



" *Prédiction du flottement de soufflante avec prise en compte des non-linéarités en pied d'aube* ».

« *Fan blade flutter prediction with nonlinear contact interfaces at blade roots* »

Soutenance de thèse – Nicolas Ombret

Mercredi 9 novembre 2022 à 10h30

en Amphi 203 (bât. W1, 2^{ème} étage) à l'Ecole Centrale de Lyon.

Devant le jury composé de :

Directeur de Thèse :

F. Thouverez Professeur, Ecole Centrale Lyon

Examineur :

R. Fortes-Patella Professeur des Universités, Grenoble INP
V. Chenaux Ingénieur de recherche, DLR
R. Daon Ingénieur, Safran Aircraft Engines

Rapporteur :

JF. Deü Professeur des Universités, CNAM
JC. Chassaing Professeur, Sorbonne Université

Co-encadrant de thèse :

A. Dugeai Ingénieur de recherche, ONERA
L. Blanc Professeur, Ecole Centrale de Lyon

Résumé / Abstract

Le flottement est une instabilité de couplage aéroélastique entre un fluide et une structure élastique. Cette interaction libre conduit à une amplification exponentielle de l'amplitude de vibration des structures qui y sont sujettes, pouvant les mener à la rupture mécanique. Dans le cadre des soufflantes de turboréacteur et des architectures de nouvelle génération, prédire efficacement ce phénomène lors des phases de conception est un enjeu permanent pour assurer l'opérabilité de l'appareil en vol. Le but de cette thèse est d'améliorer les méthodes numériques de prédiction du flottement par rapport aux approches classiquement employées. Elle propose en particulier de prendre en compte les non-linéarités de frottement en pied d'aube dans l'analyse de stabilité aéroélastique. Ces non-linéarités sont en effet susceptibles de dissiper de l'énergie au-delà d'une certaine amplitude de vibration de la structure, pouvant donner naissance à de nouvelles solutions périodiques stables non prédites dans le cadre classique d'une structure linéaire.

Afin de prendre en compte les non-linéarités de frottement dans l'analyse de stabilité aéroélastique, une approche par mode complexe non-linéaire a été privilégiée. Initialement défini pour caractériser la dynamique des structures en frottement en absence de fluide, le concept de mode complexe non-linéaire a été étendu afin de tenir compte d'un terme externe d'interaction libre d'origine aérodynamique. Par la suite, deux méthodes de couplage ont été proposées selon une approche partitionnée afin de résoudre cette nouvelle définition des modes complexes non-linéaires dans un cadre aéroélastique.

Les méthodes de couplage proposées dans le cadre de ces travaux de thèse ont permis de déterminer la présence de solutions périodiques stables, aussi appelées cycles limites, à l'intérieur des zones de fonctionnement instables prédites par les méthodes classiques. L'amplitude de ces solutions périodiques est par ailleurs bien corrélée aux mesures expérimentales à disposition sur la configuration industrielle étudiée. Enfin, les interactions entre la dynamique non-linéaire de la structure et la dynamique du fluide sont analysées pour différents niveaux de non-linéarités. Un impact important de la fréquence libre de vibration est noté sur la stabilité aéroélastique en cas de flottement d'origine acoustique (flutter-bite).

Flutter is an aeroelastic instability resulting from a coupling between a fluid and an elastic structure. This instability leads to an exponential increase of the structure vibration amplitude, eventually resulting in structural critical failure. For the next generation of jet engines, it is mandatory to predict properly fan blade flutter to ensure a safe flight of the aircraft as they are more prone to aeroelastic phenomenon. This work aims at improving existing methodologies to predict fan blade flutter. To do so, a methodology which takes into account nonlinear friction at blade roots is proposed. Dry friction forces are expected to lead to energy dissipation in the form of heat at blade roots, which contributes to the stabilization of the row by dissipating energy added from the fluid. Hence, stable periodic vibrations of the structure may arise beyond the stability limits classically predicted in the scope of a linear structure.

To take friction nonlinearities into account in the aeroelastic stability analyses, an approach using nonlinear complex mode has been chosen. Firstly defined to describe the nonlinear dynamics of structures in vacuum with friction interfaces, the nonlinear complex mode concept has been extended to take into account aerodynamic forces coming from the free interaction between the fluid and the nonlinear dynamics of the structure. Then, two partitionned coupling strategies have been proposed to solve the aeroelastic nonlinear complex mode.

Both coupling strategies proposed in the scope of this work successfully predicted flutter induced limit cycle of oscillations beyond the stability limits computed when considering only a linear structure. Furthermore, the computed limit cycle of oscillations amplitudes are well correlated to experimental data available for the studied state of the art fan. Finally, interactions between the structure nonlinear dynamics and the fluid dynamics are analyzed depending on the level of nonlinearities in the system. A strong impact of the free frequency of movement on the aeroelastic stability has been noticed in the case of inlet fan acoustic interactions (flutter bite).

Mots clés / Key words

Flottement, Interaction fluide-structure, Flutter-bite, Frottement sec, Dynamique libre non-linéaire, Cycle limite, Mode complexe non-linéaire,

Fluid structure interaction, Flutter bite, Dry friction, Free nonlinear dynamics, Limit cycle of oscillations, Nonlinear complex mode,