

#

Proposition de sujet de thèse – 2019 / 2020

Référence : STH-2019-02

Équipe de recherche de la fédération 1 (porteuse du sujet) : **2 (X-OAD) ou 5 (PCGN)**

Équipe de recherche de la fédération 2 (le cas échéant) ...

Directeur de thèse

Nom : POMMIER-BUDINGER.

Prénom : Valérie

Courriel : valerie.budinger@isae-superaero.fr

Etablissement/équipe locale : ISAE-SUPAERO

HDR Oui, délivrée le 26 Février 2015 par Université Paul Sabatier
 Non

Ecole doctorale de rattachement : EDSYS

Co-Directeur de thèse

Nom : BENNANI

Prénom : Lokman

Courriel : Lokman.Bennani@onera.fr

Etablissement/équipe locale : ONERA / DMPE

HDR Oui, délivrée le..... par.....
 Non

Compléter le dossier en suivant la trame ci-dessous

1. Sujet de thèse (1 à 2 pages)

- Titre : Design Of Resonant ElectroMechanical delcing system
- Description

L'accumulation de glace est, sur les avions, un problème bien identifié depuis le début des années 1900. Pour assurer la sécurité des avions, les organismes de réglementation tels que la FAA (Federal Aviation Administration), le JAA (Joint Aviation Authority) et l'EASA (European Aviation Safety Agency) ont établi des règlements pour l'antigivrage et le dégivrage des avions. Les solutions mises en œuvre actuellement passent par des moyens :

- Thermiques, par un prélèvement important d'air chaud sous pression sur le réacteur, mais ce prélèvement diminue le rendement du réacteur.
- Electrothermiques, solution adoptée récemment par Boeing dans le B787 avec l'implantation d'une technologie électrique sans prélèvement d'air, mais cette solution est gourmande en énergie.
- Mécaniques, comme les boudins pneumatiques des ATR qui ont pour objectif de briser la glace accumulée en appliquant brutalement une déformation, mais ces boudins présentent un impact non négligeable sur l'aérodynamique de l'avion et une faible durabilité.

- Electromagnétiques, en utilisant la déformation de bobinages sous l'effet d'impulsions de courant qui amène la glace à la rupture, mais le poids important des condensateurs d'alimentation pénalise cette technologie.

La mise en place de solutions alternatives plus intéressantes au niveau consommation ou en termes d'intégration nécessite des ruptures technologiques. Les enjeux économiques et environnementaux sont de taille car la fonction antigivrage/dégivrage est le deuxième consommateur de puissance non propulsive après le conditionnement d'air. Cette fonction représente 150kW en mode antigivrage et 40kW en mode dégivrage pour un avion commercial court-courrier.

Dans cette thèse, l'effort sera porté sur le développement de solutions de dégivrage par systèmes électromécaniques résonants, avec pour ambitions de lever 3 verrous scientifiques.

Dans la chaîne de calcul et de dimensionnement des systèmes de dégivrage, l'un des principaux verrous scientifiques est constitué par la capacité à alimenter les codes avec des propriétés expérimentales pertinentes et fiables, notamment en termes de caractéristiques d'adhésion entre le dépôt de glace et son substrat. Les présents travaux de recherche entendent ainsi franchir un pas important dans cette thématique, en s'inspirant de techniques et procédures dont les premières bases ont été établies au sein de l'ONERA. Cette partie sera co-encadré par David Delsart, ingénieur de recherche à l'ONERA au Département MATériaux et Structures (DMAS).

Le second verrou concerne l'analyse des mécanismes de fractures dans les systèmes de dégivrage par systèmes électromécaniques résonants. La compréhension de ces mécanismes étudiant la fracturation cohésive dans la glace et la fracturation adhésive à l'interface glace/substrat est primordiale pour concevoir des systèmes de dégivrage qui permettent un décollement de la glace sur l'intégralité du substrat. Des travaux ont déjà été initiés par l'ONERA sur l'étude de la fracturation dans la glace et par l'ISAE-SUPAERO en collaboration avec l'ICA sur l'étude des mécanismes de fracturation. Les attendus de cette thèse sont une meilleure compréhension de ces mécanismes et de meilleures modélisations grâce aux mesures des propriétés à l'interface glace/substrat.

