

Analyse vibratoire : Amélioration du diagnostic manuel par l'amélioration de deux paramètres : le PeakVueTM et le coefficient d'autocorrélation

Ing. P. COLON
ISICHt – MONS

Dans le cadre économique actuel, la maintenance prédictive occupe une place de plus en plus importante dans le monde industriel et l'analyse vibratoire en est un outil essentiel. Cet article a donc pour objet de développer deux nouvelles techniques vibratoires et de déterminer leur domaine d'utilisation et leur efficacité.

Mots-clés : Analyse vibratoire, spectre, fréquence, maintenance prédictive, défaut, roulement, PeakVueTM, coefficient d'autocorrélation.

In regard to the present economy, predictive maintenance gets more and more importance in the industrial world and vibration analysis is an essential tool. This article has for goal to develop two new technical vibrations and to determine their using field and their efficiency.

Keywords : Vibratory analysis, spectrum, frequency, predictive maintenance, defect, bearing, PeakVueTM, Autocorrelation coefficient.

1. Introduction

Dans le domaine de la maintenance prédictive, l'analyse vibratoire est un outil majeur pour le diagnostic de défaut. Pour cette raison, un travail de recherche a été réalisé au sein de la jeune société I-Care, spécialisée et reconnue dans le domaine de la maintenance prédictive, au sujet de deux nouvelles méthodes dont le but est d'améliorer le diagnostic. Ces deux techniques ont été développées par la société Emerson¹ et sont : le PeakVueTM et le coefficient d'autocorrélation.

La première consiste en une analyse vibratoire dans le domaine spectral permettant le diagnostic des défauts de hautes fréquences et/ou des défauts naissants avant qu'ils n'aient une quelconque incidence sur le rendement de la production. Cette technique possède plusieurs paramètres. Le travail aura pour objectif de déterminer la combinaison idéale de ceux-ci en fonction des différents types de machines analysées.

Le but de la seconde méthode est d'offrir aux personnes utilisant l'analyse vibratoire un nouvel outil leur permettant une efficacité, une rapidité et une précision accrues dans les résultats. Cette technique permettrait de déterminer la présence d'un défaut éventuel à partir d'une représentation particulière des données récupérées. Ce travail aura donc pour but d'en comprendre la théorie et de tester la technique en pratique afin d'en tirer un maximum d'informations et de conclusions.

Il est important de préciser que toutes les recherches ont été effectuées à l'aide du matériel et des techniques utilisées par les employés d'I-Care. Deux outils primordiaux (le collecteur de données 2130 ainsi que le logiciel

¹ **Emerson Process Management** : Société basée aux Etats-Unis proposant de larges gammes de produits et des solutions d'automatisation aux entreprises. Une alliance stratégique lie I-Care à cette entreprise.

d'analyse de ces données Machinery Health Manager = MHM) permettent d'afficher trois graphes distincts permettant la détection des défauts :

- La forme d'onde (= les données brutes issues du capteur)
 - Le coefficient d'autocorrélation
 - Le spectre ou le spectre sous sa forme PeakVue™
- } Domaine temporel
} Domaine fréquentiel

2. PeakVue™ :

Comme dit précédemment, le PeakVue™ est une méthode de représentation et de transformation du spectre développée par la société Emerson permettant de détecter des défauts naissants et/ou des défauts de hautes fréquences.

Il est possible d'en faire varier plusieurs paramètres mais jusqu'à présent I-Care utilise la configuration unique conseillée par la société créatrice de cette technique, sans qu'elle n'ait jamais été réellement ni expliquée, ni justifiée.

Le premier but de ce travail est donc de tester tous ces paramètres après les avoir définis correctement afin de choisir la configuration optimale pour certains types de machine. Nous allons donc commencer par décrire brièvement cette méthode ainsi que les différents paramètres afin de comprendre leur raison d'être.

2.1. Le fonctionnement du PeakVue™ :

Avant toute chose, la première question à se poser est : quel est la problématique d'avoir des défauts naissants et/ou de haute fréquence ? Il faut savoir que la principale caractéristique de ces défauts est qu'ils créent des impacts très courts et dégageant peu d'énergie. Ces impacts sont en fait trop courts et de trop haute fréquence pour être détectés lors d'un échantillonnage classique.

Les différentes étapes du PeakVue™ sont illustrées sur le schéma ci-dessous. En effet, si on considère la sinusoïde de basse fréquence comme

étant la vibration intrinsèque de la machine, les courtes oscillations apparaissent clairement comme étant les impacts à mettre en évidence.

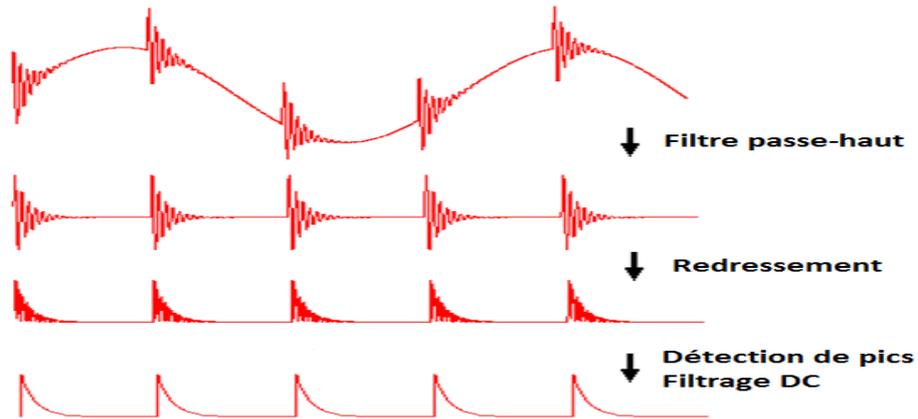


Figure 1 - Les étapes du PeakVue™

Le PeakVue™ est composé de 4 étapes :

1. Un filtre passe-haut pour éliminer les basses fréquences (= la sinusoïde)
2. Un redressement pour densifier l'impact
3. Un filtre passe-bas correctement calibré pour obtenir la courbe enveloppe de l'impact.

