



HAL
open science

Amélioration des performances aérodynamiques d'un profil au moyen d'un actionneur passif auto-adaptatif

Nicolas Mazellier, Azeddine Kourta

► To cite this version:

Nicolas Mazellier, Azeddine Kourta. Amélioration des performances aérodynamiques d'un profil au moyen d'un actionneur passif auto-adaptatif. CFM 2011 - 20ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2011, Besançon, France. hal-03422514

HAL Id: hal-03422514

<https://hal.science/hal-03422514>

Submitted on 9 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.

Amélioration des performances aérodynamiques d'un profil au moyen d'un actionneur passif auto-adaptatif.

NICOLAS MAZELLIER^a, AZEDDINE KOURTA^a

a. Laboratoire PRISME, Université d'Orléans, 8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans Cedex 2

Résumé :

Nous présentons les résultats d'une étude expérimentale portant sur le contrôle passif d'un profil d'aile au moyen d'un nouveau type de volet poreux placé sur l'extrados. Ce dernier est activé par l'écoulement dans la phase de décrochage. L'influence de la longueur et de la position du volet sur les propriétés aérodynamiques sont présentées. Une amélioration significative de la finesse (rapport entre les coefficients de portance et de traînée) pouvant atteindre 20% est observée. Ces résultats s'expliquent par la modification très nette de la topologie à grande échelle lorsque le volet est activé.

Abstract :

The passive control of the flow over an airfoil by means of a new kind of self-activated porous flap is experimentally studied. This flap is set on the upper surface of the airfoil and pops up in the post-stall regime. The aerodynamic performances of the airfoil are investigated by varying both the length and the position of the movable flap. Up to 20% increase of the lift-to-drag ratio is achieved in the present study. This enhancement of the aerodynamic performances intimately relates to the modification of the flow topology at large-scale when the flap is activated.

Mots clefs : Contrôle passif ; aérodynamique ; biomimétisme

1 Introduction

Le décollement est un phénomène récurrent en dynamique des fluides qui a de lourdes conséquences sur les performances aérodynamiques en provoquant généralement une augmentation de la traînée et/ou une diminution de la portance [1]. Afin de palier à ce phénomène, de nombreuses stratégies de contrôle ont été développées pour réduire voire empêcher l'apparition et les effets du décollement. Parmi ces stratégies, on retrouve deux grandes classes : le contrôle passif et le contrôle actif. Dans le premier cas, le dispositif de contrôle vise à modifier la forme géométrique de l'obstacle [2]. Ce type d'approche est généralement facile à mettre en œuvre puisqu'elle ne nécessite aucun apport d'énergie extérieur mais sa plage d'efficacité est souvent très limitée. A l'opposé, le contrôle de type actif (voir par exemple [3] et [4]) est dépendant d'une source d'énergie lui permettant d'avoir une plage de fonctionnement et d'efficacité notablement plus importante que celle du contrôle passif.

A la frontière entre ces deux stratégies, l'approche basée sur le concept de biomimétisme trouve un nouveau souffle. En reproduisant des mécanismes observés dans la nature, cette dernière tente de concilier les avantages des contrôles passif et actif classiques, à savoir i) pas d'apport d'énergie et ii) une auto-adaptation accrue à l'écoulement. Ces deux caractéristiques permettent alors de rendre le dispositif efficace sur une grande plage de fonctionnement. Cette approche a été développée récemment par exemple par Favier et al. [5] pour contrôler le sillage d'un cylindre circulaire à faible nombre de Reynolds en reproduisant un pelage numérique. Dans cette étude, l'interaction entre les poils de pelage et le fluide induit une forte diminution de la traînée. Dans le même esprit, Schatz et al. [6] et plus récemment Assi et al. [7] ont utilisé une interaction fluide-structure afin de contrôler un écoulement autour d'un profil d'aile et d'un cylindre circulaire respectivement grâce à des solutions auto-adaptatives.

