

Analyse vibratoire : De l'identification d'un balourd à la classification des formes vibratoires de roulements et de moteurs

T. Delaunay⁽¹⁾, S. Courtin⁽²⁾, B. Durr⁽²⁾, E. Le Clézio⁽¹⁾ et G. Despau⁽¹⁾

⁽¹⁾ thomas.delaunay@umontpellier.fr ; Département d'enseignement EEA FdS
Institut d'Electronique du Sud UMR 5214, équipe Matériaux, Micro-capteurs et Acoustique
Université Montpellier 2 place Eugène Bataillon
34095 Montpellier Cedex 05 France

⁽²⁾ info@spectral-decisions.com, SONALYE, Alès

RESUME : Les auteurs du présent article ont mis en place en Licence Professionnelle Acoustique et Vibrations Mention Acoustique et Environnement Sonore de l'Université de Montpellier un certain nombre de travaux pratiques mettant en jeu des procédés d'analyse vibratoire. Sous forme de travaux pratiques, les étudiants démarrent par appréhender le principe simple de l'analyse spectrale à travers un exemple ludique de l'enregistrement vibratoire d'un ventilateur et de défauts type balourd, puis mettent en place une étude plus approfondie d'écoute de motoréducteur et de roulement à billes à partir de l'analyse temps/fréquence. Après synthèse de celle-ci, les étudiants peuvent donc distinguer les composantes transitoires et stationnaires et ainsi discriminer les indicateurs de défaut soumis à une méthode comparative pour ensuite mettre en œuvre un procédé de prise de décision de conformité. L'article reprend la description du matériel, la méthodologie et les performances atteintes à travers l'illustration de plusieurs exemples.

Mots clés : analyse vibratoire, acoustique, accéléromètre, synthèse sonore, licence professionnelle.

1 INTRODUCTION

L'analyse vibratoire est un procédé fortement déployé en contexte industriel dans la recherche, la détection et le diagnostic de défauts. La licence professionnelle « Acoustique en Environnement Sonore » est un cursus de l'Université de Montpellier dont l'objectif est de former les étudiants aux différents métiers de l'acoustique [1]. Ainsi, l'équipe pédagogique a mis en place un enseignement sous forme de travaux pratiques sur l'analyse de défauts de machine s'appuyant tout particulièrement sur l'écoute sonore et la synthèse. Nous présentons dans cet article, une approche multi-supports et progressive de procédés de mesure vibratoire et d'écoute.

Le premier volet se voulant être une initiation s'articule autour d'un simple ventilateur PC de refroidissement pour lequel l'enregistrement de la vibration permet d'en déduire les caractéristiques principales.

Le deuxième, qui présente une originalité particulière et réalisé en double encadrement, s'appuie sur la compétence d'une société spécialisée, SONALYE, dont le fondateur a mis à profit son expertise en synthèse de sons développée par son expérience afin d'apporter aux industriels une solution innovante, brevetée [2], pour le contrôle acoustique et vibratoire des pièces en production alliant la reconnaissance de signature acoustique et les techniques les plus récentes de traitement de signal.

Les étudiants appréhendent ainsi non seulement comment le son émis par une pièce en mouvement génère des vibrations mécaniques dont l'analyse permet un tri du type « conforme » ou « non conforme » mais aussi comment cette signature acoustique qualifie son fonctionnement.

2 ETAPE 1 : PRISE EN MAIN D'UN BANC D'ANALYSE VIBRATOIRE

2.1 Description du matériel

Le banc (figure 1) se compose d'un ventilateur de refroidissement sur lequel est disposé un accéléromètre, B&K type 4513 (10mV/g) dont la réponse est numérisée par une carte NI USB 4431, dont la description a été détaillée dans un papier CETSIS 2011 [3].



fig 1 : Banc d'analyse vibratoire

2.2 Analyse vibratoire

Depuis la plateforme LabVIEW®, les étudiants y tracent la FFT du signal de l'accéléromètre acquis. Cet outil leur permet en premier lieu d'y assimiler les notions élémentaires de choix de fréquence d'échantillonnage mais aussi

de fenêtrage temporel afin d'y comprendre les conséquences sur le tracé de la FFT.

A partir de l'analyse fréquentiel, les étudiants peuvent donc déduire la vitesse de rotation et le nombre de pales (figure 2) et introduisent ensuite des défauts classiques tel le balourd (ajout d'une masse) ou bien le frottement de la cage sur une pale (figure 3).

