الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا و الهندسة – عنابة
National Higher School of Technology and Engineering. Annaba

Department of Process Engineering and Energetics

THESIS

For the obtention of Doctoral degree in:

Domaine: Science & Technology

Field: Mechanical Engineering

Speciality: Renewable Energies in Mechanics

Presented by

Sami BOUTERRA

Entitled

Aerodynamic Design And Computational Analysis On Flow Control Of Wind Turbine Airfoil

Presented on: *11/02/2026*

Jury members:

Kamel CHAOUI	Prof.em	President	UBMA
Riyadh BELAMADI	MCA	Thesis supervisor	ENSTI-ANNABA
Abdelouaheb DJEMILI	MCA	Thesis Co-supervisor	UBMA
Salaheddine AZZOUZ	Prof	Examinator	ENSTI-ANNABA
Abdesslam OTHMANI	MCA	Examinator	ENSTI-ANNABA
Belkacem DRAOUI	Prof.em	Guest	BECHAR UNIVERSITY

Academic year : 2025/2026

ABSTRACT

This thesis projects addresses the issue of flow separation over wind turbine airfoils under stall conditions via passive boundary layer control. Various configurations and passive control devices are investigated and compared to baseline to yield an optimum configuration. Based on CFD calculations of 2D and 3D steady and unsteady-incompressible flow Reynolds average Navier-Stokes equations, are modeled using RANS and IDDES using *ANSYS Fluent*.

A thorough 2D parametric investigation was held to explore devices such as leading-edge micro cylinders, micro cylinder/slot combination and various slat profiles. Parameters such as position relative to leading-edge, diameter, diameter to gap ratio, slat's inclination angle camber, chord length and position were taken into account in this study. Validation was performed in comparison to experimental results available for the S809 profile. 2D and 3D peculiar Mechanisms that govern and influence separation and induce efficient control were identified. A particular interest was directed towards the slat case using a IDDES-FWH study.

Further deepening and investigation were necessary to evaluate the 3D effects using a comparison study of slot and slat validated configuration implemented on the S809 Phase II blade. The slotted phase VI blade has also been studied. Aeroacoustic effect of both slat and slot implementation over the whole blade span resulted in high acoustic emission at high frequencies.

Key words: Passive flow control, boundary layer separation, wind energy, CFD-RANS, IDDES-FWH, turbulence shedding, angle of attack.

ملخص

تتناول مشاريع هذه الأطروحة مسألة فصل التدفق فوق جنيحات توربينات الرياح في ظل ظروف التوقف عن طريق التحكم السلبي في الطبقة الحدودية. يتم فحص التكوينات المختلفة وأجهزة التحكم السلبية ومقارنتها بخط الأساس للحصول على التكوين الأمثل. استنادًا إلى حسابات CFD للتدفق الثابت وغير المستقر وغير القابل للضغط ثنائي الأبعاد وثلاثي الأبعاد، تم تصميم معادلات رينولدز المتوسطة Navier-Stokes باستخدام RANS وIDDES باستخدام ANSYS Fluent.

تم إجراء تحقيق حدودي شامل ثنائي الأبعاد لاستكشاف أجهزة مثل الأسطوانات الدقيقة المتطورة، ومجموعة الأسطوانات/الفتحة الدقيقة وملامح الشرائح المختلفة. تم أخذ المعلمات مثل الموضع بالنسبة إلى الحافة الأمامية، والقطر، ونسبة القطر إلى الفجوة، وزاوية ميل الشريحة، وطول الوتر والموضع في الاعتبار في هذه الدراسة. تم إجراء التحقق من الصحة بالمقارنة مع النتائج التجريبية المتاحة لملف تعريف S809. تم تحديد الآليات المميزة ثنائية وثلاثية الأبعاد التي تحكم وتؤثر على الانفصال وتحفز التحكم الفعال. تم توجيه اهتمام خاص نحو حالة الشريحة باستخدام دراسة IDDES-FWH.

كان من الضروري إجراء مزيد من التعميق والتحقيق لتقييم التأثيرات ثلاثية الأبعاد باستخدام دراسة مقارنة للتكوين المتحقق من صحة الفتحة والشريحة المطبق على شفرة S809 المرحلة الثانية. تمت أيضًا دراسة شفرة المرحلة السادسة المشقوقة. أدى تأثير الصوتيات الجوية لكل من الشريحة والفتحة على مدى الشفرة بأكملها إلى انبعاث صوتي عالي عند الترددات العالية.

الكلمات المفتاحية: التحكم في التدفق السلبي، فصل الطبقة الحدودية، طاقة الرياح، CFD-RANS، IDDES-FWH، تساقط الاضطراب، زاوية الهجوم.

RESUME

Ce projet de thèse aborde la problématique de la séparation d'écoulement autour de pales d'éoliennes dans des conditions de décrochage via un contrôle passif de la couche limite. Diverses configurations et dispositifs de contrôle passifs sont étudiés et comparés à la configuration de base pour obtenir une configuration optimale. Sur la base de calculs CFD d'écoulements stationnaires et instationnaires-incompressibles 2D et 3D, les équations de Navier-Stokes moyennées de Reynolds sont modélisées à l'aide de RANS et IDDES à l'aide d'ANSYS Fluent.

Une enquête paramétrique 2D approfondie a été menée pour explorer des dispositifs tels que des micro-cylindres en avant de profile, une combinaison micro-cylindre/fente et divers profils de slat. Des paramètres tels que la position par rapport au bord d'attaque, le diamètre, le rapport diamètre/espace, l'angle d'inclinaison des slats, la longueur de la corde et la position ont été pris en compte dans cette étude. La validation a été effectuée par rapport aux résultats expérimentaux disponibles pour le profil S809. Des mécanismes particuliers en 2D et 3D qui régissent et influencent la séparation et induisent un contrôle efficace ont été identifiés. Un intérêt particulier a été porté sur le cas des lattes à travers une étude IDDES-FWH.

Des approfondissements et des investigations supplémentaires ont été nécessaires pour évaluer les effets 3D à l'aide d'une étude comparative de la configuration validée des fentes et des slats mise en œuvre sur la lame S809 Phase II. La pale phase VI à fente a aussi été étudiée. L'effet aero-acoustique de la mise en œuvre des slats et des fentes sur toute la portée de la pale a entraîné une émission acoustique élevée à hautes fréquences.

Mots clés : Contrôle passif des écoulements, séparation de couche limite, énergie éolienne, CFD-RANS, IDDES-FWH, propagation de turbulences, angle d'attaque.