

## **Amélioration de la portance aérodynamique d'un profil**

AZEDDINE KOURTA

Laboratoire PRISME, Université d'Orléans, 8 rue Léonard de Vinci 45072 Orléans cedex 2, France

Auteur correspondant : [azeddine.kourta@univ-orleans.fr](mailto:azeddine.kourta@univ-orleans.fr)

NICOLAS MAZELLIER

Laboratoire PRISME, Université d'Orléans, 8 rue Léonard de Vinci 45072 Orléans cedex 2, France

### **Abstract**

Active control by using fluidic actuators has been applied to NACA0015 profile in order to improve the aerodynamic performance at high angle of attack. By using numerical simulations to solve mean Navier-Stokes equations and closure model equations with viscosity concept, effects of steady and unsteady fluidic actuators have been studied. Actuators based on continuous jets, pulsed jets or synthetic jets have been applied. Important improvement has been obtained (up 50%). Parametrical studies have been conducted to obtain parameters providing best performance improvements.

### **Résumé**

Le contrôle actif à l'aide d'actionneurs fluidiques a été appliqué à un profil NACA0015 en vue d'améliorer les performances aérodynamiques à grandes incidences. A l'aide de la simulation numérique par résolution des équations de Navier-Stokes moyennées et des équations de fermeture de la turbulence en utilisant le concept de viscosité turbulente les effets des actionneurs stationnaires et instationnaires ont été étudiés. Des actionneurs basés sur des jets continus, jets pulsés ou jets synthétiques ont été étudiés. Des gains importants de la portance ont été obtenus (jusqu'à 50%). Les études paramétriques ont permis de sélectionner les caractéristiques donnant les meilleures performances.

## **1. INTRODUCTION**

Face aux contraintes économiques, environnementales et du confort, l'intérêt du développement des techniques de contrôle pour améliorer les performances, réduire la consommation et la pollution, améliorer la stabilité et le confort, a pris un essor considérable. Le décollement de la couche limite et les structures organisées qui en découlent conduisent à des pertes de performances et à la génération de bruit. Ceci a conduit au désir d'appliquer le contrôle en vue de diminuer voir supprimer la zone décollée [1-5]. Les approches du contrôle du décollement appelées « forçage dynamique » tirent profit des instabilités naturelles de la couche cisailée décollée aux perturbations [6-7]. Le contrôle peut être utilisé pour influencer la transition, modifier l'intensité turbulente, influencer le décollement pour réduire la traînée et augmenter la portance, optimiser les échanges énergétiques, améliorer le confort et réduire le bruit. Le concept de contrôle par actionneur fluidique a prouvé son efficacité pour contrôler le décollement de la couche limite [7-15]. Parmi les actionneurs fluidiques, les jets continus et les jets synthétiques sont couramment utilisés expérimentalement [7-9]. D'un point de vue pratique, le jet synthétique est moins complexe et présente un coût énergétique plus faible. Il a été utilisé dans d'autres configurations comme le diffuseur [16] et a fait l'objet de simulation numérique [17-20].

Dans cette étude, la simulation numérique est utilisée pour résoudre les équations de Navier Stokes moyennes instationnaires couplées à un modèle de turbulence à deux équations de transport.

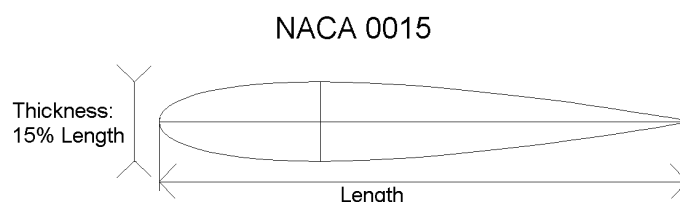
L'actionneur utilisé est un jet continu, pulsé ou synthétique. Le but de ce travail est de simuler le comportement d'un profil d'aile sur lequel serait placé un actionneur de type fluïdique. L'objectif est de contrôler le décollement sur l'extrados pour générer un surplus de portance et de repousser ainsi le décrochage de l'aile. Les résultats sur le profil NACA0015, avec et sans contrôle, montrent qu'en utilisant des paramètres optimaux du jet, des améliorations significatives peuvent être obtenues. Ainsi, le coefficient de portance et l'angle de décrochage augmentent.