Si on effectue un échantillonnage classique à ce stade, on n'obtiendra aucun résultat probant comme illustré ci-dessous (les lignes verticales correspondant à chaque échantillon) :

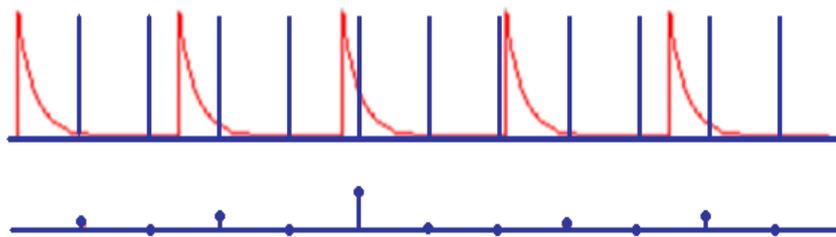


Figure 2 - Echantillonnage classique

Chaque échantillon est composé de deux informations : l'amplitude et le temps (A,t)

- La particularité du PeakVue™ est de réaliser un scan à 100kHz entre chaque échantillon. Si une valeur supérieure est détectée entre deux échantillons, la valeur de l'amplitude de l'échantillon suivant sera remplacée par l'amplitude maximale détectée. (A,t) devient donc (A_{\max}, t) . On parle donc ici de scan car on ne modifie que la valeur de l'amplitude à l'aide d'un comparateur.

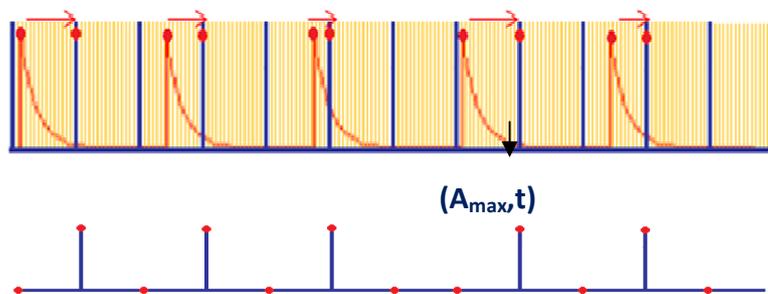


Figure 3 - Scan du PeakVue™

On est donc capable à présent de déterminer la période du défaut et donc sa nature.

Cette dernière étape est la principale différence avec la technique de l'enveloppe car il s'agit de la seule méthode effectuant ce scan et nous permettant ainsi de mettre en évidence l'amplitude maximale du défaut.

2.2. Le choix des paramètres :

Il existe quatre paramètres du PeakVue™ permettant de faire varier la manière dont est prise cette mesure :

- Le nombre de lignes de résolution de l'échantillonnage initial (\approx la précision du spectre)
- Le nombre de formes d'onde (bloc de données analogiques limité dans le temps) pour calculer le spectre appelé moyenne

3. Les pré-filtres (= première étape du PeakVue™)
4. Le type de moyenne

Pour chacun de ces paramètres, il existe diverses valeurs au sein du logiciel MHM qui offre au total 448 combinaisons possibles. Chacune a été testée sur au moins 5 machines pour 3 catégories de celles-ci. Les machines dont la vitesse de rotation est :

- $V < 300$ tr/min
- $300 \text{ tr/min} < V < 1500$ tr/min
- $1500 \text{ tr/min} < V < 3000$ tr/min

Par exemple, concernant le nombre de moyennes pour les machines dont la vitesse est comprise entre 300 et 1500 tr/min, il est apparu qu'il était plus intéressant de faire des mesures avec 5 moyennes plutôt qu'avec 1 moyenne comme Emerson le préconisait. Ceci est mis en évidence dans le graphe ci-dessous.