Nous présentons ici des travaux expérimentaux portant sur l'étude du contrôle passif d'un profil d'aile au moyen d'un nouveau type de volet mobile poreux qui est activé par l'écoulement lors de la phase de décrochage. La première partie de cet article présente le dispositif expérimental utilisé ainsi que les principales caractéristiques du volet en question. La seconde partie est dédiée à l'analyse des résultats concernant les performances aérodynamiques et le topologie de l'écoulement moyen.

2 Montage expérimental

Cette partie présente brièvement les différents équipements et outils utilisés au cours de cette étude.

2.1 La soufflerie

Les expériences rapportées ici ont été réalisées dans une soufflerie ouverte dont la veine d'essai est longue de 2m et la section carrée est de 50cm de côté. Afin de garantir un taux de turbulence résiduel très faible ($\leq 0.4\%$), la soufflerie est équipée d'un convergent de rapport 16 :1 doté d'une série de filtres et de nids d'abeille. Un profil d'aile proche d'un NACA0015, de corde $c = 20\text{cm}$, est placé au centre de la veine d'essai. L'envergure du profil est de 20cm. Ce dernier est équipé de longues plaques latérales nous assurant que l'écoulement en amont du profil est bidimensionnel et minimisant l'effet des couches limites se développant sur les parois de la soufflerie. La vitesse imposée en sortie du convergent U_∞ , peut atteindre 50m/s en l'absence de blocage. Dans l'étude présentée ici, le nombre de Reynolds Re basé sur la corde c et sur la vitesse amont U_∞ varie entre 7×10^4 et 2×10^5 .

2.2 Les moyens de mesures

Le profil d'aile est équipé de 23 prises de pression statique réparties de façon uniforme sur l'extrados et l'intrados permettant d'évaluer les efforts de portance et de traînée de pression. Par ailleurs, le champ de vitesse est étudié au moyen d'un système PIV (Particule Image Velocimetry) où la source lumineuse est fournie par un laser Nd-Yag Quantel (200mJ, 532nm). L'écoulement est ensemencé par des particules d'huile olive injectée en amont du convergent. Une caméra TSI PowerView Plus (2048×2048 pixels²) est utilisée pour enregistrer les images. Le sillage proche de l'écoulement est étudié grâce à un dispositif de fil chaud (DISA 55M01) monté sur un système de déplacement double composantes. L'ensemble de ces dispositifs ainsi que le système étudié et les axes du référentiel utilisé sont représentés de manière schématique sur la Figure 1.

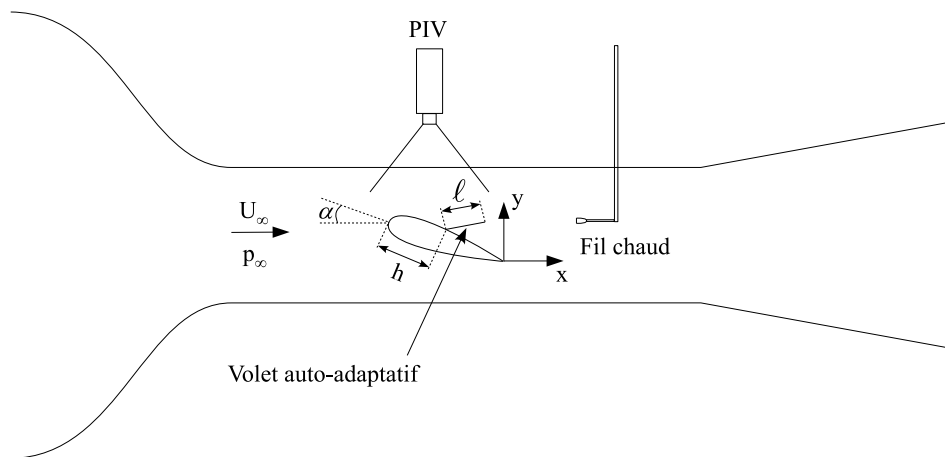


FIGURE 1 – Représentation schématique de la soufflerie et du montage expérimental.