## 2. METHODOLOGIE

Les équations de Navier-Stokes moyennées (décomposition de Reynolds) sont résolues dans un cas bidimensionnel à l'aide du logiciel commercial Fluent. Le modèle de turbulence choisi est un modèle basé sur le concept de viscosité turbulente à deux équations de transport. Il s'agit du modèle  $(k,\omega)$  SST qui est le plus adapté au calcul des écoulements décollés.

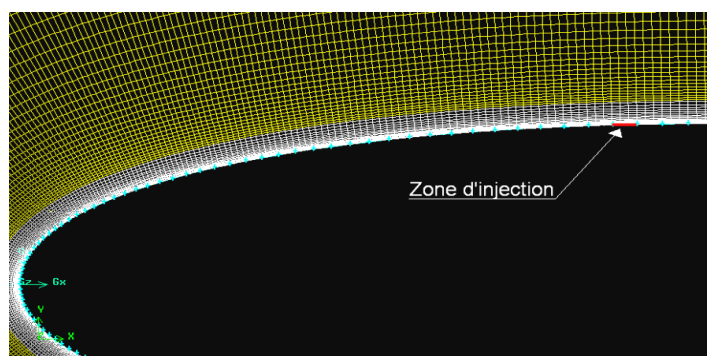
## 3. CONDITIONS DE CALCUL

Le profil choisi est un profil symétrique de type NACA0015 (figure 1). La corde du profil est de 0,35m. Les conditions infinies (imposées aux frontières du domaine du calcul) de l'écoulement sont une température de 300K, la vitesse de l'écoulement est de 40m/s et le nombre de Mach vaut 0,12.



**Figure 1:** Profil NACA 0015

Pour mailler correctement le domaine du calcul, celui-ci est divisé en 8 zones. Le découpage de la boîte de calcul permettra la réalisation d'un maillage plus raffiné dans les zones présentant de forts gradients. Le maillage est non-structuré. Après avoir étudié la dépendance en maillage, le maillage retenu contient 134000 mailles. L'actionneur est défini comme une condition aux limites sur le profil. Nous allons étudier l'impact de la position du jet. Quatre maillages différents ont été réalisés : sans jet, avec un jet placé à 15% de corde du bord d'attaque, un jet à 25% et un dernier à 50%



**Figure 2:** Position du jet sur le profil

Les conditions aux limites sont des conditions d'adhérence sur la paroi du profil excepté au niveau de la position du jet et des conditions d'écoulement type champ lointain sur les frontières du domaine.

## 4. RESULTATS

### 4.1- caractérisation de l'écoulement sans contrôle

Nous avons tout d'abord étudié l'évolution de l'écoulement en fonction de l'incidence. Des simulations pour des incidences allant de 4 à 22° avec un pas de 2° ont été réalisées. L'écoulement est ainsi attaché à faible incidence et décolle au bord de fuite vers 10°. Avec l'augmentation de l'incidence le décollement remonte l'extrados pour atteindre le bord d'attaque et c'est le décrochage. Le tableau (1) donne l'évolution du coefficient de portance  $C_z$ . Ce dernier augmente avec l'incidence, atteint un maximum à l'incidence de décrochage (16°) et décroît par la suite.

$\alpha$ °	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$C_z$	0,368	0,547	0,709	0,841	0,96	1,05	1,08	1,02	0,85	0,6

**Tableau 1: Coefficient de portance**

### 4.2- Etude de l'écoulement avec contrôle

Le cas précédent sans contrôle sera donc notre cas de référence. Nous allons maintenant appliquer le contrôle à l'aide d'un jet continu. On cherchera à déterminer la meilleure position et la meilleure inclinaison pour obtenir l'amélioration maximale de la portance.

Nous avons choisi d'étudier trois positions du jet 15%, 25% et 50% de la corde, quatre inclinaisons 15°, 30°, 45° et 90° et deux vitesses 60 et 120 m/s.

