



HAL
open science

Contrôle biomimétique de l'écoulement autour d'un cylindre carré

Audrey Feuvrier, Nicolas Mazellier, Azeddine Kourta

► **To cite this version:**

Audrey Feuvrier, Nicolas Mazellier, Azeddine Kourta. Contrôle biomimétique de l'écoulement autour d'un cylindre carré. CFM 2013 - 21ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2013, Bordeaux, France. hal-03439992

HAL Id: hal-03439992

<https://hal.science/hal-03439992>

Submitted on 22 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contrôle passif auto-adaptatif de l'écoulement autour d'un cylindre carré

Audrey Feuvrier^a, Nicolas Mazellier^a, Azeddine Kourta^a

a. Laboratoire Prisme, 8 rue Léonard de Vinci 45072 Orléans Cedex 02

Résumé :

Les résultats présentés ici font partie d'essais expérimentaux portant sur la compréhension des mécanismes physiques intervenants lors de l'utilisation d'un dispositif de contrôle passif auto-adaptatif. Le système de contrôle utilisé, est constitué d'un couple de volets poreux adaptés sur les côtés d'un cylindre carré. Dans cette étude expérimentale, nous présentons l'influence du débattement angulaire et de la porosité du tissu sur les performances aérodynamiques du système. L'existence d'une position angulaire optimale ainsi qu'une diminution de la traînée pouvant atteindre une valeur de 30% sont constatées.

Abstract :

The results presented here are parts of an experimental study that deals with the comprehension of physical processes involved in the use of a passive self-adaptive flow control system. This device consists of a couple of porous flaps adapted to the side of a square cylinder. The influence of the porosity and the angular position of the flaps on the aerodynamics performances are investigated in this study. The existence of an optimal angular position as well as a decrease of the mean drag up to 30% are measured.

Mots clefs : Contrôle d'écoulement auto-adaptatif; Aérodynamique; Biomimétisme

1 Introduction

Les décollements sur un corps sont à l'origine de détériorations des performances aérodynamiques et de fatigues structurelles. Le contrôle d'écoulement apparait comme un moyen de retarder ou d'altérer ces phénomènes [1]. De multiples stratégies ont été développées, les deux principales étant le contrôle actif et passif. Les systèmes de contrôle passifs sont simples d'utilisation et permettent d'obtenir des améliorations significatives des performances aérodynamiques. Ils consistent pour la plupart en une modification de la géométrie du modèle étudié. Bruneau et Mortazavi [3] par exemple, présentent une étude numérique basée sur l'utilisation d'une couche poreuse sur un cylindre carré. Ce dispositif permet d'obtenir simultanément une diminution de la traînée moyenne pouvant atteindre 30% et une diminution du taux de fluctuation de la portance. Cependant, ces dispositifs de contrôle passifs fonctionnent en permanence et ne sont efficaces que pour une phase donnée de l'écoulement. Au-delà de cette phase, leur présence devient inutile voire nuisible, comme dans le cas des turbulateurs. Les systèmes de contrôle actifs eux, permettent de proposer une adaptabilité aux modifications de l'écoulement. Pastoor et al [2] obtiennent ainsi une diminution de la traînée pouvant atteindre 15% sur un corps de Ahmed 2D sur une large gamme de Reynolds. Cependant, ces systèmes demandent un apport d'énergie extérieur pour pouvoir fonctionner.

Pour pallier aux inconvénients de ces deux méthodes, une stratégie dite auto-adaptative a été développée en s'inspirant de mécanismes présents dans la nature. Schatz et al. [4], imitent un phénomène observé sur l'extrados des oiseaux en réalisant un système de volet implémenté sur un profil d'aile. Favier et al. [5] ainsi que Venkataraman et Bottaro [6] mettent en oeuvre un pelage poreux numérique qui interagît avec l'écoulement, respectivement sur un cylindre circulaire et sur un profil d'aile symétrique.