2.3 Le volet poreux auto-adaptatif

Le profil d'aile est équipé d'un volet caractérisé par sa longueur l qui est positionné sur l'extrados du profil d'aile à une distance h du bord d'attaque. L'originalité de ce dispositif réside dans sa fabrication. Ce volet est constitué d'une armature (squelette) en plastique recouverte d'un tissu de soie. La

combinaison de ces deux éléments confère à ce volet des propriétés de flexibilité et de porosité. Toutefois, dans le cadre de cette étude, la structure plastique a été choisie de telle sorte que sa rigidité soit suffisamment élevée pour assurer un mouvement bidimensionnel du volet. Ce dernier est parfaitement en appui sur la surface de l'aile lorsque l'angle d'attaque α (voir Figure 1) est modéré. En revanche, dans la phase de décrochage ($\alpha \geq 20^\circ$), les caractéristiques du volet lui permettent d'être activé par la recirculation générée sur l'extrados (voir Figure 2). Dans ces conditions, le volet se soulève et reste en sustentation sous l'effet combiné de son poids et des différences de pressions à ces bornes. Ainsi, ce dispositif est dit auto-activé dans le sens où c'est l'écoulement qui l'active et lui permet donc de s'adapter à la configuration de l'écoulement en question. Ce dispositif de contrôle passif peut être comparé dans une certaine mesure à ceux décrits par Schatz et al. [6] ou encore Assi et al. [7]. Toutefois, dans ces études, le dispositif utilisé est imperméable.



FIGURE 2 – Image du volet poreux lorsqu'il est activé ($\ell/c = 0.5$, $Re = 1.6 \times 10^5$). On remarque que le volet oscille autour d'une position d'équilibre (effet de flou).

3 Résultats

Dans cette partie, nous présentons les premiers résultats préliminaires obtenus avec le dispositif décrit ci-dessus. Dans un premier temps, nous concentrons notre attention sur les efforts s'appliquant sur l'aile puis nous nous intéressons à la topologie de l'écoulement à grande échelle au moyen des mesures PIV. Dans les deux cas, l'écoulement sans volet (non contrôlé) est utilisé comme référence. Nous précisons également que seuls les résultats obtenus pour un angle d'attaque de 20° (phase de décrochage) sont reportés ici.

3.1 Efforts moyens

Les forces de traînée et de portance peuvent être simplement évaluées au moyen du coefficient de pression $C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2}$ mesuré au moyen des prises de pression statique. L'évolution de ce coefficient est tracée sur les Figures 3 (a) et (b) pour des volets de longueur $\ell/c = 0.25$ et $\ell/c = 0.5$, respectivement. Ces résultats mettent en évidence l'influence du volet et de sa position h sur le champ de pression pariétale. Nous précisons que les mesures sur l'intrados ne sont pas fournies car elles sont peu influencées par la présence du volet.

Dans tous les cas, la présence du volet s'accompagne par une chute soudaine de la pression en amont. La dépression créée en amont du volet induit une augmentation de la finesse (rapport entre la portance et la traînée) pouvant atteindre environ 20%. Cette évolution est essentiellement due à une réduction significative de la traînée en présence du volet. Notons, par ailleurs, que cette augmentation est d'autant plus grande que le volet est situé vers le bord d'attaque de l'aile pour les deux longueurs ℓ considérées ici.

Le phénomène de réduction de traînée par l'action du volet est confirmé par la réduction du sillage de l'aile comme l'indique les profils de vitesse moyenne longitudinale U_x tracés sur la Figure 4. En effet, la