#### 4.2.1- Effet de l'inclinaison du jet

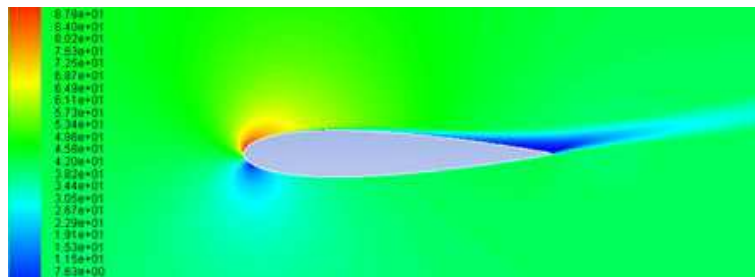
Le premier paramètre étudié est l'inclinaison du jet. Nous allons présenter les résultats obtenus pour une incidence du profil de 12° et un jet placé à 25% de corde du bord d'attaque.

$\beta$ °	sans	15	30	45	90
$C_z$	0,96	1,292	1,475	1,431	1,253

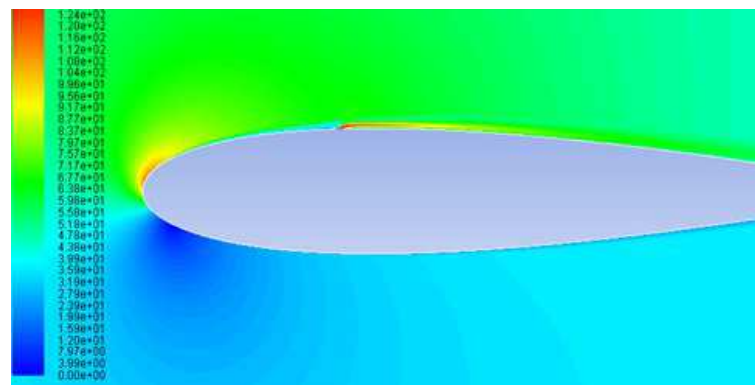
**Tableau 2: Effet de l'inclinaison du jet ( $\beta$ )**

Le tableau (2) donne l'évolution du coefficient de portance en fonction de l'inclinaison du jet. La portance maximale est obtenue avec une inclinaison du jet de 30°. La figure (3) compare les iso-Mach entre le cas sans contrôle (a), le cas où l'inclinaison est de 30° (b) et 90° (c). Sur le cas sans contrôle nous avons un décollement au bord de fuite. Quand on applique le contrôle avec un jet incliné de 30° l'écoulement est complètement recollé se traduisant par une importante augmentation de la portance. Quand l'inclinaison est de 90°, c'est-à-dire un jet perpendiculaire à la corde, ce dernier provoque un décollement massif de l'écoulement. Dans ce cas on a une zone cisailée loin du profil et un

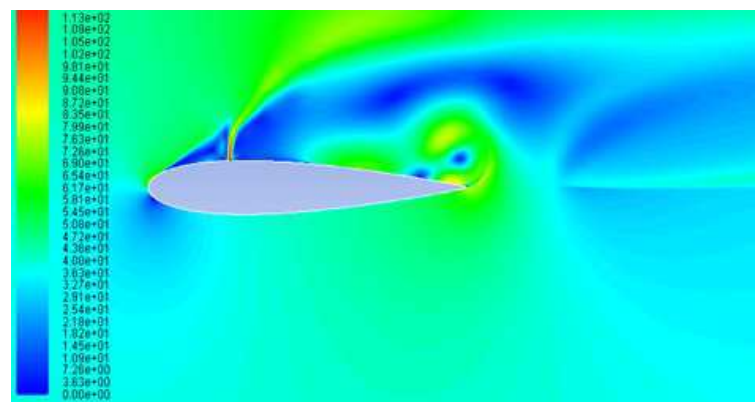
écoulement instationnaire. Le coefficient de portance est inférieur au cas où l'inclinaison est de  $30^\circ$  mais reste cependant supérieur au cas sans contrôle. La traînée de forme devra être supérieure. Ainsi en termes de gain ce dernier cas n'est pas intéressant.



