

## ACVM - Catégorie 3 Diagnostics et Gestion de Programme

### Objectifs de Performance

Les candidats de la Catégorie 3 sont aussi responsables pour tous les objectifs de performance des Catégories 1 et 2.

Les Objectifs de Performance sont basés sur ISO 18436-2:2014(E) et sont complémentaires à ce document. Les questions d'examen et les objectifs ont tous été fournis par des bénévoles, membres de l'ACVM et ont été élaborés sur une période de deux ans. Tous les examens ont le même pourcentage de questions par sujet principal tel qu'indiqué dans l'entête de chaque sujet.

Ce document est disponible sur le site [www.cmva.com](http://www.cmva.com) et accessible aux membres de l'ACVM. Vérifiez souvent les mises-à-jour. Envoyez vos commentaires à [director@cmva.com](mailto:director@cmva.com) si vous pensez que des changements sont nécessaires, changements qui doivent être compatibles avec la norme ISO 18436-2.

Les examens sont étroitement liés à ces objectifs. Si vous les maîtrisez bien, vous devriez être capable de passer l'examen. Il faut obtenir une note de passage de 75% pour réussir un examen.

#### Nombre d'Heures Allouées pour Écrire un Examen

Catégorie	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
# de questions	60	100	100	60
# d'heures allouées	2	3	4	5

1	Principes de vibration 5%	5
1.1	Mouvement vibratoire	5
1.2	Mesures conventionnelles d'amplitude (crête, crête-à-crête, valeur efficace/moyenne quadratique [rms]) ref : niveaux globaux	5
1.3	Paramètres (déplacement, vitesse, accélération)	5
1.4	Unités, conversions d'unités	6
1.5	Domaines temporels et fréquentiels	6
1.6	Vecteurs	6
1.7	Modulation	6
1.8	Phase	6
1.9	Modes naturels et fréquences naturelles, résonance, vitesses critiques	7
1.10	Force, réponse, amortissement, rigidité	7
2	Acquisition des données 5%	7
2.1	Sélection de l'instrumentation	7
2.2	Gamme dynamique [Dynamic Range (DR)], ratio signal/bruit [Signal to Noise Ratio (SNR)]	8
2.3	Capteurs de vibration	8
2.3.1	Accéléromètres	8
2.3.2	Capteurs de vitesse	9
2.4	Méthodes de montage et fréquence naturelle de montage des capteurs sismiques	9
2.5	Capteurs sans contact	10
2.6	Filtre passe-bas [Low-Pass Filtering (Fmax)]	10
2.7	Filtre passe-haut [High-Pass Filtering (Fmin)] ou fréquence de point de coupure	10
2.8	Temps d'acquisition	10
2.9	Résolution efficace	10
2.10	Exemples de déclenchement [Triggering]	11
2.11	Planification de test	11
2.12	Formats de données	11
2.13	Reconnaissance de données erronées	11
2.14	Procédures de test	12
3	Traitement de signal 7%	13
3.1	Données statiques et dynamiques	13
3.2	Échantillon analogique, échantillon numérique	13
3.3	Compilation Transformation de Fourier Rapide [Fast Fourier Transform (FFT)]	13
3.4	Fenêtres temporelles (uniforme, Hanning, aplatie [flat-top])	13
3.5	Anti-distorsion de repliement [Anti-aliasing]	13
3.6	Bande passante [Bandwidth]	14
3.7	Filtres	14
3.8	Moyenne	14
3.9	Gamme dynamique (voir Acquisition de données)	14
3.10	Représentations spectrales	14
4	Surveillance continue 8%	15
4.1	Base de données de l'ordinateur	15
4.2	Définir l'étendue du programme	15
4.3	Montage/Réglage d'une route	15

4.4	Réglage des alarmes.....	16
4.5	Évaluation des mesures balises [baselines], tendances.....	16
4.6	Technologies alternatives.....	16
5	Analyse d'anomalies 20%.....	17
5.1	Onde mono canal et spectre.....	17
5.2	Enveloppe.....	18
5.3	Analyse orbitale c.à-d. Affichages X-Y ou Figures de Lissajous.....	18
5.3.1	Affichage.....	18
5.3.2	Échantillon simultané.....	18
	Expliquer pourquoi les signaux doivent être échantillonnés simultanément (et non pas multiplex ni échantillonnés de façon séquentielle).....	18
5.3.3	Pour des orbites d'arbre non filtrées avec repère de phase une fois par tour:.....	18
5.3.4	Pour des orbites d'arbre et des orbites séismiques si vous avez un filtre et un repère de phase une fois par tour:.....	18
5.4	Déviation opérationnelle de la fréquence rotative.....	19
5.5	Identification d'anomalie à partir d'une analyse en état de régime permanent.....	19
5.6	Analyse transitoire (démarrage, arrêt).....	21
5.6.1	FRF (Fonction de Réponse Fréquentielle) ou tracé de Bode.....	21
5.6.2	Interprétation tracés de Bode et tracés polaires (Nyquist):.....	21
5.6.3	Analyse de l'axe d'un arbre.....	21
6	Action corrective 15%.....	22
6.1	Gérer une action corrective.....	22
6.1.1	Mesures supplémentaires.....	22
6.1.2	Actions.....	22
6.1.3	Documenter le processus – voir aussi Section 11.....	22
6.1.4	Évaluation du programme – voir aussi section 11.....	23
6.2	Problèmes mécaniques lors d'une installation ou réglage.....	23
6.3	Problèmes d'anomalies de composantes.....	23
6.3.1	Composantes rotatives défectueuses.....	23
6.3.2	Paliers à coussinet [sleeve bearings] ou paliers à patins oscillants [tilting pad bearings].....	24
6.3.3	Butées à patins oscillants [Tilting pad thrust bearings].....	24
6.4	Moteurs.....	24
6.4.1	Problèmes électriques sur moteur.....	24
6.4.2	Problèmes mécaniques sur moteur.....	24
6.5	Problèmes vibratoires dus à un débit forcé.....	24
6.6	Problèmes de résonance.....	25
6.7	Équilibrage de compensation sur place [Field trim-balancing].....	25
7	Connaissance de l'équipement 10%.....	27
7.1	Étendue et procédure.....	27
7.2	Composantes de machineries.....	27
7.2.1	Paliers à roulements.....	27
7.2.2	Paliers à coussinet [Sleeve bearings].....	27
7.2.3	Paliers à patins oscillants [Tilting Pad Bearings].....	27
7.2.4	Joints d'étanchéité.....	27
7.2.5	Accouplements.....	28

7.2.6	Courroies.....	28
7.3	Moteurs électriques, génératrices et mécanismes d'entraînement [drives].....	28
7.3.1	Moteurs à induction .....	28
7.3.2	Moteurs synchronisés.....	28
7.3.3	Moteurs DC – Moteurs à courant continu.....	28
7.3.4	Mécanismes d'entraînement à fréquence variable [Variable Frequency Drives (VFD's)].....	28
7.4	Ventilateurs .....	29
7.5	Pompes centrifuges .....	29
7.6	Boîtes d'engrenage.....	29
7.7	Structures et tuyauterie.....	29
7.8	Compresseurs réciproques et Moteurs réciproques.....	29
7.8.1	Mise en garde.....	29
7.8.2	Modes de comportement.....	30
7.8.3	Techniques .....	30
7.9	Machines spécialisées .....	30
8	Test d'acceptation 5%.....	31
8.1	Étendue et définitions.....	31
8.2	Spécifications et normes.....	31
8.3	Procédure de test .....	31
8.4	Rapports .....	31
9	Vérification d'équipement et diagnostics 8%.....	33
9.1	Test de réponse forcée incluant un test d'impact .....	33
9.2	Analyse transitoire.....	33
9.3	Déviation opérationnelles [Operating deflection shapes (ODS)] – voir aussi section 5.	33
10	Normes de référence 5% .....	34
11	Rapports & documentation 5% – voir aussi section 6.....	35
11.1	Rapports de surveillance continue – État des machines.....	35
11.2	Rapports de surveillance continue – Généralités du programme .....	35
11.3	Rapports de diagnostics vibratoires.....	36
11.3.1	Rapport normal .....	36
11.3.2	Rapport urgent effectué immédiatement sur les lieux .....	36
11.4	Documentation.....	36
12	Détermination de la sévérité d'une anomalie 7% Voir aussi section 6.....	37
12.1	Mode échec et urgence .....	37
12.2	Évaluer les conséquences. ....	37
12.3	Recommandations .....	37

# 1 Principes de vibration 3%

## 1.1 *Mouvement vibratoire*

Définir mouvement périodique, amplitude, fréquence, période de temps.

Définir le lien entre des mesures angulaires en radians et en degrés.

Définir le lien entre la vitesse angulaire mesurée en radians par seconde, la vitesse de rotation mesurée en révolutions par minute et la fréquence de rotation mesurée en Hz.

Définir les conventions concernant l'amplitude: crête, crête à crête et valeur efficace/moyenne quadratique (rms).

Définir le sinus et cosinus des fonctions trigonométriques et leur lien avec le domaine temporel simple d'une onde vibratoire.

Expliquer la périodicité dans une onde complexe (plusieurs éléments).

Convertir des données rms en amplitude crête et vice versa sur l'onde pure d'un simple élément.

Expliquer pourquoi on ne peut convertir tout simplement une amplitude rms en amplitude crête sur une onde complexe.

Définir la rigidité d'un ressort.

Définir un amortissement visqueux (vitesse).

Expliquer le comportement d'un système d'amortissement de masse à ressorts en vibration libre.

## 1.2 *Mesures conventionnelles d'amplitude (crête, crête-à-crête, valeur efficace/moyenne quadratique [rms]) ref : niveaux globaux*

Choisir la convention appropriée pour mesurer l'amplitude (crête, rms) dans une onde temporelle en vous basant sur les paramètres utilisés (déplacement, vitesse, accélération), le type de capteur et les méthodes habituelles de votre usine.

Expliquer le pour et le contre d'une "crête" versus "rms" en respectant les niveaux globaux et en vous basant sur les caractéristiques de la machine surveillée et ses types d'anomalies habituelles.

