

## Modélisation d'un système de dégivrage thermique.

Depuis les débuts de l'aviation, les phénomènes de givrage qui apparaissent sur la structure d'un avion ont été identifiés comme des risques majeurs d'accident. Les raisons en sont multiples : modification du poids de l'appareil (surcharge), modifications des performances aérodynamiques, injection de cristaux de glaces dans les moteurs,... Ainsi, les industriels de l'aviation ont cherché à développer des systèmes de protection contre l'apparition du givre. Il existe essentiellement deux grandes familles de méthode : l'antigivrage et le dégivrage.

Les systèmes d'antigivrage sont actuellement les plus répandus. Ils fonctionnent suivant le procédé suivant : de l'air chaud est prélevé dans les moteurs (par exemple à la sortie du turboréacteur) et injecté dans la surface à protéger. En raison de leur caractère permanent, ces systèmes sont très efficaces et très fiables. Par contre, ils nécessitent une quantité importante de carburant car ils fonctionnent en continu.

Avec la prise de conscience de l'importance des questions environnementales, des systèmes de dégivrage sont actuellement à l'étude. Le principe est cette fois, par exemple, de placer des résistances électriques dans les zones que l'on souhaite protéger du givre. Ils possèdent deux avantages majeurs : ils ne nécessitent pas le transport d'un fluide (ce qui permet de réduire les problèmes mécaniques liés à l'usure, les fuites,...) et sont moins coûteux sur le plan énergétique. En effet, ces systèmes sont destinés à fonctionner en mode dégivrage : on commence d'abord par laisser une fine couche de givre se déposer (sur une aile par exemple) avant d'activer les résistances. Au fur et à mesure que l'on chauffe, un film d'eau liquide entre la paroi et le bloc de givre apparaît et conduit au détachement de ce dernier sous l'effet des forces aérodynamiques externes.

Ces systèmes de dégivrage s'avèrent très prometteur en terme de gain énergétique et devraient équiper les prochaines générations d'avion. Cependant de nombreuses questions restent ouvertes quant à leur utilisation. Dans cette optique, de nombreuses expériences sont actuellement effectuées dans les centres de recherche des industriels grâce notamment à l'utilisation de souffleries givrantes. Pour palier à la difficulté de mise en oeuvre et du coût inhérent à ce type de simulations réelles, il est important de souligner l'importance de développer des outils de simulation numériques fiables. Ce projet s'intègre totalement dans ce contexte et peut être décliné en trois parties :

1) Modélisation : la connaissance des mécanismes de détachement du givre des surfaces est primordial. Les phénomènes physiques mis en jeu sont très complexes et laissent dégager plusieurs problématiques intéressantes. En effet, la compréhension de ce phénomène nécessite une bonne maîtrise des forces mécaniques intervenant sur la glace solide ainsi que des transferts thermiques susceptibles d'intervenir lors du cycle de chauffage. A notre connaissance, les phénomènes de dégivrage sont décrits essentiellement par des modèles discrets. Un des objectifs de ce projet est donc d'écrire un ou plutôt une hiérarchie de modèles **continus** pertinents prenant en compte :

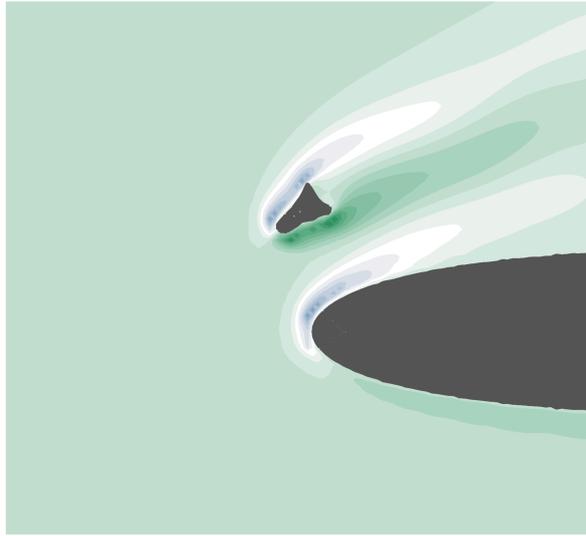
- les différents bilans de masse du système,
- les phénomènes de conduction thermique dans les parois métalliques de l'avion,
- les transferts convectif, radiatif et thermique liés à l'évaporation et à la fusion de la glace.

Dans cette optique, l'idée sera de décrire l'évolution du bloc de glace par une fonction level-set qui permettra de prendre en compte les changements géométriques et/ou topologiques de la glace lors du processus de dégivrage. Le modèle devra aussi décrire la formation du film d'eau ainsi que son évolution au cours du temps.

2) Elaboration d'un code de calcul : nous envisageons ensuite d'implémenter ces nouveaux modèles de dégivrage dans le code de calcul de mécanique des fluides de l'équipe INRIA CARDAMOM. Les méthodes envisagées seront basées sur des techniques de frontières immergées de type pénalisation sur maillage non-structuré. Un des principaux objectifs sera alors de déterminer par le calcul numérique un critère fiable de détachement d'un bloc de glace en fonction par exemple du pourcentage de solide transformé en liquide (pour le moment les seuls critères existants dans la littérature sont essentiellement empiriques).

3) Couplage : au sein de l'équipe, des modèles décrivant le suivi des trajectoires des blocs de glaces sont déjà en développement (cf Figure 1). Notre projet est, sur le long terme, d'être capable d'utiliser les nouveaux modèles de dégivrage et leur résolution numérique afin de prédire les conditions initiales des trajectoires des morceaux de glace. Le succès de cette opération représenterait une avancée majeure dans la compréhension et la construction d'un système de dégivrage opérationnel.

Notons que ce projet a obtenu le soutien d'INRIA qui va financer le sujet de stage de Master 2 d'Ayoub Rama étudiante du Master Ingénierie mathématique.



**Figure 1.** Vorticité de l'écoulement autour d'un bloc de glace détaché