

## Soutenance de thèse

**Joao PAFUME COELHO** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'institut Clément Ader et intitulée « *Contrôle Passif Non-linéaire du Phénomène Instable de Résonance Sol des Hélicoptères* »

**Le 25 septembre 2017 à 14h00, Institut Clément Ader**

devant le jury composé de

M. Pierre ARGOUL	Professeur Ecole des Ponts ParisTech	Rapporteur
M. Régis DUFOUR	Professeur INSA Lyon	Rapporteur
M. Guilhem MICHON	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Domingos RADE	Professeur Instituto Tecnológico de Aeronáutica	
Mme Annie ROSS	Professeur Ecole Polytechnique Montréal	
M. Leonardo SANCHES	Professeur Universidade Federal de Uberlândia	Codirecteur de thèse

### Résumé

Le phénomène de résonance sol (PRS) est une instabilité pouvant survenir lorsque l'hélicoptère est au sol et le rotor est en marche ; elle peut vite aboutir à la destruction de l'appareil. L'origine de l'instabilité est un couplage entre les mouvements de roulis du fuselage posé sur le train d'atterrissage et le mouvement asymétrique de l'ensemble des pales dans le plan du rotor principal. Le PRS est actuellement évité par une combinaison des amortisseurs (de trainée) aux pales du rotor et au train d'atterrissage ; les amortissements devant respecter une condition minimale. Etudier théoriquement des alternatives de stabilisation par des absorbeurs de vibration linéaires (tuned mass dampers - TMD) et non linéaires (nonlinear energy sinks - NES) c'est le sujet de ce travail de thèse. Ces possibilités sont étudiées en ajoutant à un modèle minimal d'un hélicoptère à quatre pales identiques (rotor isotrope), précédemment étudié par l'équipe de l'ISAE, d'abord, un TMD au fuselage, puis des TMD identiques au niveau de l'articulation de pales du rotor. Ensuite, des dispositifs à raideur purement non linéaire (NES) sont considérés, d'abord, au fuselage, puis, aux pales du rotor (NES identiques). Dans la première partie du travail, l'application d'une approche analytique basée sur la perturbation des valeurs propres, d'abord validé sur un modèle d'un oscillateur divergent simple, en présence d'un TMD, a permis de définir des conditions minimales de stabilisation à être respectées par les paramètres du TMD (ratio d'inertie, désaccordement et amortissement). Ces conditions sont validées par la comparaison avec des calculs numériques des valeurs propres dans une région de l'espace de paramètres. Les analyses montrent que le niveau d'amortissement au TMD est un paramètre clé et que les absorbeurs linéaires peuvent théoriquement remplacer les amortisseurs associés à la partie de l'hélicoptère (fuselage ou rotor) à laquelle ils sont attachés ; les amortisseurs des parties complémentaires étant toujours nécessaires pour avoir la stabilité. Dans la deuxième partie du travail, des modèles analytiques de l'hélicoptère en présence d'un NES au fuselage ou des NES identiques aux pales du rotor sont étudiés à l'aide d'une approche en échelles multiples/ bilan harmonique (MMSHB). L'application de la méthode est précédée par une réduction du modèle de l'hélicoptère à un seul mode instable. Des différents régimes de comportement sont identifiés en fonction de la quantité, l'amplitude et de la stabilité des

cycles limites à l'équilibre. Cela dit, le système peut ne pas être stabilisé ou avoir soit une stabilisation asymptotique, soit une stabilisation vers un cycle limite stable ou alors une stabilisation suivant un régime de relaxation. Le type ou l'absence de la stabilisation sera dicté par le niveau d'amortissement présent dans l'hélicoptère, comparativement à l'amortissement du NES. Des régions de stabilisation sur le plan de paramètres du NES (amortissement et rapport d'inertie) sont analytiquement calculées. Dans chaque cas, la procédure analytique est validée par une comparaison avec des simulations numériques. Dans la dernière partie du travail, le NES proposé dans l'étude analytique est étudié expérimentalement, à l'aide d'un banc expérimental reproduisant le PRS. Des NES identiques sont ainsi incorporés à l'articulation de chacune des « pales » du banc d'essai. Faute du faible niveau d'amortissement aussi du NES que du banc d'essai, une stabilisation n'a pas été expérimentalement détectée. Néanmoins, les auteurs de ce travail conjecturent que l'augmentation de l'amortissement du NES pourra être faite sans recours à des grandes modifications du design – voici la première des perspectives de ce travail. Encore sur les perspectives, des études expérimentales détaillées de chacun des dispositifs TMD ou NES analysées dans cette thèse pourront être guidés par les résultats analytiques obtenus.