Distinguer entre la crête véritable et la valeur (communément appelé pseudo-crête) dérivée d'une lecture rms en multipliant par la racine carrée de 2.

Définir le facteur de crête.

Expliquer l'utilité du facteur de crête.

## 1.3 *Paramètres (déplacement, vitesse, accélération)*

Sur une onde vibratoire simple sinusoïdale, trouver la vitesse et l'accélération à partir du déplacement et vice-versa. Faire la distinction entre des valeurs instantanées et des valeurs crête.

Choisir les paramètres appropriés pour mesurer la vibration sur différents types d'équipements et leurs différents types d'anomalies/bris. Utiliser la même liste d'équipements que ceux présentés à la Section 7 de ce document.

Faire la distinction entre une vibration sismique et une vibration de l'arbre reliée au bâti [housing] et déterminer où chaque type de mesures serait approprié.

### **1.4 Unités, conversions d'unités**

Maîtriser les unités et les conversions d'unités mentionnées dans la Référence 3.

Interpréter les échelles linéaires et logarithmiques incluant les décibels (dB). Choisir la bonne échelle pour chaque application.

### **1.5 Domaines temporels et fréquentiels**

Faire le lien entre des tracés de domaine temporel et des tracés de domaine fréquentiel.  
Définir le concept de Fourier qui traite de superposition d'éléments en des termes qualitatifs.  
Définir une analyse de Fourier en des termes qualitatifs (non-mathématiques).

### **1.6 Vecteurs**

Faire la distinction entre des quantités scalaires et vectorielles.  
Indiquer où sont les vecteurs de rotation dans un contexte de vibration et de déséquilibre.  
Faire le lien entre un vecteur de rotation et une onde temporelle spécifique à un domaine.  
Additionner et soustraire des vecteurs.

### **1.7 Modulation**

Expliquer la modulation dans une onde. Faire la distinction entre une modulation d'amplitude (AM) et une modulation de fréquence (FM). Faire le lien avec des spectres. Identifier des modèles d'ondes temporelles dus à la modulation et expliquer le phénomène.

### **1.8 Phase**

Définir un comportement vibratoire en phase et en opposition de phase sur une machine rigide.  
Définir une phase relative à une fréquence simple sur des mesures prises à différents endroits.  
Déterminer, en termes de phase, le lien entre deux signaux de temps sinusoïdaux.

Définir la relation entre la phase absolue et la pulsation de référence à une fois par tour.

Expliquer la convention contre la direction de la rotation et comment celle-ci diffère de la méthode plus répandue où on mesure dans la direction de la rotation.

Expliquer un décalage de phase et montrer des exemples.

## **1.9 Modes naturels et fréquences naturelles, résonance, vitesses critiques**

Définir des modes naturels et des fréquences naturelles.

Reconnaître que les machines et leurs structures ont plusieurs fréquences naturelles et les identifier.

Expliquer, en termes qualitatifs, les modes vibratoires de translation et de rotation sur le boîtier d'une simple machine reposant sur quatre supports verticaux flexibles.

Démontrer, en termes qualitatifs, les modes naturels et les fréquences naturelles sur un arbre reposant sur deux paliers flexibles.

Expliquer comment les modes naturels et les fréquences naturelles affectent une réponse vibratoire.

Expliquer la résonance. Démontrer en détail comment on évite la résonance en modifiant la force, la fréquence ou la réponse.

Expliquer les "vitesses critiques" en relation avec les fréquences naturelles d'un système de support avec un rotor monté sur paliers.

Démontrer que les propriétés des machines affectent la vitesse critique.

Expliquer la signification des vitesses critiques tout en tenant compte des résultats indiquant un déséquilibre.

Discuter de la provenance des forces déséquilibrantes reliées à la forme modulaire et discuter de leur importance.

### **1.10 Force, réponse, amortissement, rigidité.**

Démontrer la forme de la fonction de réponse fréquentielle [frequency response function (FRF)] sur un amortisseur de masse à ressorts, système à simple degré de liberté [degree of freedom (DOF)], soumis à une force de magnitude constante à fréquences variables.

Démontrer les effets lorsqu'on varie l'amortissement dans le système à simple degré de liberté [DOF] soumis à une force de magnitude constante à fréquences variables.

Démontrer la forme de la fonction de réponse fréquentielle [FRF] pour un amortissement de masse à ressorts, système à simple degré de liberté [DOF], soumis à une force rotative déséquilibrée à des fréquences variables.

Démontrer le décalage de phase tout en tenant compte d'un déséquilibre rotatif de la fonction de réponse fréquentielle [FRF].

## **2 Acquisition des données 5%**

### **2.1 Sélection de l'instrumentation**

Sélectionner des instruments appropriés incluant le matériel électronique, capteurs ex: accéléromètres de type charge versus de type voltage, accéléromètres de type cisaillement ou de type compression, accéléromètres en céramique à haute température, accéléromètres IEPE

[Integral Electronics Piezoelectric] ou capteurs à vélocité (communément appelés par leur marque de commerce: ICP, DeltaTron, Isotron, CCLD et ACOTRON), capteurs résistants à la corrosion, capteurs sans contact; tous utilisés dans le cadre d'un programme de surveillance continue, un programme permanent ou propre à l'investigation d'un problème spécifique.

Choisir des instruments qui rencontrent les normes de sécurité requises ex : appareil à sécurité intrinsèque si nécessaire.

Choisir un ordinateur permanent ou un portable, un système périodique (basé sur une route), visant à combler les objectifs de l'usine ; un système efficace établi selon les ressources disponibles.

Si nécessaire, choisir des instruments différents selon les objectifs qu'on cherche à combler soit un objectif de prédiction ou un objectif de dépannage [trouble-shooting].

## **2.2 Gamme dynamique [Dynamic Range (DR)], ratio signal/bruit [Signal to Noise Ratio (SNR)]**

Définir gamme dynamique et Ratio signal/bruit en termes analogiques (dB) et numériques (bit).

Distinguer entre gamme dynamique (le ratio de la plus haute amplitude possible avec un signal non déformé sur la plus basse amplitude) et ratio Signal/Bruit (l'amplitude du signal réel sur le plus bas signal déformé). Expliquer les conséquences d'une gamme dynamique insuffisante et comment la compenser.

Identifier ce qui affecte une gamme dynamique et comment ces effets surviennent.

Calculer la gamme dynamique disponible en vous basant sur la capacité en bits de votre instrument.

Reconnaître une onde temporelle ou un spectre pris avec une gamme dynamique insuffisante.

Expliquer les raisons d'un bon ratio Signal/Bruit [SNR] versus un mauvais Ratio Signal/Bruit. Identifier et reconnaître les effets d'un signal contenant une quantité excessive de bruit.

Identifier les techniques pouvant améliorer un ratio Signal/Bruit [SNR].

Discuter d'un ratio Signal/Bruit [SNR] possible ou nécessaire.

Discuter des effets de l'intégration et d'une double intégration sur un ratio Signal/Bruit [SNR].

## **2.3 Capteurs de vibration**

### **2.3.1 Accéléromètres**

Décrire les différents accéléromètres.

Définir le mode cisaillement versus le mode compression et savoir quel mode est le plus approprié pour une situation donnée.

Définir le fonctionnement d'un capteur en mode charge versus en mode voltage et les applications selon les deux modes.



Décrire ce que veut dire: “IEPE [Integral Electronics Piezoelectric]” par rapport à certains accéléromètres et capteurs de vitesse.

Discuter de la sensibilité et de la réponse de fréquence maximale de chacun des différents accéléromètres. Comparer les différents types d'accéléromètres et discuter du pour et du contre d'un type d'accéléromètre versus un autre.

### 2.3.2 Capteurs de vitesse

Décrire ce que requiert, en termes de circuits, un capteur de vitesse ICP® comparé à un accéléromètre ICP® [inductively coupled plasma] – (plasma inductif).

Décrire ce qu'est un capteur de vitesse à lecture électrodynamique [moving coil velocity transducer] ; ses avantages et désavantages comparés à un capteur de vitesse ICP®.

Décrire un capteur de vibration sans contact à courant de Foucault [eddy-current non-contact vibration transducer].

Définir la convention qui prône un mouvement en direction positive tout en respectant l'orientation du capteur.

Définir et expliquer les situations où on utilise un repère de phase/de vitesse une fois par tour. Décrire plusieurs façons de créer un repère de phase/de vitesse une fois par tour incluant des installations temporaires avec commande numérique par ordinateur [soft-wired, temporary installations] et des installations permanentes.

Reconnaître et expliquer l'importance de

- gamme de fréquence utilisable
- limites de température
- élément piézoélectrique en céramique ou en quartz
- sonde à courant de Foucault [eddy current probes]
- facteur échelle
- calibration
- biais voltage (accéléromètres et capteurs de vitesse)
- la fréquence naturelle de chaque capteur (accéléromètres et capteurs de vitesse)
- capteur hors de ses limites - surcharge.

Spécifier le capteur approprié selon la gamme de fréquence et les facteurs cités ci-dessus.

## 2.4 Méthodes de montage et fréquence naturelle de montage des capteurs sismiques

Décrire les différentes méthodes de montage des capteurs sismiques (accéléromètres et capteurs de vitesse) ainsi que la gamme fréquentielle utilisable pour chacun. Expliquer le pour et le contre de chaque méthode de montage.

Identifier et expliquer comment éviter les problèmes liés au montage – ex: stress sur l'accéléromètre parce qu'on l'a monté sur une surface accidentée.

Décrire les problématiques de mise à la terre sur des capteurs permanents et expliquer comment résoudre ces problèmes.

## **2.5 Capteurs sans contact**

Décrire le montage et les fonctions d'un capteur sans contact à courant de Foucault [eddy-current non-contact probe].

Expliquer l'importance et l'utilisation d'un voltage à écart moyen.

Décrire les effets d'une résonance due au montage sur le signal d'un capteur à courant de Foucault.

Décrire comment on vérifie, avec un voltmètre, si les mesures prises avec le senseur ont un écart [gap].

Décrire comment calibrer, sur place, un capteur à courant de Foucault en fonction du matériau de l'arbre.

Décrire le type d'application où l'utilisation d'un capteur sans contact serait plus efficace qu'un simple accéléromètre et expliquer pourquoi.