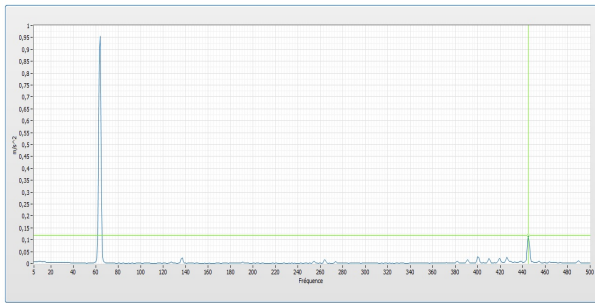


fig 2 : Ventilateur sain

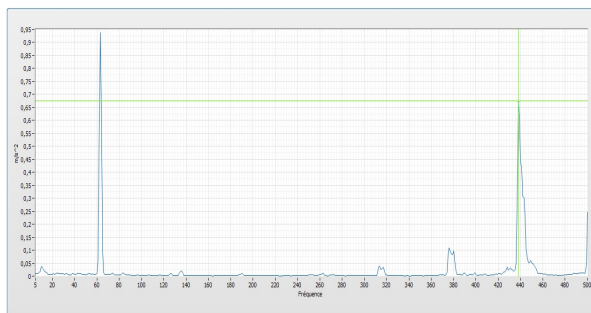


fig 3 : Frottement sur une pale

3 ETAPE 2 : CLASSIFICATION DE FORMES VIBRATOIRES

3.1 Objectif du principe

En condition industrielle, il est nécessaire de pouvoir qualifier une pièce. L'objectif est donc d'introduire ici l'analyse qualitative à travers l'écoute du signal telle le ferait l'oreille humaine.

Pour aller plus loin que les traditionnelles méthodes d'analyse spectrale, la technologie brevetée par SONALYSE décèle le même niveau de subtilités que l'oreille humaine. Il peut ainsi évaluer l'homogénéité de la production et prévenir une éventuelle dérive. Cette technologie s'applique à l'automatisation du contrôle de production aussi bien qu'à la maintenance conditionnelle, jusqu'à l'automatisation.

L'opérateur chargé de la qualification ne doit pas être gêné par les nuisances sonores ou le niveau de bruit environnant. Dès lors, l'enregistrement des vibrations émises par la pièce en mouvement garantit la pureté du signal et sa ré-audition ultérieure.

3.2 Description du matériel

Les étudiants peuvent au sens littéral du terme « écouter » le son produit à travers un accéléromètre d'un moteur (figure 4) et de ses différents composants, selon le type de bobinage et de variation de vitesse.



fig 4 : Série de moteur BMG réalisé par Crouzet Maroc [4]

Ainsi, ils ont l'opportunité de comparer des sous-ensembles comme la partie motoréducteur et les roulements. Ces derniers sont mis en rotation indépendamment par un banc dédié (figure 5).

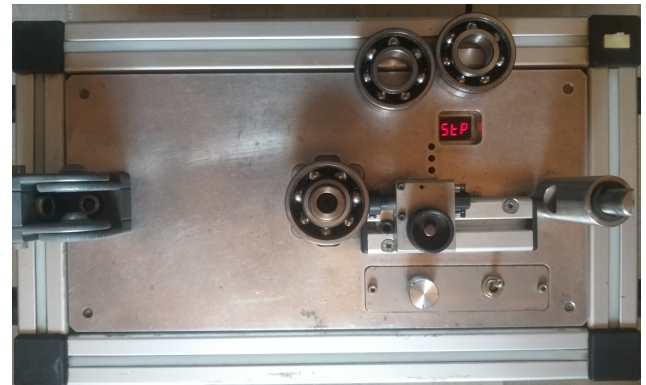


fig 5 : Banc d'entraînement pour roulement

Ce banc de test utilisé pour les roulements est constitué d'un mandrin entraîné par un moteur asynchrone au travers d'une courroie tubulaire. Chaque partie mécanique est si nécessaire, isolée à l'aide des silence-bloc. La prise de sons est réalisée via un accéléromètre afin de s'affranchir des perturbations acoustiques. Le roulement est maintenu sur le mandrin par un bras afin d'appliquer une contrainte simulant le milieu d'utilisation

L'acquisition du signal est assurée par un conditionneur (figure 6). La bande passante du capteur est conservée et correspond à celle de l'oreille humaine. La plage de réglage de gain s'étend de -18 dB à +78 dB et est précise à plus de 0.1dB.



fig 6 : Conditionneur de signaux

Muni d'une sortie casque et de voyants d'indication de niveaux avec protection des surintensités acoustique, le signal de l'accéléromètre peut être « écouté ».