Tous ces systèmes de contrôle permettent à la fois d'assurer l'adaptabilité du système de contrôle à l'écoulement dans lequel il est placé et d'obtenir une amélioration des performances aérodynamiques sans pour autant demander un apport d'énergie supplémentaire.

Nous présentons ici, des travaux expérimentaux portant sur l'étude d'un moyen de contrôle passif auto-adaptatif appliqué à un cylindre carré. Dans un premier temps le dispositif expérimental et la conception de l'outil de contrôle seront abordés. La seconde partie de l'article sera consacrée à l'analyse des performances aérodynamiques du dispositif dans le cas où le mouvement des volets est bloqué.

2 Montage expérimental

2.1 Moyens expérimentaux

Les expériences ont été réalisées dans une soufflerie de type Eiffel. Cette soufflerie est équipée d'un convergent de rapport 16 :1 en amont duquel sont placés un nid d'abeille ainsi qu'une série d'écrans. Ce montage garantit un taux de turbulence résiduel inférieur à 0.4%. La veine d'essai est longue de 2m et la section d'essai est carrée de côté 0,5 m.

Deux cylindres carrés de côté $H = 0.06$ m placés verticalement dans la veine, ont été utilisés dans cette étude. L'un, non modifié est pris comme référence tandis que le second a été adapté afin de pouvoir y implanter le système de contrôle. Le profil est placé au centre de la veine à environs $8H$ de l'entrée de cette dernière. Le blocage résultant étant alors de l'ordre de 12%. La gamme de Reynolds utilisée dans cette étude varie de 8000 à 60000, le calcul du nombre de Reynolds étant basé sur la mesure de la vitesse amont, U_∞ et le côté du cylindre H .

Les efforts appliqués au profil sont mesurés à l'aide d'une balance instationnaire ATI Mini 40 à 6 composantes. La balance est placée entre le support du cylindre et un bâti qui lui est dédié. Dans le cadre de ces expériences, la totalité de la plage de mesure de la balance est utilisée. L'incertitude de mesure donnée par le constructeur est de l'ordre de 0.2N soit 1.75% de la charge maximale. La résolution de la balance est suffisante pour permettre des mesures instationnaires et la fréquence d'acquisition est de 1kHz. La carte d'acquisition utilisée est une carte NI PCI 6259(munie de 32 entrées analogiques et d'une résolution de 16 bits).

2.2 Conception du dispositif de contrôle

La conception du système de contrôle étant basée sur une approche biomimétique, le but était de lui conférer des propriétés similaires à celles rencontrées pour une plume d'oiseau. Ainsi, le dispositif de contrôle se présente sous la forme d'un volet constitué d'un cadre plastique sur lequel on vient appliquer un tissu poreux. On imite ainsi la structure d'une plume composée d'un rachis semi-rigide sur lequel viennent s'implanter des barbes poreuses. Cependant, la comparaison s'arrête là et les mécanismes physiques observés dans le cadre de cette étude peuvent différer de ceux observés pour le vol des oiseaux.

Les volets sont placés sur le côté d'un cylindre à section carré, de manière à ce que la distance entre le bord d'attaque du volet et la face avant du cylindre soit égale à $x_f = 0.25$ mm. Cette position a été déterminée précédemment comme étant la position optimale du volet pour ce montage. La longueur des volets l est égale à 35mm et leur épaisseur e est égale à 2mm. La géométrie du cylindre est adaptée afin que lorsque le système de contrôle n'est pas activé, elle soit semblable à celle d'un cylindre non modifié, comme on peut le voir sur le schéma 1a.