## **2.6 Filtre passe-bas [Low-Pass Filtering ( $F_{max}$ )].**

Expliquer le but visé en utilisant l'option fréquence maximale ( $F_{max}$ ) afin que seul les composantes de vibration dont la fréquence est sous le  $F_{max}$  s'enregistrent et soient incluses dans les calculs de niveau global.

Décrire les problématiques liées au choix d'une option de fréquence maximale ( $F_{max}$ ) selon différentes applications.

Discuter du pour et du contre de ce filtre en conservant la même fréquence maximale ( $F_{max}$ ) durant tout le programme de surveillance continue ou en utilisant une fréquence maximale différente durant tout le programme de surveillance continue.

## **2.7 Filtre passe-haut [High-Pass Filtering ( $F_{min}$ )] ou fréquence de point de coupure.**

Expliquer le but visé en indiquant une fréquence minimum afin que seules les composantes de vibration au-dessus de la fréquence s'enregistrent.

## **2.8 Temps d'acquisition.**

Calculer le temps d'acquisition des données sur un point échantillon en prenant en considération le  $F_{max}$ , le nombre de lignes de résolution, le nombre d'échantillons utilisés pour calculer la moyenne et le chevauchement [overlap].

## **2.9 Résolution efficace**

Définir une résolution efficace. Faire la distinction entre une résolution efficace et la plus basse fréquence résoluble d'un analyseur.

Expliquer, à l'aide d'exemples, comment établir les paramètres adéquats pour obtenir la bonne résolution appropriée à une lecture.

Choisir le Fmax approprié, le nombre de lignes et la fonction fenêtre afin d'obtenir la résolution efficace appropriée.

Calculer la plus basse fréquence résoluble.

## **2.10 Exemples de déclenchement [Triggering]**

Choisir la méthode de déclenchement (marteau (force), amplitude, vitesse, pulsation une fois par révolution, plusieurs fois par révolution, manuel, temps, non asservi [free-run],) en vous basant sur les objectifs de mesure.

Expliquer les caractéristiques physiques d'un déclencheur logique transistor-transistor (TTL).

Expliquer les caractéristiques physiques d'un déclenchement analogique.

Expliquer le pour et le contre d'un déclencheur TTL versus un déclencheur analogique.

## **2.11 Planification de test**

Planifier la périodicité de la fréquence des collectes de données dans le but de tirer des tendances, basées sur les objectifs du programme, l'importance critique, les ressources disponibles et le cycle de défaillance.

Planifier un test qui permettra d'identifier une ou plusieurs des anomalies mentionnées à la section 5. De plus, ce test devra indiquer les objectifs visés, identifier les points de mesure et les types de mesures, déterminer les analyses requises et conceptualiser un rapport.

## **2.12 Formats de données**

Choisir le format de données approprié en vous basant sur les analyses requises ex:

- spectre de fréquence versus Hz,
- inclure un spectre supplémentaire sur le même point de mesure mais avec un Fmax différent,
- inclure des signaux temporels et/ou orbites,
- amplitudes spectrales en crête, crête à crête ou en moyenne quadratique/valeur efficace [rms],
- tracés de données filtrées ou non filtrées,
- amplitudes spectrales électriques en dB afin d'analyser les barres du rotor d'un moteur électrique.
- échelle logarithmique versus échelle linéaire
- échelles d'amplitude en décibels et échelles de bande d'octave de fréquence.

## **2.13 Reconnaissance de données erronées**

Reconnaître les caractéristiques typiques de données erronées ex: spectres en pente de ski, ondes avec brouillage à bruit écrêté [clipped wave-forms], signaux saturés.

Être conscient des sources de données erronées tels des câbles problématiques, de connections défaillantes, blindage inadéquat et mauvais type de câble, adaptateurs défectueux et les effets de la température.

Entreprendre des investigations quant à la collecte des données afin de vous assurer que les données sont bonnes même si elles sont prises dans des circonstances complexes telles des machines à basse vitesse ou des machines à vitesse variable.

## ***2.14 Procédures de test***

Développer et exécuter les procédures de test que ce soit pour la surveillance continue ou pour des diagnostics.

## **3 Traitement de signal 11%**

### **3.1 Données statiques et dynamiques.**

Définir ce qu'est une donnée statique.

Définir ce qu'est une donnée dynamique.

Expliquer pourquoi il est plus difficile d'accumuler une large quantité d'échantillons de données dynamiques que d'accumuler la même quantité d'échantillons de données statiques ex :

sauvegarder une valeur (signal temporel) à chaque point échantillonné.

Expliquer les utilisations, avantages et désavantages des données du domaine temporel versus les données du domaine fréquentiel.

### **3.2 Échantillon analogique, échantillon numérique**

Décrire un signal analogique; comment il est acquis et comment l'enregistrer.

Décrire un signal numérique; comment il est acquis et comment l'enregistrer.

Énumérer les avantages et désavantages d'enregistrer un signal analogique destiné à être utilisé ultérieurement.

Discuter des limites associées à ne sauvegarder qu'un signal numérique.

Expliquer comment le fait d'accumuler un taux très élevé d'échantillons enregistrés sur un instrument avec beaucoup d'espace mémoire atténue le côté très négatif de l'échantillonnage numérique.

Expliquer les principaux avantages associés à l'échantillonnage numérique.

Définir 8 bits, 16 bits, 32 bits etc. dans un contexte d'amplitude de vibration et expliquer les bénéfices associés aux résultats avec des nombres élevés.

### **3.3 Compilation Transformation de Fourier Rapide [Fast Fourier Transform (FFT)]**

Expliquer, en des termes non mathématiques, la fonction Transformation de Fourier et la fonction Transformation de Fourier Rapide (FFT).

Expliquer l'objectif d'avoir le FFT dans une puce insérée dans des instruments vibratoires.

### **3.4 Fenêtres temporelles (uniforme, Hanning, aplatie [flat-top])**

Expliquer pourquoi la fonction Fenêtre est nécessaire si on veut effectuer des calculs FFT.

Faire le lien entre une amplitude précise et une fréquence précise selon le choix de type de fenêtres. Comparer les résultats de calculs FFT selon un signal donné en domaine temporel mais utilisant différentes fenêtres. Discuter des implications associées selon les choix effectués (compromis et contraintes).

Définir une fenêtre exponentielle et identifier dans quelle situation on l'utilise.

### **3.5 Anti-distorsion de repliement [Anti-aliasing]**

Quel est l'effet de l'anti-distorsion de repliement?

Définir les Critères de Nyquist et calculer un exemple simple.

### **3.6 Bande passante [Bandwidth]**

Définir bande passante incluant bande passante constante, % de bande passante constante.

Note: Ne pas confondre avec la résolution ni avec la bande passante dont il est question dans les communications industrielles.

### **3.7 Filtres**

Définir filtre passe-bas, filtre passe-haut, filtre passe-bande et filtre de poursuite [tracking filter].

Discuter des applications des filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande et de poursuite.

Discuter filtre numérique versus filtre analogique, particulièrement en ce qui concerne la flexibilité d'un filtre numérique.

Discuter filtres enveloppe et comment choisir le filtre approprié.

### **3.8 Moyenne**

(Possibilités valeur efficace/moyenne quadratique/rms, possibilités arithmétiques, temps synchronisé, exponentiel)

Discuter de l'utilité des moyennes ex: améliorer la valeur statistique de l'amplitude à une fréquence spécifique, réduire les effets du bruit en faisant la moyenne du signal aléatoire (qui n'améliore pas le Ratio Signal/Bruit [SNR]).

Discuter du nombre optimal d'échantillons dans une moyenne.

Discuter si on conserve ou si on rejette des échantillons.

Discuter le nombre d'échantillons pour obtenir des données en régime permanent, des données transitoires et pour des tests d'impact.

Discuter des utilisations d'une moyenne en temps synchronisé, des problèmes potentiels qui peuvent en découler tel un Ratio Signal/Bruit amélioré mais accompagné d'une perte de données non synchronisées et non harmoniques.

Identifier les applications du mode de retenue de crête [peak hold] (cette option est normalement incluse dans les instruments sous l'option moyenne mais elle n'est pas, en fait, une moyenne) et les applications de chevauchement [overlapping].

### **3.9 Gamme dynamique (voir Acquisition de données)**

Calculer la gamme dynamique en vous basant sur le # de bits.

Définir gamme automatique et son lien avec une gamme dynamique.

### **3.10 Représentations spectrales**

Définir les représentations spectrales: chute d'eau (temps 3e axe), cascade (vitesse 3e axe), diagramme de Campbell) et identifier les applications de chacune (ex: pour des démarrages [start-up] et des arrêts par inertie [coast-down].)

## 4 Surveillance continue 8%

Le choix d'une technique particulière dans un programme de surveillance continue repose, jusqu'à un certain degré, sur les instruments que l'on possède et les logiciels disponibles. Par conséquent, dans cette section, nous traiterons de ce sujet dans des termes généraux.

### 4.1 Base de données de l'ordinateur

Les facteurs qui suivent doivent être pris en considération lors de la programmation d'une base de données sur un ordinateur:

- Établir une cédule pour épurer les données et archiver les données périmées. Agir avec diligence car il faut toujours tenir compte des implications légales qui pourraient surgir.
- Copies de sauvegarde – quelle méthode utilisera-t-on, les implications d'un réseau et la nécessité de protéger les copies de sauvegarde lorsque requis.
- Effectuer des copies de sauvegarde supplémentaires lorsqu'on intervient ailleurs que dans l'usine.
- Effacer, de la base de données, les machines qui ne sont plus opérationnelles.
- Mettre à jour, au besoin, les réglages d'une machine suite à l'apparition de nouvelles anomalies.
- Enregistrer l'historique lorsque des anomalies surgissent et
- Établir une bonne communication avec les personnes concernées afin que les problèmes soient pris en charge.

### 4.2 Définir l'étendue du programme

Déterminer les machines devant être surveillées de façon régulière grâce à un programme basé sur une route; quelles machines devraient être surveillées de façon continue et quelles machines n'ont pas besoin d'être surveillées de façon routinière. Cette classification s'établit en prenant en considération les mesures vibratoires, en identifiant celles qui ont atteint un niveau critique, en évaluant la disponibilité des ressources et en se servant de sa capacité de prédire ce qui va arriver.

