

Soutenance de thèse

MIGUEL RESECO BATO soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'Institut Clément Ader et intitulée « *Nouvelle méthodologie générique permettant d'obtenir la probabilité de détection (POD) robuste en service avec couplage expérimental et numérique du contrôle non destructif (CND)* »

Le 17 mai 2019 à 10h00 amphithéâtre 4 de l'ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Christian BES	Professeur Université Paul Sabatier	Directeur de thèse
Mme Valérie KAFTANDJIAN	Professeure INSA Lyon	Rapporteur
M. Jean Marc BOURINET	Maître de Conférences Université Clermont Auvergne	Rapporteur
M. Yves GOURINAT	Professeur ISAE-SUPAERO	
M. Nazih MECHBAL	Professeur École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers	
M. Adnan BOUREHLA	Professeur École de l'aviation de Borj El Amri	
M. Aurélien RAUTUREAU	Ingénieur Airbus Operations S.A.S.	
M. Anis HOR	Professeur associé ISAE-SUPAERO	Codirecteur de thèse

Résumé :

L'estimation de la courbe POD est actuellement le principal défi du secteur aérospatial des CND en raison du coût élevé et des longues campagnes expérimentales: des études fiables nécessitent une grande quantité de données (base de données), résultant d'un grand nombre d'expériences de défauts et d'inspecteurs. Une difficulté supplémentaire est l'évaluation de l'impact des facteurs environnementaux (conditions de l'aéronef lors de tests expérimentaux réels) dans les résultats de POD obtenus en laboratoire et l'implication des fortes hypothèses mathématiques couramment utilisées. Dans cette thèse, l'impact sur les courbes POD des facteurs humains et environnementaux a été démontré dans les campagnes expérimentales pour deux méthodes de CND (Courants de Foucault (CF) à haute fréquence et Ultrasons (UT) à onde transversale). L'analyse de la base de données expérimentale réalisée pour les différents scénarios (laboratoire et avion) permet de mesurer leur influence sur les amplitudes du signal et les valeurs statistiques (a_{50}^* , a_{90}^* et $a_{(90/95)}^*$). La différence entre les scénarios consiste à modifier la position des échantillons, la proximité de l'écran CND et la position humaine, ce qui nous a permis de quantifier l'effet réel. Ensuite, une nouvelle méthode de construction de POD intégrant des facteurs humains opérationnels et environnementaux est proposée à l'aide de simulations numériques. Le défi consiste à créer un modèle de simulation capable de reproduire avec une grande fiabilité la campagne expérimentale en service menée par différents inspecteurs. En utilisant l'approche MAPOD (Model-Assisted POD), le modèle de simulation intègre les sources d'incertitude (défauts, matériaux et inspection) identifiées et quantifiées sous forme de distributions statistiques via le rapport des fournisseurs de spécimens et de défauts et l'observation des vidéos d'inspections expérimentales. Cette méthodologie permet d'acquérir les probabilités de détecter les longueurs de défaut en utilisant les amplitudes de signaux simulées basées sur les lois physiques et en n'ayant recours à aucune des hypothèses mathématiques fortes (par exemple, la linéarité, le krigeage, etc.). La comparaison des résultats expérimentaux développés dans chaque scénario (laboratoire et avion) pour les deux méthodes de CND (courants de Foucault et ultrasons) montrent la robustesse et la fiabilité de cette méthode. En conclusion, la nouvelle méthodologie générique fournit des résultats encourageants et prometteurs pour remplacer ou compléter les tests expérimentaux par la simulation numérique, qui sont plus efficaces en termes de coût et de temps pour les travaux futurs en réduisant au minimum le nombre d'essais expérimentaux. Les travaux futurs viseront à élargir notre approche aux

techniques plus générales des essais non destructifs (radiographie, tomographie par ordinateur, guides de vagues, etc.), des matériaux (acier, autres profilés en aluminium et titane, etc.) et des secteurs des essais non destructifs (industrie nucléaire, automobile, médical, etc.).

Mots-clés : Probabilité de détection (POD), Contrôle Non-Destructive (CND), simulation numérique des CND, Probabilité de détection assistée par modèle (MAPOD), facteurs humains opérationnels et environnementaux, contrôle d'inspection CND des aéronefs et intervalles de maintenance

Summary:

The performance assessment of non-destructive testing (NDT) procedures in aeronautics is a key step in the preparation of the aircraft's certification document. Such a demonstration of performance is done through the establishment of Probability of Detection (POD) laws integrating all sources of uncertainty inherent in the implementation of the procedure. These uncertainties are due to human and environmental factors in In-Service maintenance tasks. To establish experimentally these POD curves, it is necessary to have data from a wide range of operator skills, defect types and locations, material types, test protocols, etc. Obtaining these data evidences high costs and significant delays for the aircraft manufacturer. The scope of this thesis is to define a robust methodology of building POD from numerical modeling. The POD robustness is ensured by the integration of the uncertainties through statistical distributions issued from experimental data or engineering judgments. Applications are provided on titanium beta using high frequency eddy currents NDT technique. First, an experimental database will be created from three environments: laboratory, A321 aircraft and A400M aircraft. A representative sample of operators, with different certification levels in NDT technique, will be employed. Multiple inspection scenarios will be carried out to analyze these human and environmental factors. In addition, this study will take into account the impact of using different equipments in the HFEC test. This database is used, subsequently, to build statistical distributions. These distributions are the input data of the simulation models of the inspection. These simulations are implemented with the CIVA software. A POD module, based on the Monte Carlo method, is integrated into this software. This module will be applied to address human and ergonomic influences on POD. Additionally this module will help us to understand in a better way the equipment impact in POD curves. Finally, the POD model will be compared and validated with the experimental results developed.

Keywords: Probability Of Detection (POD), Non-Destructive Test (NDT), numerical simulation, Model-Assisted POD (MAPOD), operational human and environmental factors, aircraft NDT control and inspection maintenance intervals