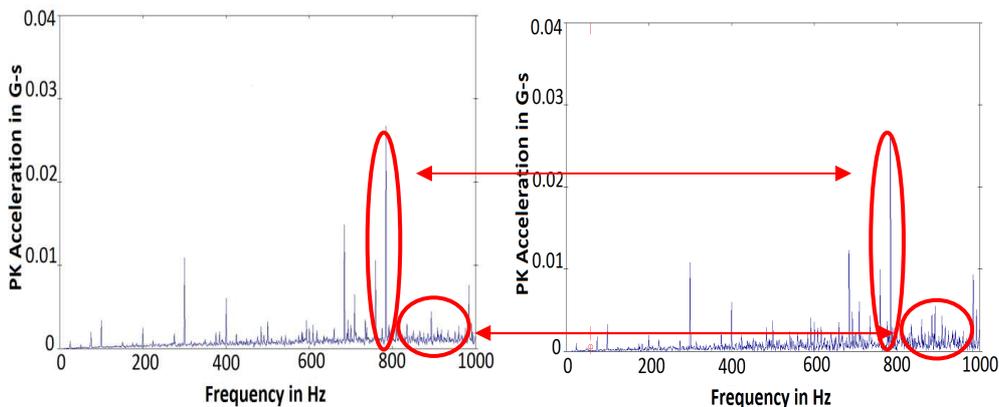


Figure 4 – Comparaison mesure avec 5 moyennes et configuration Emerson

On constate qu'à gauche, non seulement les pics sont plus fins, donc plus précis, mais en plus le bruit de fond a considérablement diminué. Il n'est cependant pas intéressant de réaliser des mesures avec encore plus de moyennes car dans ce cas, les temps de mesure et de traitement augmentent

de manière importante alors que le gain au niveau du spectre n'est pas marquant (on peut passer de quelques secondes à plusieurs minutes pour prendre une mesure).

2.3. Combinaisons optimales :

En réalisant une démarche similaire pour chaque paramètre, il a été possible de déterminer une configuration optimale pour chaque type de machine. Elles ont été résumées dans un tableau récapitulatif permettant aux employés d'I-Care de les appliquer facilement. La méthode d'analyse étant purement pratique et visuelle, la démarche d'optimisation du paramètre est elle aussi basée sur l'augmentation de la lisibilité du graphique (donc le gain de précision ou la diminution de bruit de fond, par exemple) par rapport au temps pris pour faire chaque mesure.

De plus, bien qu'on ait à présent la meilleure configuration, il est important de préciser que celle d'Emerson était universelle. En effet, elle n'était pas idéale dans tous les cas mais permettait d'obtenir des résultats satisfaisants dans de nombreuses situations.

3. Le coefficient d'autocorrélation :

Lors d'une mesure classique de vibration sur une machine tournante, la mesure et l'acquisition d'un bloc de données analogiques limité dans le temps sont effectuées. Ce bloc appelé forme d'onde est transformé en données spectrales à l'aide de la transformée de Fourier. L'analyse cible ensuite principalement les données spectrales pour détecter des défauts éventuels.

En plus de cette technique, un paramètre d'analyse calculé à partir du bloc de données brutes, nommé coefficient d'autocorrélation, peut être utilisé. Ce coefficient, par ailleurs largement utilisé en statistique, a été développé pour l'analyse vibratoire afin de permettre l'identification des :

1. Défauts apparaissant à un bas niveau périodique.
2. Défauts périodiques ou aléatoires.
3. Défauts sur base de la forme du graphique.

3.1. Définitions mathématiques :

La force théorique du coefficient d'autocorrélation défini ci-après réside dans sa capacité à identifier des événements à bas taux de répétition avec une basse amplitude. Une autre force est sa capacité à séparer les événements périodiques des événements aléatoires.

Soit le signal vibratoire $x(t)$. La fonction d'autocorrélation $R_x(\tau)$ pour un retard τ est définie par :

$$R_x(\tau) = \lim_{\substack{t \\ \max \rightarrow \infty}} \frac{1}{2t_{\max}} \int_{-t_{\max}}^{+t_{\max}} x(t)x(t+\tau)dt$$

Il s'agit de l'expression continue de la fonction d'autocorrélation.

Notons que la présence du rapport $\frac{1}{2t_{\max}} \left(= \frac{1}{+t_{\max} - (-t_{\max})} \right)$ est justifiée par la

volonté de normaliser la fonction. Il est égal à l'inverse de la différence des bornes de l'intégrale. Cette différence représente la largeur du bloc de données.

Une valeur d'autocorrélation élevée, pour un retard τ déterminé, signifie que le signal est périodique avec ce retard τ comme période. Pour chaque variation du retard, la valeur d'autocorrélation variera.

En pratique, la prise de mesure est limitée dans le temps et un échantillonnage est effectué.

La limite $\lim_{\substack{t \\ \max \rightarrow \infty}}$ de la formule théorique perd alors tout son sens.

La formule discrète correspond par définition à l'expression finie dans le temps.

Pour N échantillons, le retard maximum que nous pouvons atteindre est de N/2. En effet, le principe est de comparer un échantillon avec un échantillon décalé d'un temps de retard, donc, si nous dépassons cette valeur de N/2, nous sortirons du domaine des échantillons mesurés.

Par exemple, si nous comparons le $N/2^{\text{ème}}$ échantillon avec son correspondant, un retard de $N/2$ après, nous aurons le $N^{\text{ème}}$ échantillon. Il s'agira donc du décalage maximum que l'on pourra calculer. Cette situation est schématisée à la page suivante.