Identifier et documenter les anomalies pouvant être détectées ainsi que celles qui ne le seront probablement pas si on privilégie une approche de surveillance basée sur une route.

Expliquer pourquoi un programme de surveillance permanent fonctionnerait, quelles machines devraient être équipées d'un tel système et quelle est la culture de l'usine quant aux alarmes, les avertissements de danger et les déclenchements automatiques.

Vous assurer que toutes les parties concernées connaissent les enjeux et les limites d'un tel système.

### 4.3 Montage/Réglage d'une route.

À partir de la description spécifique d'une machine incluant sa gamme de vitesses:

Faire la liste des lectures appropriées à prendre de façon périodique incluant le type de lecture (accélération, vitesse et déplacement), la gamme de fréquence, l'endroit ou l'identification de la machine ainsi que la(les) direction(s) de la prise des lectures.

Suggérer un laps de temps (période) entre chaque prise de lecture – Attention. Il faut établir une cédule qui permettra de détecter les problèmes tout en prenant en considération les ressources allouées au programme.

Faire la liste des problèmes typiques qui peuvent survenir sur une certaine machine sans qu'on ait besoin de l'arrêter et indiquer quelles lectures seraient appropriées pour identifier chaque problème.

#### **4.4 Réglage des alarmes**

Cette section inclut les absolus, tout changement relatif, les moyennes, les bandes étroites et les enveloppes spectrales.

Régler les niveaux d'alarme de façon appropriée en incluant, dans ses calculs, une combinaison des données suivantes: les absolus, les statistiques, les ratios de la mesure balise ou mesure de référence [baseline]. Il faut également, lorsqu'on détermine des alarmes, tenir compte des anomalies prévisibles, des normes, de l'historique de telle machine ou sur des machines similaires dans l'usine ainsi que les conséquences d'une vitesse variable versus une vitesse fixe. Régler un premier niveau d'avertissement, un deuxième niveau d'avertissement (si requis) et finalement un troisième niveau critique indiquant le danger. Régler les deux alarmes d'avertissement et l'alarme critique à une distance relative en dB si nécessaire. Espacer les deux niveaux d'avertissements avec deux ou plusieurs échelons croissants et finalement définir et ajuster le niveau critique de danger selon chaque situation.

#### **4.5 Évaluation des mesures balises [baselines], tendances.**

Vous assurer que les nouvelles mesures balises sont prises dans des conditions opérationnelles normales et qu'elles sont étiquetées à titre de repères [tag] dans la base de données.

Enregistrer dans la base de données s'il y a de nouvelles anomalies qui ont surgies suite à une réparation ou à un remplacement.

Réviser les données au cas où il y aurait des anomalies répétitives afin d'identifier la source et transmettre les informations à toutes les personnes concernées.

Choisir les tendances des variables appropriées (niveaux globaux, niveaux de bande spectrale) et sélectionner les variables du processus qui sont en évolution et qui peuvent être mis en corrélation avec la vibration.

#### **4.6 Technologies alternatives**

Inclure des analyses d'huile, de la thermographie infrarouge, des analyses de courant de moteur électrique et des émissions acoustiques.

Définir en quoi consistent les outils en diagnostic qu'on vient de mentionner et identifier leurs bénéfices et limites dans un contexte de surveillance continue.

Définir dans quelles situations spécifiques on utilise telle ou telle technologie alternative ; plus spécifiquement de quelle façon ces outils pourraient bonifier les décisions prises.



## 5 Analyse d'anomalies 16%

Les Sections 5 et 9 se chevauchent quelque peu mais la Section 5 traite principalement de l'analyse tandis que la Section 9 traite principalement de tests supplémentaires et de diagnostics.

### 5.1 Onde mono canal et spectre

À partir d'une onde temporelle vibratoire, identifier l'amplitude crête, la fréquence dominante, les battements, la modulation de l'amplitude et de la fréquence (AM et FM) et la troncation.

À partir d'une onde temporelle prise sur un repère une fois par tour, identifier un élément vibratoire dominant qui est:

- Une sous-harmonique exacte de la vitesse de rotation,
- Un multiple exact (harmonique) de la vitesse de rotation,
- Sous synchronisé mais qui n'est pas sous harmonique.

Faire le lien entre un spectre fréquentiel et son tracé d'onde temporel correspondant.

Identifier les bénéfices et limites des analyses en domaine temporel et en domaine fréquentiel et préciser pourquoi ces analyses spécifiques devraient être complémentaires.

À partir d'un spectre vibratoire, identifier les harmoniques de la vitesse de rotation, la vibration sous synchronisée, les harmoniques et sous harmoniques de la fréquence de la vitesse de rotation, les fréquences et harmoniques des anomalies de palier, les fréquences et harmoniques du passage des pales [vane-passing].

Expliquer la différence entre les niveaux globaux analogiques et numériques ainsi que le pour et le contre de chacun.

Expliquer pourquoi un niveau global numérique provenant d'un spectre ne peut être un niveau crête valide.

Expliquer pourquoi un niveau rms (moyenne quadratique/valeur efficace) peut, dans des circonstances optimales, être identique au niveau rms analogique.

Expliquer quels sont les effets d'un filtre passe-bas sur une onde et quels sont les effets par rapport au niveau crête véritable.

Expliquer les effets d'un filtre passe-bas sur un spectre.

Expliquer les effets d'un filtre passe-haut (point de coupure) sur une onde.

Expliquer les effets d'un filtre passe-haut (point de coupure) sur un spectre.

Expliquer pourquoi vous pourriez utiliser les filtres passe-bas et passe-haut dans le réglage de votre route ou lors de l'acquisition de données de dépannage [trouble-shooting].

## **5.2 Enveloppe**

Définir la démodulation de l'accélération lorsqu'il est question de détecter des paliers endommagés. Connaître les gammes filtrées et la méthodologie de la technique que vous utilisez. Identifier les anomalies pouvant être détectées avec cette méthode.

## **5.3 Analyse orbitale c.à-d. Affichages X-Y ou Figures de Lissajous**

### **5.3.1 Affichage**

Faire la démonstration que deux signaux orthogonaux simultanés représentent le mouvement physique d'un arbre ou d'un bâti de palier dans un espace bidimensionnel.

### **5.3.2 Échantillon simultané**

Expliquer pourquoi les signaux doivent être échantillonnés simultanément (et non pas multiplex ni échantillonnés de façon séquentielle).

### **5.3.3 Pour des orbites d'arbre non filtrées avec repère de phase une fois par tour:**

Faire des déductions quant aux possibilités problématiques à partir de différentes formes orbitales de l'arbre.

Expliquer la signification probable de:

- Forme tronquée ou "écrêtée [chopped-off]",
- Orbite extrêmement plate,
- Orbite en figure de huit,
- Orbite large très ronde dont la grandeur s'approche de la grandeur du jeu diamétral d'un palier,
- Elliptique grand et large ou une orbite ronde lorsque vous savez, grâce à un FFT, que l'élément majeur est la fréquence de la vitesse de rotation.
- Orbite contenant une boucle intérieure ou plusieurs boucles intérieures,
- Orbite contenant plusieurs boucles extérieures,
- Orbite extrêmement petite.

### **5.3.4 Pour des orbites d'arbre et des orbites séismiques si vous avez un filtre et un repère de phase une fois par tour:**

Déduire la plus importante contribution modale sur une déviation opérationnelle en utilisant des orbites à plusieurs endroits, filtrées à la fréquence de la vitesse de rotation et un repère de phase une fois par tour.

Déterminer s'il y a une composante vibratoire sous synchronisée ou en sous harmonique en utilisant un repère de phase.

Déterminer (ceci en plus d'ondes temporelles) à l'aide de repères de phase une fois par tour, si la vibration est super synchrone ou harmonique.

Déterminer la direction du mouvement de précession indiqué par un repère de phase une fois par tour. Ce dernier indique un vide ou presque un vide de la partie d'une pulsation survenue en premier.

Orienter correctement les deux capteurs selon toutes les situations ci-dessus à partir des configurations des installations des différents senseurs.

Utiliser une forme orbitale de vélocité afin de déterminer si la rigidité dynamique de la structure est très directionnelle.

Utiliser la forme d'une orbite séismique avec un repère de phase une fois par tour afin d'évaluer l'ampleur du déséquilibre.

Compenser graphiquement une orbite filtrée à "1X" lors d'un faux-rond/déformation dimensionnelle [run-out].

Faire la démonstration de la façon de décomposer une orbite elliptique en deux orbites circulaires, une représentant le mouvement de précession des composantes qui vont de l'avant et l'autre le mouvement de précession des composantes qui vont en sens contraire.

#### **5.4 Déviation opérationnelle de la fréquence rotative.**

Voir Section 9.

#### **5.5 Identification d'anomalie à partir d'une analyse en état de régime permanent**

Identifier les anomalies spécifiques ou possibles en vous servant de n'importe quelle combinaison de techniques disponibles d'analyse en état de régime régulier:

- Signaux temporels mono canal ou double canaux avec ou sans repère de phase une fois par tour,
- Spectres de fréquence mono canal ou double canaux.
- Orbites d'arbre ou séismiques, avec ou sans repère de phase une fois par tour.

Identifier s'il y a désalignement et faire la distinction entre un désalignement angulaire et un désalignement parallèle.

Identifier s'il y a jeu mécanique et faire la distinction entre jeu, frottement et désalignement.

Identifier s'il y a déséquilibre. Faire la distinction entre les caractéristiques d'un déséquilibre et celles d'autres anomalies. Effectuer d'autres analyses supplémentaires ou procédures visant à clarifier la situation.