(a)



(b)



(c)

**Figure 3:** Effet de l'inclinaison du jet ( $\alpha=12^\circ$ , position 25%). (a) : sans contrôle, (b)  $\beta=30^\circ$ , (c)  $\beta=90^\circ$

#### 4.2.2- Effet de la position du jet

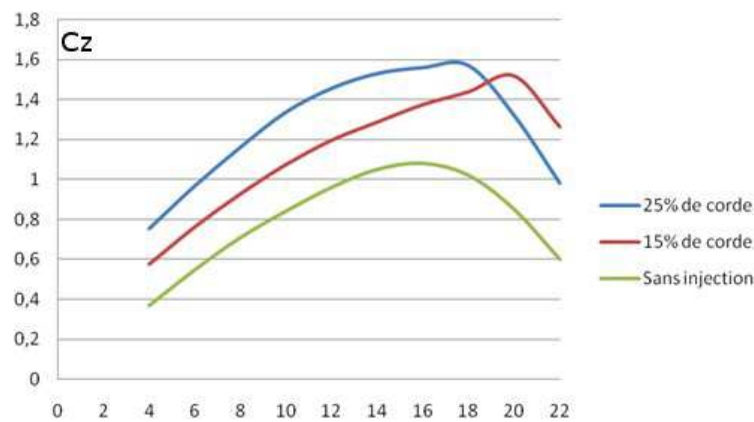
Trois positions ont été choisies. Celle à 50% ne s'est pas révélée concluante. Nous allons donc analyser les résultats des deux autres positions.

$\alpha$ °	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
sans	0,368	0,547	0,709	0,841	0,96	1,05	1,08	1,02	0,85	0,6
25%	0,752	0,966	1,161	1,337	1,456	1,53	1,56	1,57	1,32	0,98
15%	0,574	0,761	0,927	1,074	1,196	1,29	1,37	1,44	1,52	1,26

**Tableau 3:** Effet de la position du jet sur le coefficient de portance

Le tableau (3) et la figure (4) donnent l'évolution de la portance en fonction de l'incidence pour les deux positions du jet comparé au cas sans contrôle. L'augmentation de la portance est supérieure quand le jet est positionné à 25% de la corde. L'incidence de décrochage est repoussée dans les deux cas. Elle est cependant supérieure dans le cas où le jet est à 15% de la corde. Elle est de 20° dans ce cas alors qu'elle est de 18° dans le cas où le jet est à 25% de la corde. On constate cependant que le maximum de coefficient de portance est supérieur dans le cas 25%.

La figure (5) représente le gain de portance par rapport au cas sans contrôle ( $\frac{C_z - C_{z0}}{C_{z0}}$ ). Jusqu'à une incidence de 18°, le gain à l'aide d'un jet positionné à 25% est supérieur à celui où le jet est à 15% de la corde. Dans le cas où l'écoulement est décollé c'est-à-dire quand l'incidence est supérieure à 10°, ce gain est en moyenne de 50% pour l'actionneur positionné à 25% de la corde alors qu'il est de 20% dans l'autre cas.



**Figure 4:** Effet de la position du jet sur le coefficient de portance

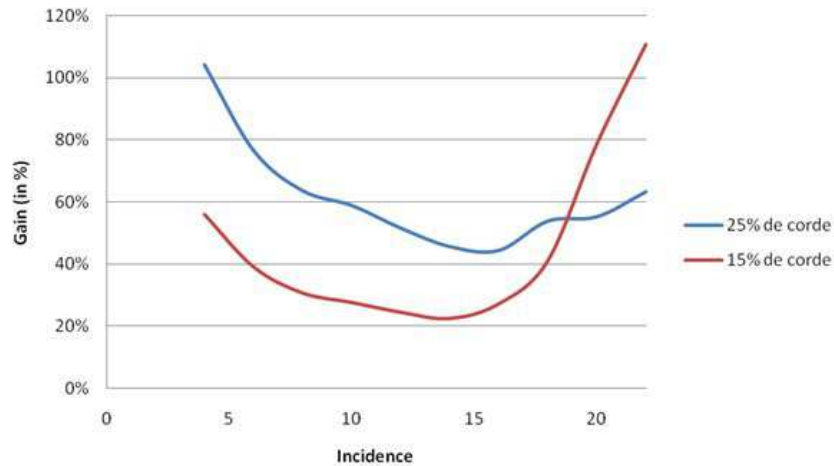


Figure 5: Gain de portance par rapport au cas sans contrôle

#### 4.2.3- Contrôle avec une excitation instationnaire

Toutes les simulations seront réalisées sur la meilleure configuration obtenue avec le jet continu pour une incidence de  $12^\circ$ . Un jet pulsé et un jet synthétique seront testés. Dans les deux cas, nous avons testé deux fréquences, 100 Hz et 1000 Hz.