La rigidité du cadre support (réalisé en PVC), permet d'assurer le caractère bidimensionnel des mouvements des volets dans le cas où ces derniers sont laissés libres. Dans le cadre de cette étude, plusieurs matériaux caractérisés par différentes porosités (deux soies et un tissu de coton commerciaux, ainsi que des feuilles plastiques) ont été utilisés (cf. figure2). Ces derniers sont ensuite appliqués sur le cadre. La valeur σ , caractérisant la porosité des matériaux est définie tel que $\sigma = 1$ si le matériau est imperméable (feuilles de plastique) et $\sigma = 0$ s'il s'agit du fluide. σ représente le rapport entre la surface "bloquée" et la surface totale du tissu. Les valeurs de σ présentées ont été obtenues par analyse d'images réalisées au microscope optique et par évaluation du blocage à l'aide de mesure de perte de

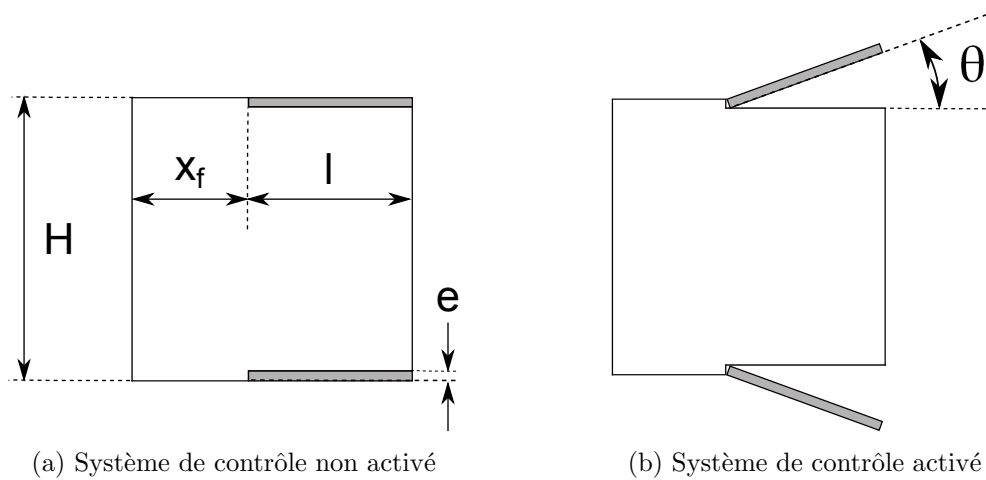


FIGURE 1 – Schéma représentant une vue de haut du montage du dispositif de contrôle sur le cylindre carré

charge à travers les différents tissus. La configuration caractérisée dans la suite par $\sigma = 0$ correspond aux mesures faites pour le cylindre adapté non munis de volet, ce qui équivaut au cas où le volet est remplacé par du fluide.

Dans le cadre de cette étude, on cherche à s’affranchir des aspects dynamiques dus aux mouvements des volets. Pour se faire, on bloque le mouvement de chacun de ces derniers à l’aide de 4 cales réalisées en PVC et réparties sur la longueur du volet. Le placement des cales est déterminé afin de perturber le moins possible l’écoulement à travers le volet. Les positions des volets correspondent à une variation de l’angle θ (angle entre le volet et la surface du cylindre, cf.1b) comprise entre 15 et 45°. Ces valeurs correspondent aux variations maximales observées pour un mouvement libre des volets. La valeur moyenne de l’angle θ mesurée dans le cadre d’un mouvement libre des volet étant de 33° pour la gamme de Reynolds qui nous concerne [7].