Identifier les anomalies de paliers à roulements à l'aide de signaux temporels et/ou de spectres fréquentiels. De plus, vous devez tenir compte de vos connaissances en ce qui a trait aux fréquences associées aux anomalies caractéristiques lorsque requis. Prenez en considération le choix du type de palier approprié pour une application spécifique ex: Est-ce qu'un palier à rouleaux est approprié ou si ce serait mieux si on choisissait un palier à roulements à gorges profondes [deep-groove ball bearing] ? (voir aussi Connaissance des équipements)

Identifier les problèmes d'engrenage dans des boîtes d'engrenage à l'aide de signaux temporels et/ou spectres de fréquences selon ce qui est le plus approprié. Déterminer la(les) fréquence(s) d'engrènement [gear mesh frequency(ies)] et les autres fréquences associées aux anomalies caractéristiques à un train d'engrenage.

Identifier les problèmes associés aux paliers à coussinet [sleeve bearings] et aux paliers lisses à segment pivotant ou à patins oscillants [tilting pad journal bearing]:

- Jeu excessif,
- Palier tournant à vide,
- Précharges [pre-loads],
- Problèmes de patin.

Identifier les facteurs d'instabilité possibles:

- Tourbillonnement d'huile,
- Fouettement d'huile,
- Fouettement de vapeur/de gaz.

Identifier les facteurs concernant le débit et pouvant possiblement provoquer une vibration :

- Débit turbulent,
- Blocage et saut de pression,
- Cavitation,
- Instabilité aérodynamique,
- Débit faible ou excessif,
- Recirculation,
- Pression de retour insuffisante,
- Coup de bélier [water hammer],
- Effet de Strouhal (perte de vortex).

Connaître les effets vibratoires lorsqu'on opère une pompe en dehors de ces capacités conceptuelles, au-delà de la courbe de performance.

Identifier les défauts associés aux moteurs électriques

- Jeu excessif du bâti d'un palier,
- Jeu excessif entre l'arbre et le palier,
- Rotor et stator qui ne sont pas parallèles (mauvais alésage de l'axe [wrong line bore]),
- Rotor n'est pas axialement centré avec le centre magnétique
- Paliers insérés trop serrés (problèmes d'expansion thermique),
- Jeu des lamelles du stator,

- Lamelles du stator/rotor trop courtes
- Bobinage des spires trop courtes,
- Mauvaise mise à terre,
- Courbure thermique du rotor,
- Barres de rotor brisées,
- Jeu des barres de rotor,
- Courant électrique instable,
- Jeu dans les raccordements électriques ou résistance,
- Défectuosité du raccordement étoile-triangle du démarreur,
- Pôles du rotor trop courts (moteur à induction synchronisée [synch motor]),
- Entrefer inégal [uneven air gap] (moteur synchronisé avec massif [pedestals]),
- Diodes ou/et redresseur commandé au silicium [SCR] brisé dans un moteur à courant continu [D.C.] & un moteur à induction synchronisé,
- Surchauffe du stator du moteur,
- Surchauffe du palier du moteur,
- Problèmes de lubrification du moteur

## **5.6 Analyse transitoire (démarrage, arrêt).**

### **5.6.1 FRF (Fonction de Réponse Fréquentielle) ou tracé de Bode**

Décrire la fonction réponse fréquentielle (FRF ou Tracé de Bode) résultant d'un déséquilibre résiduel sur une machine avec arbre rigide monté sur des supports flexibles à mesure que la vitesse de la machine atteint et dépasse une gamme de vitesses incluant la première vitesse critique de la machine.

### **5.6.2 Interprétation tracés de Bode et tracés polaires (Nyquist):**

Identifier la(les) vitesse(s) critique(s).

Déterminer la déformation dimensionnelle de l'arbre [shaft run-out].

Déterminer l'équilibre en termes qualitatifs.

Utiliser un tracé de Bode afin de déterminer s'il y a problème de résonance.

Expliquer comment dériver le Facteur Amplificateur à partir d'un tracé de Bode.

### **5.6.3 Analyse de l'axe d'un arbre**

Mesurer le vide de voltage à la vitesse opérationnelle et lors de l'arrêt afin de déterminer la position moyenne du rotor à l'intérieur d'un palier à coussinet [sleeve bearing] ou d'un palier à patins oscillants [tilting pad bearing].

Décrire les anomalies que l'on peut identifier avec cette méthode.

## 6 Action corrective 16%

### 6.1 Gérer une action corrective

Cette section traite du processus de réparation engendré après que les problèmes aient été analysés et évalués (voir section 5). Il y a multitude de machines et plusieurs différents genres d'industries. Il n'est pas utile pour un analyste d'une industrie de connaître toutes les machines que l'on retrouve dans d'autres secteurs industriels. Toutefois, plusieurs composantes de machines se retrouvent sur d'autres types de machines et la méthodologie à suivre pour prendre des actions correctives demeure relativement la même.

#### 6.1.1 Mesures supplémentaires.

Si, après avoir pris des mesures et effectué les analyses dont il est question à la Section 5, la sévérité d'un problème ou la nature exacte d'un problème demeure difficile à identifier,

- Faire la recommandation à l'effet que toutes les mesures vibratoires supplémentaires requises soient prises, s'il en reste. Ces mesures fourniront des informations additionnelles amenant vers un diagnostic et éventuellement une identification du problème.
- Recommander que les méthodes d'analyses non vibratoires soient utilisées, si elles n'ont pas déjà été exécutées. Ces méthodes non vibratoires fourniront des informations additionnelles amenant vers un diagnostic et éventuellement une identification du problème ex: ferrographie huile, thermographie, analyse de courant électrique, analyse d'huile.
- Recommander une surveillance accrue et des collectes de données plus fréquentes et/ou des données plus détaillées.

#### 6.1.2 Actions.

Recommander l'action corrective requise pour régler le problème identifié:

- Indiquer l'urgence de l'action corrective à prendre,
- Donner toutes les informations nécessaires incluant les descriptions d'identification et les codes des pièces de remplacement.

Définir une procédure de suivi incluant la méthode pour déterminer si une réparation a été efficace.

Déterminer qui sera responsable de:

- Commander les pièces,
- L'installation et toute autre action corrective,
- La surveillance à savoir si les travaux de réparation sont effectués et s'ils sont effectués de façon adéquate,
- L'évaluation du suivi incluant les mesures vibratoires.

#### 6.1.3 Documenter le processus – voir aussi Section 11.

Vérifier si les demandes de travail ont été mises en œuvre et vérifier les résultats.

Si le problème n'est pas résolu, mettre en œuvre d'autres mesures.

Documenter l'historique et le transmettre aux personnes concernées.

Réviser l'historique si les problèmes sont répétitifs suggérant ainsi un problème systémique ou un problème de conception.

Initier un suivi et vérifier si les problèmes conceptuels, systémiques ou opérationnels sont la source du problème.

#### **6.1.4 Évaluation du programme – voir aussi section 11.**

Documenter l'efficacité du Programme de Diagnostic & de Maintenance [PDM]

Est-ce que le diagnostic était le bon?

Est-ce que l'action corrective recommandée était appropriée?

Jusqu'à quel point la réparation fut efficace pour réduire les niveaux vibratoires?

Est-ce que les réparations ont eu un effet sur la performance de la machine ou ont permis d'utiliser la machine?

Est-ce que, grâce à l'historique, on s'aperçoit que des réparations similaires ont été effectuées plusieurs fois?

Est-ce que cette action corrective fut assez efficace pour prévenir un bris potentiellement dangereux et/ou dispendieux?

### **6.2 Problèmes mécaniques lors d'une installation ou réglage.**

Lorsque vos analyses ont déterminées qu'il y a problème mécanique tel un mauvais alignement, un pied boiteux mou ou avec du jeu, initier, dans le cadre du Programme de Maintenance implanté à votre usine, les réparations appropriées tout en fournissant toutes les informations nécessaires.

Indiquer la sévérité du problème, sa nature ex: dans un cas de mauvais alignement, vérifier si le problème est parallèle, angulaire ou les deux et s'il est urgent d'apporter des correctifs.

Indiquer le nom/titre de la personne responsable qui doit réaliser les actions correctives requises (même si c'est vous), le nom/titre de la personne qui devrait bonifier le travail effectué pour régler la situation et effectuer une vérification de suivi vibratoire.

Dans les cas de pied mou ou pied avec jeu, identifier l'endroit et la nature du problème aussi précisément que possible ainsi que la sévérité et l'urgence de la situation.

Dans les cas de problèmes structuraux, recommander que des études d'ingénierie soient effectuées.

### **6.3 Problèmes d'anomalies de composantes.**

#### **6.3.1 Composantes rotatives défectueuses.**

Lorsque des analyses sont effectuées dans le cadre du Programme de Diagnostic & Maintenance [PDM] dans votre usine ou que tout autre type d'investigation est effectué et qu'il y a indication que des composantes sont défectueuses, telles

- Paliers à roulements,
- Engrenages usés ou brisés,
- Joints endommagés,

Entamer les procédures à suivre pour commander les pièces de remplacement tel que précisé dans le Programme de Diagnostic & Maintenance [PDM] de votre usine.

### **6.3.2 Paliers à coussinet [sleeve bearings] ou paliers à patins oscillants [tilting pad bearings]**

Identifier la nature du problème ex : jeu excessif ce qui oblige à refaire l'alliage de Babbitt du palier ou problèmes dus à un ou des patins qui ne fonctionnent pas bien sur un palier à patins oscillants.

En ce qui concerne un palier usé, indiquer la sévérité du problème et l'urgence à refaire l'alliage de Babbitt.

Si un palier n'est pas assez chargé, vérifier l'alignement, si la conception du design est appropriée (capacité de charge spécifique) et la longueur du palier versus le ratio longueur/diamètre [diameter L/D ratio].

Vous assurer que les pièces de remplacement du palier sont installées correctement.

### **6.3.3 Butées à patins oscillants [Tilting pad thrust bearings]**

Vérifier le point milieu et le froid flottant d'un palier de butée [cold float of the thrust bearing]. Si vos données indiquent que la butée [thrust position] du rotor est en alarme, établir une cédule de réparations tout en tenant compte que les dommages peuvent être provoqués par une butée brisée et/ou que la quantité d'alliage de Babbitt sur les segments de butée n'est pas appropriée. N'oubliez pas d'effectuer ces réparations en respectant les consignes de sécurité.

## **6.4 Moteurs**

### **6.4.1 Problèmes électriques sur moteur**

Recommander, si nécessaire, d'autres tests tels des analyses de réseau électrique ou des analyses de débit afin de confirmer si le problème est électrique au lieu d'être mécanique.

