



Stabilité aéroélastique numérique de profils laminaires transsoniques *Numerical aeroelastic stability of transonic laminar airfoils*

Soutenance de thèse – Matthias Plath

Vendredi 6 décembre 2024 à 14 H 00

Salle AY-02-63 – ONERA Meudon

Jitsi : [https://rdv.onera.fr/06_12_2024_defense Matthias Plath](https://rdv.onera.fr/06_12_2024_defense_Matthias_Plath)

Devant le jury composé de :

- Directeur de Thèse :

* Christian TENAUD, Université Paris Saclay (CNRS, CentraleSupélec), Gif-sur-Yvette, France

- Rapporteurs :

* Neil SANDHAM, University of Southampton, Royaume-Uni

* Eusebio VALERO, Universidad Politécnica de Madrid, Espagne

- Examineurs :

* Jean-Christophe ROBINET, Arts et Métiers ParisTech (Laboratoire de Dynamique des Fluides), Paris, France

* Isabelle VALLET, Université Pierre et Marie Curie (Institut Jean le Rond d'Alembert), Paris, France

* Sebastian TIMME, University of Liverpool, Royaume-Uni

- Encadrants :

* Florent RENAC, DAAA/NFLU, ONERA Châtillon, France

* Olivier MARQUET, DAAA/MAPE, ONERA Meudon, France

---0---

Résumé / Abstract

Ce travail de thèse concerne le développement et l'application d'outils d'analyses linéaires et non linéaires d'écoulements aérodynamiques et aéroélastiques autour de profils d'aile laminaires en régime transsonique. La complexité des comportements instationnaires de l'écoulement dans ce régime, même en l'absence de mouvement structurel, rend difficile la prévision numérique précise de ces phénomènes. Par conséquent, la plupart des modèles numériques actuels fonctionnent sur l'hypothèse d'écoulement "pleinement turbulent", en négligeant l'effet de la transition de la couche limite. Ce travail vise à combler cette lacune en étendant les approches numériques à une formulation modélisant la transition en régime transsonique. La première étape consiste à développer un modèle de transition à une équation, basé sur la corrélation, couplé au modèle de turbulence de Spalart-Allmaras et discrétisé à l'aide d'une méthode de Galerkin discontinue (DG). Les concepts de stabilité globale linéaire sont ensuite introduits, ce qui conduit à la mise en œuvre de ces méthodes dans un module de stabilité unifié, basé sur le modèle de transition linéarisé. Les outils numériques développés sont validés au moyen de cas tests bien référencés, puis appliqués au profil laminaire OALT25, analysant divers phénomènes à basse, moyenne et haute fréquences se produisant au voisinage du phénomène de tremblement (buffet) et comparant les résultats modélisés aux études précédentes. La deuxième partie de la thèse étend les outils numériques au cadre aéroélastique en référentiel mobile non inertiel. Cette formulation, combinée à un modèle de structure à deux degrés de liberté, conduit à un solveur d'interaction fluide-structure (FSI) non linéaire basé sur la discrétisation DG.

Une analyse de stabilité linéaire globale est appliquée au modèle couplé, le système discret étant linéarisé analytiquement et l'approche FSI linéaire résultante implémentée dans le module de stabilité globale. La dernière partie de la thèse présente une analyse détaillée de la dynamique aéroélastique autour du profil OALT25 au voisinage du buffet transsonique, au moyen de calculs linéaires et non linéaires pour identifier les régions où le comportement aéroélastique diffère du cas aérodynamique. L'analyse révèle des similitudes avec des études antérieures d'écoulements pleinement turbulents, tout en soulignant les différences entre les modèles à un seul degré de liberté et les modèles entièrement couplés. L'étude identifie notamment un nouveau comportement aéroélastique, où la stabilisation complète du système est obtenue grâce à une forte déviation des modes.

This work proposes a numerical framework for the analysis of free-transitional aerodynamic and aeroelastic unsteady phenomena around laminar profiles in a transonic regime. Such type of phenomena are usually challenging, because the complexity of unsteady flow behaviors within this regime, even in the absence of structural motion, makes it difficult to numerically predict these instabilities accurately. Consequently, most numerical models today operate under the assumption of fully-turbulent conditions, neglecting the effect of boundary layer transition. This work seeks to bridge that gap by extending numerical approaches to a modeled free-transitional formulation, applicable to both aerodynamic and aeroelastic problems. The first step involves developing a one-equation, correlation-based transition model, coupled with the well-known Spalart-Allmaras turbulence model and discretized using a discontinuous Galerkin (DG) method. Subsequently, a library of numerical tools for the global linear stability analysis of this transition model is implemented and validated against reference test cases. The developed numerical tools are then applied to the laminar profile OALT25, analyzing various low, intermediate, and high-frequency phenomena occurring in the vicinity of transonic buffet and comparing the modeled results against previous studies.

The second part of the thesis extends the numerical tools to an aeroelastic framework by applying a non-inertial moving frame technique to the set of equations. This formulation, combined with a two-degree-of-freedom structure model, leads to a nonlinear fluid-structure interaction (FSI) solver based on the DG discretization. Subsequently, the concept of global linear fluid-structure stability analysis is applied to this configuration, with the discrete system analytically linearized and the resulting linear FSI approach implemented into the unified stability library. The final part of the thesis presents a detailed analysis of the aeroelastic dynamics around the OALT25 profile in the vicinity of transonic buffet, using both linear and nonlinear computations to identify regions of different aeroelastic behavior. The analysis reveals similarities with previous fully turbulent studies, while also highlighting the differences between single-degree-of-freedom models and fully coupled models. Notably, the study identifies a new aeroelastic behavior, where full system stabilization is achieved at low mass ratios.

Mots clés / Key words

Transition ; Galerkin discontinu ; Stabilité de l'écoulement ; Interaction fluide-structure

Transition ; Discontinuous Galerkin ; Flow stability ; Fluid structure interaction