

STAGE DE RECHERCHE de MASTER 2^{ème} ANNEE

Master SOAC / WAPE

Année Universitaire 2024-2025

LABORATOIRE : Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), École Normale Supérieure (Paris) ou École Polytechnique (Palaiseau)

SUJET DU STAGE : Modélisation numérique du panache d'aérosols du volcan Hunga dans la stratosphère

COORDONNEES DU RESPONSABLE :

Aurélien Podglajen
Laboratoire de Météorologie
Ecole Polytechnique/Ecole Normale Supérieure
91128 Palaiseau/75005 Paris
Téléphone : 0169335118
E-mail : aurelien.podglajen@lmd.ipsl.fr

CO-RESPONSABLE:

Lya Lugon
Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement
Atmosphérique
6-8 avenue Blaise Pascal, Champs-sur-Marne
77455 Marne la Vallée
E-mail : lya.lugon@enpc.fr

NATURE DU SUJET :

| | |
|--------------------|-------------|
| Théorie | Un peu |
| Modélisation num. | Beaucoup |
| Expérimentation | Pas du tout |
| Analyse de données | Beaucoup |
| Instrumentation | Pas du tout |

SUJET :

L'éruption explosive du volcan Hunga (îles Tonga) le 15 janvier 2022 a été la plus énergétique observée depuis celle du volcan indonésien Krakatau en 1883 il y a plus d'un siècle. Les ondes forcées par l'explosion ont été détectées aux quatre coins du globe, alors que le panache volcanique a atteint l'altitude record de 58 km, s'étalant principalement entre 35 et 40 km d'altitude. D'immenses quantités de vapeur d'eau (150 MT) et de gaz soufrés (>1 MT de dioxyde de soufre, SO₂) ont ainsi été injectées dans la stratosphère (18 à 50 km d'altitude). Au cours des jours suivant l'éruption principale, le SO₂ a été converti en acide sulfurique (H₂SO₄), qui s'est condensé en particules d'aérosols sulfatés. Le panache d'aérosols résultant a généré la perturbation la plus significative de la couche

d'aérosols stratosphérique depuis l'éruption du mont Pinatubo en 1991.

Outre son caractère exceptionnel du point de vue géophysique, l'éruption du Hunga est inédite de par le suivi détaillé du panache rendu possible grâce à la présence de nombreux instruments satellitaires en orbite. L'évolution progressive des propriétés optiques et microphysiques des aérosols a été documentée avec une précision sans précédent. Ces mesures ont notamment révélé la présence d'aérosols sulfatés quelques jours à peine après l'éruption, indiquant un processus de formation beaucoup plus rapide que celui généralement observé pour les panaches volcaniques stratosphériques.

L'objectif du stage est de simuler numériquement la formation et l'évolution microphysique des aérosols sulfatés stratosphériques à l'aide d'un modèle en boîte (0-D) couplé à des calculs de trajectoires lagrangiennes. Le ou la stagiaire commencera par adapter un module de chimie et de microphysique des aérosols (SSH-aerosols) aux conditions stratosphériques, en implémentant notamment les réactions chimiques pertinentes. Le modèle sera ensuite appliqué aux conditions spécifiques du panache du Hunga. La sensibilité des aérosols à la composition initiale et à l'altitude du panache sera évaluée, et les résultats seront comparés aux observations satellitaires afin d'identifier les paramètres contrôlant la formation rapide des sulfates.

REMARQUES :

Compétences souhaitées : une certaine familiarité avec l'environnement linux et des connaissances préalables en programmation (si possible, langages python et/ou fortran).

Ce stage est prévu pour une durée de 4 à 6 mois. Il aura lieu au sein du LMD (campus de l'Ecole Polytechnique ou de l'ENS selon les préférences de l'étudiant.e), avec des visites au CEREAS à Champ-sur-Marne. Les indemnités et le remboursement partiel des frais de transport seront pris en charge par EUR-IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace) via le thème composair (composition atmosphérique).

Bien qu'une poursuite en thèse sur ce sujet ne soit pas prévue, plusieurs thèses utilisant l'outil numérique SSH-aerosols seront proposées à la rentrée 2025 dans des laboratoires IPSL (CEREAS, LMD et LISA) sur la thématique pollution atmosphérique/particules/santé dans le cadre du projet PEPR URBHEALTH (<https://pepr-vdbi.fr/projets/projets-paris-reus-i/urbhealth>).

SUJET (anglais) :

The eruption of the Hunga volcano (kingdom of Tonga) on January 15 2022 was the most explosive event since the historical eruption of Mount Krakatau in 1883. The volcanic plume detrained high in the stratosphere (around 35-40 km a.s.l.), injecting massive amounts of water vapor (150 MT) and sulfur-containing gases (>1 MT of SO_2). Over the next days, gaseous SO_2 was converted into sulfuric acid, which condensed into sulfate aerosol particles. The perturbation of the stratospheric aerosol layer which developed over the following months was the largest since the eruption of Mount Pinatubo in 1991.

Moreover, the gradual evolution of the aerosol properties could be documented with unprecedented precision thanks to the availability of numerous satellite instruments at that time. They notably revealed a formation of sulfate aerosols much faster than previously expected for stratospheric eruptions (over a few days).

The goal of the internship is to numerically simulate the formation and microphysical evolution of the stratospheric sulfate aerosols using a 0-D box model. To that end, the intern will first extend an existing aerosol module (SSH-aerosol) to stratospheric conditions, by implementing the relevant chemical reactions. Then, the model will be applied to the specific conditions of the Hunga plume. The sensitivity to the initial composition and altitude of the plume will be assessed and the results will be compared with satellite observations to identify the key parameters in the rapid formation of the aerosols.

This internship will be based at LMD on the Ecole Polytechnique (Palaiseau) or Ecole Normale Supérieure campus (Paris), and will require visits to the CEREAs on the Ecole des Ponts campus in Champs sur Marne.