Consulter un ingénieur de l'usine pour obtenir les spécifications du moteur.

Initier les réparations du problème électrique en suivant les procédures établies par le Programme de maintenance implanté dans votre usine. Vous assurer que les personnes concernées sont informées de la situation et de la sévérité du problème.

Collecter à nouveau des mesures vibratoires après que les réparations électriques aient été effectuées. Documenter les résultats obtenus avant les réparations et après les réparations.

### **6.4.2 Problèmes mécaniques sur moteur**

Quant aux problèmes mécaniques spécifiques aux moteurs tels des rotors ovalisés, vous devez transmettre aux personnes responsables des réparations ou du remplacement du moteur le plus possible d'informations descriptives détaillées portant sur le problème mécanique identifié tel qu'indiqué par le Programme de Maintenance implanté à votre usine.

Consulter un atelier de réparation de moteurs électriques certifié EASA et demander à connaître les spécifications mécaniques attitrées à ce moteur.

## **6.5 Problèmes vibratoires dus à un débit forcé**

En ce qui a trait aux problèmes vibratoires causés par des débits forcés tels cavitation, turbulence, harmoniques de passage des pales et recirculation:



Maintenir une base de données opérationnelles (ex: tête d'éruption dans des courbes [flow-head curves] sur des pompes et ventilateurs) et vous assurer que ces informations sont accessibles aux personnes concernées de votre usine.

Déterminer si les conditions opérationnelles contribuent au problème ex: Est-ce que cette pompe est utilisée au-delà de ses capacités conceptuelles ou est-ce que le NPSH est suffisant ? Vous devez vous poser certaines questions avant de recommander une action corrective.

Si vous désirez essayer ou modifier certaines conditions opérationnelles afin de vérifier si ces changements peuvent amoindrir le problème, veuillez coordonner ces modifications avec le personnel opérationnel.

Documenter toute modification effectuée au processus opérationnel ainsi que les effets sur les niveaux vibratoires. Substantiver vos remarques à l'aide de spectres.

## **6.6 Problèmes de résonance.**

Lorsque requis, rechercher une solution aux problèmes de résonance en vous basant sur vos connaissances du métier, votre expérience pratique et les données de différents tests que vous avez effectués (Voir Section 9). Ex :

- Augmenter ou réduire la rigidité structurale,
- Ajouter de la masse ou la réduire,
- Modifier la force ou la vitesse de rotation
- Éviter certaines gammes de vitesses sur une machine à vitesse variable,
- Utiliser une base d'inertie et des isolateurs de vibration
- Utiliser un amortisseur dynamique de vibration
- Réduire les pulsations de pression
- Rechercher une plus haute qualité d'équilibrage

Lorsque nécessaire, travailler avec d'autres corps de métier afin de trouver et planifier des solutions pour que les problèmes de résonance puissent se résorber. Pour ce, ayez recours à d'autres analyses plus avancées dont:

- Calculs détaillés FRF (Fonction de Réponse Fréquentielle),
- Modélisation mathématique d'une solution ou
- Analyse modale expérimentale.

Lorsqu'il n'est pas possible d'effectuer un dérèglement [de-tuning] afin de résoudre un problème de résonance, recommander des procédures destinées à réduire les forces [forcing function].

## **6.7 Équilibrage de compensation sur place [Field trim-balancing]**

D'après I.S.O., les exigences pour l'examen Cat 3 consistent à réaliser un équilibrage simple plan à l'aide d'un instrument mono canal. Le texte qui suit propose des exercices qui vont un peu au-delà des exigences proposées. Toutefois ces exercices permettront d'améliorer vos expériences pratiques.

Faire un équilibrage de compensation simple plan, sur place, avec un instrument mono canal, un repère de phase une fois par tour et des mesures vibratoires séismiques en utilisant la méthode du vecteur graphique si nécessaire. Naturellement, la machine doit être capable d'être configurée de

telle sorte qu'elle puisse exercer ce genre d'équilibrage ex: équilibrer un rotor à courte portée entre des paliers.

Faire un équilibrage de compensation à deux plans, sur place, avec un instrument mono canal ou double canaux, un repère de phase une fois par tour et des mesures vibratoires séismiques à deux plans en utilisant le logiciel d'équilibrage là où la méthode d'équilibrage simple plan ne serait pas adéquate.

Quant à un équilibrage deux plans, prendre les mesures dans une seule direction (ex: horizontalement) ou dans deux directions si le logiciel est conçu pour le faire c.-à-d. posséder l'option moyenne quadratique [rms].

Documenter, manuellement ou à l'aide d'un appareil électronique, les résultats de l'équilibrage visant à déterminer l'état actuel [as-found run], l'équilibrage avec des poids d'essai [trial weight run] (calibration), l'équilibrage proprement dit [balance run], le figolage [trim balance run] si tel fut le cas et l'équilibrage final [final run].

## **7 Connaissance de l'équipement 10%**

### **7.1 Étendue et procédure**

Certaines machines ne se retrouvent que dans des industries spécifiques. Toutefois, plusieurs composantes de machines se retrouvent sur une multitude de machines et plusieurs machines sont communes à plusieurs industries. Un analyste doit avoir une bonne connaissance des problèmes spécifiques aux machines sur lesquelles il est habitué de travailler. Il doit également savoir comment utiliser l'analyse de vibration pour détecter des problèmes sur ces machines. Comprendre que plusieurs facteurs peuvent affecter une machine, son environnement et sa performance et modifier la vibration.

Développer une stratégie visant à obtenir l'information pertinente à chaque machine et s'en servir pour évaluer l'état de la machine.

Lorsque nécessaire, consulter la documentation relative à une machine ou contacter le manufacturier pour des informations supplémentaires.

Développer une méthode visant à conserver les données pertinentes en ce qui a trait au design d'une machine et à sa performance. Utiliser ces informations. Adapter la méthode à mesure que l'expérience dicte quels paramètres enregistrés furent importants (ex: le type de lubrifiant, le jeu des paliers, l'expansion thermique, la longueur de la courroie, le type de courroie, etc.) – voir Appendice A.

### **7.2 Composantes de machineries**

#### **7.2.1 Paliers à roulements**

Connaître les différents types de paliers à roulements et leurs applications respectives. Connaître les effets d'une mauvaise installation ou d'un choix de palier inapproprié tant sur la performance d'une machine que sur la vibration qui peut en découler.

#### **7.2.2 Paliers à coussinet [Sleeve bearings].**

Connaître les différents profils de paliers à coussinet, l'importance de la charge, du jeu, de la position de l'arbre, des propriétés de l'huile tout en prenant en considération la performance des machines et les effets vibratoires qui peuvent en découler.

#### **7.2.3 Paliers à patins oscillants [Tilting Pad Bearings].**

Savoir comment les paliers radiaux à patins oscillants [tilting pad radial bearings] fonctionnent en particulier connaître leurs effets sur la stabilité d'une machine. Savoir comment les butées à patins oscillants [tilting pad thrust bearings] fonctionnent et l'importance de surveiller la position butée [thrust position].

#### **7.2.4 Joints d'étanchéité**

Connaître les différentes variétés de joints utilisés dans des machines rotatives incluant des joints à labyrinthe, des joints à anneaux dansants [floating ring seals], des joints en brosses, des joints mécaniques dans des compresseurs et des turbines et des joints de type manchon [bushing type seals] dans des pompes. Savoir que le design d'un joint peut prévenir ou contribuer à créer des problèmes sur des machines.

### **7.2.5 Accouplements**

Connaître les différents types d'accouplements de base ex: accouplements d'engrenage, accouplements à diaphragme, accouplements à cannelures [spline couplings], accouplements élastométriques, accouplements rigides et accouplements avec arbre creux [quill couplings]. Connaître les limites du terme "flexible" en ce qui concerne des accouplements flexibles. Etre conscient des problèmes de vibration dynamique qui peuvent surgir dans le cas des accouplements d'engrenage. Etre conscient de l'importance des bonnes procédures d'installation d'accouplements à diaphragme flexible.

### **7.2.6 Courroies**

Connaître les types de courroies d'entraînement et la pertinence d'une courroie ajustée avec la bonne tension ainsi que ses limites vibratoires. Connaître les modes typiques de vibration de courroies et les causes de ces vibrations.

## **7.3 Moteurs électriques, génératrices et mécanismes d'entraînement [drives]**

### **7.3.1 Moteurs à induction**

Voir aussi les normes sur moteur - Chapitre de l'Atlantique sur le site [www.cmva.com](http://www.cmva.com) à l'onglet Pour Membres Seulement/Members Only/Technique/Technical. Comprendre les informations inscrites sur la plaque signalétique [nameplate] d'un moteur. Connaître le fonctionnement de base des moteurs à induction, du moins en théorie, la relation entre la vitesse synchronisée et le nombre de pôles, la signification de la fréquence de glissement et comment cette fréquence est reliée à la vitesse de rotation et à la vitesse synchronisée. Connaître la signification de la fréquence de passage des barres du rotor [RBFP - rotor bar-passing frequency] et comment régler un analyseur afin de mesurer la vibration à cette fréquence.

### **7.3.2 Moteurs synchronisés**

Connaître la théorie de base du fonctionnement des moteurs synchronisés ainsi que les problèmes de vibration qui sont spécifiques à ces moteurs.

### **7.3.3 Moteurs DC – Moteurs à courant continu**

Connaître la théorie de base du fonctionnement des moteurs à courant continu et les problèmes de vibration qui sont spécifiques à ces moteurs.

### **7.3.4 Mécanismes d'entraînement à fréquence variable [Variable Frequency Drives (VFD's)].**

Connaître la théorie de base du fonctionnement des VFD et des problèmes vibratoires spécifiques à ces entraînements. Connaître les dommages collatéraux possibles pouvant découler de l'utilisation d'un VFD avec un moteur électrique.

## **7.4 Ventilateurs**

Connaître les caractéristiques de base du fonctionnement de ventilateurs centrifuges, de ventilateurs axiaux et l'application appropriée de chacun. Savoir reconnaître les problèmes les plus communs selon les différentes applications des ventilateurs montés sur des paliers à roulements (ex : charge minimale, lubrification, ajustements et jeu interne requis).