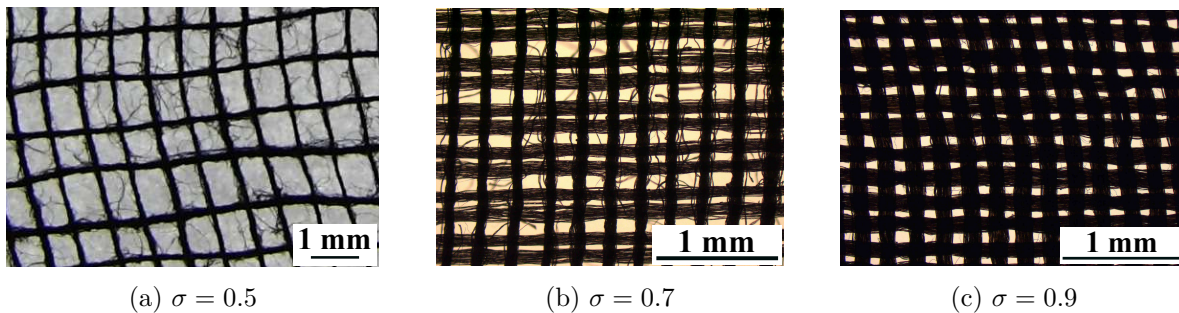


FIGURE 2 – Photographies des différents tissus utilisés obtenues (a) à l’aide d’un appareil photo numérique, (b) et (c) à l’aide d’un microscope optique de grossissement $\times 5$.

3 Résultats

Dans cette partie, nous présentons les résultats de mesures d’efforts appliqués au dispositif décrit ci-dessus. Tout d’abord, nous nous intéresserons à l’impact de la position angulaire et de la porosité sur les efforts moyens s’appliquant sur le montage. Puis nous comparerons le taux de fluctuations d’efforts mesuré dans le cas contrôlé à celui mesuré pour le cas non contrôlé pour différentes porosités.

3.1 Efforts moyens

Les efforts de trainée moyens peuvent être évalués à partir du calcul du coefficient adimensionné C_D défini tel que $C_D = \frac{D}{0.5\rho S U_\infty^2}$ (où $S = HL$, représente la surface de référence caractéristique du

système). L'évolution de C_D en fonction de θ est tracée sur la figure 3a pour $Re = 40000$.

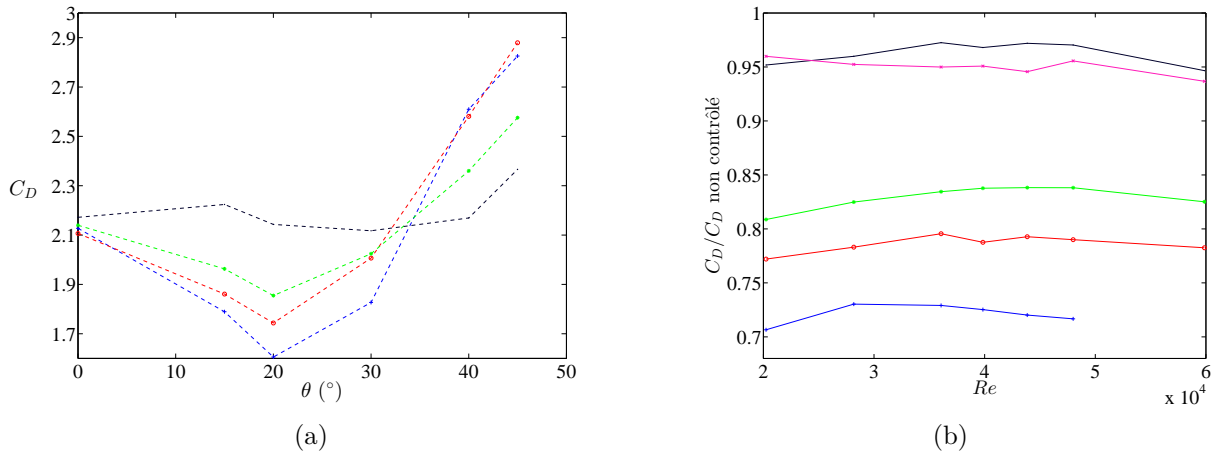


FIGURE 3 – (a) Évolution du coefficient de traînée, C_D en fonction de l'angle θ à $Re = 40000$. (b) Comparaison entre C_D dans le cas contrôlé et C_D dans le cas non contrôlé en fonction du nombre de Reynolds pour $\theta = 20^\circ$ pour différents σ (+ $\sigma = 1$, o $\sigma = 0.9$, * $\sigma = 0.7$, • $\sigma = 0.5$, x $\sigma = 0$.)

