

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DMPE-2025-42**

(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DMPE/CMEI

Tél. : 01 80 38 60 33

Responsable(s) du stage : Etienne Terrenoire  
(CMEI)

Email : etienne.terrenoire@onera.fr

## DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Matériaux énergétiques, émissions et dispersion atmosphérique

Type de stage :  Fin d'études bac+5  Master 2  Bac+2 à bac+4  Autres**Intitulé : Développement d'une paramétrisation de l'évolution chimique d'un panache d'avion pour une application climatique****Contexte**

Selon les modèles climatiques, les effets non-CO<sub>2</sub> de l'aviation représentent près de 2/3 du forçage radiatif effectif global de l'aviation (Lee et al., 2023). Les incertitudes relatives aux effets climatiques sont encore importantes, notamment pour celles liées aux émissions de NO<sub>x</sub> (Terrenoire et al., 2022) et de nouvelles études sont nécessaires. Parmi ces effets, les NO<sub>x</sub> engendrent un forçage incertain dont la tendance varie en fonction des modèles climatiques utilisés. Une des limitations de ces modèles globaux est qu'ils ne peuvent résoudre les processus physicochimiques à une échelle inférieure à celle de leur résolution spatiotemporelle (quelques dizaines de kilomètres et minutes). La modélisation de l'évolution physique et chimique du panache d'un moteur d'un avion est un exemple de processus dit « sous-maille » qui doit être paramétré.

**Objectifs**

L'objectif de ce stage consiste à développer une paramétrisation permettant de rendre compte de l'évolution chimique des NO<sub>x</sub> contenus dans les modèles climatiques. Le stage se décomposera en trois volets. Premièrement, il consistera à prendre en main l'outil de simulation des panaches d'avion « pycontrail » permettant de calculer la dimension physique du panache. Dans un second temps, le travail consistera à coupler ces grandeurs physiques à un code chimique 0D (code INCAZD) permettant de calculer l'évolution de la composition chimique du panache depuis la sortie moteur jusqu'à sa dilution complète avec l'atmosphère ambiante. Enfin, ces données seront utilisées pour consolider la paramétrisation sous maille de panache aéronautique (Cariolle et al., 2007) du modèle climatique LMDz-INCA de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL).

**Collaboration** : D. Hauglustaine (Laboratoire des Science du Climat et de l'Environnement - IPSL)**Références bibliographiques :**

Cariolle, D., Caro, D., Paoli, R., Hauglustaine, D.A., Cuénot, B., Cozic, A., Paugam, R., 2009. Parameterization of plume chemistry into large-scale atmospheric models: Application to aircraft NO<sub>x</sub> emissions. J. Geophys. Res. 114, D19302. <https://doi.org/10.1029/2009JD011873>.

Lee, D.S., Allen, M.R., Cumpsty, N., Owen, B., Shine, K.P., Skowron, A., 2023. Uncertainties in mitigating aviation non-CO<sub>2</sub> emissions for climate and air quality using hydrocarbon fuels. Environ. Sci.: Atmos. 3, 1693–1740. <https://doi.org/10.1039/D3EA00091E>

Pycontrail: <https://py.contraails.org/>

Terrenoire, E., Hauglustaine, D. A., Cohen, Y., Cozic, A., Valorso, R., Lefèvre, F., and Matthes, S.: Impact of present and future aircraft NO<sub>x</sub> and aerosol emissions on atmospheric composition and associated direct radiative forcing of climate, Atmos. Chem. Phys., 22, 11987–12023, <https://doi.org/10.5194/acp-22-11987-2022>, 2022.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? **Non**

**Méthodes à mettre en œuvre :**

- |   |   |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de documentation        |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale        | <input checked="" type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : **OUI**

**Durée du stage :** Minimum : 5 mois Maximum : 5 mois

Période souhaitée : premier semestre 2025

**PROFIL DU STAGIAIRE**

Connaissances et niveau requis :

Python (obligatoire), Physicochimie de l'atmosphère (souhaité mais pas obligatoire), Fortran 90 (optionnel).

Ecoles ou établissements souhaités :

Master 2, dernière année d'école d'ingénieur