Comprendre les comportements vibratoires associés à différents agencements de ventilateurs ou à différents types de ventilateurs ainsi que les anomalies passibles d'être générées.

Connaître les problèmes vibratoires typiques associés aux ventilateurs de tirage [induced draft fans] et des ventilateurs à tirage forcé [forced draft fans] (ex : déséquilibre particulièrement sur des ventilateurs aspirants [ID fans], résonance structurale et fréquence de passage des pales [blade passing frequency]).

## **7.5 Pompes centrifuges**

Connaître les caractéristiques opérationnelles des pompes centrifuges et savoir comment utiliser les graphiques de performance ex: courbes tête d'éruption [flow-head curves] et l'importance d'opérer à un niveau approprié sur la courbe.

Connaître les différents problèmes hydrauliques qui peuvent survenir ex: recirculation, cavitation, vibration à la fréquence de passage des pales et les causes typiques de ces problèmes.

## **7.6 Boîtes d'engrenage**

Connaître les composantes des engrenages et les différents types d'engrenages les plus connus que l'on retrouve dans les boîtes d'engrenage à multiplication simple vitesse et les boîtes d'engrenage à réduction de vitesse. Connaître les types de problèmes de défaillance et d'usure typiques aux boîtes d'engrenages et comment ces problèmes peuvent être détectés et évalués à l'aide de mesures vibratoires.

Savoir calculer les différentes fréquences associées aux problèmes que l'on rencontre sur des boîtes d'engrenages.

Conserver à la portée de la main une référence que vous pouvez consulter concernant la formule de calcul des différentes fréquences associées aux anomalies que l'on retrouve sur une boîte d'engrenage.

## **7.7 Structures et tuyauterie**

Reconnaître que les structures et la tuyauterie ont des comportements très différents des machineries rotatives et que les lignes balises [guidelines] sont totalement différentes – ex : l'effet sur les gens.

Savoir comment la vibration de la tuyauterie se comporte ex : modes latéraux de vibration, modes en couches [shell modes] et modes axiaux acoustiques.

## **7.8 Compresseurs réciproques et Moteurs réciproques**

### **7.8.1 Mise en garde**

Voir aussi la section "Surveillance Machineries réciproques/Monitoring Reciprocating Machinery" sur le site internet [www.cmva.com](http://www.cmva.com) Pour Membres Seulement/Members Only-Technique/Technical.

Etre averti quant aux facteurs de sécurité spécifiques aux machines réciprocques.  
Identifier les éléments d'une machine réciprocque qui peuvent être surveillés à l'aide d'équipements conventionnels d'analyse de vibration et ceux qui ne peuvent pas être surveillés avec ces équipements. Documenter la situation.  
Connaître les limites de l'analyse de vibration si on n'utilise que cette méthode d'analyse.

### **7.8.2 Modes de comportement**

Reconnaître que les compresseurs réciprocques et les moteurs réciprocques se comportent très différemment les uns des autres et qu'ils ont des modes de défaillance très différents des autres équipements rotatifs. Certaines défaillances ne peuvent même pas être détectées par de l'analyse de vibration conventionnelle.

Connaître les principes expliquant comment des forces sont générées dans une machine à pistons, le mouvement du cylindre et les fréquences qui y sont associées.

### **7.8.3 Techniques**

Savoir que d'autres techniques sont utilisées pour surveiller les machines à pistons dont les courbes pression-température absolue [p-t curves], les courbes pression-volume [p-v curves], l'analyse des pulsations et l'analyse de la torsion.

Identifier les points de tests appropriés, les paramètres de mesure et les gammes de fréquences appropriées pour surveiller la vibration d'un bâti [frame], la vibration des cylindres, la vibration de la bouteille [bottle vibration] et la vibration de la tuyauterie [piping vibration].

Identifier et documenter les modes de défaillance pouvant être identifiés avec ces mesures.

Savoir où prendre des lectures de vibration, le type de lecture à prendre et savoir établir la gamme de fréquence appropriée.

Connaître les limites acceptables de vibration à chacun des points de test.

Évaluer les résultats des lectures et les comparer avec chaque ligne balise [guideline] préétablie.

## **7.9 Machines spécialisées**

Nous vous présentons maintenant une liste de machines spécialisées. Ces machines possèdent plusieurs composantes dont il fut question précédemment mais elles ont également des caractéristiques aérodynamiques spécifiques ou d'autres caractéristiques pouvant affecter la vibration et la façon dont les mesures sont prises.

Quant aux industries où l'on retrouve ces machines, les spécialistes de la vibration devraient connaître les principes de fonctionnement de ces machines ainsi que la mécanique de ces machines. En voici quelques-unes :

- Turbines à Vapeur
- Turbines à Gaz
- Compresseurs Centrifuges
- Compresseurs Rotatifs à Vis
- Compresseurs à Déplacement Positif
- Laminoirs [rolling mills], machines à papier, autres équipements de procédé
- Machines à papier

## **8 Test d'acceptation 5%**

### **8.1 Étendue et définitions**

Un test d'acceptation formel est effectué afin de vérifier si les spécifications émises dans les devis sont rencontrées. Ce test d'acceptation formel peut avoir des incidences économiques et légales. Ce test est normalement effectué par une tierce personne.

Un test d'acceptation informel, souvent appelé test maison, peut être effectué afin de vérifier si une machine est opérationnelle. Toutefois, ce test repose uniquement sur le jugement de l'analyste de vibration.

L'objectif de cette section est que l'analyste Catégorie 3 puisse être capable d'établir des programmes tenant compte des spécifications propres aux niveaux vibratoires ou aux critères d'acceptation sur des machines neuves ou/et remises en état.

### **8.2 Spécifications et normes**

Définir, avec précision, les niveaux vibratoires et les paramètres qui doivent être rencontrés. De plus, définir précisément, les conditions opérationnelles de charge, de vitesse et toute autre condition opérationnelle pertinente devant être rencontrée.

Reconnaître les implications d'un test d'acceptation effectuée sur un banc d'essai et faire la distinction entre les niveaux vibratoires obtenus et ceux obtenus en tenant compte du concept, de la conformité, de la commande ou lorsque l'équipement fonctionne à pleine capacité.

Référez-vous aux normes de l'industrie, aux normes nationales et internationales ainsi qu'aux spécifications lorsque requis et identifier les normes sur lesquelles les résultats de tests seront évalués.

### **8.3 Procédure de test**

Définir la procédure d'un test dont on aura besoin en tenant compte de l'instrumentation, de la méthodologie, des normes nationales, internationales et de l'industrie, du type de machine à évaluer, de l'application de la machine et des objectifs visés par le client.

Ne pas oublier de tenir compte du contexte opérationnel dans lequel le test est effectué.

Avant d'exécuter votre test, déterminer les caractéristiques recherchées. Identifier les endroits où il y a des malfaçons apparentes [déficiences] ou des procédures inappropriées en les comparant aux normes de référence ou au document contenant les spécifications.

### **8.4 Rapports**

Définir quelles informations devrait être incluses dans le rapport et ajoutées aux éléments requis pour bien décrire toute la procédure de test. Inclure les résultats obtenus et les comparer avec les normes établies dans la procédure de test.

Vous devez vous assurer que le rapport contient suffisamment d'informations complètes et détaillées au cas où vous en auriez besoin s'il y avait litige.

Lorsque les résultats des tests ne rencontrent pas les devis, suggérer qu'on effectue des tests supplémentaires et/ou identifier la(les) source(s) possible(s) du problème.

Conserver tous vos registres, notes, etc. de façon appropriée avec des copies de sauvegarde. Référez-vous aux exigences de gestion professionnelle décrétées, en termes de documentation, par les d'ingénieurs praticiens provinciaux.



## 9 Vérification d'équipement et diagnostics 11%

### 9.1 Test de réponse forcée incluant un test d'impact

Exécuter un test de fréquence naturelle sur la structure d'une machine à l'aide d'un instrument mono canal et d'un dispositif d'impact non-instrumenté (ex : marteau de caoutchouc) et interpréter les résultats.

Comprendre le besoin d'effectuer un test d'impact bi-canal [cross channel impact testing - (FRF)] ou un test d'excitation harmonique ou d'excitation par vibration induite [shaker excitation testing] et déterminer la fréquence naturelle et la mobilité à partir des données de test typique.

Évaluer la réponse structurale en utilisant une force connue de déséquilibre.

### 9.2 Analyse transitoire

Comprendre les caractéristiques techniques principales que l'on retrouve sur des tracés de Bode, des tracés polaires (de Nyquist), des tracés chutes d'eau, des spectres en forme de cascades, des tracés de l'axe de l'arbre [shaft centre-line plots] et des diagrammes Campbell.

Déterminer la vitesse critique sur les systèmes de rotor (fréquence du signal maximal du déséquilibre) à partir de tests d'accélération pleine vitesse et de décélération par inertie [run-up/coast-down]. Déterminer la fréquence naturelle sur des structures à partir de tests d'accélération pleine vitesse et de tests de décélération par inertie.

### 9.3 Déviations opérationnelles [Operating deflection shapes (ODS)] – voir aussi section 5.

Effectuer des analyses de base de détection de déviations opérationnelles en prenant des mesures d'amplitude et de phase à la fréquence de la vitesse de rotation et/ou de ses harmoniques, en prenant des mesures dans les 3 axes (ordinairement horizontal, vertical et axial mais pas nécessairement).

Faire un dessin de la structure à analyser.

Déterminer l'endroit où prendre les lectures c'est-à-dire là où une déviation opérationnelle se développe [ODS] à l'aide d'un instrument mono canal qui possède l'option repère de phase une fois par tour. Collecter les données appropriées. Interpréter les résultats et indiquer, à l'aide du dessin, où se trouvent les déviations.

Identifier les situations où on aura besoin d'un collecteur de données double canaux FRF [Fréquence Réponse Fréquentielle].

## **10 Normes de référence 5%**

Maintenir à jour une bibliothèque centralisant toutes les documentations normatives propres à votre industrie.