##### 4.2.3.1- Contrôle avec un jet pulsé

Le jet pulsé est un créneau qui souffle à une vitesse continue (120 m/s) pendant un laps de temps et s'arrête pendant un autre laps. Le jet pulsé utilisé est représenté schématiquement sur la figure (6). Les temps de soufflage et d'arrêt sont identiques dans cette étude.

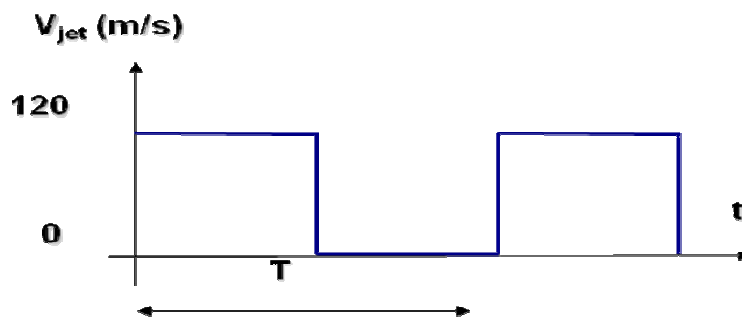


Figure 6: Le jet pulsé imposé

La portance augmente très fortement avec la diminution de la fréquence de 1000Hz à 100Hz. Le coefficient de portance est presque multiplié par deux lorsque que l'on passe de la fréquence 1000 Hz à 100 Hz. Sur le tableau (4), on donne le gain réalisé par rapport au cas non contrôlé et par rapport à celui du jet continu. Le gain est négatif par rapport au jet continu montrant que ce dernier est plus efficace. Par rapport au cas sans contrôle, on obtient un gain de 19%.

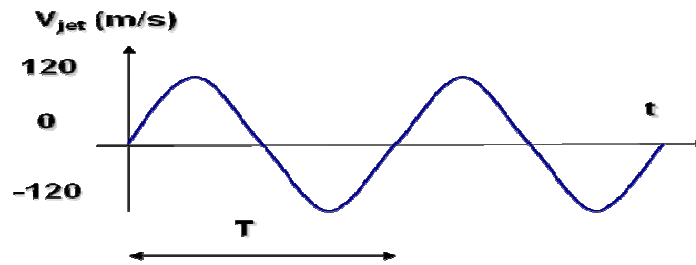
Fréquence	Portance	Gain Portance /sans jet	Gain portance/avec jet
100 Hz	1,147	19%	-21%
1000 Hz	0,698	-27%	-52%

**Tableau 4:** Portance en fonction de la fréquence et gain en portance (jet pulsé)

#### 4.2.3.2- Contrôle avec un jet synthétique

Le jet synthétique est caractérisé par une forme sinusoïdale où l'on souffle pendant le demi-période et on aspire pendant la demi-période suivante (figure 7). L'amplitude maximale est de 120 m/s.

Pour ce jet synthétique, un gain de portance supérieur d'environ 22% est obtenu pour un jet de fréquence 100 Hz par rapport à l'aile non contrôlée (tableau 5). Par contre, La portance est plus faible que celle obtenue avec le jet continu, ainsi que lorsque nous augmentons la fréquence de celui-ci à 1000 Hz.



**Figure 7:** Le jet synthétique

Fréquence	Portance	Gain Portance /sans jet	Gain portance/avec jet
100 Hz	1,171	22%	-20%
1000 Hz	0,779	-19%	-47%

**Tableau 5:** Portance en fonction de la fréquence et gain en portance (jet syntétique)

## 5. CONCLUSION

Nous avons étudié, la position et l'inclinaison d'un actionneur par jet continu pour le contrôle actif de la portance d'un profil NACA0015. Cette étude nous a permis de voir comment se comporte l'écoulement notamment décollé sous l'effet de l'actionnement. Il nous a également permis de statuer sur la position et l'inclinaison de l'actionneur qu'il faut choisir pour une meilleure performance. Il en ressort qu'un actionneur positionné à 25% de la corde et incliné de 30% répond parfaitement à cet objectif. Des gains de portance jusqu'à 50% sont possibles. Nous avons testé deux injections instationnaires, un jet pulsé et un jet synthétique. Si le jet synthétique donne un meilleur gain que le jet pulsé, sa performance reste moindre qu'un jet continu dans la configuration traitée et à l'incidence utilisée.

