

## PROPOSITION DE STAGE DE RECHERCHE DE M2

**LABORATOIRE :** LISA, Laboratoire Interuniversitaire des systèmes atmosphériques

**TITRE DU SUJET DE STAGE :** Restitution de l'indice de réfraction complexe des aérosols désertiques et volcaniques dans l'infrarouge moyen (MIR) et lointain (FIR)

**COORDONNEES DU RESPONSABLE :**

Di Biagio Claudia, chargée de recherche CNRS

Téléphone : 0182392051

E-mail : [claudia.dibiagio@lisa.ipsl.fr](mailto:claudia.dibiagio@lisa.ipsl.fr)

Formenti Paola, directeur de recherche CNRS

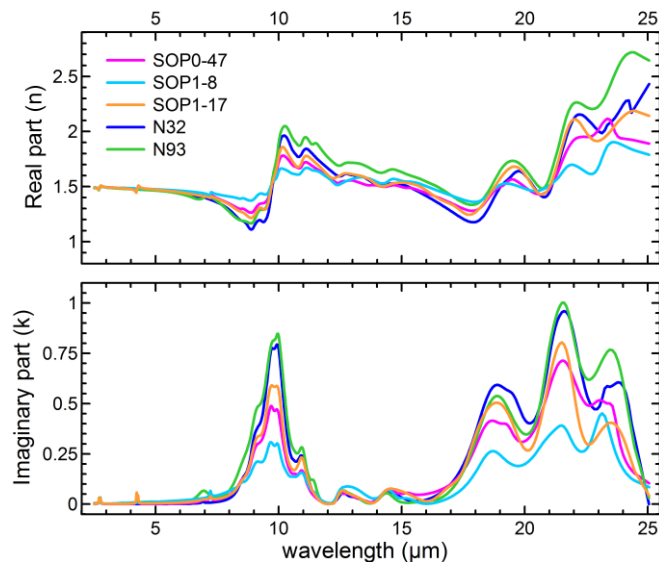
Téléphone : 0182392049

E-mail : [paola.formenti@lisa.ipsl.fr](mailto:paola.formenti@lisa.ipsl.fr)

**SUJET :**

Les aérosols atmosphériques émis par des sources naturelles et anthropiques diffusent et absorbent le rayonnement atmosphérique, ce qu'influence le bilan radiatif terrestre et contribue au changement climatique. Les espèces naturelles telles que les poussières désertiques et volcaniques, de part de leur composition minéralogique, concentration en masse parmi les plus élevés et distribution en taille s'étendant jusqu'à des dizaines des micromètres, sont en particulier les seules capables d'interagir efficacement avec le rayonnement infrarouge (IR, 6-25  $\mu\text{m}$ ) émis par la surface terrestre, de ce fait affectant la capacité de ce rayonnement à s'échapper vers l'espace.

L'interaction aérosol-rayonnement dépend de leur propriétés optiques spectrales, notamment l'indice de réfraction ( $m(\lambda) = n(\lambda) - ik(\lambda)$ ,  $\lambda$ =longueur d'onde), un numéro complexe dont la partie réelle représente la capacité des aérosols à diffuser le rayonnement alors que la partie imaginaire décrit l'absorption spectrale. L'indice de réfraction des aérosols désertiques et volcaniques dans l'IR reste encore très peu connu, et ceci à la fois dans la partie du spectre IR moyen (MIR, 6-15  $\mu\text{m}$ ), mais en particulier dans le lointain IR (FIR, 15-100). Des informations préliminaires sur les propriétés optiques des poussières désertiques sont disponibles dans le FIR, jusqu'à des longueurs d'onde inférieures à environ 20-25 microns (*Di Biagio et al., 2014, Fig. 1*), mais ces jeux de données ne sont pas assez complets pour pouvoir représenter la complexité des possibles compositions chimiques/minéralogiques de ces aérosols. Améliorer notre connaissance sur les propriétés optiques spectrales des aérosols désertiques et volcaniques est cruciale pour pouvoir améliorer notre capacité à comprendre leur rôle dans le transfert radiatif atmosphérique et climat.



**Figure 1** : Partie réelle et imaginaire de l'indice de réfraction restitué pour 5 échantillons des poussières minérales échantillonnés lors d'une campagne de mesure en Afrique du Nord et correspondants à des évènements de soulèvement des poussières depuis le Niger, le Mali, et l'Algérie (Di Biagio et al., 2014<sup>1</sup>).