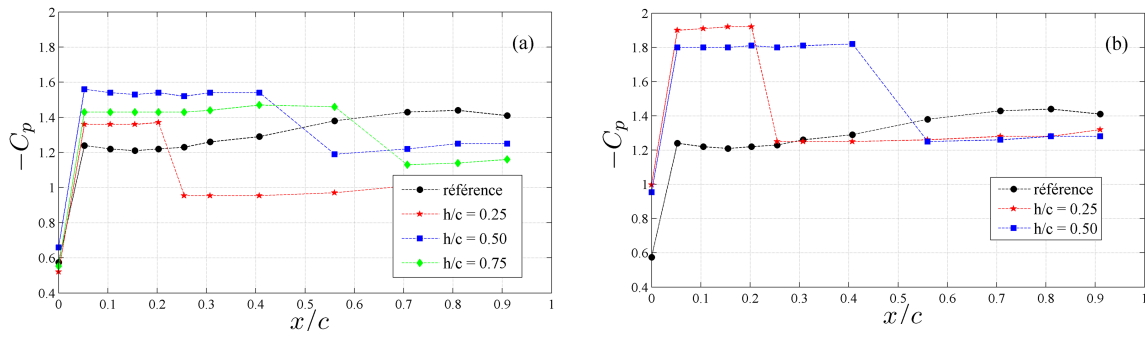


FIGURE 3 – Evolution du coefficient de pression C_p mesuré sur l'extrados pour différentes positions du volet auto-adaptatif dont la longueur vaut (a) $l/c = 0.25$ et (b) $l/c = 0.5$. Les mesures obtenues dans le cas non contrôlé sont également reportées ($Re = 1.6 \times 10^5$).

réduction très nette du sillage implique une augmentation du débit de quantité de mouvement en aval de l'obstacle (voir par exemple [8]). Par ailleurs, cette mesure nous indique que la traînée visqueuse augmente sensiblement avec la présence du volet mais que la tendance globale de réduction de la traînée est confirmé.

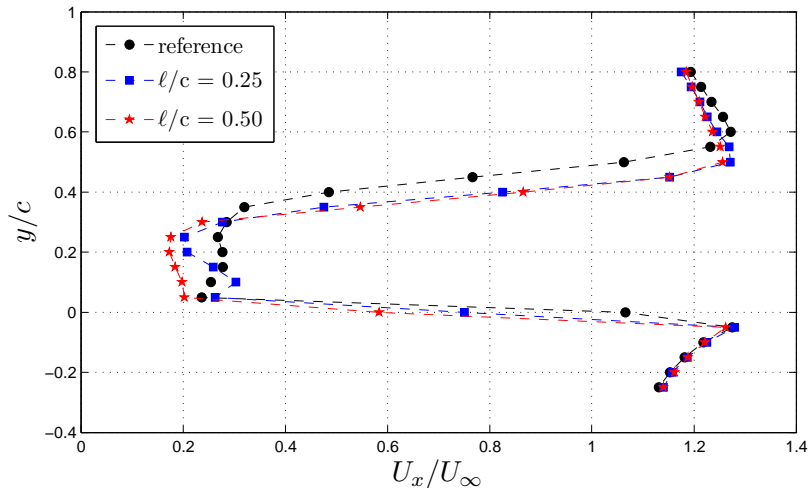


FIGURE 4 – Profils transversaux de vitesse moyenne longitudinale dans le sillage de l'aile à 2cm en aval du bord de fuite obtenus pour deux longueurs de volet $l/c = 0.25$ et $l/c = 0.5$ à une position $h/c = 0.5$. Le profil mesuré dans le cas non contrôlé est également reporté ($Re = 1.6 \times 10^5$).

3.2 Topologie de l'écoulement

La topologie à grande échelle de l'écoulement est étudiée au moyen du système PIV. Une comparaison du champ de vitesse moyenne longitudinale U_x obtenu dans la configuration non contrôlé et en présence du volet auto-adaptatif est présentée respectivement sur les Figures 5 (a) et 5 (b) pour un nombre de Reynolds $Re = 1.3 \times 10^5$. Notons que dans le cas où le volet est actionné, une zone d'ombre due à l'arrêt du faisceau laser par le volet masque une partie de l'écoulement.

Dans le cas non contrôlé, une très nette zone de recirculation est visible sur l'extrados qui se manifeste par la présence d'un tourbillon de grande taille (dit tourbillon principal dans la suite) dont le centre est positionné au droit du bord de fuite. On remarque également la présence d'un second tourbillon (contra-rotatif au précédent) situé à environ $x/c = 0.2$ en aval du bord de fuite. La présence du tourbillon principal provoque une dépression sur la partie supérieure du volet qui se soulève. Après une phase transitoire, ce dernier se positionne à une position d'équilibre autour de laquelle il oscille.

