

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Etude expérimentale de systèmes de protection thermique contre le givre par peintures luminescentes

Référence : **MFE-DMPE-2025-24**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2025

Date limite de candidature :

Mots clés

Givrage, peintures luminescentes, cartographies de température, diagnostic optique

Profil et compétences recherchées

Titulaire d'un master recherche avec une formation d'école d'ingénieur ou universitaire

Motivation forte pour la mise en œuvre de techniques expérimentales, notions de mécanique des fluides et de transfert thermique

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

La formation de givre sur les avions est un problème fondamental pour les applications aéronautiques. L'accumulation de glace a de nombreux effets indésirables tel que la perte de performance aérodynamique ou encore l'obstruction des entrées d'air. Les aviateurs ont alors recours à des systèmes de protection contre le givre pour assurer la navigabilité des avions. Les systèmes de protection thermique (air chaud ou électrothermique) sont couramment employés dans l'industrie aéronautique. Les systèmes électrothermiques sont de plus en plus envisagés pour la protection contre le givre des drones ce qui nécessite une bonne compréhension et maîtrise des phénomènes physiques à l'œuvre afin d'assurer leur conception / développement [1].

Dans ce contexte, la mesure de la température de paroi est un élément clé pour l'analyse physique des processus de givrage et d'antigivrage/dégivrage, l'amélioration de la modélisation et la validation des codes de calculs. Les données expérimentales de la littérature pour ce type de systèmes se basent pour la plupart sur des mesures ponctuelles de température à l'aide de thermocouples ou de thermistors [2-4]. Cependant, le champ de température présente souvent des variations spatiales fortes nécessitant une analyse fine que seule une technique d'imagerie peut fournir. Pour cela, il existe des techniques de mesures à l'aide de caméras infrarouges permettant d'accéder à la mesure du champ surfacique de température [5-7]. Ces dernières ne peuvent cependant pas être appliquées à l'étude du givrage car l'eau liquide et le givre sont opaques aux infrarouges et la température mesurée ne reflète donc pas la température de la surface sous la glace.

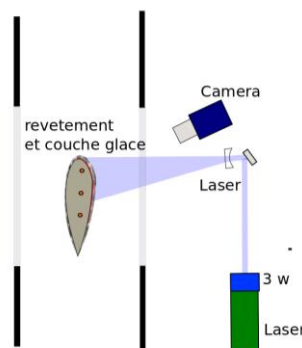


Figure 1 : veine d'essai de la soufflerie givrante et schéma de principe de la méthode envisagée

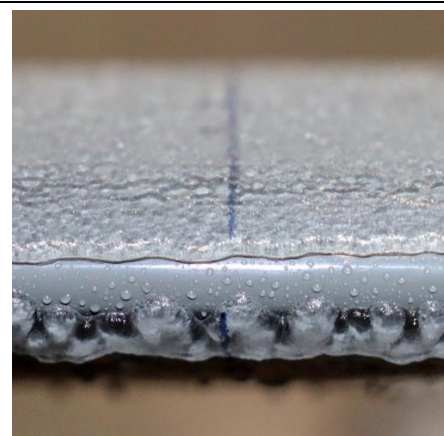


Figure 2: profil avec formation de givre et bord d'attaque anti-givré (image tirée de [1])

L'objectif de cette thèse est d'étudier la physique du givrage et des systèmes de la protection thermique contre le givre à partir de mesures de champs de température par peintures luminescentes thermosensibles. Pour ce faire, il s'agira plus précisément de développer une méthode de mesure de température donnant accès au champ surfacique de température sous le givre et dans les zones dégivrées. Cette technique se base sur la photoluminescence dans le domaine visible. Un laser dans le proche UV excite les molécules présentes dans la peinture, et celles-ci réémettent de la luminescence dans le domaine visible qui est capturée par une caméra. En analysant la décroissance temporelle du signal de luminescence suite au pulse d'excitation, il est possible d'obtenir une cartographie 2D de température. Cette méthode a l'avantage d'utiliser de la lumière d'excitation et de détection dans des domaines spectraux sur lesquels elle n'est pas absorbée par l'eau à l'état solide, liquide ou gazeux. Par contre la glace est un milieu diffusant, et il peut y avoir une perte de résolution spatiale dans certaines conditions de givre.

