

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Formation des traînées de condensation : suivi de la nucléation de la glace par approche lagrangienne

Référence : **MFE-DMPE-2025-36**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2025

Date limite de candidature : 05/2024

Mots clés

Traînée de condensation, simulation numérique, RANS , impact climatique, solveur Lagrangien, microphysique

Profil et compétences recherchées

Solides connaissances en mécanique des fluides et en programmation. Une première expérience en microphysique et en résolution lagrangienne du mouvement de particules serait un plus.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les traînées blanches derrière les avions (traînées de condensation) sont constituées de cristaux de glace qui peuvent dans certaines conditions atmosphériques créer des nuages. La récente compilation des études liées à l'impact climatique des émissions de l'aviation par Lee et al. (2020) met en évidence un impact climatique certain des traînées de condensation pouvant représenter une contribution égale ou supérieure à celle du CO₂. Cette même étude montre que ce phénomène est mal connu. Afin de le modéliser au mieux, il est nécessaire de comprendre comment se forment ces cristaux de glace.

De nombreux travaux ont été menés à l'ONERA afin de mieux comprendre la formation de ces traînées, notamment dans le cadre de la thèse de J.-C. Khou (Khou et al. 2015, Khou et al. 2017). Cette thèse présente des simulations RANS d'avions complets dans lesquelles les réactions chimiques et la formation des cristaux de glace sont prises en compte. Cependant, ce modèle considère que les cristaux de glace se forment uniquement autour des suies émises par le moteur. De plus il ne considère qu'une unique taille de suies. Une étude de Karcher (2018) montre que si les suies sont émises en faible quantité par le moteur, ce qui sera le cas pour les carburants alternatifs durables, il y a plus de cristaux de glace que de suies. L'origine de ces nouveaux cristaux est à rechercher dans les particules volatiles qui ne sont pas prises en compte dans le modèle car cela demande une modélisation fine de la microphysique. De plus, pour les carburant actuels, la distribution en tailles des suies n'est pas uniforme et la nucléation de la glace sur ces suies dépend du rayon de celles-ci.

Dans le même temps, Paoli et Vancassel (2008) utilisent un modèle de microphysique détaillé (avec la prise en compte des particules volatiles et de la distribution en tailles des suies) disponible à l'ONERA afin d'évaluer l'apparition des cristaux de glace. Leur modèle consiste à extraire des lignes de courant d'un calcul CFD et à faire fonctionner le code de microphysique sur ces trajectoires. De fait, ils négligent la disparition de la vapeur d'eau due à la nucléation. Ce modèle prend cependant en compte la polydispersion des suies et l'influence des particules volatiles sur la nucléation de la glace.

L'objectif de cette thèse est d'inclure dans le code CEDRE de l'ONERA différents phénomènes physiques décrits dans le code microphysique détaillé (nucléation homogène, congélation de particules inhomogènes...) afin de prendre en compte simultanément l'influence des particules volatiles et la polydispersion des particules. Récemment, un couplage entre le solveur de la phase gaz (CHARME) et le solveur lagrangien de la phase particulaire (SPARTE) a été développé, permettant de prédire l'apparition des particules volatiles mais il n'a pas encore été validé. Il faudra donc évaluer sa pertinence et améliorer ce couplage dans le but de prendre en compte différents effets physiques dans l'évolution des particules après leur émission.

Quand ces développements seront effectués, cette approche sera évaluée sur un cas réaliste de traînée de condensation de moteurs à combustion pauvre ou utilisant des carburants alternatifs. Enfin une analyse de sensibilité aux conditions atmosphériques sera faite dans le but de fournir une paramétrisation des traînées de condensation dans les codes simplifiés de traînée de condensation et dans les codes globaux de climat.

Références :

- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., & Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.
- Khou, J.C., W. Ghedhaïfi, X. Vancassel, F. Garnier, 2015: Spatial Simulation of Contrail Formation in Near-Field of Commercial Aircraft. – J. Aircraft 52, 1927–1938.
- Khou, J.C., Ghedhaïfi, W., Vancassel, X., Montreuil, E., and Garnier, F., “CFD simulation of contrail formation in the near field of a commercial aircraft: Effect of fuel sulfur content”, *Meteorologische Zeitschrift*, 2017, doi:10.1127/metz/2016/0761.
- Paoli, R., Vancassel, X., Garnier, F., & Mirabel, P. (2008). Large-eddy simulation of a turbulent jet and a vortex sheet interaction: particle formation and evolution in the near field of an aircraft wake. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(2), 131-144.
- Kärcher, B. (2018). Formation and radiative forcing of contrail cirrus. *Nature communications*, 9(1), 1-17.

Collaborations envisagées

Sans objet

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Multi-Physique pour l'Energétique

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Nicolas Bonne (CMEI)

Tél. : 01 80 38 61 69 Email : nicolas.bonne@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Villedieu Philippe

Laboratoire : DMPE

Tél. : 05 62 25 28 63

Email : philippe.villedieu@onera.fr

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