

I N V I T A T I O N

Closed-loop control of finite amplitude perturbations, application to sub- and super-critical flow-bifurcations.

Contrôle en boucle fermée de perturbations d'amplitude finie, application à des bifurcations d'écoulements sous- et super-critiques.

Soutenance de thèse – Mathieu SALMON

Lundi 16 décembre 2024 à 14H00

En présentiel : Ecole Doctorale Arts et Métiers

En distanciel : Microsoft Teams

ID de réunion : 343 340 259 329

Code secret : mNwahZ

Devant le jury composé de :

- **Directeur de Thèse :**
 - Jean-Christophe Robinet, Professeur des universités à DynFLuid (Arts et Métiers)
- **Co-Directeur de Thèse :**
 - Denis Sipp, Directeur de Recherche, ONERA
- **Encadrant de Thèse :**
 - Colin Leclercq, Chargé de Recherche, ONERA
- **Rapporteurs :**
 - George Papadakis, Professeur des universités à l'Imperial College London
 - Yann Duguet, Directeur de Recherche au LISN, CNRS
- **Examineurs :**
 - Carlo Cossu (Président du jury), Directeur de Recherche, LHEEA, CNRS (Centrale Nantes)
 - Bérengère Podvin, Directrice de Recherche au LEM2C, CNRS
 - Laurent Cordier, Directeur de Recherche, Institut Pprime (Université de Poitiers)

Abstract / Résumé :

Current control optimisation methods struggle to stabilize a base flow in the case of finite amplitude perturbations. A boundary called edge of chaos separates into two regions the phase space of a flow which transitions subcritically to turbulence. The turbulent basin of attraction incorporates the perturbations whose energy is sufficient to trigger transition to turbulence. Conversely, the laminar basin of attraction is the set of initial perturbations which are relaminarized. Such situation with two coexisting local attractors can also be encountered in flow cases outside the scope of transition to turbulence. A cylinder flow at $Re=100$ exhibits a globally unstable base flow and a stable limit-cycle. Two basins of attraction emerge from the local stabilization of the base flow by a linear controller optimized on the linearized Navier-Stokes equations. We seek in this study to increase the basin of attraction of the base flow. The novelty of this work lies in the choice of the functional to be optimised with control. Indeed, the optimisation targets the energy of a perturbation located on the boundary of the two basins of attraction. We consider subcritical transition to turbulence using the well-known SSP model of Waleffe, a reduced-order model of the Navier-Stokes equations with only four degrees of freedom. The control methods elaborated in this work are effective to induce a growth of the "laminar" basin of attraction. Besides, these methods have highlighted a new linear control mechanism which appears more effective than opposition control, relying on a negative feedback of the streaks on streamwise vortices. In the cylinder flow, the robustness of an initial controller to finite amplitude perturbations is increased locally in a chosen direction of the phase space. Nevertheless an increase of robustness to nonlinearities along one direction can be detrimental to other directions. We also observed the nonconvexity of the basin of attraction of the controlled base flow, which means that stabilising a perturbation of finite amplitude does not imply stabilising perturbations of lesser amplitude. These difficulties suggest that, in future work, the basin of attraction should be "pulled" in several directions simultaneously.

Les méthodes de contrôle actuelles rencontrent des difficultés pour stabiliser un champ de base soumis à des perturbations d'amplitude finie. Une frontière appelée "edge of chaos" sépare en deux zones distinctes l'espace des phases d'un écoulement qui transitionne de façon sous-critique à la turbulence. Le bassin d'attraction turbulent rassemble les perturbations capables de faire transitionner l'écoulement, le bassin d'attraction laminaire est l'ensemble des perturbations qui sont relaminarisées. La situation précédente, caractérisée par deux attracteurs locaux qui coexistent, peut être rencontrée en dehors du cadre de la transition à la turbulence. Un écoulement autour d'un cylindre à $Re=100$ possède un champ de base globalement instable ainsi qu'un cycle limite stable. Deux bassins d'attraction émergent lors de la stabilisation du champ de base par un contrôleur linéaire optimisé sur les équations de Navier-Stokes linéarisées. Nous cherchons dans cette étude à

augmenter la taille du bassin d'attraction du champ de base. La nouveauté de ce travail réside dans le choix de la fonctionnelle qui est optimisée avec contrôle. En effet, l'optimisation vise l'énergie d'une perturbation située sur la frontière des deux bassins d'attraction. La transition sous-critique à la turbulence est étudiée par le biais du modèle SSP de Waleffe, un modèle d'ordre réduit des équations de Navier-Stokes avec seulement quatre degrés de liberté. Les méthodes de contrôle élaborées dans ce travail sont efficaces pour induire une croissance du bassin d'attraction "laminaire". Par ailleurs ces méthodes ont mis au jour un mécanisme de contrôle linéaire qui semble plus efficace que le contrôle par opposition, et qui consiste en un feedback négatif des stries vers les tourbillons longitudinaux. Dans l'écoulement autour d'un cylindre, la robustesse d'un contrôleur initial à des perturbations d'amplitude finie est augmentée localement avec succès dans une direction du portrait de phase. Néanmoins, la robustesse accrue aux non-linéarités selon une direction de perturbation peut se traduire par une dégradation dans d'autres directions. Nous avons également observé la non-convexité du bassin d'attraction du champ de base contrôlé, ce qui signifie que stabiliser une perturbation d'amplitude finie n'implique pas de stabiliser des perturbations d'amplitude moindre. Ces difficultés suggèrent donc, dans de futurs travaux, de "tirer" le bassin d'attraction dans plusieurs directions simultanément.

Key words / Mots clés :

Nonlinear optimization, robust control, transition to turbulence, oscillator flows.

Optimisation non-linéaire, contrôle robuste, transition à la turbulence, écoulement de type oscillateur.