DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **21 décembre 2017**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **BREUNEVAL Romain**

Titre de la thèse : *« Surveillance de l'état de santé des actionneurs électromécaniques : application à l'aéronautique »*

Résumé

L'industrie aéronautique fait face à trois enjeux majeurs : la réduction de son empreinte environnementale, l'absorption de l'augmentation du trafic et le maintien d'un haut niveau de sécurité pour des systèmes de plus en plus complexes, à coûts équivalents. La maintenance prédictive permet de répondre en partie à ces trois enjeux. Les systèmes, dont on peut prédire la durée de vie peuvent être utilisés plus longtemps, ce qui diminue le nombre de composants utilisés sur la vie d'un avion. Ces méthodologies permettent également d'augmenter la disponibilité des aéronefs en évitant les arrêts non planifiés. Enfin, le suivi de l'état de vieillissement de l'avion permet d'optimiser la maintenance et ainsi de réduire les coûts. Dans les années 2000, ces méthodologies ont été appliquées sur les moteurs. Elles commencent maintenant à se généraliser aux autres systèmes avioniques. Ainsi cette thèse concerne la mise au point de méthodologies amenant à la maintenance prédictive d'actionneurs électro – mécanique (EMA) de commande de vol. Les problématiques et les contraintes (temps de calculs, quantités de mémoire…) liées à cette thématique sont détaillées.

Dans un premier temps, le calcul de signatures de défauts est abordé. Une première méthode est proposée pour les systèmes vis-écrou, basée sur l'identification d'un modèle de frottement, est proposée. Une deuxième méthode, reposant sur l'analyse des courants à partir d'une combinaison de décomposition modale empirique ensembliste complète et d'analyse aveugle de sources, est ensuite introduite. Ces deux méthodes sont testées sur des données issues de profils non opérationnels. Ces données sont issues d'un modèle de simulation représentant finement l'actionneur dans son environnement. L'ensemble des simulations représentent des essais virtuels sur une population d'EMA. A partir de ces simulations les signatures mises au point sont calculées. Puis, afin de valider ces signatures, des métriques de performances sont calculées.

Le diagnostic par reconnaissance de formes est ensuite traité. Un algorithme reposant sur une combinaison de machine à vecteur de supports et de fonctions floues d'appartenances est proposé. Celui-ci peut notamment estimer la sévérité d'un défaut. Il permet également de détecter des points ne correspondant pas à la base d'apprentissage, qui peuvent représenter des défauts inconnus ou des points appartenant à plusieurs classes à la fois, pouvant représenter des cas de défauts combinés. L'architecture d'un système de diagnostic complet, basée sur l'algorithme conçu, est détaillée.

Des validations expérimentales des méthodes de calcul de signatures et de diagnostic sont ensuite menées. Ces validations reposent sur trois bases issues de trois campagnes d'essais. La première repose sur des essais d'un EMA sain sur un banc représentatif. La deuxième concerne un moteur asynchrone en défaut en régime permanent. La dernière porte sur un moteur synchrone à aimants, de type aéronautique, en défaut de court-circuit inter-spires en régime permanent. Le respect des contraintes par l'algorithme est vérifié.

Enfin, des éléments pour aller vers le pronostic sont avancés. Le processus du pronostic est détaillé. Seule une partie de ce processus est traitée, sur des données issues de vieillissements de roulements. Dans un premier temps, le partitionnement de données de vieillissement pour créer des classes de sévérité de défaut est étudié. Cette tâche amène à proposer une métrique, dite de cohérence temporelle, permettant de vérifier qu'un résultat de partitionnement vérifie les contraintes pour le pronostic. Puis l'algorithme de classification proposé est validé sur les données partitionnées. Ceci amène à distinguer deux méthodes de validation, une approche dite diagnostic et une dite pronostic. Une méthode de normalisation, pour l'approche pronostic, est proposée. La prédiction des signatures dans le futur est ensuite traitée. Un algorithme de régression par SVR est utilisé. Enfin l'algorithme de diagnostic est appliqué aux données prédites, ce qui permet d'estimer la durée de vie utile restante. Ces résultats sont évalués selon différentes métriques de performances et selon les contraintes du cadre aéronautique.

Mots – Clés : diagnostic, pronostic, actionneur électromécanique, aéronautique, commande de vol, vis à rouleaux, MSAP, frottements, décomposition modale empirique, analyse en composante indépendante, reconnaissance de formes, machine à vecteurs de supports, flou, fonction d'appartenance, sévérité, rejet, partitionnement, normalisation, prédiction