3.3 Déroulement du contrôle acoustique

L'accéléromètre permet de capter localement les vibrations de la surface de la pièce en contact. Ainsi les élèves peuvent déplacer la zone de prise de sons afin de déterminer l'emplacement le plus judicieux pour entendre suffisamment tous les défauts.

3.3.1 Identifier

L'identification des défauts est incontournable et préalable à l'écoute. La figure 7 montre la superposition spectrale de deux motoréducteurs mettant en évidence que différents diagnostics peuvent être rendus à partir d'une même prise de son selon le traitement de signal réalisé.

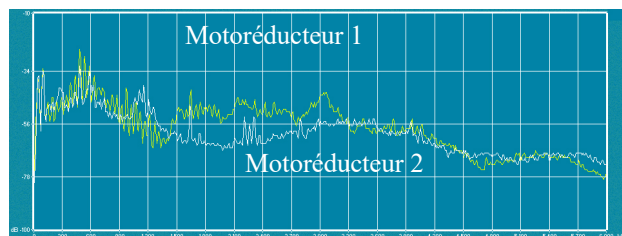


fig. 7 : Superposition spectrale de pièces en mouvement

3.3.2 Écouter et voir

Une fois le son / la vibration acquis, dans cette étape les étudiants doivent séparer à l'oreille, par filtrage adapté, chacun des défauts pour les traiter indépendamment. Ils dressent alors une classe de timbre et font apparaître sur

une analyse temps/fréquence (sonogramme), figure 8, leur allure respective.

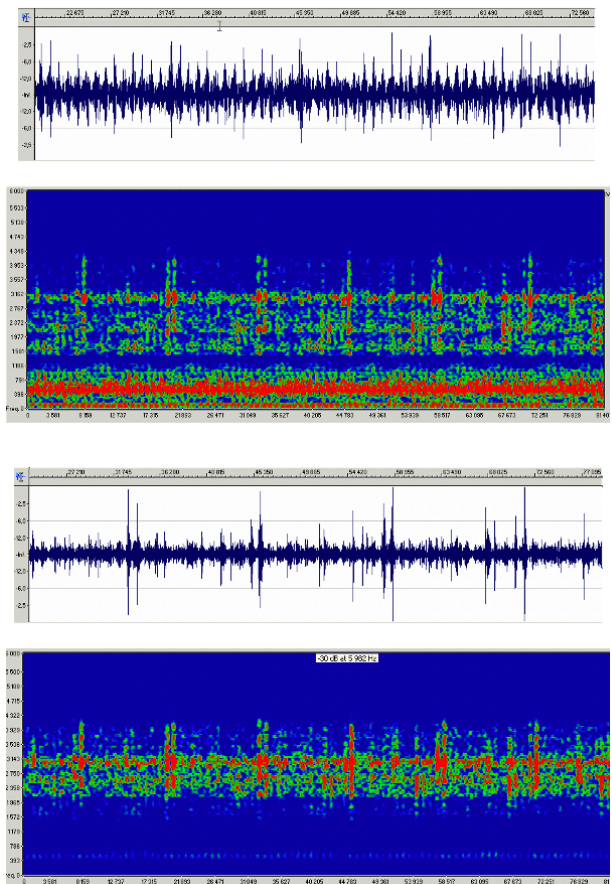


fig 8 : Comparaison de sonogrammes

Un phénomène stationnaire est d'amplitude et de fréquence constante dans le temps alors qu'un phénomène transitoire est localisé dans le temps. Ce dernier révèle en particulier le défaut. Sur la figure 8, on constate bien qu'une répétition de ces phénomènes transitoires n'est pas identifiable dans un simple plan fréquence (figure 7).

3.3.3 Analyser et synthétiser

Pour se familiariser avec le plan temps/fréquence on demande aux élèves de générer des signaux de synthèse (figure 9) pour se rapprocher au maximum des défauts qu'ils ont vu et entendu. Et ainsi ils comprennent qu'ils sont en capacité concevoir des modèles à soumettre à des descripteurs spécifiques.

Pour reconnaître les formes stationnaires des formes transitoires, on utilise la transformée de Wigner-Ville (1).

