

# **Caractérisation et contrôle en boucle fermée par actionneurs fluidiques des écoulements turbulents décollés**

C. Raibaud<sup>a,c</sup>, A. Polyakov<sup>b,c</sup>, F. Kerhervé<sup>a,d</sup>,  
J.P. Richard<sup>b,c,d</sup> and M. Stanislas<sup>a,d</sup>

Supprimer ou réduire la séparation de la couche limite a été, depuis longtemps, un objectif important pour, notamment, l'amélioration des performances de systèmes de transport. Différentes stratégies de contrôle ont été testées pour éviter ce phénomène sur des géométries diverses. Le travail réalisé ici concerne le contrôle expérimental par jets pulsés d'une couche limite turbulente et épaisse, séparée massivement. L'ensemble des expériences est réalisé dans la soufflerie de couche limite du Laboratoire de Mécanique de Lille (LML). Une rampe 2D est implantée dans la soufflerie pour créer un léger gradient de pression adverse et favoriser le décollement. Le contrôle de la couche limite décollée est effectué au moyen de 22 jets fluidiques disposés le long de l'envergure et en amont de la séparation. Les jets placés en configuration co-rotative permettent une redistribution de l'énergie de l'écoulement libre vers la région proche paroi. Plus de détails sur le dispositif expérimental peuvent être trouvés dans [1].

La dynamique du rattachement de la couche limite est étudiée ici et les phases transitoires de la séparation et du recollement sont tout d'abord examinées. Des mesures synchronisées de vitesse et de gain en friction sur la rampe ont été réalisées pendant cette transition. Le champ de vitesse est mesuré par PIV 2D-2C en moyenne de phase dans un plan normal à la paroi et dans la direction de l'écoulement. Des capteurs films chauds sont placés sur la maquette le long de la bulle de séparation pour obtenir une mesure représentative du gain en friction en temps réel. Ces mesures permettent d'une part d'avoir des informations résolues en temps, non-accessibles avec la PIV lente, et d'autre part de servir de capteurs pour la réalisation de la boucle fermée. Des configurations de jets en soufflage continu et pulsé sont réalisées et l'effet de différents paramètres d'actionnement (VR, fréquence, rapport cyclique) sur le décollement est étudié.

Ces informations du régime transitoire, et notamment celles issues des signaux de films chauds résolues en temps, sont considérées comme représentatives de l'état du fluide pendant le processus de rattachement. L'élaboration de modèles dynamiques de cette transition à partir de ces informations est essentielle pour la réalisation du contrôle en boucle fermée. Dans un premier temps, les temps caractéristiques de la transition (temps de montée, délais...) sont obtenus en superposant un modèle du premier ordre à la réponse des films chauds pour un échelon d'actionnement continu. Des modèles plus avancés, basés par exemple sur la longueur de séparation, sont

---

<sup>a</sup> CNRS UMR 8107, Laboratoire de Mécanique de Lille, 59650 Villeneuve d'Ascq, FRANCE

<sup>b</sup> Inria project-team Non-A, Parc Scientifique de la Haute-Borne, 40 avenue Halley, 59650 Villeneuve d'Ascq, FRANCE

<sup>c</sup> CNRS UMR 8219, Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal, 59650 Villeneuve d'Ascq, FRANCE

<sup>d</sup> École Centrale de Lille, Boulevard Paul Langevin, Cité Scientifique, 59650 Villeneuve d'Ascq, FRANCE

construits pour avoir une meilleure approximation de la dynamique du fluide pendant la transition décollé-recollé.

Avec ces modèles, un contrôle en boucle fermée est réalisé. Le gain instantané en friction, obtenu à partir des films chauds, sert d'entrée aux contrôleurs, et ces derniers génèrent le rapport cyclique du signal pulsé de sortie (figure 1). Plusieurs stratégies de contrôle ont été choisies. Des régulations basées sur des algorithmes P, PI et PID ont d'abord été considérées. Puis une solution de type LQR (Linear-Quadratic Regulator) permet de prendre en compte le coût de l'actionnement à travers la minimisation d'une fonction coût. L'impact du bruit des capteurs sur la réalisation du contrôle peut être réduit considérant des estimateurs de type filtres de Kalman, et réaliser le contrôle à partir de l'estimateur (contrôle LQG - Linear-Quadratic Gaussian). Enfin, il existe des incertitudes sur le modèle et sur les conditions du fluide incident : l'influence de ces incertitudes sur le contrôle peut être limitée par une augmentation de la robustesse des contrôleurs, en utilisant par exemple un contrôle robuste de type  $\mathcal{H}_\infty$ . La robustesse de quelques contrôleurs utilisés dans cette étude sera d'ailleurs testée expérimentalement comme outil de comparaison.

**[1]. Cuvier, C.,** *Contrôle actif du décollement d'une couche limite turbulente en gradient de pression adverse*, 2012, Thèse de doctorat. École Centrale de Lille.

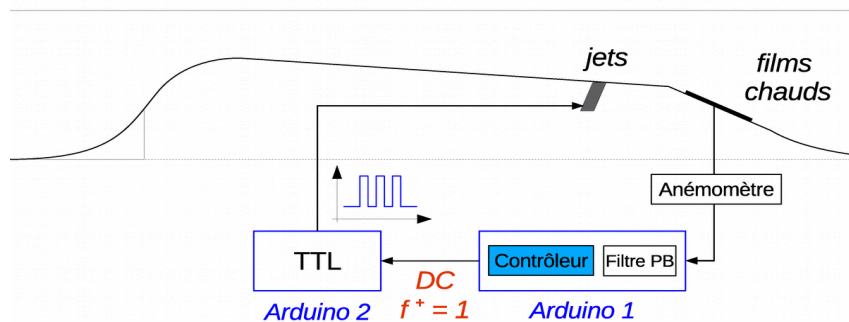


Figure 1: Système expérimental pour le contrôle en boucle fermée avec des jets pulsés