

## Soutenance de thèse

**Boris AGUILAR** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée « *Etude expérimentale et modélisation numérique des phénomènes d'accrétion de particules de neige à l'origine de la formation d'accrétions sur des structures aéronautiques ou de génie civil* »

**Le 19 janvier 2024 à 9h00, Auditorium ONERA Toulouse**

devant le jury composé de

M. Pierre TRONTIN	Université Claude Bernard Lyon 1	Directeur de thèse
M. Philippe DELPECH	CSTB Nantes	Co-directeur de thèse
M. Fabien DEZZITER	Airbus Helicopter	Co-encadrant de thèse
M. Philippe VILLEDIEU	ONERA	Co-encadrant de thèse
M. Alfons SCHWARZENBOECK	Université Clermont Auvergne	Rapporteur
M. Stephan BANSMER	Technische Universität Braunschweig	Rapporteur
Mme Aurore NASO	CNRS	Examinatrice
M. Christophe JOSSERAND	CNRS	Examineur

**Résumé :** Pour garantir la sécurité des vols dans des conditions de neige, les constructeurs d'aéronefs doivent démontrer que chaque moteur et son système d'admission d'air peuvent fonctionner sur toute la plage de puissance de vol dans des conditions de neigeuse. Cette étude fait partie d'un effort visant à développer des modèles pour l'accumulation de neige. Pour établir le cadre de départ de ce travail sur la modélisation du givrage de la neige, le chapitre 1 est consacré à une revue de la littérature organisée en trois parties. Dans la première partie, les différents processus de création de neige dans l'atmosphère sont détaillés afin de définir la neige qui sera étudiée ici. Dans une deuxième partie, une revue de la littérature sur la modélisation du givrage des cristaux de glace est réalisée et constitue le point de départ de ce travail du point de vue de la modélisation. Enfin, une troisième partie présente les moyens expérimentaux actuels pour mesurer les conditions de neige et les avantages et inconvénients associés. Dans le chapitre 2, nous étudions les modèles de traînée adaptés au cas des flocons de neige pour calculer les trajectoires des particules. Comme mentionné dans l'état de l'art, les modèles classiques développés pour les particules non-sphériques s'avèrent suffisamment précis pour les cristaux de glace. L'objectif est double. D'une part, il s'agit de vérifier que les modèles valables pour les cristaux de glace le sont également pour les flocons de neige, qui sont en fait des agrégats de particules, beaucoup plus grands et de forme géométrique complexe. D'autre part, les modèles de traînée proposés doivent être compatibles avec le type de données d'entrée. Par exemple, à la fin d'une campagne d'essais en vol, les particules ne peuvent être décrites qu'à l'aide d'images 2D, ce qui est loin d'une description 3D complète et détaillée du flocon de neige. Compte tenu du niveau de précision des données d'entrée utilisées pour décrire la particule, l'objectif de ce chapitre est de proposer des modèles de traînée basés sur une description géométrique simple et limitée des flocons de neige. Le chapitre 3 est l'équivalent du chapitre 2 pour l'adaptation des modèles de transfert de chaleur et de masse aux flocons de neige. Le processus de fusion d'un flocon de neige transporté par un flux d'air chaud est étudié. Une fois de plus, l'exigence est double. D'une part, il s'agit de vérifier si les modèles développés pour les cristaux de glace peuvent être facilement étendus au cas des flocons de neige. D'autre part, proposer des modèles pour lesquels la complexité des données d'entrée est compatible avec le niveau de précision des bases de données. Pour rappel, les descriptions 3D des flocons de neige sont rares et difficiles à

obtenir. Dans de nombreux cas, une seule image 2D de la particule issue d'une campagne d'essais en vol est disponible. Dans ce chapitre, l'accent est mis sur la description de la densité apparente de la particule, et en particulier sur son évolution au cours du processus de fusion. En effet, la densité apparente peut varier considérablement, de quelques kg/m<sup>3</sup> pour la particule sèche à 997 kg/m<sup>3</sup> pour la gouttelette d'eau résultant du processus de fusion. A l'issue des chapitres 2 et 3, des modèles ont été proposés pour la trajectoire des paillettes et pour le suivi du processus de fusion. Il est ainsi possible d'estimer la localisation de l'impact et la quantité d'eau transportée par les flocons. L'étape physique suivante concerne l'accrétion des particules de neige. Les données expérimentales seront utilisées pour valider ou améliorer les modèles d'accrétion des cristaux de glace. A notre connaissance, aucune base de données traitant de l'accrétion de la neige dans des conditions aéronautiques n'a été mise à disposition jusqu'à présent dans la littérature. C'est dans cette optique que ce chapitre traite de la conception et de la réalisation de ces essais d'accrétion de neige.