Ces résultats mettent en évidence la dépendance en θ de C_D et l'existence d'une valeur optimale de C_D obtenue pour un angle θ égale à 20° . Dans la suite de l'article, les résultats proposés sont tous obtenus pour $\theta = 20^\circ$, référencé comme θ_{Opt} .

Il a été montré précédemment [7], que les profils de vitesse obtenus sur le côté du cylindre carré non contrôlé étaient comparables aux résultats obtenus par Lyn et Rodi [8], qui évaluent la position du centre de la zone de cisaillement le long du côté d'un cylindre carré. On constate que le débattement angulaire pour lequel on obtient la valeur de C_D optimale, correspond à la position pour laquelle le bord de fuite du volet coïncide avec le centre de la zone de cisaillement calculé dans [8]. Cette différence entre le cas volet libre et volet bloqué, est comparable à celle décrite par Schatz et al. [4]. Ils constatent en effet, une différence entre la valeur moyenne de θ pour un volet auto-adaptatif et la valeur de θ obtenue dans le cas où le volet est en équilibre dans un état statique.

Si on fait l'hypothèse que le bord de fuite du volet tend à "s'attacher" à la position du centre de la zone de cisaillement, la différence entre la valeur de θ pour laquelle la valeur de C_D est la plus faible et le θ moyen mesuré dans le cas des volets libres ($\theta = 33^\circ$), pourrait s'expliquer par un changement topologique dépendant uniquement du mouvement des volets et non de la nature des matériaux qui le compose. Cette hypothèse a déjà été présentée [7] et devra être vérifiée par des mesures ultérieures.

Dans la figure 3b le rapport entre C_D dans les cas contrôlé et non contrôlé pour différents nombre de Reynolds à θ_{Opt} est tracée. On observe tout d'abord que pour l'ensemble des différents matériaux, la valeur du rapport varie peu avec le nombre de Reynolds. De plus, la porosité du matériau utilisé dans la construction du volet, a un effet significatif sur les valeurs obtenues. En effet, plus la porosité est importante, plus la valeur de C_D est grande.

Du fait de la présence de la zone de recirculation sur le côté du cylindre, une dépression est générée au niveau de l'extrados du volet tandis qu'une surpression existe au niveau de l'intrados. Moins le matériau sera poreux et plus la surpression sera grande (augmentation de la surface bloquée). Cette différence de pression est à l'origine de la réduction de traînée moyenne observée. Dans ce cas, on observe une réduction de traînée par rapport au cas non contrôlé comprise entre 3% ($\sigma = 0.5$) et 30% ($\sigma = 1$).

3.2 Efforts instationnaires

La figure 4 présente un spectre de puissance du signal de traînée. On observe sur ce dernier, différents pics permettant de caractériser les phénomènes physiques relatifs aux efforts exercés par l'écoulement sur le modèle.

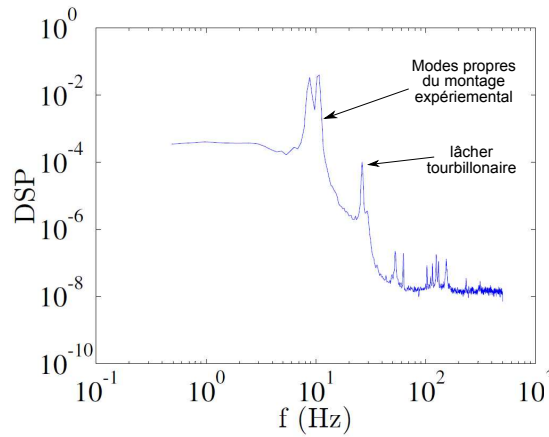


FIGURE 4 – Densité spectrale de puissance du signal de traînée, pour $\theta = 20^\circ$, $\sigma = 0.9$ et $Re = 40000$.