## REMERCIEMENTS

G. Collet Y. Merriaux ont contribué à ce travail pendant leur projet de 5A.

## 6. REFERENCES

1. Wu, J.-M., Lu, X-Y, Denny, A.G., Fan, M., and Wu, J.-Z., "Post-stall lift enhancement on an airfoil by local unsteady control" Part I. Lift, Drag and Pressure Characteristics, AIAA 97-2063
2. Wu, J.-Z., Lu, X-Y, and Wu, J.-M., "Post-stall lift enhancement on an airfoil by local unsteady control" Part II. Mode competition and vortex dynamics, AIAA 97-2064
3. Seifert, A., "Oscillatory control of separation at high Reynolds numbers", AIAA 98-0214
4. Mc Manus, "Active control of aerodynamic stall using pulsed jet actuators", AIAA 95-2187
5. Amita, M., "Aerodynamic flow control using synthetic jet technology", AIAA 98-0208
6. Wygnanski, I.J., "Boundary layer and flow control by periodic addition of momentum" , AIAA 97-2117
7. McCormick, D.C., "Boundary layer separation control with directed synthetic jets", AIAA 2000-0519
8. Gilarranz, J.L., Traub, L.W., and Rediniotis, O.K., "Characterization of a compact, high-power synthetic jet actuator for flow separation control", AIAA 2002-01
9. A. Batikh, R. Caen, S. Colin, L. Baldas, A. Kourta, H. Boisson, Numerical and experimental study of micro synthetic jets for flow control, International Journal of Heat and Technology, vol. 26, no. 1, pp. 139-145, 2008
10. Greenblatt, D., and Wignanski, I.J., "The control of flow separation by periodic excitation" Progress in Aerospace Sciences 36 (2000) 487-545
11. Roth, J., Rajagopalan, R.G., and Hassan, A., "Influence of oscillatory jets on boundary layer characteristics of simple aerodynamic shapes" AIAA 2003-3666
12. Hassan, A.A., "Improving flap aerodynamics using oscillatory jet control" AIAA 2003-3664
13. Béra, J.C., Michard, M., Sunyach, M., and Comte-Bellot, G., "Changing lift and drag by jet oscillation: experiments on a circular cylinder with turbulent separation" Eur. J. Mech. B-Fluids 19 (2000) 575-595
14. J. Favier, A. Kourta, Etude du contrôle du décollement sur un profil d'aile par mesures PIV et analyse POD, CRAS, C.R. Mécanique 334, n° 4, p. 272-278, 2006.
15. J. Favier, L. Cordier, A. Kourta, Sur l'optimisation d'actionneurs pour le contrôle d'écoulements, Mécanique & Industries 8, n° 3, 259-265, 2007
16. Ben Chiekh, M., Bera, J.-C., and Sunyach, M., "Synthetic jet Control for flows in a diffuser: vectoring, spreading and mixing enhancement", JoT 4 (2003) 032 (<http://jot.iop.org/>)
17. Parekh, D.E., Palinswamy, S., and Goldberg, U., "Numerical simulation of separation control via synthetic jets" AIAA 2002-3167
18. A. Kourta, G. Petit, J.C. Courty, J.P. Rosenblum, Contrôle de décollement sur un profil d'aile par soufflage pulsé, 3ème Journées d'Etudes Techniques-JET'2004, Marrakech (Maroc) 14-16 avril 2004
19. G. Petit, A. Kourta, J.C. Courty, J.P. Rosenblum, Airfoil Separation Control with Synthetic Jet by using Time Dependent Turbulence Model, 1st European Forum on Flow Control, Poitiers-Futuroscope, October 11-14, 2004
20. G. Petit, A. Kourta, J.C. Courty, J.P. Rosenblum, Modèle de turbulence pour le calcul du décollement sur un profil d'aile et son contrôle, 17ème Congrès Français de Mécanique, Troyes 29 août- 2 septembre 2005