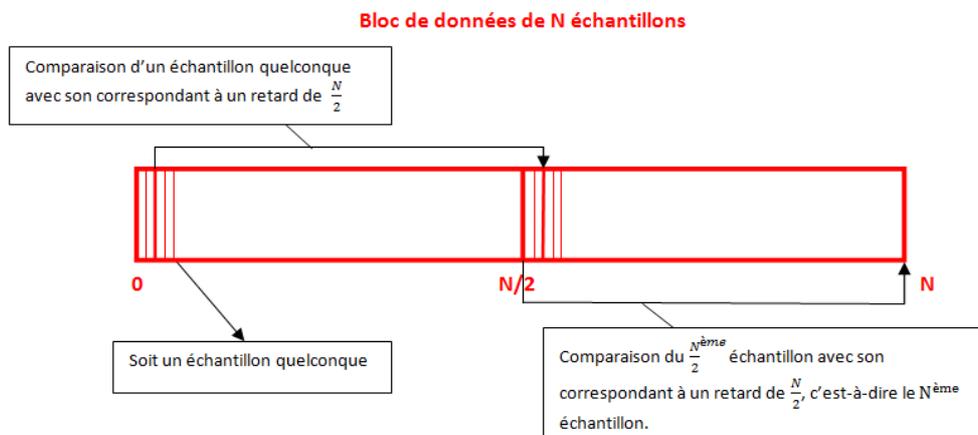


Figure 5 - Illustration du temps de retard maximum

$N/2$ étant le retard maximum, seuls les $N/2$ premiers échantillons sont traités, ce que l'on pourra aussi constater sur le graphe de l'autocorrélation car l'échelle de temps vaut la moitié de celle de la forme d'onde (voir observations pour chaque défaut).

Voici donc l'expression discrète de l'autocorrélation utilisée pour N échantillons :

$$R(\tau_j) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} x_i x_{i+j}$$

Avec

$$i = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} \quad \text{et} \quad j = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}$$

$$x_i = x(t = i\Delta t),$$

$$x_{i+j} = x(t = [i + j]\Delta t),$$

Sous son expression discrète, l'intégrale devient une somme car le nombre d'échantillons de mesure est limité. La somme va donc de $i=1$ (l'échantillon à un temps nul n'existant pas en pratique), à $i = N/2$ (puisque'on ne peut pas dépasser le $N/2^{\text{ème}}$ échantillon). En outre, comme nous avons précédemment un coefficient $\frac{1}{2t_{\max}}$ devant l'intégrale, nous

avons à présent un rapport $\frac{1}{\frac{N}{2}-0} = \frac{1}{\frac{N}{2}} = \frac{2}{N}$ qui représente toujours la largeur

du bloc de données.

A partir de l'expression discrète de la fonction d'autocorrélation ci-dessous,

$$R(\tau_j) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} x_i x_{i+j}$$

il est possible de montrer que la valeur de $R(\tau_0)$ est la variance :

$$R(\tau_0) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} x_i x_i = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} x_i^2$$

La série sommée $R(\tau_j)$ peut avoir des valeurs positives et négatives (sauf quand $j=0$) et donc aucune de ses valeurs ne peut être supérieure à $R(\tau_0)$, qui est par définition, la variance. Cette propriété introduit donc une nouvelle fonction appelée coefficient d'autocorrélation définie par :

$$A(\tau_j) = \frac{R(\tau_j)}{R(\tau_o)}$$

Avec $A(\tau_o) = 1.0$ et $-1.0 \leq A(\tau_j) \leq 1.0$

Car $R(\tau_j) \leq R(\tau_o)$ pour tout $j = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}$

C'est le coefficient d'autocorrélation $A(\tau_j)$ et non la fonction d'autocorrélation $R(\tau_j)$ qui est utilisé comme outil d'interprétation des données de vibration.

Nous pouvons justifier la représentation graphique du coefficient d'autocorrélation. En ordonnée, sa valeur est comprise entre -1.0 et 1.0 puisqu'il est calculé en faisant la somme des produits $R(\tau_j)$ de l'amplitude de deux échantillons divisée ensuite par la variance $R(\tau_o)$ qui est la valeur maximale. Il suffit alors de calculer la racine carrée de la valeur absolue de l'ordonnée pour connaître l'influence exacte de l'énergie fournie par le défaut au sein de la forme d'onde.

En abscisse, nous avons les différentes valeurs de retard puisqu'il s'agit de la variable de la formule. Donc, si une période particulière τ est mise en évidence, nous aurons un pic à cette valeur.

Pour un retard égal à un multiple de τ , nous aurons à nouveau un pic, ce qui signifie donc que nous aurons une série de pics espacés de τ .

Sur le graphe ci-dessous correspondant à un signal d'un défaut de piste externe, la présence de pics espacés de l'inverse de la fréquence caractéristique de ce défaut ($=1/\text{BPFO} = \text{Ball Pass Frequency Outer Race}$) est observable.

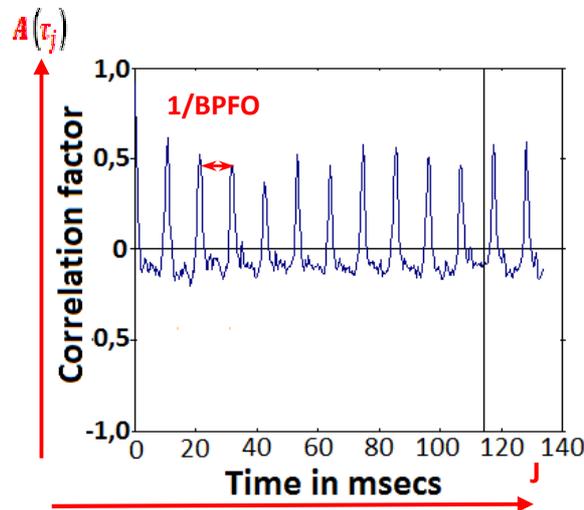


Figure 6 – Coefficient d'autocorrélation d'un défaut de piste externe

En ordonnée, nous avons l'échelle de -1.0 à 1.0 et en abscisse, le retard en msec.