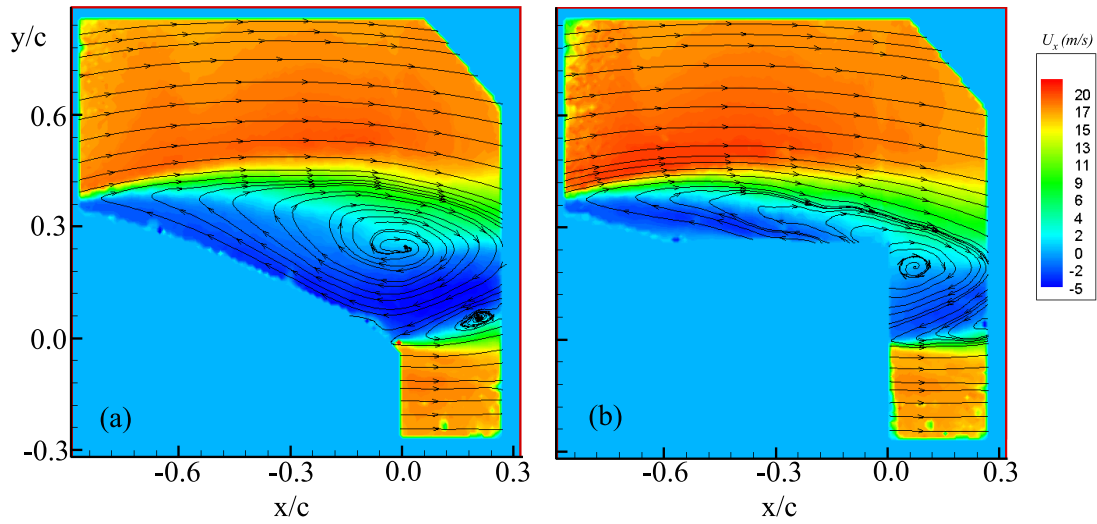


FIGURE 5 – Champ de vitesse moyenne U_x mesuré à $Re = 1.3 \times 10^5$ dans le cas (a) non contrôlé et pour (b) un volet de longueur $\ell/c = 0.5$ positionné à $h/c = 0.5$.

Cette position d'équilibre résulte de l'équilibre entre les efforts dus au poids du volet, la résistance de sa fixation et les efforts exercés par le fluide sur les deux faces du volet. En s'activant, le volet modifie notablement la topologie de l'écoulement comme on peut le constater sur la Figure 5 (b). En effet, le tourbillon principal est toujours visible mais son centre est décalé légèrement en aval du bord de fuite (cet effet est également valable pour le second tourbillon). Ce phénomène a pour effet de réduire la taille transversale de la recirculation sur l'extrados qui se traduit par une déviation très marquée de l'écoulement vers le bas. Ces résultats sont en accord avec les observations rapportées sur la réduction de l'épaisseur du sillage.

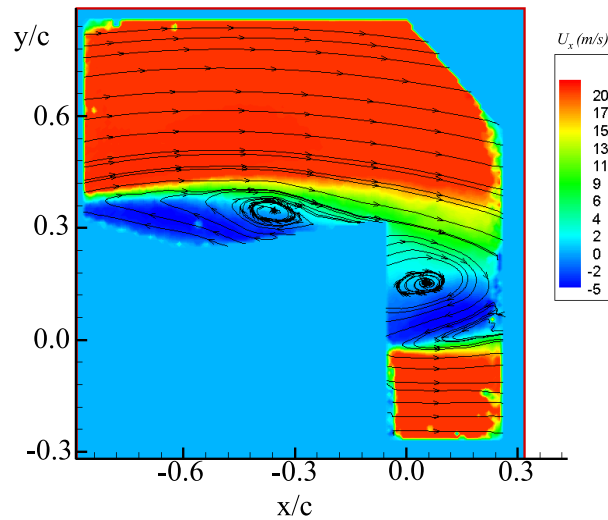


FIGURE 6 – Champ de vitesse moyenne U_x mesuré à $Re = 2 \times 10^5$ pour un volet de longueur $\ell/c = 0.5$ positionné à $h/c = 0.5$.