On observe tout d'abord, deux pics centrés autour de $f = 10$ Hz que nous avons identifiés comme étant des modes propres de vibration du montage expérimental. L'effet du détachement tourbillonnaire sur le comportement instationnaire des forces se manifeste par la présence d'un pic à $f \approx 26.4$ Hz dans cet exemple. Afin que les modes propres de vibration ne perturbent pas les mesures d'efforts instationnaires, nous restreignons volontairement l'étude à une plage de Reynolds comprise entre 28000 et 60000. Dans cette gamme, nous n'observons pas de recouvrement entre les pics liés au détachement tourbillonnaire et les modes propres du montage.

En utilisant ces résultats, la valeur du nombre de Strouhal, St (définis tel que $St = \frac{f \cdot H}{U_\infty}$) est calculée pour les cas non contrôlé et contrôlé. Dans le cas naturel, la valeur du nombre de Strouhal, St_u est quasiment constante sur toute la gamme de Reynolds et égale à 0.1467 ± 0.001 en accord avec les résultats de la littérature [9]. Dans le cas contrôlé, la valeur du nombre de Strouhal n'est affecté ni par le Reynolds, ni par les propriétés des matériaux utilisés pour la couverture du volet, ni par le débattement angulaire de ce dernier. Sa valeur est constante et $St_c \approx 1.1 \cdot St_u$, ce qui correspond au résultats obtenus dans le cadre des volets auto-adaptatifs. Ce résultat correspond également aux observations réalisées par Schatz et al.[4], qui mettent en évidence le fait que le Strouhal pour les cas contrôlés est légèrement supérieur à celui du cas non contrôlé.

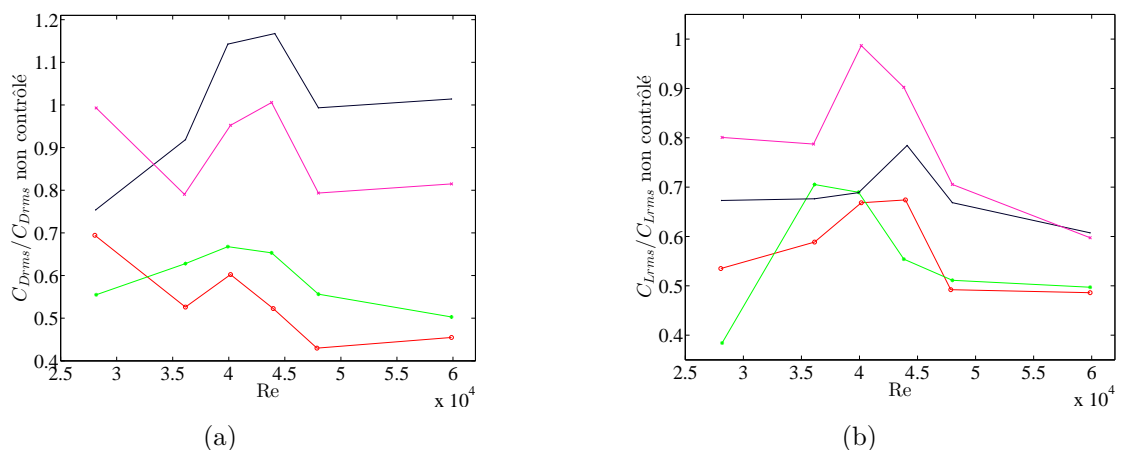


FIGURE 5 – Rapport entre le taux de fluctuation de (a) traînée et (b) portance dans le cas contrôlé et le cas non contrôlé, pour $\theta = 20^\circ$ en fonction du nombre de Reynolds pour différent σ ($\circ \sigma = 0.9$, $*$ $\sigma = 0.7$, $\bullet \sigma = 0.5$, $\times \sigma = 0$.)

