

Soutenance de thèse

Pierre LAVOIE soutiendra sa thèse de doctorat en cotutelle internationale, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et de Polytechnique Montréal et intitulée «*Méthode de frontières immergées pour la modélisation du givrage en vol des aéronefs*»

Le 6 mai 2021 à 15h00, visio-conférence ONERA Toulouse

devant le jury composé de

M. Yannick HOARAU	Professeur Université de Strasbourg	Rapporteur
M. Alberto GUARDONE	Professeur Politecnico di Milano	Rapporteur
M. Jean-Yves TREPANIER	Professeur Polytechnique Montréal	Rapporteur
M. Philippe VILLEDIEU	Directeur de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Éric LAUREND AU	Professeur Polytechnique Montréal	Co-directeur de thèse
M. Alberto PUEYO	Ingénieur Bombardier Aéronautique	
M. RADENAC EMMANUEL	Ingénieur ONERA	
M. Ghislain BLANCHARD	Ingénieur ONERA	

Résumé : Le givrage en vol est un danger pour la sécurité d'un aéronef, car il peut affecter son aérodynamique, ses sondes et ses capteurs. La modélisation de ce phénomène se fait généralement par un appel séquentiel à des modules traitant la génération de maillage, l'aérodynamique, la trajectoire des gouttelettes, le transfert de chaleur à la paroi, la thermodynamique et la mise à jour de la géométrie. Il est important d'automatiser ce processus, car les modules sont contenus dans une boucle temporelle (multi pas) pouvant être répétée plusieurs fois pour une prévision adéquate du givre. La robustesse des outils numériques de givrage est souvent limitée par la difficulté à générer un maillage sur de formes de givre complexes et aussi par la mise à jour de la géométrie qui peut mener à des croisements de la surface. L'objectif principal de cette thèse est d'évaluer le potentiel des méthodes de frontières immergées (IBMs) pour résoudre ces problèmes en éliminant l'intervention de l'utilisateur tout en conservant la précision des approches basées sur des maillages conformes (BF). Les développements sont effectués dans le logiciel IGLOO2D. L'écoulement d'air y est modélisé par les équations d'Euler couplé à un code de couche limite. La méthodologie consiste à démarrer les simulations sur un maillage conforme (BF) et d'appliquer l'IBM seulement sur le givre. Un raffinement du maillage initial est appliqué près de la zone de givrage ce qui permet d'éviter complètement le remaillage. Parce que le givre est immergé dans le maillage, les modules volumiques (aérodynamique et gouttelettes) sont modifiés pour appliquer les conditions aux limites sur la frontière immergée (IB). Les données surfaciques sont extraites sur l'IB puisqu'elles sont requises par les modules surfaciques (thermodynamique et couche limite) qui eux, restent inchangés. De plus, une méthode level-set remplace l'approche de déplacement de nœuds normalement employée pour la mise à jour de la géométrie. Premièrement, une méthode de pénalisation (une IBM) est développée pour les équations d'Euler en se basant sur la méthode Characteristic-Based Volume Penalization (CBVP). L'approche provenant de la littérature pénalise les équations d'Euler en appliquant une vitesse de glissement et un mur adiabatique tout en considérant la courbure de la paroi. Une nouvelle approche (CBVP-Hs) est proposée afin d'imposer la conservation de l'entropie et de l'enthalpie totale dans la direction normale à l'IB, remplaçant la condition adiabatique. Les résultats démontrent que la nouvelle méthode est plus précise sur des maillages plus grossiers et se comporte mieux sur des géométries à forte courbure. Deuxièmement, une méthode de pénalisation est développée pour la trajectoire des gouttelettes afin de combler un manque dans la littérature. Pour ce système d'équations, la condition de paroi doit être traitée de façon à éviter une réinjection des gouttelettes dans le fluide à partir d'une paroi solide. Cette situation est réglée par l'ajout d'un masque pour les gouttelettes en plus du masque solide usuel, permettant une détection automatique des conditions dans la zone d'impact et dans la zone d'ombre des gouttelettes. Les résultats démontrent la capacité de la nouvelle méthode à reproduire le comportement d'une approche BF.

Troisièmement, les méthodes de pénalisation développées précédemment (Euler et gouttelettes) et la méthode level-set sont intégrées dans IGLOO2D. Des simulations de givrage multi pas sont effectuées en 2D sur des profils d'aile. Les résultats correspondent généralement à ceux obtenus par une approche BF, même si un maillage plus raffiné est parfois nécessaire pour une bonne prévision du givre. Cette thèse offre une alternative intéressante à une approche BF classique tout en permettant une extension facile à des simulations 3D, une application pour laquelle les IBMs et la méthode level-set présentent encore plus d'avantages.

Mots-clés : level-set, givrage, avions, frontières immergées

Summary: For many years, the ONERA has developed 2D tools allowing the french aerospace industry to simulate in-flight icing related phenomena on aircraft. However, the newly revised and more stringent international regulations on icing lead to a complete revamp of the current icing software. Thus, a 3D icing suite is developed along with a new 2D icing package. Ice accretion is a strong multi-physics phenomenon. The simulation process encompasses the coupling of an aerodynamics module (evaluation of the airflow and the heat transfers around a geometry), a dispersed-phase module (evaluation of the droplet impingement from the super-cooled cloud) and an ice accretion module (computation of the ice shape). The modules are sequential called within an iterative process considering the ice growth on the geometry. For the 3D icing suite, many challenges are to be faced, namely decreasing the computation cost and automatically update the computation domain, in a robust manner, to consider the ice evolution during the sequential simulation process. This step is costly and tricky since complex ice shapes can be generated during the ice accretion process. It is planned to use an immersed boundary method inside the aerodynamics solver (Euler) and the droplet trajectory solver in order to avoid the re-meshing or mesh deforming phase, allowing a more automatic handling of the geometry evolution. The objective of this thesis is to study, implement, validate and assess one or more immersed boundary methods for icing software. The methodology will be studied in 2D to serve as baseline for a future 3D implementation in ONERA's ice accretion tools.

Keywords: ice accretion, immersed boundary, level-set, aircraft