



CONTRÔLE DES SILLAGES TRIDIMENSIONNELS

ACI Masses de données Optimisation de Systemes Complexes (OPSYC)

LMC, Université Joseph Fourier, Grenoble



Motivation

Le contrôle des sillages aérodynamiques est un sujet d'importance économique cruciale. Les caractéristiques physiques des sillages ont des impacts directs - émissions sonores - et indirects - sur-consommations d'énergie résultant des frottements aérodynamiques - sur l'environnement. Dans le domaine de la construction automobile, les futures normes Européennes d'émission de dioxyde de carbone nécessiteront des améliorations importantes des coefficients aérodynamiques. Les techniques d'optimisation de formes ont permis des gains importants dans les années 80, mais un consensus se dégage actuellement pour reconnaître que ces méthodes atteignent leurs limites et qu'il faut maintenant envisager des techniques de contrôle dit actif. Par contrôle actif on entend des méthodes où l'on est prêt à injecter localement de l'énergie dans l'écoulement pour en modifier la topologie. Ces injections peuvent se faire soit par manipulation de surfaces sur les parois (volet ou ailerons) ou par injections de matière (jets, courroies mobiles).

Description générale

On s'intéresse à l'optimisation des forces de traînée créées par le sillage d'un cylindre circulaire tridimensionnel. Le moyen de contrôle est l'application d'un champ de vitesse tangentiel au cylindre (jets ou ceintures adhérentes), modifiant les conditions de non glissement des équations de Navier-Stokes au bords par une fonction vectorielle azimutale (composante tangentielle non axiale) dépendant de l'angle et de la position axiale. La viscosité du fluide et le dimensionnement considérés correspondent à un nombre de Reynolds $Re = 300$.

Simulation numérique

P. Poncet et G.-H. Cottet ont développé des codes par des méthodes particulières pour la simulation directe de sillages tri-dimensionnels qui ont notamment permis d'obtenir des résultats nouveaux relatifs à l'effet des contrôles parois sur la topologie de ces sillages. Afin de posséder un outil fiable, nécessaire pour une étude de contrôle, ce code a été grandement amélioré. Il permet à présent la réalisation de grands calculs tridimensionnels, où la simulation directe atteint des échelles de l'ordre de l'expérimentation. Les temps longs sont à présent atteignables de manière stable.

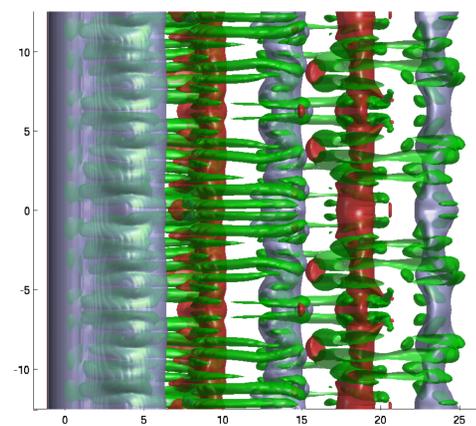
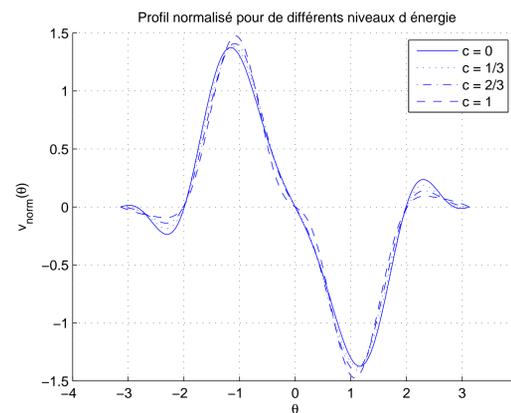


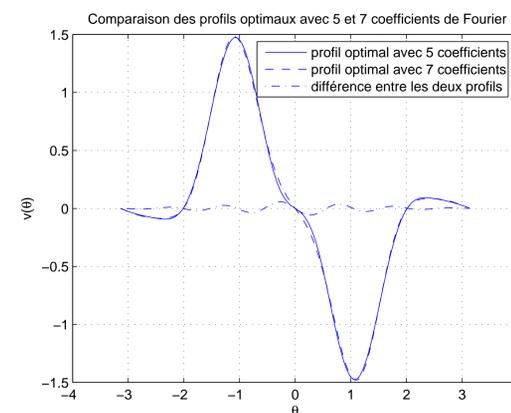
FIGURE 1: Simulation d'un écoulement 3D

Contrôle bi-dimensionnel

Ce code de calcul tri-dimensionnel a été utilisé pour l'optimisation de la commande par application d'un champ de vitesse tangentiel bi-dimensionnel. L'optimisation est faite sous contrainte de la norme L_2 du champ de vitesse fixée, c.-à-d. sous contrainte de l'énergie fixe de la commande appliquée. Les champs optimaux de vitesse et la réduction du drag sont dans ce cas des fonctions de ces niveaux. L'objectif de cette étape était d'obtenir la paramétrisation de la commande 2D optimale comme fonction du niveau d'énergie. Cette fonction était utilisée comme point de départ dans l'algorithme d'optimisation de la commande 3D.