Pour le retard correspondant à $1/BPFO$, nous avons un pic important. Ceci signifie que nous avons un phénomène qui apparaît systématiquement à cette période. Il est en de même après 2, 3, 4, ... période de ce défaut.

De plus, les données périodiques de faible périodicité peuvent être montrées de manière fort marquée grâce au coefficient d'autocorrélation puisqu'un pic élevé à la fréquence correspondante sera alors visible, même s'il s'agit de très basse fréquence. Les données périodiques à plus hautes fréquences sont beaucoup plus visibles en analyse spectrale qu'en autocorrélation car si ces fréquences sont trop élevées, le signal risque d'être trop dense et donc peu lisible.

Enfin, les propriétés principales du coefficient d'autocorrélation sont :

1. Pour des données périodiques avec pas (ou peu) de bruit, la valeur de $A(\tau_j)$ approchera 1.0 à $\tau_j =$ période des données périodiques.

2. Pour des données aléatoires, la valeur de $A(\tau_j)$ approchera 0 signifiant qu'il n'y a presque pas de composante périodique pour cette valeur.
3. Le niveau de $A(\tau_j)$ peut être très utile dans l'identification du type de défaut puisque si ce niveau est très élevé, cela signifie que la période du signal est fort marquée, et il suffit donc de retrouver à quel défaut elle correspond. En effet, avoir un haut niveau implique que la majorité de l'énergie de la forme d'onde provient du défaut correspondant à cette période.

3.2. Méthodologie :

Après avoir commencé par une phase de familiarisation avec le sujet grâce à la lecture de l'ensemble des documents relatifs à l'autocorrélation, l'étude d'un maximum de situations pratiques a pu débuter dans le but d'en ressortir les différents cas et la forme des graphes en fonction des défauts qu'il est possible d'analyser avec ce nouvel outil.



*Figure 7 - Mesure avec un 2130
Source : Brochure 2130 EMERSON*

Au sein de la société I-Care, lors de chaque analyse, l'ensemble des données récoltées est sauvé sur support externe. Il est donc aisé de reprendre ces informations et de les retravailler par la suite. Le principe de ce travail a été de travailler sur des défauts diagnostiqués par les employés d'I-care et ayant nécessité une intervention, le but étant d'obtenir les mêmes conclusions que ces derniers en utilisant uniquement le coefficient d'autocorrélation. Ainsi,

les recherches sont réalisées sur des cas dont les défauts sont connus et leur présence est confirmée.

3.3. Observations immédiates :

Très rapidement, il a été possible de faire diverses observations qui sont apparues dans plus de 70% des 152 cas analysés. Ces éléments sont très importants car ils permettent de déterminer le domaine d'utilisation de ce nouvel outil et de s'y familiariser.

La première constatation est que le facteur d'autocorrélation est un outil supplémentaire utile pour tout type de défaut, et pas uniquement les défauts de roulement comme le préconise Emerson.

A l'inverse, rares sont les cas où cet outil seul est suffisant. En effet, les trois représentations d'un signal vibratoire sont à utiliser de manière complémentaire lors des analyses.

Ensuite, l'autocorrélation ne permet pas de déterminer l'importance du défaut. Cet outil nous donne la possibilité d'en connaître l'influence par rapport au reste et non son amplitude exacte. En effet, le coefficient d'autocorrélation représente la quantité d'énergie (en pourcent) contenue dans la forme d'onde due au phénomène périodique mis en évidence. Donc, sans la forme d'onde, il est impossible de déterminer l'amplitude exacte du défaut.

En outre, il ressort que, généralement, lorsque le graphique du facteur d'autocorrélation est issu d'une mesure sur laquelle on a appliqué la technique PeakVue™, soit aucune conclusion ne peut en être déduite, soit l'information qui en ressort n'est pas fortement marquée. Ceci est sûrement dû au fait que le PeakVue™ est utilisé pour détecter un défaut naissant et donc les ondes de chocs sont de faibles amplitudes ce qui ne favorise pas leur visibilité dans le graphique du coefficient d'autocorrélation.

De manière intuitive, on pourrait dire que l'autocorrélation fonctionne un peu comme un filtre qui n'afficherait que la partie de la forme d'onde due aux pics ressortant le plus dans le spectre, justifiant le fait que les défauts

naissants ne sont pas forts visibles avec ce coefficient. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que l'autocorrélation est calculée à partir de la forme d'onde. Il s'agit donc d'une technique de filtrage de celle-ci. Son principe mathématique est de sommer des produits d'amplitudes de deux échantillons espacés d'une certaine période. Ainsi, avec deux valeurs élevées, le produit restera élevé ; inversement, avec deux valeurs faibles, le produit restera faible ; enfin, avec une valeur élevée et une faible à la période suivante, ou l'inverse, le produit sera plus faible.

Toutes les valeurs changeant d'amplitude à chaque période vont alors être minorées et seules les valeurs périodiques seront gardées, quelle que soit la période. Le signal final sera donc telle une image « propre » de la forme d'onde dont tous les parasites aléatoires seraient éliminés.

