



# Modélisation des transferts thermiques sur paroi givrée par méthode intégrale 3D

Soutenance de thèse – Rémi HARRY

16 Décembre 2022 à 14h

Amphithéâtre ONERA,

2 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France

Devant le jury composé de :

\*\*\*

Mme Héloïse Beaugendre, Rapporteur

M. Éric Laurendeau, Rapporteur

M. Pierre Trontin, Examineur

M. Philippe Villedieu, Directeur de thèse

M. Radenac Emmanuel, Co-directeur de thèse

M. Ghislain Blanchard, Co-encadrant de thèse

## Résumé

Le givrage en vol des avions est une source de dégradation des performances aérodynamiques voire d'accidents. Le coût et la difficulté des essais en soufflerie et en vol conduisent à faire appel à des outils de simulation numérique pour le développement et la certification d'un avion contre le givrage. Le coût de calcul est un problème important pour les codes de givrage car de nombreuses paramétrisations sont généralement attendues. Le givrage est un phénomène hautement multiphysique nécessitant de coupler différents modules, la majeure partie du coût de calcul étant due au module aérothermique.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de la modélisation 3D de la couche limite thermique, nécessaire à la modélisation 3D de l'accrétion du givre. L'objectif est de disposer d'outils numériques à la fois rapides, robustes et compatibles avec la modélisation des profils d'ailes utilisant des systèmes de protection thermique. L'approche utilisée dans cette thèse est une méthode couplée Euler/ méthode intégrale de couche limite. La modélisation de la couche limite thermique nécessite la prise en compte de son histoire en raison des conditions aux limites de paroi non-uniformes. Une méthode intégrale basée sur une méthode modale a été développée. Elle permet de transporter plus d'informations qu'une méthode basée sur une simple intégration de l'équation d'énergie. La direction normale à la paroi est traitée à l'aide d'une méthode Galerkin tandis qu'une méthode de volumes finis est utilisée dans les autres directions. La méthode développée pour des configurations 3D a été validée sur des configurations 2D pour des conditions thermiques non uniformes. Le code a ensuite été utilisé avec la chaîne de givrage 2D de l'Onera pour traiter des cas d'application d'accrétion de givre. Ceci a démontré la robustesse de la méthode ainsi que la capacité à modéliser la couche limite thermique pour des cas complexes avec une température de paroi présentant des variations spatiales rapides, alors qu'une méthode intégrale basée directement sur l'intégration de l'équation d'énergie échouait.

**Mots-clés** : systèmes de protection contre le givre, couche limite thermique, paroi chauffée, méthode intégrale, méthode de Galerkin, volumes finis.