Lorsque le nombre de Reynolds est modifié, l'importance relative des différentes forces agissant sur le volet est modifiée. Ce phénomène a pour effet de déplacer la position d'équilibre comme le montre la Figure 6. En conséquence, la topologie de l'écoulement est fortement modifiée. La zone de recirculation est séparée en deux ce qui implique la formation de deux tourbillons contra-rotatifs en lieu et place du tourbillon principal observé pour le cas non contrôlé. La présence d'un tourbillon de grande dimension

en amont du volet provoque une forte dépression sur une partie de l'extrados en accord avec les mesures de pression présentées précédemment. Le second tourbillon est alors repoussé plus en aval du bord de fuite.

4 Conclusions

Un nouveau type de volet mobile poreux a été développé afin de contrôler l'écoulement autour d'un profil d'aile. L'originalité de ce volet est associée au fait qu'il est activé par l'écoulement lors de la phase de décrochage. A cet instant, le volet se décolle de l'extrados puis oscille autour d'une position d'équilibre qui dépend du nombre de Reynolds.

Lorsqu'il est activé, le volet provoque une dépression importante en amont de sa position qui résulte en une augmentation de la finesse. Cette amélioration est dépendante des paramètres géométriques caractérisant le volet, à savoir, sa longueur et sa position. Dans les conditions de cette étude, une augmentation de la finesse (rapport entre les coefficients de portance et traînée) pouvant atteindre environ 20% a été observée.

L'amélioration des performances aérodynamiques observée en présence du volet poreux résulte d'une modification profonde de la topologie de l'écoulement à grande échelle. Ce résultat a été mis en évidence grâce à l'observation du champ moyen de vitesse en phase de décrochage. En modifiant la topologie à grande échelle de l'écoulement, le volet affecte de façon très prononcée la circulation autour du profil ce qui se traduit par une augmentation de la finesse.

Les études futures sur ce sujet vont porter sur la compréhension fine de l'interaction entre le volet et le fluide. Dans ce cadre, l'influence de paramètres comme la porosité du tissu et la réceptivité de l'écoulement à la dynamique du volet, par exemple, seront étudiés.

Remerciements Les auteurs tiennent à remercier Mrs. F. Daoud et S. Loyer pour leur implication dans ce projet.

Références

- [1] Yarusevych, S., Sullivan, P.E., Kawall, J.G. 2006 Coherent structures in an airfoil boundary layer and wake at low Reynolds numbers. *Phys. Fluids* **18** 044101
- [2] Choi, H., Jeon, W.P., Kim, J. 2008 Control of flow over a bluff body. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **40** 113-139
- [3] Tian, Y., Cattafesta, L.N., Mittal, R. 2006 Adaptive Control of Separated Flow *AIAA Paper* 2006-1401
- [4] Rouméas, M., Gilliéron, P., Kourta, A. 2009 Analysis and control of the near-wake flow over a square-back geometry *Comp. Fluids* **38** 60-70
- [5] Favier, J., Dauplain, A., Basso, D., Bottaro, A. 2009 Passive separation control using a self-adaptive hairy coating *J. Fluid Mech.* **627** 451-483
- [6] Schatz, M., Knacke, T., Thiele, F., Meyer, R., Hage, W., Bechert, D.W. 2004 Separation control by self-activated movable flaps *AIAA Paper* 2004-1243
- [7] Assi, G.R.S., Bearman, P.W., Kitney, N. 2009 Low drag solutions for suppressing vortex-induced vibration of circular cylinders *J. Fluid Struct.* **25** 666-675
- [8] van Oudheusden, B.W., Scarano, F., Roosenboom, E.W.M., Casimiri E.W.F., Souverein L.J. 2007 Evaluation of integral forces and pressure fields from planar velocimetry data for incompressible and compressible flows *Exp. Fluids* **43** 153-162