3.4. Observations pour chaque défaut :

Dans ce chapitre, deux types de défauts avec leurs graphes correspondants seront développés. Il est important de préciser que pour chaque cas, les trois graphiques seront présentés et diverses caractéristiques observées seront mises en évidence telles que la présence d'une périodicité ou non, présence de pics, forme du signal, ...

Nous discuterons ici de la forme du graphique du coefficient d'autocorrélation et de la mise en évidence du défaut grâce à cet outil et non de la présence ou non du défaut et de son amplitude. En effet, étant donné que pour tous les cas étudiés lors de cette recherche, nous avons la certitude de travailler sur un cas où le défaut est présent, il est inutile de discuter de l'amplitude du défaut.

3.5. Défaut de piste interne

Aucun élément particulier ne ressort de la forme d'onde. Le graphe est relativement dense et on ne peut détecter de période particulière (fig. 8).

Dans le spectre, on observe très clairement un pic à la fréquence fondamentale suivi de ses harmoniques espacées de BPF_I (= Ball Pass Frequency Inner Race), ce qui est caractéristique d'un défaut de piste

interne. De plus, on peut avoir des bandes latérales espacées d'1xRPM. L'amplitude justifie une intervention.

Ces différentes caractéristiques sont aussi observables dans le graphique du coefficient d'autocorrélation. En effet, on observe très clairement des pics espacés de BPFI et une modulation de fréquence 1xRPM sur les graphes ci-dessous.

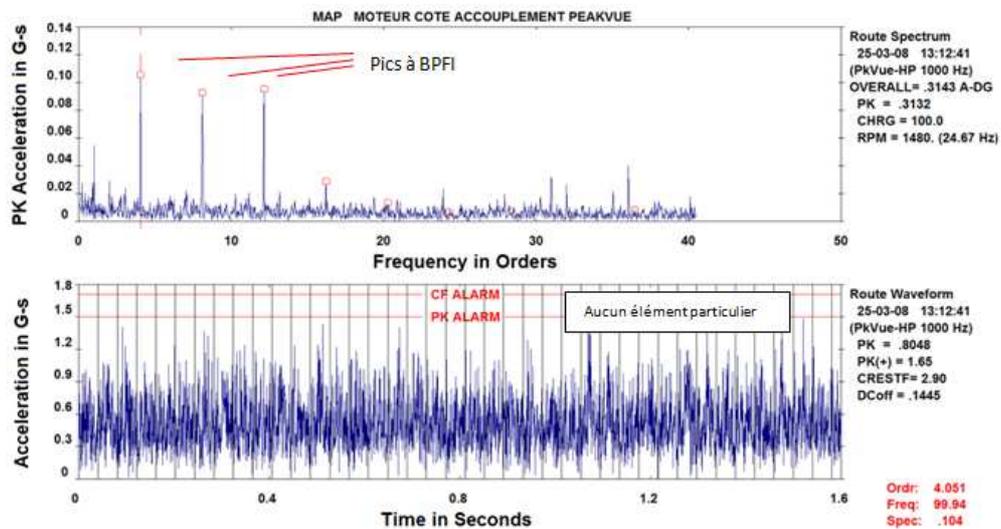


Figure 8 - Forme d'onde et PeakVueTM d'un défaut de piste interne

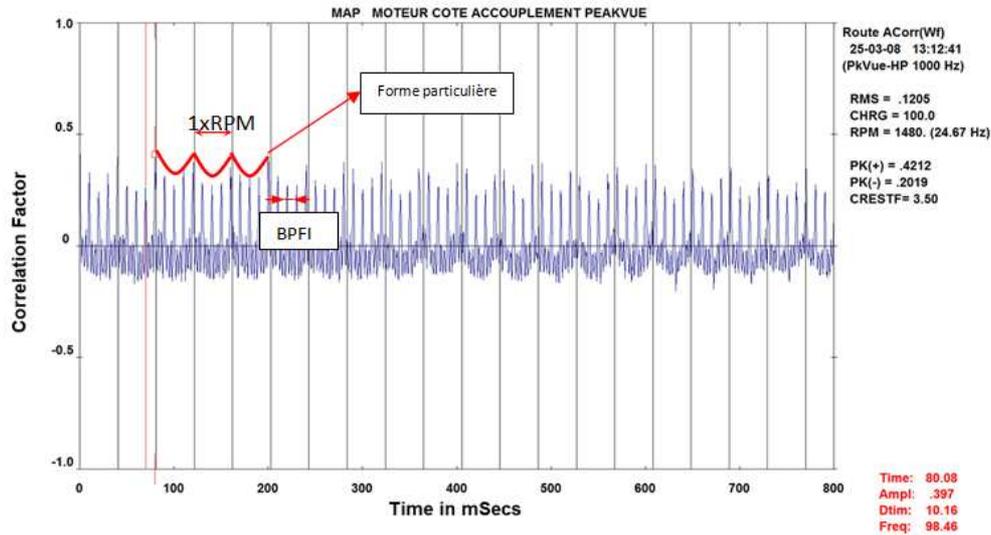


Figure 9 - Coefficient d'autocorrélation d'un défaut de piste interne

3.6. Défaut de balourd

En observant la forme d'onde, on remarque directement et très distinctement un signal sinusoïdal de période égale à la vitesse de rotation. Ceci nous indique que l'on risque d'avoir un pic important à 1xRPM dans le spectre et il est fort probable que le défaut présent ici soit un balourd.