Le 3ème verrou quant à lui s'inscrit dans la démarche globale des avionneurs à passer à un avion de plus en plus électrique et concerne la conception de systèmes de dégivrage électromécaniques résonants. Le challenge concerne la réduction par un facteur 5 au minimum de la consommation de ces systèmes à masse embarquée équivalente voire moindre que les systèmes actuels. En s'appuyant sur les caractéristiques d'adhésion glace/substrat mesurées dans cette thèse, sur les mécanismes de fracturation modélisés finement suite à la levée du second verrou, ainsi que sur les travaux déjà existants de l'ISAE-SUPAERO avec l'ICA sur les méthodes de conception de systèmes de dégivrage électromécaniques résonants, il sera possible de proposer des architectures de substrats favorisant l'initiation de fractures cohésives et la propagation de fractures adhésives permettant de minimiser la consommation de manière à concevoir des systèmes efficaces quelles que soient les conditions de givrage.

- Contexte scientifique, situation par rapport à l'état de l'art

Le 1er verrou scientifique est au centre des préoccupations des industriels, qui poussent les laboratoires de recherche à développer des méthodes de caractérisation fiables et robustes, capables de générer des bases de données pertinentes pour toutes les natures de glace potentiellement rencontrables en situation de givrage réelle, dans l'ambition que ces développements permettent à terme une harmonisation internationale des techniques de caractérisation et leur standardisation. Cette thématique constitue d'ailleurs l'un des axes de travail principaux du projet FUNKEYICE récemment soumis à l'appel à programmes de recherche européen H2020. Plus généralement, l'état de l'art sur cette problématique montre que le champ d'investigation est aujourd'hui très vaste dans la mesure où chaque laboratoire impliqué dans ce domaine développe ses propres techniques d'analyse. Quand elles ne sont pas à vocation purement qualitative (par exemple pour la comparaison de l'efficacité de différents revêtements glaciophobes), ces diverses méthodes produisent des grandeurs quantitatives qui peuvent n'être ni intrinsèques, ni suffisantes pour pleinement alimenter les modèles généralement mis en œuvre pour modéliser les comportements adhésifs, ni même nécessairement adaptées à ces mêmes modèles. En s'inspirant des techniques d'analyse de la mécanique de la rupture, la procédure expérimentale dont la mise en œuvre est proposée dans ces travaux de thèse a pour espoir de combler certaines de ces lacunes.

Le 2ème verrou concerne l'analyse des mécanismes de détachement de la glace sous l'effet d'un système de dégivrage. Cette thématique était aussi l'un des axes du projet FUNKEYICE. Bien que des premiers travaux aient été réalisés, le phénomène de détachement de la glace en vol sous l'effet d'un dégivreur reste encore peu compris. C'est un point dur qui focalise l'attention des industriels et de divers centres de recherches. A titre d'exemple, des simulations numériques ont été réalisées à l'ISAE et l'ICA pour établir des hypothèses de conception pour un système électromécanique. Le prototype résultant a été testé expérimentalement dans le cadre d'une collaboration avec Airbus CRT à Munich.

Concernant le 3^o verrou sur les systèmes de dégivrage électromécaniques résonants, les travaux actuels sont essentiellement basés sur l'utilisation de céramiques piézoélectriques et sur des résultats expérimentaux. Palacios du département d'Aerospace engineering de la Penn State University (<http://www.aero.psu.edu/palacios/index.html>) a mené de nombreuses études et a testé des systèmes de dégivrage piézoélectriques sur des bords d'attaque et des pales d'hélicoptères pour des modes de résonance en extension autour de 40 kHz. Strobl, dans le cadre d'un projet financé à l'époque par Airbus AGI, a quant à lui utilisé des céramiques piézoélectriques à basse fréquence sur des structures polies et revêtues de traitements « ice-phobiques », et montré que la puissance nécessaire au dégivrage est moindre avec un revêtement. Le DLR travaille également avec l'université de Braunschweig pour proposer des systèmes de dégivrage soit piézoélectriques, soit électromagnétiques. Le point fort de ces travaux est l'apport de résultats expérimentaux à la communauté scientifique. Certaines de ces études s'appuient sur des analyses modales des structures mais, à notre connaissance, aucune n'aborde la question selon l'angle la propagation des fractures et la compréhension des phénomènes physiques conduisant à la rupture et au décollement de la glace. Avec l'approche que nous proposons, nous pensons pouvoir faire une avancée significative dans la conception des systèmes de dégivrage électromécaniques résonants.

