

Invitation à la soutenance de thèse

AMÉLIORATION DES MODÈLES DE TOLÉRANCE DE SURFACE POUR LES COUCHES LIMITES EN S'APPUYANT SUR DES OUTILS D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Adrien Rouviere

3 avril 2023 à 13h30

*Salle des thèses de l'ISAE-Supaéro
10 Av. Edouard Belin, 31400 Toulouse*

Devant le jury composé de :

Grégoire Casalis	Professeur, Toulouse	Examineur
Serge Gratton	Professeur des Universités, Toulouse	Directeur
Fabien Méry	Chargé de Recherche, Toulouse	Co-Directeur
Bijan Mohammadi	Professeur des Universités, Montpellier	Rapporteur
Jean-Christophe Robinet	Professeur des Universités, Paris	Rapporteur
Taraneh Sayadi	Chargée de Recherche, Paris	Examinatrice

Résumé

De nos jours, la réduction de l'impact environnemental du trafic aérien constitue un enjeu sociétal majeur. Une des solutions envisagées par les industriels de l'aéronautique pour réduire la traînée de frottement consiste alors à maintenir laminaire la couche limite se développant sur les ailes et le fuselage des appareils. Il a été estimé par exemple qu'un écoulement laminaire maintenu le long d'une aile d'avion de transport civil aboutirait jusqu'à une économie de carburant d'environ 10%.

Plusieurs initiatives industrielles cherchent à progresser sur le sujet des ailes laminaires, à l'instar de la campagne d'essais BLADE lancée par Airbus qui vise à explorer leur comportement en vol en vue d'une potentielle exploitation sur des avions commerciaux. Si la connaissance et la caractérisation des profils laminaires sont disponibles depuis quelques années, les difficultés principales sont liées à la possible présence d'imperfections de surface sur l'aile. En effet, des défauts de surface peuvent avoir pour conséquences d'amplifier des perturbations existantes dans la couche limite et/ou d'en générer de nouvelles, ce qui pourrait engendrer un déclenchement prématuré de la transition à la turbulence.

Actuellement, l'impact global d'un défaut sur la transition est bien connu et quelques corrélations existent pour prédire approximativement la position de transition. Toutefois, les modèles existants restent pour la plupart empiriques et se basent sur des études expérimentales ou numériques qui restent dans les deux cas complexes à mettre en œuvre. L'objectif de cette thèse est donc de développer de nouveaux modèles de transition pour les couches limites incompressibles en présence de défauts de surface grâce à des outils d'intelligence artificielle et en s'appuyant sur des résultats issus de simulations numériques.

La première partie de ce travail a été de développer un code de stabilité permettant d'étudier les effets de défauts de surface bidimensionnels sur le développement des ondes de Tollmien-Schlichting (TS) à travers les méthodes du e^N et du ΔN . L'objectif d'un tel outil est double : être à la fois capable de générer facilement des maillages pour n'importe quel type d'imperfections de surface, et permettre une utilisation quasi-automatique dans l'optique d'être utilisé pour générer une base de données. Le code PIMS2D a donc été conçu dans ce sens et se base sur des scripts FreeFem++ utilisant une méthode des éléments finis. Sa validation a été effectuée avec succès en se comparant aux résultats issus d'une analyse de stabilité locale pour une couche limite sur plaque plane et issus d'une approche AHLNS pour l'étude d'un défaut de type marche descendante.

L'utilisation de ce nouveau code de stabilité a permis d'étudier l'impact de la présence de défauts de surface de types marches montantes et descendantes, bosses ou rainures sur l'écoulement moyen ainsi que sur le développement des ondes TS responsables de la transition à la turbulence. Notamment, il a été mis en évidence que le phénomène d'amplification de ces ondes instables en présence d'une imperfection de surface bidimensionnelle était modifié de deux manières différentes selon la distance au défaut et la taille de celui-ci. L'influence d'un gradient de pression favorable ou défavorable sur le facteur N a également été étudiée et a montré une relation non-linéaire entre le facteur de forme de la couche limite et la sur-amplification des ondes TS par un défaut.

Finalement, PIMS2D a permis de générer une large base de données d'études de stabilité autour de différents défauts de surface. Cette base de données a été dans un premier temps analysée « physiquement » avant d'avoir été utilisée pour entraîner un réseau neuronal à quantifier l'effet d'un défaut de surface sur la transition. Ce réseau de neurones prend en entrée les paramètres géométriques (hauteurs et largeur) et aérodynamiques (nombre de Reynolds à l'emplacement du défaut) du défaut considéré et prédit en sortie le ΔN associé à ce défaut ainsi que la fréquence la plus amplifiée. Les prédictions du réseau neuronal ont été comparées avec des résultats expérimentaux et numériques tirés de la littérature ainsi qu'avec des essais en souffleries menés par ailleurs à l'ONERA. Ces comparaisons ont montré une utilisation des réseaux plutôt robuste tant que l'utilisateur reste dans la gamme d'entraînement des paramètres d'entrée, mais ont également mis en avant la possibilité d'une utilisation hors de la zone d'entraînement pour certains paramètres.

Mots clés

Couche limite, Transition, Défauts de surface, Réseaux de neurones