En effet, une sinusoïde aussi marquée et de période égale à 1 ordre est souvent signe de déséquilibre. Il est quand même important d'analyser le spectre et le coefficient d'autocorrélation pour certifier cette conclusion.

Lorsqu'on est dans un cas de déséquilibre, il y a toujours un pic important à 1xRPM dans le spectre. De plus, on peut constater que seul ce pic est visible et très important. Ceci justifie le fait que la sinusoïde contenue dans la forme d'onde soit aussi bien marquée.

Tous ces éléments sont encore une fois confirmés par le graphique du coefficient d'autocorrélation qui affiche une sinusoïde presque parfaite, sans

parasite et de haute amplitude montrant bien que ce défaut influence presque totalement le contenu du signal.

Donc, lors d'un défaut de balourd, le signal d'autocorrélation est périodique (1xRPM) et a normalement une forme sinusoïdale bien prononcée comme on peut le constater sur les graphiques ci-dessous.

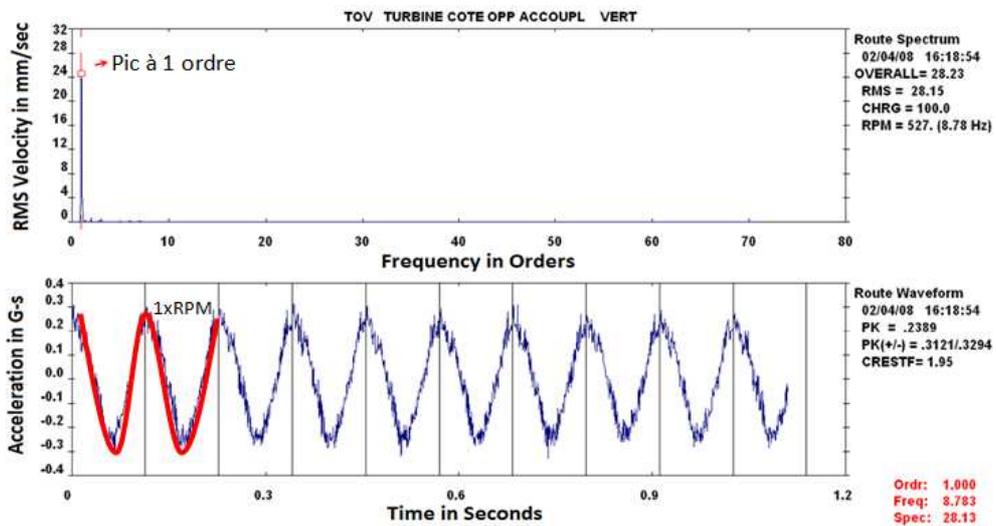


Figure 10 - PeakVueTM et forme d'onde d'un défaut de balourd

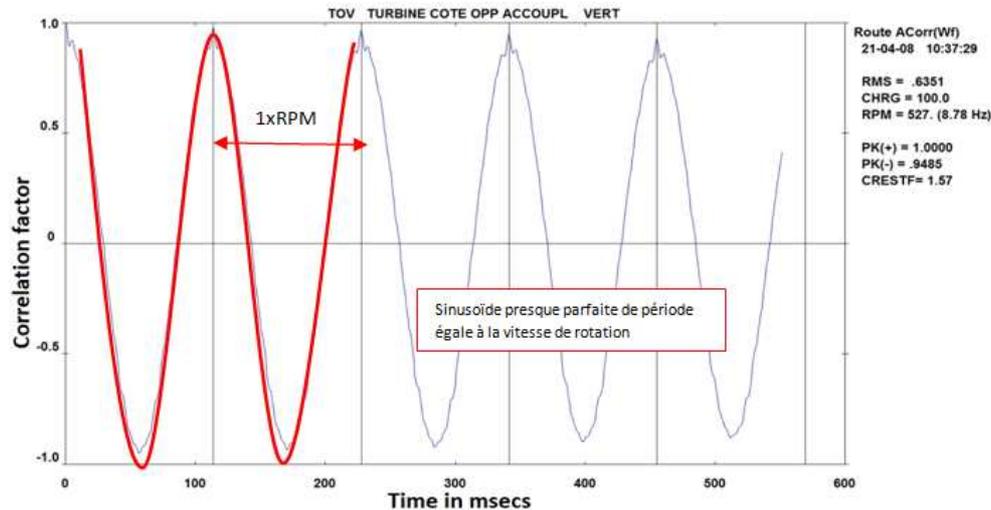


Figure 11 - Coefficient d'autocorrélation d'un défaut de balourd

Il est important de préciser que deux exemples sont présentés ici mais cette technique peut s'utiliser pour tous les défauts apparaissant sur les machines tournantes qu'on peut trouver en industrie.

Ci-dessous, la liste de l'ensemble des défauts qui peuvent être traités avec cet outil :

- Jeu
- Balourd (ou déséquilibre)
- Piste interne, externe, de cage ou d'éléments roulants
- Engrènement
- Accouplement
- Lubrification
- Electrique

De plus, lorsque deux défauts sont présents simultanément sur une machine, ils apparaissent tout deux dans le graphique du coefficient d'autocorrélation. En effet, le graphique est alors composé de l'ensemble des caractéristiques des deux défauts. Cependant, celles liées au défaut dont la présence est la plus importante apparaissent de manière plus marquée.

