



Soutenance de thèse – Théo Flament

Reduced order model of nonlinear structures for turbomachinery aeroelasticity

Modèle d'ordre réduit de structures non linéaires pour l'aéroélasticité
des turbomachines

Mardi 19 Décembre 2023 à 15 h00

ONERA/Châtillon – Salle Contensou

Devant le jury composé de :

Directeur de Thèse :

Jean-François Deü, Professeur, CNAM

Rapporteurs :

Evangéline Capiez-Lernout, MCF HDR, Université Gustave Eiffel
Fabrice Thouverez, Professeur, École Centrale de Lyon

Examineurs :

Florence Nyssen, Senior Research Engineer, Cenaero
Marc Mignolet, Professeur, Arizona State University
Cyril Touzé, Professeur, ENSTA Paris
Jean-François Deü, Professeur, CNAM
Antoine Placzek, Ingénieur de recherche, ONERA
Mikel Balmaseda, Ingénieur de recherche, ONERA

Résumé/Abstract

Ce travail concerne le développement d'un modèle d'ordre réduit non-intrusif de structures non-linéaires géométriques, en vue de remplacer le solveur non-linéaire structure dans le cadre d'un couplage partitionné pour la résolution numérique de problèmes d'interaction fluide-structure et en particulier la prédiction des phénomènes d'aéroélasticité rencontrés au sein des turbomachines. La formulation proposée pour construire ce modèle réduit est basée sur la projection des équations sur une base de dimension réduite, contenant à la fois des modes linéaires de la structure ainsi que des modes duaux. Ces derniers ont pour but d'enrichir la base de modes propres afin de capturer les comportements non-linéaires. Une méthode originale de calcul des coefficients des efforts non-linéaires projetés dans cette base est également proposée. Des efforts sont imposés à la structure contrairement aux déplacements imposés habituellement utilisés. Ainsi, les mêmes cas de chargement peuvent être utilisés à la fois pour la détermination des modes duaux et pour celle des coefficients des efforts non-linéaires projetés. Dans ce manuscrit, la méthodologie de construction du modèle réduit est détaillée. Elle est validée dans un premier temps sur un cas simple de poutre non-linéaire d'Euler-Bernoulli soumise à différents cas de chargement, y compris dans le cadre d'un couplage fluide-structure partitionné impliquant des vibrations induites par des vortex. La capacité de ce modèle réduit à remplacer un solveur éléments finis non linéaire y est démontrée. Une validation sur des cas d'application 3D est également proposée, dont le cas complexe d'une aube de soufflante d'un moteur réaliste soumise à un chargement aérodynamique instationnaire.

Mots clés : Dynamique des structures, vibrations, non-linéarités géométriques, réduction de modèle, interaction fluide-structure, aéroélasticité

This work concerns the development of a reduced order model for geometric nonlinear structures, to replace the nonlinear structure solver within the framework of partitioned coupling for the numerical resolution of fluid-structure interaction problems, and thus the prediction of aeroelasticity phenomena encountered in turbomachinery. The construction of the reduced order model is based on a projection of the equations into a basis of reduced dimension, containing both linear modes of the structure and dual modes. The purpose of the latter is to enhance the basis of linear normal modes in order to capture the non-linearity. An original method for calculating the coefficients of non-linear forces projected into this base is also proposed. Forces are imposed on the structure, as opposed to the usual approach of imposed displacements. The same loading cases can thus be used to determine both the dual modes and the coefficients of the projected non-linear forces. In this thesis, the methodology to build the reduced order model is detailed. It is first validated on a simple case of a nonlinear Euler-Bernoulli beam subjected to different loading conditions, including a partitioned fluid-structure coupling involving vortex-induced vibrations. The ability of this reduced order model to replace a nonlinear finite element solver is demonstrated in this last application. Validation on 3D cases is also proposed, including the complex geometry of a realistic engine fan blade subjected to unsteady aerodynamic loading.

Keywords : Structural dynamics, vibrations, geometric nonlinearity, reduced order model, fluid-structure interaction, aeroelasticity.