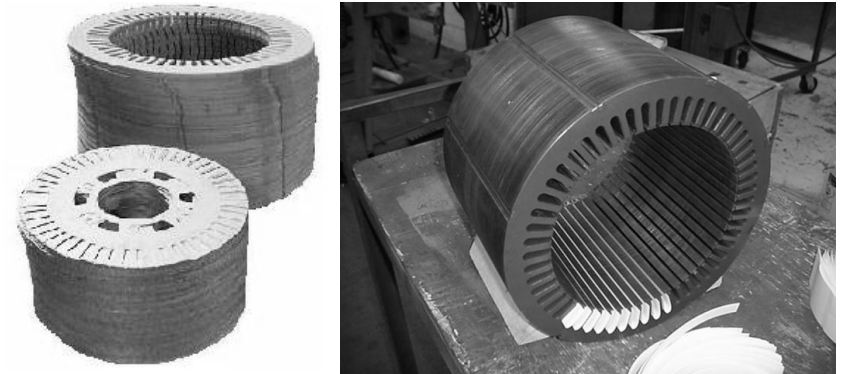


Usure d'un roulement par courant



On note des bandes latérales du BPFO autour de 80 X RPM

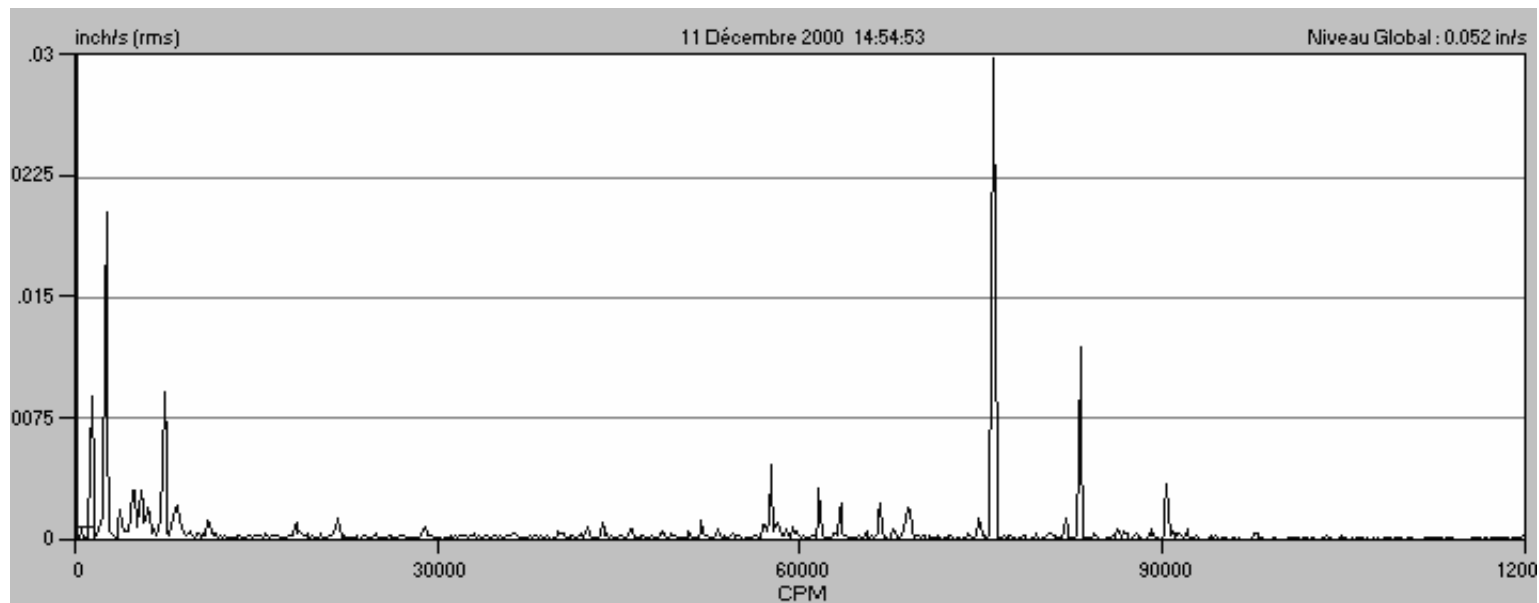
Vibration à 120 Hz



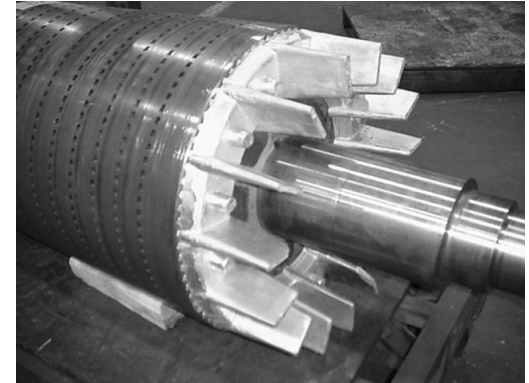
- ✓ Cette vibration, même à des amplitudes élevées est normale dans les moteurs monophasés.
- ✓ Vérifiez pour la présence de pieds boiteux.
- ✓ Une torsion du stator peut générer cette vibration.
- ✓ Vérifiez le courant d'alimentation. La différence de courant entre les phases devrait être $< 10\%$.
- ✓ Vérifier si le bobinage chauffe.
- ✓ Vérifier le branchement. Faire un plan du raccordement.
- ✓ Dans le cas de gros moteurs, il est possible que le stator ait un jeu excessif dans le bâti. Dans ce cas, il peut aussi y avoir une modulation d'amplitude.

