

# THESE CIFRE SAFRAN TECH

## Analyse des signaux vibratoires et sonores capturés par smartphone/tablette à bord d'un hélicoptère

### Contexte

Les hélicoptères sont des systèmes complexes dont il convient de suivre les performances en temps-réel. Le diagnostic complet nécessite pour être vraiment opérationnel des mesures non-intrusives basées sur des informations de type vibro-acoustiques. Il doit aussi savoir distinguer les modes de défaillance d'origine mécanique (roulements, engrenages, turbomoteurs).

Les smartphones et autres tablettes (PDA) sont équipés de nombreux capteurs qui permettent de recueillir des informations, avec cependant une qualité dégradée liée à la nature des capteurs « grand public » dont ils sont équipés. Nous proposons d'étudier comment, à partir de ces capteurs, on peut analyser en temps réel l'état des moteurs des hélicoptères et établir un diagnostic qui permettra d'anticiper et d'optimiser la maintenance. Le travail s'appuiera sur des données de référence recueillies sur les moteurs et sur les données capturée par le PDA au cours de vols réels.

Cette thèse CIFRE se fera en partenariat entre Safran Tech (entité de recherche du groupe Safran), Safran Helicopter Engines, et Safran Analytics. Le rôle des différents partenaires est défini comme suit : Safran Tech aura en charge l'encadrement et le développement des algorithmes (filtrage, traitement du signal, acquisition, maintenance prédictive), Safran HE sera chargé de fournir les données expérimentales et Safran Analytics fournira les plateformes de calcul et un support de co-encadrement.

### Analyse temps-réel des performances d'un hélicoptère :

Les objectifs sont de (1) collecter et structurer les données issues des boîtiers spécialisés à bord des hélicoptères et des PDA utilisés dans cette étude ; (2) corrélérer les signaux des différentes sources et effectuer le filtrage nécessaire pour extraire les informations cachées dans les signaux collectés par le PDA ; (3) extraire des signaux sonores et vibratoire issus du PDA des informations sur l'état du moteur ou des anomalies de vol ; (4) mettre au point un modèle de maintenance prédictive grâce à d'autres information collectées par Safran HE au sol et en maintenance.

### Travail de recherche proposé :

La nature des signaux issus des capteurs embarqués dans un PDA est variée. On retrouve des signaux accélérométriques, acoustiques, GPS, température, altimètre, etc... Ces capteurs mesurent des

grandeurs physiques différentes, observant parfois, les mêmes phénomènes physiques : bruits moteurs, bruits aérodynamiques, passage des pales. Dans ce qui suit, on se focalisera principalement sur le traitement des signaux acoustiques et vibratoires, même si en pratique on exploitera l'ensemble des données pour une meilleure compréhension du contexte environnemental de l'hélicoptère. De plus, en termes de surveillance et de maintenance préventive on s'intéressera plus particulièrement à la surveillance de la transmission de puissance [5, 8,10] : engrenages, roulements, lignes d'arbres et turbomoteur. Les signaux accélérométriques et acoustiques prélevés sur un aéronef sont complexes et riche en information [1]. Un capteur donné observera l'ensemble des sources : roulements, engrenages, bruits aérodynamique, etc.

Une des premières étapes sera d'identifier et d'extraire les sources vibratoires ou acoustiques d'intérêt (engrenages, roulements, turbomoteur, etc.) [2, 3, 4, et 7]. Les conditions de fonctionnement de l'hélicoptère entraînent que les signaux sont souvent non stationnaires ou cyclostationnaires [8], et entachés de bruits provenant de différents accessoires de l'hélicoptère (générateur de gaz, pompes à huile, etc). Une autre spécificité des machines tournantes dans le domaine de l'aéronautique est liée au fonctionnement même des turbomoteurs. Sans rentrer dans le détail de fonctionnement de ces moteurs, il apparait deux vitesses de rotation distinctes N1 et N2 associées respectivement à la rotation de la turbine haute pression et à la turbine libre. La turbine haute pression entraîne en rotation la turbine libre via un flux d'air chaud généré par la combustion. Il n'existe pas de liaison rigide entre ces deux turbines, de ce fait, la relation entre N1 et N2 est généralement non linéaire. Ces fréquences de rotations sont à l'origine des sources de vibrations tels que les roulements, les engrenages, les arbres... Dans ces conditions, il apparait des liens non linéaires entre les différentes sources vibratoires [8].

L'analyse spectrale à l'ordre deux permet de caractériser bon nombre de situation. Le spectre moyenné et la corrélation spectrale permettent par exemple de diagnostiquer la plupart des défauts de roulements ou engrenage dans des cas simples de machine tournante entraînées par des moteurs électriques ou moteurs thermique à pistons. Dans notre cas ou les liens sont plus complexes, il est nécessaire d'étudier les interactions et les relations entre les différentes sources mécaniques. Le problème est loin d'être trivial, car :

- les mouvements de rotation des différents organes des systèmes de transmission de puissance créent des modulations qui se manifestent par des interactions non-linéaires (liens cyclostationnaires),
- les lois de l'aérodynamique induisent des relations non-linéaires et non-stationnaires explicites entre les couples de rotations turbine haute pression et turbine libre.