La figure 5 met en évidence le fait que pour σ supérieur ou égal à 0.7, la présence des volets permet

de réduire simultanément le taux de fluctuations des forces de portance et de traînée. Ce qui tend à confirmer le fait que le volet joue un rôle d'amortisseur entre le modèle et l'écoulement.

4 Conclusions

Un dispositif de contrôle passif auto-adaptatif a été développé et adapté à un obstacle de type cylindre carré. Le dispositif se présente sous la forme d'un couple de volets chacun composés d'un cadre rigide sur lequel est appliqué un tissu poreux. Chaque volet est placé sur le côté du modèle. S'il est laissé libre dans son mouvement, le volet articulé au niveau de son bord d'attaque adopte un mouvement de battement caractérisé par un angle moyen. Dans cette étude, sa position angulaire était fixe et la valeur de l'angle θ comprise entre 15 et 45°.

On observe une réduction de traînée moyenne significative pour une gamme de Reynolds étendue. La valeur de l'angle pour lequel cette réduction de traînée est optimale a été établit à 20° quelque soit la valeur de la porosité du tissu. Cette position optimale du volet correspond également à une coïncidence entre la position du centre de la zone cisailée pour l'écoulement naturel et le bord de fuite du volet.

On a également pu montrer que l'utilisation du dispositif de contrôle permet non seulement une réduction de la traînée en moyenne, mais permet également de réduire significativement et simultanément le taux de fluctuations de portance et de traînée subies par le montage.

Les études futures viseront à améliorer la compréhension des modifications apportées par la présence du volet à la topologie de l'écoulement. L'interaction entre les volets et le fluide dans le cas où le mouvement de ces derniers est laissé libre sera également abordée.

Remerciements

Ce travail est subventionné par la région Centre. Les auteurs tiennent à remercier monsieur Stéphane Loyer pour son implication dans ce projet. Les auteurs souhaitent également remercier, Samir Allaoui et Jean Gillibert du laboratoire PRISME, Nathalie Cohaut du CRMD ainsi que Marie-Laure Bouchetou du CEMHTI pour leur aide lors des différentes expériences relatives à la caractérisation des différents tissus.

Références

- [1] Gad-el-Hak, M. 2007 Flow control : passive, active, and reactive flow management, *Cambridge University Press*
- [2] Pastoor, M. and Henning, L. and Noack, B.R. and King, R. and Tadmor, G. 2008 Feedback shear layer control for bluff body drag reduction *J. Fluid Mech.* **609** 161-196
- [3] Bruneau, C-H and Mortazavi, I. 2004 Passive control of the flow around a square cylinder using porous media *International journal for numerical methods in fluids* **46** 415-433
- [4] Schatz, M. and Knacke, T. and Thiele, F. and Meyer, R. and Hage, W. and Bechert, DW 2004 Separation control by self-activated movable flaps *AIAA Paper* **1243**
- [5] Favier, J. and Dauptain, A. and Basso, D. and Bottaro, A. 2009 Feedback shear layer control for bluff body drag reduction *J. Fluid Mech.* **627** 451-483
- [6] Venkataraman, D. and Bottaro, A. 2012 Numerical modeling of flow control on a symmetric aerofoil via a porous, compliant coating *Phys. Fluids* **24**
- [7] Mazellier, N. and Feuvrier, A. and Kourta, A. 2012 Biomimetic bluff body drag reduction by self-adaptive porous flaps *Comptes Rendus Mécanique* **340** 81-94
- [8] Lyn, DA and Rodi, W. 1994 The flapping shear layer formed by flow separation from the forward corner of a square cylinder. *J. Fluid Mech.* **304** 353-376
- [9] Norberg, C. 1993 Flow around rectangular cylinders : pressure forces and wake frequencies *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* **49** 187-196