**Mots-clés :** simulation numérique, fonction d'efficacité de collage, teneur d'eau

**Summary:** So-called wet, wet or sticky snow is generally observed for temperatures close to the melting temperature of water: this snow contains liquid water which promotes the formation of aggregates at the moment of impact with a solid surface snow transport by wind or moving a vehicle in a shower of snow. This accretion phenomenon is also observed for so-called dry snow conditions, after impact on hot walls, typically in the air intakes of helicopters. Atmospheric icing mechanisms can cause a great deal of damage to vehicles and structures from temporary blockage of mobile systems, obstruction of air inlets, impacts of compact blocks caused by air movement to the complete destruction of the lightest structures (pylons, antennas, cables, ...). Damage processes usually involve either direct overloads induced by ice accretion or snow accretion, increased wind setting due to the shape of these accretions or dynamic effects due to sudden detachment of accretions. It is also one of the risks helicopters face when operating in 'Falling Snow' or 'Blowing Snow' conditions with potential snow accumulation problems in the engine air intake ducts and risks of loss of engine power or even extinction. In this way helicopter operators must demonstrate for certification that the machine can operate safely and unreservedly under these conditions. Previous work (Vigano, 2012) allowed to approach the physical modeling of these accretion phenomena in a climatic wind tunnel equipped with an artificial snow generation system (CSTB Jules Verne Wind Tunnel). This work has shown the decisive impact of the liquid water ratio (LWR) on the formation of accretions as well as the feasibility of a parametric study authorized by the development of an experimental procedure. rigorous. Numerical modeling, developed in parallel with the experimental approach, implemented a wall impact angle criterion on which the contribution of a particle to the formation of accretion was based. Comparisons with the experimental results had shown the insufficiency of this single parameter and led to the conclusion that it was necessary to introduce a parameter linked to the LWR to define an accretion criterion. In parallel, work carried out by ONERA and its partners in the framework of the European HAIC project (High Altitude Ice Crystals, FP7, 2012-2016) has led to the development of a set of numerical models to simulate accretion in turbojet engines. Ice crystals present in high altitude clouds. The associated physical phenomena with strong similarities to the accretion of sticky snow, the knowledge acquired and the digital tools developed in the framework of HAIC, as well as the work on the sticky snow of the Vigano thesis, will provide a solid starting point. for the work planned in the context of this thesis. The purpose of the proposed study is to refine physical understanding as well as theoretical, numerical and experimental modeling of snow particle accretion phenomena on aeronautical or civil engineering structures. The thermal and aeromechanical aspects induced by this type of icing will be discussed. The microphysical phenomena associated with the accretion of snow particles will be studied from an experimental point of view in the CSTB climatic chamber and in smaller, more available and less expensive installations: the influence of the liquid water content of Particle size, particle size, impact velocity, geometry and surface condition of obstacles, surface temperature, nature of materials, etc. The wind

speeds considered will be of the order of 10 to 30m / s, maximum speed that the CSTB SC2 climatic installation allows in 'snow' configuration. Speeds of the order of 80 m / s could also be reproduced with an additional blast bank (to be designed) installed in the climatic chamber. In terms of modeling, the main objective of the thesis lies in the determination of a semi-empirical model for the 'bonding efficiency function' as a function of a number of characteristics (to be determined) of the particles. of snow and the wall at the moment of impact. On a numerical level, the PhD student will have to implement the model developed in ONERA's icing codes (IGLOO2D and IGLOO3D chains). It will also have to carry out simulations of increasing geometric complexity in order to first validate the model step by step (and possibly to refine the calibra

**Keywords:** numerical simulation, liquid water ratio, bonding efficiency function