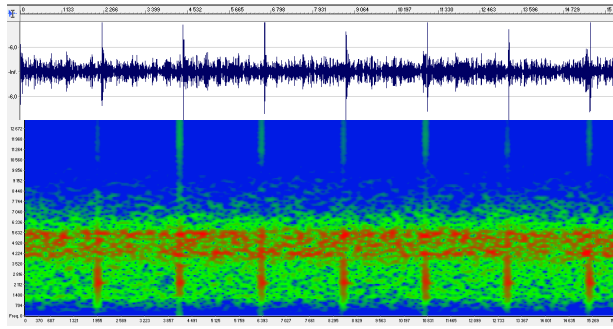


fig 9 : Signaux synthétiques

$$W_x(t, \vartheta) = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) \cdot x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-i2\pi\vartheta\tau} d\tau \quad (1)$$

Ainsi il est possible de séparer la modulation d'enveloppe de la fréquence instantanée et réaliser des statistiques pour une métrologie comparative

3.3.4 Méthodologie comparative

Pour chacun des phénomènes constants ou transitoires, les élèves peuvent choisir entre plusieurs descripteurs. Ils peuvent constater que la distribution d'enveloppe est efficace pour trier les sons à caractère transitoire. En effet une distribution normale indique une amplitude constante du signal mais étalée, elle révèle des irrégularités telles que des chocs, qui peuvent se répéter à intervalles réguliers comme la cyclostationnarité.

A l'aide d'une batterie d'éprouvettes sonore pré-étiquetées, de roulements enregistrés, ou bien de leur modèle synthétique, ils peuvent comparer l'étalement des distributions et son impact dans un espace multidimensionnel.

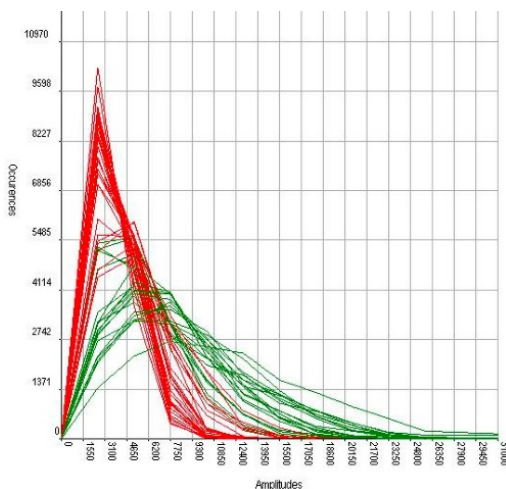


fig 10 : Exemple choix descripteurs sur distribution d'enveloppe

3.3.5 Décider... « Conforme » ?

Enfin, ils manipulent les notions de tri par proximité Euclidienne ou de Manhattan et les notions de recouvrement. Ils constatent que toute la chaîne est à maîtriser jusqu'à l'interprétation lors de l'étiquetage, plus les lots sont clairement séparés, plus ils permettent facilement la décision.

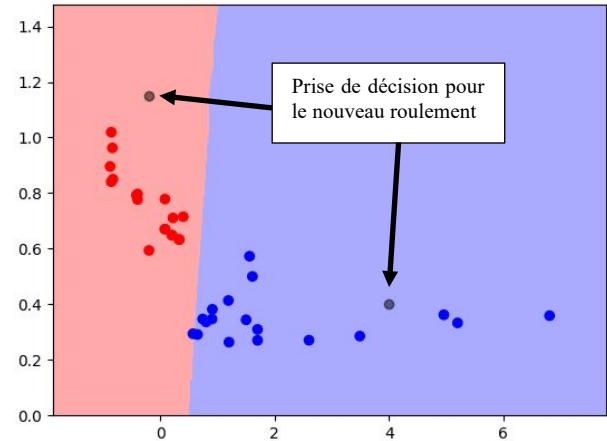


fig 11 : Espace statistique pour la comparaison et la décision par KNN

4 CONCLUSION ET RETOUR ETUDIANTS

Les pièces en rotation permettent des enregistrements continus suffisamment longs pour prendre le temps d'écouter, de régler d'interagir avec le monde vibratoire. L'approche statistique qui en découle déplace l'objet acoustique de la perception de l'étudiant vers un espace abstrait à n dimensions. La mise en adéquation des outils de prise de sons, de synthèse, l'ajout de défauts et le lien entre l'audition et la vision, sont des liens suffisamment forts pour créer une base consistante à l'élaboration de technique d'analyse de traitement mathématiques de signal.

Les étudiants affichent un réel intérêt face à « l'écoute » de l'accéléromètre qui intègre ici la nécessité d'utiliser un banc de mesure. L'utilisation de la synthèse à d'autres fins que la musique présente une nouveauté de plus le lien entre mécanique et statistique leur devient clair.

Bibliographie

- [1] <http://www.lproacoustique.univ-montp2.fr>
- [2] Dispositif et procédé de test acoustique et vibratoire de pièces mécaniques, B. Durr, brevet n°0213133, 2002
- [3] Vers de nouveaux procédés sonométriques, G. Despau et T. Delaunay, Trois Rivières, CESTIS 2011
- [4] <https://www.pei-france.com/article/moteurs-courant-continu-a-balais/>