4. Conclusions :

Concernant le PeakVue™, il est possible de montrer que la configuration générale conseillée par Emerson n'est pas systématiquement optimale. En effet, ce travail met en évidence une nouvelle combinaison de paramètres fournissant de meilleurs résultats pour chaque type de machine.

Ces recherches permettent donc de nous rendre compte que la volonté d'Emerson n'était sans doute pas de fournir la meilleure combinaison pour chaque type de machine, mais plutôt une configuration universelle. Les employés d'I-Care ont maintenant la capacité d'utiliser les paramètres idéaux pour chaque cas, leur permettant d'améliorer leurs prises de mesure et d'accroître leur efficacité lors de l'analyse des données.

Par ailleurs, ce travail permet de comprendre le fonctionnement théorique du coefficient d'autocorrélation et de faire le lien avec la pratique. Son étude débute par la compréhension approfondie de la théorie grâce à une collecte d'information importante car sans une interprétation théorique correcte, il est impossible de réaliser un travail pratique rigoureux.

Après cette recherche d'informations a débuté l'analyse des bases de données fournies par I-Care. Grâce à celles-ci, l'accent est mis sur de nombreux éléments parmi lesquels le fait que l'analyse de données ne peut se faire avec cet outil seul. Il s'agit donc d'une conclusion importante qui ne peut être découverte qu'en utilisant intensivement le coefficient d'autocorrélation. Le coefficient d'autocorrélation doit être utilisé comme un instrument supplémentaire d'aide au diagnostic, au même titre que le spectre ou la forme d'onde.

Il faut préciser qu'il est toujours possible d'aller plus loin dans la réflexion. Plusieurs voies d'études se sont ouvertes et ce sur deux plans principaux :

- Le premier concerne l'évolution des graphiques du coefficient d'autocorrélation en fonction de l'évolution des défauts.

- Deuxièmement, il est possible d'afficher le graphe du coefficient d'autocorrélation de manière circulaire. Peut-être d'autres informations pourraient-elles émaner de ce type d'affichage ?

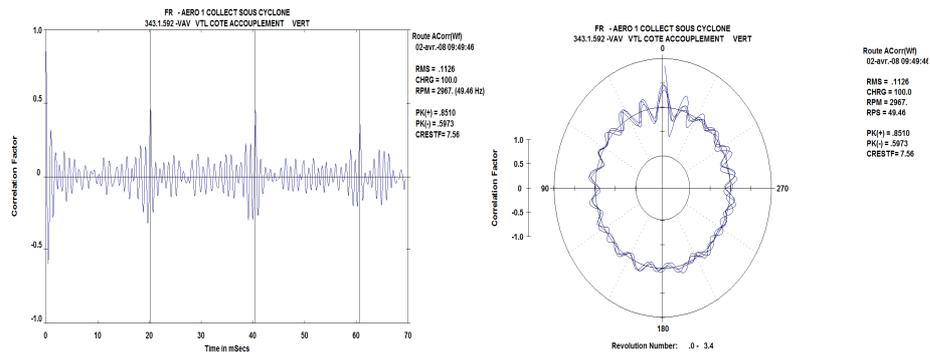


Figure 12 - Représentation circulaire du coefficient d'autocorrélation

Suite à ces recherches et aux résultats positifs qu'il en découle, on peut affirmer que grâce à ces conclusions, l'analyse vibratoire utilisant ces deux techniques est améliorée et son efficacité s'en voit accrue.

5. Références bibliographiques

- [1] BENDAT, J. S., PIERSOL, A.G., *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, Wiley-Interscience, 1971.
- [2] BRION, F., *Séminaire de vibration*, I-Care, Mons, 2007.
- [3] BRION, F., *Les techniques de détection des défauts, la démodulation et le PeakVue™*, Formation, Emerson, document powerpoint, 2002.
- [4] BRION, F., *Advanced Vibration : Section 3 : PeakVue™*, Emerson, document powerpoint, 2002.
- [5] LIPSCHUTZ, S., *Probabilités, cours et problèmes*, Paris, McGraw-Hill Inc., (1973) 1982, coll. « Série Schaum ».
- [6] NUTTE, J.-C., *Maintenance et vibration, cours de 1ère Master*, ISICHT, Mons, 2007.
- [7] ROBINSON, J. C., COLLETTE, A., *Diagnostic Aid Provided By Autocorrelation*, Emerson, document pdf, 2006.
- [8] ROBINSON, J. C., *Autocorrélation as a diagnostic tool*, Emerson, document pdf, 2006.
- [9] ROBINSON, J. C., *Detection and Severity Assessment of Faults in Gear Boxes from Stress Wave Capture and Analysis*, Emerson, <http://www.mhm.assetweb.com/expertise/prodsupt.html>.
- [9] ROBINSON, J. C., BERRY, J. E., *PeakVue reliability 2001 Conference*, Emerson, document pdf, 2001.
- [10] *L'autocorrélation*, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Autocorrélation>, 2008.
- [11] *Techniques digitales innovantes pour la détection de défauts de roulement sur machines critiques et à vitesse lente*, CSI, 2001.
- [12] *La fonction d'autocorrélation*, <http://www.tsi.enst.fr/tsi/enseignement/ressources/mti/fractal/node2.html>