

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Réduction de l'impact climatique des trajectoires avions et des incertitudes associées.**

Référence : **TIS-DTIS-2025-16**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse : octobre 2025**

**Date limite de candidature : Juin 2025**

### Mots clés

Impact climatique de l'aviation, incertitudes, optimisation de trajectoires

### Profil et compétences recherchées

Ecole d'ingénieur généraliste ou d'informatique, Master 2 en maths applis, physique de l'atmosphère.

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

L'aviation de par ses émissions moteurs et la formation de traînées de condensation a un impact non-négligeable sur le climat. Malgré les efforts de l'industrie aéronautique pour réduire la consommation de kérosène des avions, ses émissions ne cessent de croître en raison de la croissance du trafic aérien attendu à un niveau de plus de 3% par an dès 2024 par rapport à 2019, selon les projections de l'IATA. A ce jour, l'impact climatique de l'aviation représente 5 à 6% de l'impact de l'ensemble des activités humaines en considérant les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ainsi que les effets dits non-CO<sub>2</sub> (NOx, aérosols, vapeur d'eau, formation de traînées de condensation ou contrails). Ces derniers malgré de nombreuses incertitudes associées représenteraient environ 66% de l'impact radiatif total de l'aviation, selon Lee et al. (2021). Réduire l'impact climatique de l'aviation nécessite donc une approche globale, tenant compte à la fois des effets CO<sub>2</sub> et non-CO<sub>2</sub>, en particulier ceux associés aux traînées de condensation persistantes dont l'impact sur le climat est significatif. Enfin, un des leviers de réduction de cet impact pourrait passer par les opérations du trafic aérien, sans attendre le déploiement de flottes d'avions mieux optimisées ou l'introduction sur le marché de carburants décarbonés qui pourraient prendre plusieurs décennies.

Dans ce contexte, l'objectif de la thèse consistera dans un premier temps en une étude approfondie des modèles existants pour la prédiction des zones de traînées de condensation, en abordant différents aspects tels que la comparaison aux données d'observation ou la quantification des incertitudes relatives à ces modèles. Les résultats obtenus permettront ensuite de proposer de nouvelles optimisations de trajectoires d'avions sous critère environnemental intégrant à la fois les effets CO<sub>2</sub> et non-CO<sub>2</sub>. Afin de répondre à ces problématiques, après la réalisation d'un état de l'art sur les modèles d'identification de zones de traînées, ce projet de thèse s'articulera autour de trois axes :

- Pour le 1<sup>er</sup> axe, il s'agira notamment de poursuivre le travail visant à construire une base de données constituée de couples traînées persistantes-vols causant les contrails. Pour cela, il faudra utiliser, mettre en œuvre et adapter des algorithmes de détection automatique de contrails (Riggi-Carolo et al, 2024) sur des images de caméras hémisphériques au sol combinées à des observations de LIDAR ou d'images satellites, basés sur des méthodes d'intelligence artificielle (ML). Il faudra ensuite développer les algorithmes d'association de contrails détectés dans ces observations à des enregistrements de trafic aérien/trajectoires de type ADS-B (identification sur image et appariement d'avion) permettant un traitement massif d'observations.

- Le deuxième axe vise à évaluer la fiabilité des modèles prédisant des zones de traînées tels que les modèles de type Schmidt-Appleman (Schumann et al., 2012). En effet, les trajectoires de la base de données pourront être simulées notamment à l'aide de la plateforme ATMLab (Jouliat et al., 2024) puis comparées aux données d'observation, permettant ainsi une validation à grande échelle de ces modèles, tant au niveau spatial (précision des contours des zones de traînées)

qu'au niveau temporel (déformation/disparition de ces zones au cours du temps). Les résultats obtenus permettront d'identifier de potentielles sources d'incertitudes impactant les prédictions.

- Le troisième axe visera alors à quantifier ces incertitudes. En appliquant des méthodes d'analyse de sensibilité adaptées aux modèles à sorties spatialisées (carte d'indice de Sobol par exemple), il s'agira d'identifier quels paramètres d'entrée a le plus d'impact sur les sorties du modèle de prédiction de zones de traînées. Ces incertitudes proviennent notamment des prévisions des modèles météorologiques pour l'humidité relative et éventuellement de régions sursaturées par rapport à la glace. Les zones de traînées étant très localisées, cette étape est indispensable s'il on souhaite mettre en place des procédures d'évitement de ces zones, ce qui est l'objet du dernier axe de la thèse.

-Le quatrième axe consiste ainsi à proposer une optimisation de ces trajectoires par contournement des zones d'apparition des traînées qui tiendrait compte au mieux de la variabilité de leurs contours prédits par les modèles avec un compromis entre les effets CO<sub>2</sub> et non-CO<sub>2</sub>.

Tous ces développements seront intégrés à l'outil de simulation de l'ONERA, l'ATMLab qui permet d'évaluer les effets CO<sub>2</sub> et non CO<sub>2</sub> des aéronefs en simulant des trajectoires déjà réalisées ou planifiées. Cet outil permet notamment d'optimiser ces trajectoires ou d'évaluer le bénéfice de l'évitement de zones propices à l'apparition de traînées sur le climat (Teoh et al., 2020, Roosenbrand et al., 2022).

## Références

Joulia, A. J. Bedouet, C. Sarrat, C. Parzani, T. Dubot, 2024. ATMLab: an Air Traffic Simulator for evaluating operations' climate impact. TSAS, Toulouse, in preparation.

Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P. M., Fuglestedt, J., et al., 2021. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. Atmospheric environment, 244 :117834.

Riggi-Carolo, E., Dubot, T., Sarrat, C., Bedouet, J., (2023). AI-Driven Identification of Contrail Sources: Integrating Satellite Observation and Air Traffic Data. Journal of Open Aviation Science. <https://doi.org/10.59490/joas.2023.7209>

Roosenbrand, E., Sun, J., Dedoussi, I. C., Stam, D., & Hoekstra, J. (2022). Assessing and Modelling Climate Optimal Flights Using Open Surveillance and Remote Sensing Data. In 10th International Conference for Research in Air Transportation. FAA & Eurocontrol.

Schumann, U., 2012. A contrail cirrus prediction model, Geosci. Model Dev., 5, 543–580, <https://doi.org/10.5194/gmd-5-543-2012>.

Teoh, R., Schumann, U., & Stettler, M. E. (2020). Beyond contrail avoidance: Efficacy of flight altitude changes to minimise contrail climate forcing. Aerospace, 7(9), 121.

## Collaborations envisagées

IPSL et le DLR pour l'utilisation des métriques d'impact climatique.

### Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Traitement de l'information et Systèmes

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

#### Contact :

Tél. : 05.62.25.28.98

Email :

[claire.sarrat@onera.fr](mailto:claire.sarrat@onera.fr)

[celine.parzani@onera.fr](mailto:celine.parzani@onera.fr)

### Directeur de thèse

Nom : Céline Parzani et Claire Sarrat

Laboratoire :

Tél. : 05.62.25.28.98

Email : [claire.sarrat@onera.fr](mailto:claire.sarrat@onera.fr)

[celine.parzani@onera.fr](mailto:celine.parzani@onera.fr)

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