- Mise en évidence de l'aspect novateur, prospectif, de l'apport, de l'originalité

Dans le domaine de la caractérisation des propriétés d'interface glace/substrat, l'objectif de la thèse est de mettre au point une procédure de caractérisation permettant d'accéder à la connaissance des propriétés d'adhésion intrinsèques d'une glace, quelle qu'en soit sa nature et quel que soit le substrat qui la porte. Actuellement, des caractéristiques des propriétés d'interface glace/substrat sont disponibles mais sont entachées d'incertitudes liées aux moyens d'essais et aux méthodes de fabrication de la glace. Dans cette thèse, les travaux proposés permettront de mettre au point et de valider une chaîne intégrée permettant de mesurer les propriétés d'adhésion des glaces d'accrétion. Les souffleries givrantes de l'ISAE-SUPAERO/ICA et de l'ONERA-Toulouse, actuellement en cours de développement, seront mises à contribution pour développer la chaîne de mesure.

#

Dans le domaine de l'étude des mécanismes de dégivrage, l'objectif de la thèse est de mettre en évidence comment la glace est fracturée en fonction des modes de résonance et des déplacements imposés à la structure. Deux types de fracturation peuvent être distingués : la fracturation cohésive dans la glace et la fracturation adhésive à l'interface glace/substrat. La littérature s'intéresse principalement à l'initiation des fractures par des contraintes de cisaillement à l'interface glace/substrat puis à la propagation des fractures adhésives. Pourtant, les expériences réalisées par l'ISAE-SUPAERO et l'ICA au cours de projets précédents ont permis d'observer que les structures sans traitement glaciophobique sont plutôt le siège de premières fractures cohésives initiées par des contraintes de traction, éventuellement suivies de fractures adhésives. Dans cette thèse, nous continuerons à analyser les mécanismes de fracturation en s'appuyant sur des codes de l'ONERA et en bénéficiant d'une meilleure connaissance des caractéristiques des propriétés des interfaces glace/substrat apportée par les mesures réalisées dans la première partie de la thèse.

#

Dans le domaine de la définition d'architectures favorisant le dégivrage, l'objectif de la thèse est de proposer et valider expérimentalement des architectures de structures avec glace minimisant la consommation d'énergie consommée et la puissance des systèmes de dégivrage. Pour atteindre cet objectif, nous utiliserons le code de dimensionnement de systèmes de dégivrage résonants déjà développé par l'ISAE-SUPAERO et l'ICA, et les caractérisations des propriétés interfaces glace/substrat qui auront été mesurées dans la première partie de la thèse. A partir de critères exprimant la capacité à initier et propager les fractures, les conditions aux limites de la structure, la nature de la structure (homogène ou non) et les épaisseurs de glaces seront optimisées pour une fréquence donnée de manière à minimiser la puissance du système de dégivrage et l'énergie consommée. Les résultats de l'optimisation permettront de définir des architectures de structure et de systèmes de dégivrage.

2. Candidat

- Formation et spécificités souhaitées : Ingénieur ou Master en aéronautique ou mécanique
- Laboratoire(s) d'accueil envisagé(s) : ISAE-SUPAERO Recherche et ONERA
- Ecole doctorale de rattachement : Ecole doctorale « Aéronautique et Astronautique »

3. Partenariats et financement

- Partenariat industriel ou académique envisagé
- Types de financement demandés ou visés : Région, ISAE-SUPAERO, EUR TSAE

4. Thèses en cours d'encadrement par le ou les directeur(s) de thèse

(préciser pour chaque encadrement : le nom du doctorant, l'année de thèse, le sujet, le financement et l'école doctorale)

Pour Valérie Pommier-Budinger :

- Francesco Sanfedino (Début Mars 2016 - Fin Mars 2019) : High Accuracy Pointing System for spatial imagery
- Rousset (Début Nov. 2016 - Fin Nov. 2019) : Système de dégivrage électromécanique
- Brugnoli (Début Nov. 2017 - Fin Nov. 2020) : Modélisation et Contrôle par le formalisme des systèmes à Port-Hamiltonien des structures flexibles 2D avec des conditions aux limites variantes

Pour Lokman Bennani : Ø

5. Commentaire, avis motivé des représentants des équipes de la fédération porteuses du sujet

(justifier le choix du sujet et son positionnement au sein de l'équipe)

6. Pièces jointes éventuelles

(par exemple CV de candidats pressentis, sujet tel que déposé dans un établissement,)