Excentricité Statique

Une vibration dont la fréquence est au nombre de barres du rotor * RPM du moteur avec des bandes latérales à 120 Hz peut indiquer les problèmes suivants:



Excentricité Statique



Indique une excentricité statique de l'entrefer.

Vérifier la rondeur du stator (re-lamination).

Un pied boiteux, ou toute autre composante qui pourrait créer une modification du champ magnétique.

Vérifiez la fréquence naturelle des ailettes de refroidissement du rotor et jeu au niveau des accessoires du rotor. (i.e. ventilateur)

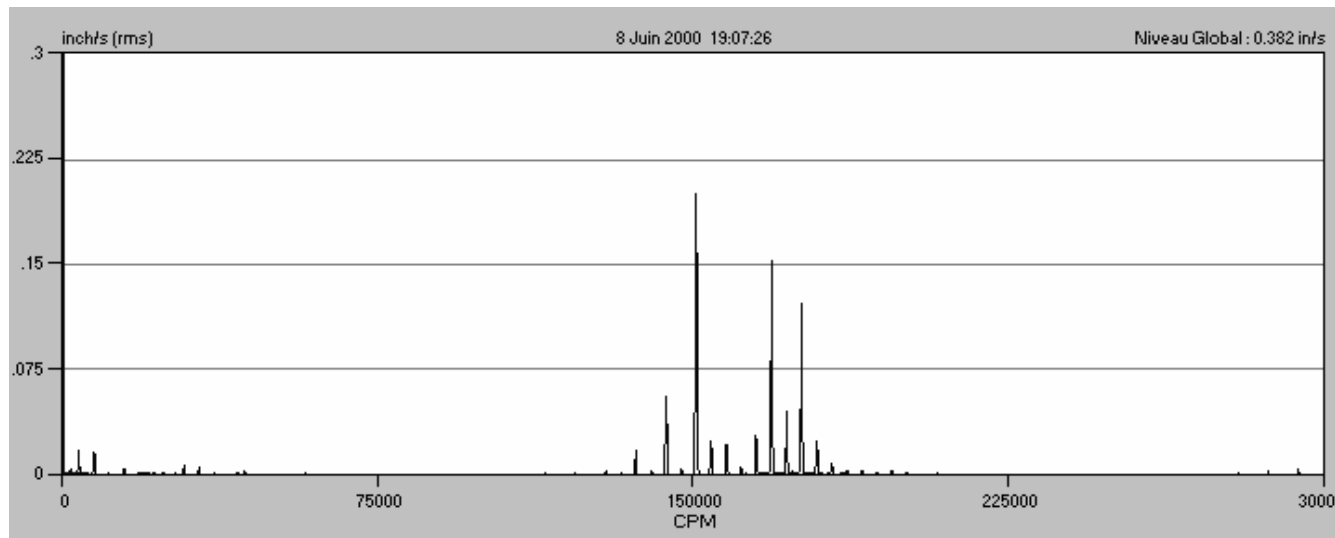
Vérifiez le type de barres sur le rotor.

C'est peut-être l'indication que les barres sont lâches.

Cette vibration n'est pas nécessairement reliée aux barres de rotor fracturées.

Excentricité Dynamique

Une vibration électrique dont la fréquence est au nombre de barres du rotor * RPM du moteur avec des bandes latérales à $1 \times \text{RPM}$ du moteur peut indiquer les problèmes suivants:



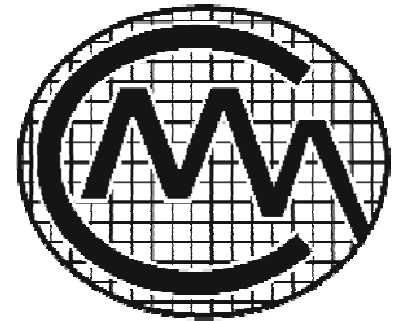
Excentricité Dynamique



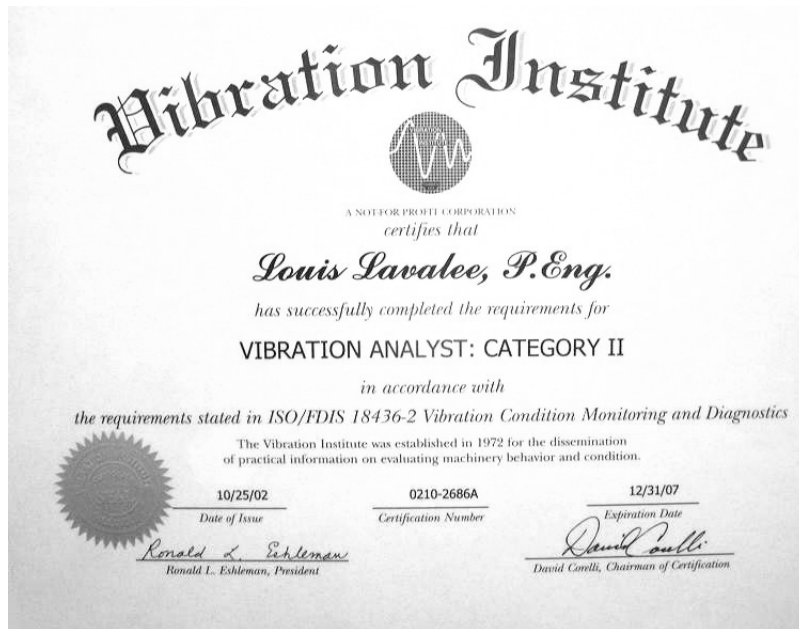
- ✓ Indique une excentricité dynamique de l'entrefer.
- ✓ Vérifier la rondeur du rotor (re-lamination).
- ✓ Cette vibration n'est pas nécessairement reliée aux barres de rotor fracturées.
- ✓ Indique un jeu mécanique au niveau des roulements.
- ✓ Vérifier les jeux (fit) des roulements.
- ✓ Roulement à rouleaux du côté D.E.

Information sur Internet

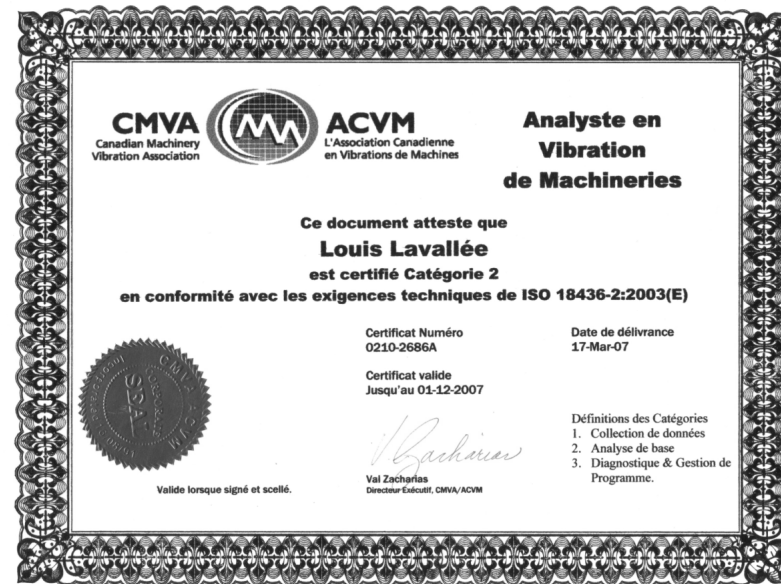
- ✓ <http://www.cmva.com/>
- ✓ <http://www.vibrate.net/>
- ✓ <http://www.entek.com>
- ✓ <http://www.compsys.com/index.html>
- ✓ <http://www.intlmeas.com/>
- ✓ <http://www.nsk-rhp.ca/fr/>
- ✓ <http://www.timken.com/>
- ✓ <http://www.bearingsfag.com/>
- ✓ <http://www.skf.ca/>
- ✓ <http://www.ntn.ca/>
- ✓ <http://www.reliability-magazine.com/>



Certificat ISO 18436-2



Certificat Vibration Institute



Certificat CMVA

www.vibinst.org, www.cmva.com

FIN !






Merci de votre participation !

**Pour toutes questions n'hésitez pas à
communiquer avec moi,**

Louis Lavallée, ing.

lavalleel@delstar.qc.ca

**Toute reproduction totale ou partielle et par quelque moyen que
ce soit est interdite à moins d'une autorisation écrite de l'auteur.**

ÉVALUATION DE LA RENCONTRE						
1. Les objectifs du cours ont été atteints	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. L'information présentée était facile à comprendre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Les exemples et graphiques m'ont aidé à comprendre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. La répartition du temps par thème était adéquate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Les apprentissages faits vont m'être utiles dans mon travail	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Le matériel utilisé était adéquat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Le local était adéquat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. L'attitude et le comportement du formateur ont favorisé mon apprentissage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Le formateur était compétent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Je recommanderais cette formation à mes collègues	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. De façon générale, je suis satisfait de la formation reçue	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entreprise : _____ Nom: _____ Commentaires & suggestions : _____ _____						
Date: _____ Titre: <i>Vibration et Entretien des moteurs électriques</i>						