Le questionnement scientifique autour du besoin de comprendre et contraindre le bilan de rayonnement IR terrestre est également le moteur de la nouvelle mission spatiale FORUM (Far-infrared-Outgoing-Radiation Understanding and Monitoring) de l'agence spatiale européenne (ESA) dans le cadre de la 9eme mission Earth Explorer. Le lancement de FORUM étant prévu en 2026. FORUM mesurera le spectre IR d'émission de la Terre au sommet de l'atmosphère sur la gamme  $100 - 1600 \text{ cm}^{-1}$  ( $6.25\text{-}100 \text{ }\mu\text{m}$ ), à une résolution spectrale de l'ordre de  $0.5 \text{ cm}^{-1}$ , et couvrira pour la première fois avec un tel détail spectral la gamme FIR entre  $100 \text{ à } 667 \text{ cm}^{-1}$  ( $15\text{-}100 \text{ }\mu\text{m}$ ) pour pouvoir arriver à une caractérisation complète de l'étendu du spectre IR terrestre et ses variations. Les objectifs principaux de FORUM sont la mesure du bilan radiatif IR de la Terre et l'estimation des rétroactions climatiques, en particulier celles liées aux aérosols, vapeur d'eau et nuages.

La connaissance à priori des indices de réfraction optiques des aérosols désertiques et volcaniques, nécessaires aux algorithmes d'inversions satellitaires, est de ce fait fondamentale pour pouvoir exploiter au mieux les prochaines mesures FORUM et comprendre le rôle des aérosols sur le climat.

L'**objectif du projet de stage** est de restituer – à partir des spectres mesurées d'extinction d'aérosols désertiques et volcaniques – l'indice de réfraction complexe de ces aérosols dans le domaine spectral s'étendant de  $6 \text{ à } 25 \text{ }\mu\text{m}$  (MIR+FIR). Des échantillons des aérosols désertiques et volcaniques représentant des compositions minéralogiques diverses et variées seront considérés. Ceux-ci correspondent à des sources différentes incluant les déserts majeurs d'Afrique, Asie et Amérique, ainsi que les sources d'haute latitude telles que l'Islande. Des études en laboratoire ont été menées au cours d'un stage précédent et par

<sup>1</sup> Di Biagio, C., Boucher, H., Caqueneau, S., Chevaillier, S., Cuesta, J., and Formenti, P.: Variability of the infrared complex refractive index of African mineral dust: experimental estimation and implications for radiative transfer and satellite remote sensing, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 11093–11116, <https://doi.org/10.5194/acp-14-11093-2014>, 2014.

l'équipe encadrante permettant d'établir un large dataset des spectres d'extinction et distribution granulométrique pour des aérosols polydispersés générées au laboratoire à partir de sols sources naturels collecté dans les différentes régions du monde ainsi cités. Ces mesures ont été réalisées à la fois en condition réalistes (aérosols suspendus) dans la chambre de simulation CESAM au LISA (dans une gamme de longueur d'onde entre 2 et 16  $\mu\text{m}$ ) (<https://cesam.cnrs.fr/>) ainsi que en conditions idéalisées par mesure de spectroscopie sur pastille (étendant la gamme de longueur d'onde jusqu'à 25  $\mu\text{m}$ ). Le stage proposé vise à mettre ensemble ce jeu des données unique afin de restituer via des algorithmes d'inversions – reposant sur la modélisation optique des spectres mesurées – les indices de réfraction complexes de ces aérosols dans le domaine spectrale MIR + FIR (6–25  $\mu\text{m}$ ). La modélisation optique inclura l'application de la théorie de Mie, représentant un aérosol homogène sphérique, mais pourra s'étendre à des autres théories représentant des morphologies d'aérosols plus complexes tels que la CDE (Continuous Distribution of Ellipsoids).

Le stage démarrera par une première phase d'étude bibliographique et familiarisation avec les mesures disponibles, les paramètres et les algorithmes d'inversions pour estimer l'indice de réfraction (durée 1 mois). Ensuite les analyses et inversions optiques seront réalisées à partir des données disponibles depuis la chambre CESAM et la spectroscopie sur pastilles (3 mois). La synthèse des résultats, incluant la comparaison entre restitution à partir des mesures CESAM et pastille et étude du lien entre indice de réfraction et minéralogie des aérosols, sera menée (1 mois), suivi par l'écriture du rapport de stage, conclusion des analyses, et préparation de la soutenance (1 mois).

**Skills required:** data analysis, programming capabilities (Phyton, IDL, R, or others)

**Prerequisites:** bonnes connaissances en physique et en chimie de l'atmosphère, connaissance de base sur la physico-chimie des aerosols. Bonne connaissance de l'anglais. Les candidats enthousiastes et motivés seront préférés.

**Durée:** 6 mois

**Debut:** Fevrier 2023