Par ailleurs, la physique du dégivrage fait intervenir plusieurs phénomènes couplés qui impacteront la température surfacique. C'est le cas par exemple du détachement du givre, indicateur important de la performance du système, ou encore du ruissellement d'eau liquide. Il s'agira alors d'utiliser les mesures du champ de température surfacique pour réaliser une analyse physique des données expérimentales. Cette analyse se basera sur une comparaison avec des simulations numériques qui seront réalisées avec la chaîne IGLOO2D et permettra d'identifier les phénomènes clés et de faire progresser la modélisation de ces derniers.

Dans un premier temps, le travail de thèse consistera à poursuivre le développement de la technique à partir des travaux menés à l'Onera. Par la suite, la faisabilité de la technique sera évaluée en configuration givrante et dégivrée. Dans un second temps, la technique sera employée pour réaliser des campagnes d'essais menées directement sur la soufflerie givrante de Toulouse dans le but de reproduire, le plus fidèlement possible, des conditions réalistes de vol. Ces campagnes seront réalisées dans le but d'étudier la physique du givrage pour différentes géométries et conditions opératoires (température, pression, vitesse, teneur en eau, diamètre des gouttes). L'analyse des données expérimentales collectées et la comparaison avec des simulations numériques permettront d'étudier les transferts thermiques mis en jeu et d'identifier les paramètres clés de la modélisation. Ces travaux devraient de plus permettre d'étendre le domaine d'étude de la soufflerie givrante. Finalement, ces travaux apporteront une meilleure compréhension des systèmes de protection contre le givre dans le but de faciliter et optimiser leurs conceptions.

Bibliographie

- [1] R. Hann, A. Enache, M. C. Nielsen, B. N. Stovner, J. van Beeck, T. A. Johansen, et K. T. Borup (2021). Experimental heat loads for electrothermal anti-icing and de-icing on UAVs. *Aerospace*, 8(3), 83.
- [2] X. Bu, G. Lin, X. Shen, Z. Hu et D. Wen, «Numerical simulation of aircraft thermal anti-icing system based on a tight-coupling method», *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 148, p. 119061, 2020.
- [3] K. Al-Khalil, C. Horvath, D. Miller et W. Wright, «Validation of NASA thermal ice protection computer codes. III-The validation of ANTICE», 35th Aerospace sciences meeting and exhibit, Reno, NV, 1997.
- [4] W. Wright, K. Al-Khalil et D. Miller, «Validation of NASA thermal ice protection computer codes. II - LEWICE/Thermal», 35th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, 1997.
- [5] M. Papadakis, S. H. Wong, H. W. Yeong, S. C. Wong et G. Vu, «Icing tunnel experiments with a hot air anti-icing system», chez 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, 2008.
- [6] R. Henry et D. Guffond, «Infrared technique to measure the skin temperature on an electrothermal de-icer - Comparison with numerical simulations», 27th Aerospace Sciences Meeting, 1989.
- [7] M. Mohseni et A. Amirfazli, «A novel electro-thermal anti-icing system for fiber-reinforced polymer composite airfoils», *Cold Regions Science and Technology*, pp. 47-58, 2013.

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Multi-Physique pour l'Energétique

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contacts :

P. Doublet

Tél. : 05.62.25.28.33

Email : pierre.doublet@onera.fr

L. Bennani

Tél. : 05.62.25.29.58

Email : lokman.bennani@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : B. Fond

Laboratoire : ONERA (DAAA)

Tél. : 01 46 23 51 47

Email : benoit.fond@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>