

Soutenance de thèse

Jesùs GARCIA PEREZ soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'ICA et de l'Université du Michigan et intitulée « *Contrôle des instabilités dynamiques non linéaires à l'aide de la prédiction* »

Le 28 mai 2024 à 13H30, salle Clément ADER - ICA

devant le jury composé de

| | | |
|----------------------|------------------------|----------------------|
| M. Guilhem MICHON | ISAE-SUPAERO | Directeur de thèse |
| M. Bogdan EPUREANU | University of Michigan | Codirecteur de thèse |
| M. Jean-Luc DION | ISAE-SUPMECA | Rapporteur |
| M. Emmanuel FOLTÊTE | SUPMICROTECH-ENSMM | Rapporteur |
| M. Benjamin CHOUVION | École de l'air | Examineur |
| M. Éric LAURENDEAU | Polytechnique Montréal | Examineur |

Résumé : Les phénomènes aéroélastiques posent des défis importants dans la conception des aéronefs, et plus particulièrement lors de l'utilisation d'ailes à grand allongement et flexibles afin d'améliorer l'efficacité aérodynamique. Ces avancées, observées à la fois dans les avions de haute altitude et d'endurance ainsi que dans les avions commerciaux, introduisent des complexités en raison des fréquences de mode réduites et d'une susceptibilité accrue aux instabilités aéroélastiques, notamment le flottement, qui peut mener à une défaillance structurelle. En présence d'effets non-linéaires structurels ou aérodynamiques, la réponse du système prend la forme de cycles limites. Ces cycles limites sont caractérisés par une réponse stable du système, où l'oscillation reste périodique tant que la vitesse de l'écoulement demeure constante. Deux types de bifurcation peuvent se manifester : supercritique ou sous-critique. Cette dernière est particulièrement dangereuse en raison de la multiplicité des solutions stables, et l'une d'elles présente une grande amplitude de vibration. Récemment, de nouvelles stratégies de contrôle passif ont été développées pour contrôler les instabilités, en ajoutant des oscillateurs secondaires pour capturer l'énergie en vue de retarder ou d'éliminer ces phénomènes instables. Les solutions de contrôle passif sont priorisées car elles ne sont pas sujettes aux contraintes énergétiques ou aux retards dans la boucle de rétroaction, contrairement aux techniques de contrôle actif. La conception et l'optimisation d'un tel dispositif nécessitent une étude approfondie du régime post-flottement, défini par les diagrammes de bifurcation. Toutefois, la caractérisation des diagrammes de bifurcation à l'aide des méthodes traditionnelles reste une tâche complexe, en particulier pour les structures aéroélastiques flexibles et de grande envergure. Dans ce cadre, une nouvelle approche a été introduite pour prédire la dynamique instable des systèmes non-linéaires. La méthode de prédiction est sans modèle et utilise des mesures de la réponse du système collectées seulement dans le régime pré-bifurcation. Cette approche a déjà démontré son potentiel pour anticiper des dynamiques dangereuses avant qu'elles ne surviennent. Un défi connexe réside dans l'utilisation des techniques prédictives pour élaborer des algorithmes visant à modifier les caractéristiques de bifurcation et à améliorer la stabilité. Ce travail vise à développer et à approfondir la compréhension d'un absorbeur passif non linéaire innovant, dénommé flap-NES, pour le contrôle du flottement, avec l'aide des données obtenues à partir des techniques de prédiction. Le système est composé d'un absorbeur non linéaire installé comme surface de contrôle afin de bénéficier d'un amortissement aérodynamique. Dans cette optique, la conception numérique et l'optimisation d'un flap-NES ont été développées afin de contrôler le régime instable d'une section aéroélastique typique. Les résultats ont démontré le potentiel de l'absorbeur non-linéaire à retarder le flottement et à réduire l'amplitude des oscillations

des cycles limites. La technique de prédiction a ensuite été appliquée pour analyser et détecter les changements dans le diagramme de bifurcation d'un système aéroélastique soumis à diverses conditions de vol. La méthode préconisée s'appuie sur la connaissance des caractéristiques non linéaires du système et sur les transitoires de la zone pré-flottement pour caractériser et prédire avec aisance le début de l'instabilité et le type de bifurcation rencontrée. En dernier lieu, une investigation expérimentale d'un absorbeur passif flap-NES est exposée, mettant en lumière les résultats expérimentaux pour différentes valeurs paramétriques des caractéristiques du flap-NES, et illustrant ainsi une amélioration significative dans le retardement de l'apparition de l'instabilité et la réduction de l'amplitude des vibrations.

Mots-clés : computationnelle, expérimental, prédiction

Summary: In the field of nonlinear dynamics, mechanical and fluid-structural systems may exhibit two kinds of phenomena: resonances and instabilities. The latter is due to the coupling with another source of energy, such as energy from rotation or fluid flows. These phenomena are present in aeronautical applications such as helicopter ground resonance and aeroelastic flutter. Adding the effects of structural or aerodynamical nonlinearities, the system response is in the form of limit cycle oscillations (LCOs). Two types of bifurcation may occur for LCOs: super- or sub-critical, the latest being highly dangerous due to the multiplicity of stable solutions with one solution having a large amplitude. Recently, new strategies have been developed to passively control these instabilities by adding secondary oscillators to capture energy as to delay or suppress these types of unstable phenomena. Predicting critical transitions and post-transition dynamics of complex systems is a unique challenge. A novel approach has been introduced to forecast Hopf bifurcations and the post-bifurcation dynamics of nonlinear systems. The forecasting method is model-less and uses measurements of the system response collected only in the pre-bifurcation regime. This approach can be used to predict dangerous dynamics before it occurs. A related challenge is how to use the forecasting technique to create algorithms for modifying the bifurcation characteristic and enhance stability. The purpose of this project is to increase the performance of this control with a better estimation of the system response by forecasting its behavior before the occurrence of the instability. The work will be based on experimental analysis as well as computational investigations.

Keywords: computational, experimental, passive control