Face à ces difficultés, des outils du Traitement du Signal peuvent apporter une aide

- au niveau de la modélisation des liens entre des signaux d'origine aérodynamique et mécanique par l'analyse bilinéaire, cyclostationnaire et éventuellement bilinéaire-cyclique et par des filtres non-stationnaires variant périodiquement dans le temps.
- au niveau de la séparation ou de l'extraction des signaux observés en composantes primaires qui seront ensuite analysées et diagnostiquées séparément. Les méthodes de séparation envisagées utiliseront la séparation de sources qui consiste à retrouver dans un ensemble de signaux des composantes indépendantes, la soustraction de bruit et /ou l'échantillonnage synchrone. L'estimation des sources mécaniques larges bandes de type

chocs mécaniques pourront être analysés ou estimés en exploitant le cumulante spectrale d'ordre 4.

Le spectre des disciplines impliquées dans cette démarche est relativement large et son succès passe par une parfaite maîtrise des signaux mesurés, de leur conditionnement, de leur traitement et de leur interprétation. Par ailleurs, étant donné la complexité des signaux considérés qui ne possèdent pas les propriétés habituelles de linéarité et de stationnarité, cette phase d'analyse doit être abordée par des spécialistes du traitement du signal, d'autant plus qu'elle promet d'être un champ d'application fertile des nouvelles méthodes de traitement du signal dédiées aux non-propriétés mentionnées.

## 1 Données d'entrée

- Signaux issus de bancs d'essais roulements, engrenages et moteur DGEN380 ;
- Signaux collectés par les boîtiers spécifiques (e.g. ISEI) déployés sur les hélicoptères qui serviront de population à cette étude ;
- Signaux collectés par un smartphone ou tablette installé à bord des hélicoptères instrumentés (soit sur support, soit transportés par un passager) ;
- Informations collectées au sol par les pilotes et agents de maintenance ;
- Informations de maintenances sur les moteurs étudiés ;
- Informations extérieures telles que météo, température, poids embarqué.

## 2 Objectif final (2018-2019-2020)

- Informations décrivant l'état du moteur ou des anomalies de vol extraites des signaux collectés par le PDA ;
- Analyse de ces informations ;
- Modèle de maintenance prédictive.

### **Bibliographie :**

- [1] Feedback on the Surveillance 8 challenge: Vibration-based diagnosis of a Safran aircraft engine, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 97, December 2017, Pages 112-144, Jérôme Antoni et al.
- [2] A hybrid deconvolution approach to separate static and moving single-tone acoustic sources by phased microphone array measurements, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 84, Part A, 1 February 2017, Pages 399-413, Pinxi Mo, Weikang Jiang
- [3] A time-domain inverse technique for the localization and quantification of rotating sound sources, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 90, June 2017, Pages 15-29, Xiao-Zheng Zhang, Chuan-Xing Bi, Yong-Bin Zhang, Liang Xu
- [4] A novel strategy for signal denoising using reweighted SVD and its applications to weak fault feature enhancement of rotating machinery, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 94, 15 September 2017, Pages 129-147, Ming Zhao, Xiaodong Jia
- [5] Bearings fault detection in helicopters using frequency readjustment and cyclostationary analysis, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 38, Issue 2, 20 July 2013, Pages 499-514, Victor Girondin, Komi Midzodzi Pekpe, Herve Morel, Jean-Philippe Cassar
- [6] About the cumulants of periodic signals, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 99, 15 January 2018, Pages 684-690, Axel Barrau, Mohammed El Badaoui
- [7] Adaptive parameter blind source separation technique for wheel condition monitoring, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 90, June 2017, Pages 208-221, Jie Zhang, Hongli Gao, Qiyue Liu, F. Farzadpour, Ying Tian
- [8] Jérôme Antoni "Cyclostationarity by examples" May 2009 *Mechanical Systems and Signal Processing* 23(4):987-1036
- [9] Higher-order spectra for identification of nonlinear modal coupling, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 23, Issue 4, May 2009, Pages 1037-1061, Daryl Hickey, Keith Worden, Michael F. Platten, Jan R. Wright, Jonathan E. Cooper
- [10] Diagonal slice spectrum assisted optimal scale morphological filter for rolling element bearing fault diagnosis, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 85, 15 February 2017, Pages 146-161, Yifan Li, Xihui Liang, Ming J. Zuo

### **Date de démarrage souhaitée :**

septembre/octobre 2018

### **Compétences requises :**

Traitement des données, traitement du signal, apprentissage statistique.

### **Lieux de la thèse :**

SAFRAN TECH, Paris-Saclay

Université de Lyon (Laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels et Laboratoire Vibrations Acoustique)

### **Contacts universitaires :**

Hugo André, [hugo.andre@univ-st-etienne.fr](mailto:hugo.andre@univ-st-etienne.fr) (Laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels, Roanne, Université de Lyon)

Jérôme Antoni, [jerome.antoni@insa-lyon.fr](mailto:jerome.antoni@insa-lyon.fr) (Laboratoire Vibrations Acoustique, Université de Lyon)