L'approche proposée par R. Hildebrand, G.-H. Cottet et P. Poncet consiste à paramétrer le champ de vitesse appliqué par une famille de dimension réduite. Même si l'écoulement est simulé sur un maillage fini, et par conséquent l'espace des champs appliqués est naturellement de dimension finie, cette dimension est encore trop élevée pour permettre des procédures d'optimisation efficaces. Le domaine de définition des champs étant un cercle (le périmètre du cylindre), les (5 à 7) premiers coefficients de Fourier sont un choix naturel pour cette paramétrisation. L'algorithme d'optimisation utilisée est une version de méthode type quasi-Newton avec la poursuite du profil optimal en fonction du niveau d'énergie. Cette méthode permet d'approcher la commande optimale avec une précision qui n'est limitée que par la précision de la fonction de coût. Elle a permis d'obtenir une amélioration significative de la valeur minimale par rapport aux méthodes d'optimisation stochastique existantes.



Contrôle tri-dimensionnel

On suppose que la commande 3D soit périodique selon l'axe du cylindre. Ainsi, le profil optimal de la commande 2D a été modulé par une fonction qui dépend de la troisième coordonnée, alignée avec l'axe du cylindre. Cette fonction a été paramétrée par ses 9 premiers coefficients de Fourier. Une cartographie du critère à minimiser a été réalisée dans des différents sous-espaces bi-dimensionnels générés par des couples des coordonnées. Cette étape a mis en évidence que les modulations 3D du profil optimal 2D permettent d'augmenter de façon significative l'efficacité du contrôle. Trois différents minima locaux ont été identifiés, ce qui a permis d'obtenir un gain d'environ 20% par rapport au contrôle optimal 2D.

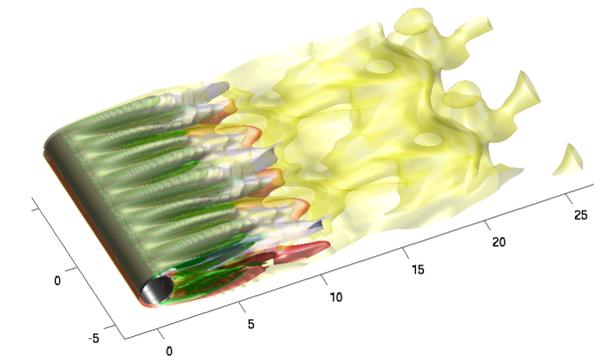


FIGURE 2: Surface d'isovorticité pour un écoulement avec contrôle bimodal proche de l'état optimal ($C = 0.8$ et $k = 4$)

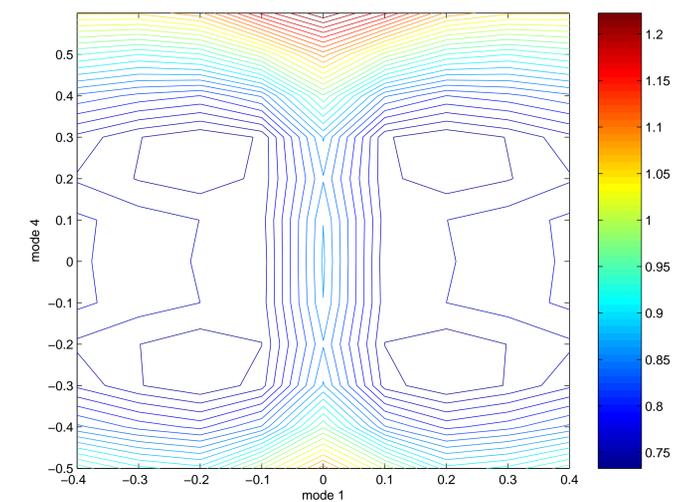


FIGURE 3: Cartographie 3D avec minima locaux ($C = 0.6$ et $k = 1, k = 4$)