Savoir reconnaître et interpréter les normes et chartes de sévérité propres à des industries particulières et à des types de machines particuliers. Voir la chartre ISO de l'ACVM/CMVA sur le site [www.cmva.com](http://www.cmva.com)

Choisir une norme appropriée pour chaque machine.

Lorsque c'est justifié, modifier l'application de la norme choisie en l'adaptant au contexte opérationnel (Est-ce exactement la même machine ? Comment est installée la machine ? Quel procédé opérationnel utilise-t-on ?) et/ou en vous basant sur les expériences opérationnelles locales. Documenter les raisons de vos modifications.

Vous référer à l'Appendice pour une liste de sources de normes et autres sources pertinentes.

## **11 Rapports & documentation 5% – voir aussi section 6**

### **11.1 Rapports de surveillance continue – État des machines**

Fournir aux bonnes personnes, au bon moment, une liste des machines surveillées ainsi que de l'information quant à leur état mécanique. Chaque machine peut porter la mention OK, besoin de réparations mais peut continuer d'opérer, besoin d'analyses supplémentaires, besoin de réparations, etc. Ainsi, votre rapport contiendra les décisions qui ont été prises.

Lorsque votre diagnostic porte la mention “besoin de réparations”, écrire un “Rapport de Diagnostic Vibratoire” afin de corroborer votre décision.

À partir de ce rapport, si nécessaire, identifier les besoins en ressources supplémentaires, vos besoins en recherche, en formation, etc. car l'objectif est de résoudre le plus de problèmes possible.

Déterminer si vous avez besoin d'avoir recours aux services d'un consultant. Ce dernier peut vous aider à régler le problème. Si vous avez recours aux services d'un consultant, vous assurer que le consultant possède des qualifications professionnelles et des techniques capables de combler les besoins de l'usine.

Travailler avec les consultants afin de vous assurer que tout l'historique et les informations de procédé leur sont accessibles.

Faire un suivi quant aux recommandations indiquées dans le rapport du consultant.

### **11.2 Rapports de surveillance continue – Généralités du programme**

Conserver un registre des décisions prises et les raisons qui substantivent ces décisions. Incrire dans ce registre si les décisions ont été appropriées. Voici quelques-unes des possibilités que vous pouvez inscrire :

- Anomalie prévue s'est avérée être juste
- machine examinée et déclarée OK mais qui n'a pas fonctionné adéquatement
- anomalie trouvée après qu'on ait examiné la machine mais c'est une autre anomalie que celle identifiée au préalable.
- machine examinée mais aucune anomalie décelée
- machine examinée mais non réparée. Elle est tombée en panne ou n'est pas tombée en panne.

En vous basant sur ce rapport, veuillez identifier, si nécessaire, vos besoins en ressources supplémentaires, en recherche et en formation etc. dans le but d'améliorer le programme. Catégoriser les anomalies identifiées. Chercher les modèles qui se répètent [patterns] et soumettre tout ce qui peut apporter des améliorations tel que prôné par les politiques internes de l'usine.

Estimer les “coûts économiques” de chaque incident en vous basant sur les estimés établis au préalable dans votre usine. Tenir un registre de ces coûts économiques. Incrire également les économies réalisées dues à l'approche préventive visant à éviter des arrêts catastrophiques, à réduire les arrêts non planifiés et les argent économisés en prévenant d'autres anomalies, d'autres bris. Il faut comptabiliser les argent économisés suites aux analyses qui ont permis d'identifier la source des problèmes et la réingénierie qui en est découlée. Compiler, si possible,

les coûts associés aux bris survenus lorsque les machines sont opérationnelles et ce, à des fins de comparaison.

Soumettre un rapport à la Direction quant aux objectifs du programme, les budgets, la justification des coûts et le développement personnel des analystes.

En collaboration avec la Direction, identifier les indicateurs clés de performance et écrire un rapport à cet effet, lorsque requis.

Considérer l'implantation d'un système "d'index de vibration général de toute l'usine" à titre d'indicateur de la "santé générale" des machines à travers l'usine. Faire rapport de cet indice.

## **11.3 Rapports de diagnostics vibratoires**

### **11.3.1 Rapport normal**

Chaque fois qu'une surveillance accrue est requise sur une machine ou que toute autre action est nécessaire, générer un rapport de diagnostics vibratoires tel que décrit dans la Catégorie 2.

Utiliser un format technique courant.

Générer un Rapport de Diagnostics Vibratoires comprenant les machines incluses dans le programme ; machines qui portent la mention "OK" et "Machine en bris". Déterminer si l'anomalie aurait pu être prévue ou non prévue et enregistrer cette information.

Générer un Rapport de Diagnostics Vibratoires comprenant les machines incluses dans le programme; machines qui portent la mention "réparations nécessaires", qui n'ont pas cessé d'être opérationnelles et ne sont pas tombées en panne. Déterminer des lignes balises [guidelines] claires et précises afin que si, dans le futur, la même situation se produit ou que le même niveau est atteint, vous saurez quelle action prendre. Enregistrer cette information.

### **11.3.2 Rapport urgent effectué immédiatement sur les lieux**

Si un problème soudain ou critique survient, générer immédiatement un rapport, sur les lieux. Distribuer le rapport et discuter de la situation avec les personnes concernées. Le rapport doit identifier clairement le problème et proclamer l'urgence de la situation. Ce rapport doit être court, précis et peut même être écrit à la main, vu l'urgence de la situation.

## **11.4 Documentation**

Mettre en place et maintenir un système de documentation efficace et facilement accessible à toutes les personnes concernées dans l'usine. La documentation devrait inclure l'historique des analyses, les modifications au processus opérationnel et les résultats. À titre d'exemple, l'instauration et le maintien d'un système efficace de demandes de travail générées par ordinateur est important. Les demandes de travail doivent être dûment remplies et être signées avant d'être soumises.

Conserver une copie de sauvegarde de toutes vos données durant au moins 5 ans ou plus selon les exigences requises par la direction.

## **12 Détermination de la sévérité d'une anomalie 5% Voir aussi section 6**

### **12.1 Mode échec et urgence**

Déterminer si la situation en est une de défaillance et si le problème est urgent en vous basant sur les données collectées lorsque les machines fonctionnent à régime régulier tel que décrit dans les sections antérieures. Il faut également considérer les niveaux de la défaillance, le contenu des spectres, les déviations opérationnelles ou toute autre vibration pertinente ainsi que les tests non-vibratoires.

### **12.2 Évaluer les conséquences.**

Considérer une défaillance opérationnelle versus une défaillance physique qui peut éventuellement amener vers une deuxième défaillance et potentiellement causer un endommagement éventuel.

Considérer les conséquences d'une défaillance en termes de santé et sécurité au travail, environnement, qualité, productivité et disponibilité en plus du coût éventuel pour le client. Considérer les implications au niveau de la maintenance telles les cédules et la disponibilité des pièces et des personnes pour effectuer le travail.

Quant aux machines à vitesse stable et à vitesse variable, évaluer les données et les comparer aux critères décrétés dans les documents normatifs (voir Appendice). Les comparer également aux défaillances prévues et aux niveaux acceptables basés sur l'historique de la machine spécifique de votre usine. Il faut également mettre les données en relation avec le contexte opérationnel dont la charge, la vitesse, les conditions ambiantes, la température et les paramètres du procédé.

### **12.3 Recommendations**

Faire des recommandations afin que des actions soient entamées (à la bonne personne, au bon temps, selon la sévérité du problème):

- Recommander qu'on apporte une action corrective immédiate si vous croyez que le problème est sévère et que la possibilité d'une défaillance est éminente.
- Recommander et justifier qu'on effectue un arrêt non cédulé lorsque requis.
- Recommander qu'une action corrective soit effectuée lors du prochain arrêt cédulé si requis.
- Si les données que vous possédez ne sont pas suffisantes pour déterminer le niveau d'urgence du problème, recommander d'autres types d'évaluations, une surveillance accrue lors des routes ou l'ajout d'instruments visant à surveiller la machine de façon intensive.

## **Appendice**

### **Références**

Ronald L. Eshleman. Machinery Vibration Analysis: Diagnostics, Condition Evaluation, and Correction, Volume I Diagnostic Techniques. Vibration Institute, June, 2002.

Ronald L. Eshleman. Machinery Vibration Analysis: Diagnostics, Condition Evaluation, and Correction, Volume II Analysis and Correction. Vibration Institute, June, 2002.

Feuille de Formules Mathématiques Vibratoires. Disponible sur le site [www.cmva.com](http://www.cmva.com) sous l'onglet Pour Membres Seulement/Members Only et sous Informations Techniques/Technical Information. Cette feuille sera remise aux candidats lors des examens.

ACVM “Lignes Directrices pour Évaluer la Vibration/Guidelines for Evaluating Vibration” – cette charte est établie selon les normes ISO 10816-3. Disponible également sur le site [www.cmva.com](http://www.cmva.com) sous l'onglet Pour Membres Seulement/Members Only et sous Informations Techniques/Technical Information. Cette feuille sera remise aux candidats lors des examens.

ISO 10816-3, accessible seulement aux membres de l'ACVM sur le site [www.cmva.com](http://www.cmva.com).

ISO 18436-2, accessible seulement aux membres de l'ACVM sur le site [www.cmva.com](http://www.cmva.com). Les candidats à l'examen doivent apposer leur signature afin de certifier qu'ils rencontrent les exigences requises pour écrire un examen.

### **Normes/Standards**

Sources for International, National and Industry Standards and Associated Resources.

Voir les listes des items dans “Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis”  
J. Michael Robichaud P.Eng. – que l'on peut obtenir en communiquant avec l'ACVM.

International Organisation for Standardization (I.S.O.).

American Petroleum Institute (API)

Canadian Standards Association (CSA)

American National Standards Institute (ANSI)

Hydraulics Institute (HI)

National Electrical Manufacturers Association (NEMA)

International Electrotechnical Commission (IEC)

On retrouve les normes ISO, IEC, API et autres Normes en visitant The Standards Council of Canada [www.standardsstore.ca](http://www.standardsstore.ca).

De plus, visiter Techstreet ([www.techstreet.com](http://www.techstreet.com)) pour d'autres Normes dont API, HI, ANSI.

