ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Lidar à Absorption Différentielle pour la mesure des isotopes de la vapeur d'eau et du CO_2

Référence : **PHY-DPHY-2024-22**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2024	**Date limite de candidature :** Avril 2024

Mots clés

Lidar, Spectroscopie Infrarouge, Gaz à effet de serre, Optique non linéaire, laser, métrologie de fréquence

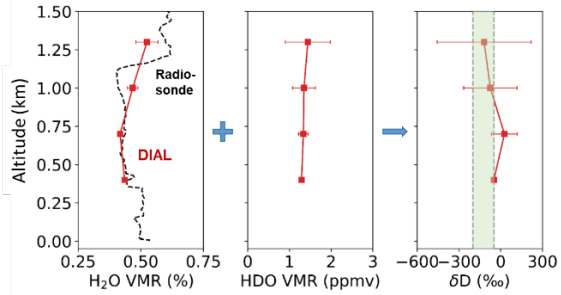
Profil et compétences recherchées

Les candidat(e)s motivé(e)s justifient d'un cursus universitaire ou en école d'ingénieur du niveau Master 2 ou équivalent, avec un excellent dossier scolaire et des recommandations de professeurs ou d'encadrants de stages. Cursus en filière physique comprenant des unités d'enseignement à la fois théoriques et pratiques sur les sujets suivants : laser, optique non linéaire, physique de l'atmosphère, méthodes d'asservissements, calcul et programmation scientifique, optique, et optronique. Le doctorant sera amené à évoluer dans un contexte de recherche internationale à travers des collaborations extérieures, des conférences, et la rédaction d'articles scientifiques. Une bonne maîtrise de l'anglais, ainsi que de bonne qualités rédactionnelles sont donc nécessaires. Enfin, une demande d'accès à zone à régime restrictif devra être réalisée.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

L'unité Sources Laser et Métrologie (SLM) est impliquée dans le développement de systèmes Lidar à absorption différentielle (DiAL) originaux pour la mesure de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les travaux les plus récents ont permis de montrer la première preuve de concept de l'utilisation de la méthode DiAL dans une gamme spectrale autour de λ=2 µm pour la détermination de l'abondance relative des isotopes de la vapeur d'eau $H_2{}^{16}O$ et HDO, offrant des perspectives nouvelles dans la compréhension et la modélisation des phénomènes de transport et de mélange des masses d'air humides dans les différentes couches de l'atmosphère [1,2].

Lidar WaVIL depuis son hublot de transmission



1er profil d'abondance isotopique δD par la méthode DiAL

Dans la continuité de ces travaux nous proposons d'explorer différents axes de recherche complémentaires, afin de faire progresser la technique et répondre au défi de l'observation en continu des isotopes de la vapeur d'eau dans la basse atmosphère :

- **Améliorer la qualité de la mesure** par des expériences de calibration et d'inter-comparaisons. Pour cela il pourra être envisagé de comparer le lidar DiAL avec une instrumentation de référence (autre lidar, radiosondage, ou capteur in-situ).
- **Augmenter la sensibilité du lidar** et par voie de conséquence la précision, la résolution, et la portée de la mesure du rapport isotopique ; le but ultime étant de gagner environ un ordre de grandeur sur les performances actuelles. Pour cela différentes voies pourront être explorées telles que l'emploi d'une configuration originale avec rafraichissement de la pompe et de la phase non linéaire dans les étages d'amplification paramétrique afin d'augmenter la puissance produite en sortie de l'émetteur lidar. D'autres axes de recherches concernant la collection du signal lidar pourront également être envisagés afin d'améliorer le rapport signal sur bruit par l'emploi de méthodes d'amplification ou d'up-conversion à la réception.
- **Étendre le domaine de mesure au CO_2, et évaluer l'apport des améliorations précédentes dans le cadre d'une mesure de concentration du CO_2 depuis l'espace**. En effet, la gamme spectrale autour de

λ=2 µm est également favorable à la mesure du dioxyde de carbone par la méthode DiAL dans le cadre d'un scénario de mesure de concentration depuis l'espace, mais avec des exigences en termes de sensibilité qui mettent encore aujourd'hui à l'épreuve l'état de l'art de la méthode.

- Approfondir le développement de méthodes de mesure et de contrôle de la longueur d'onde sur une large gamme spectrale par hétérodynage **avec un peigne de fréquence auto-référencé** [3].

Selon les opportunités, ces travaux pourront être menés en collaboration avec des partenaires extérieurs en France (LATMOS, LSCE, CNES), voire internationaux (SpaceTech GmbH).

[1] https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/une-premiere-mondiale-pour-letude-de-profils-dabondance-isotopique-de-la-vapeur-deau)

[2] J. Hamperl, et al. "Range-resolved detection of boundary layer stable water vapor isotopologues using a ground-based 1.98 µm differential absorption LIDAR," Opt. Express 30, 47199–47215 (2022).

[3] J. Hamperl, et al. "High Energy Parametric Laser Source and Frequency-Comb-Based Wavelength Reference for CO2 and Water Vapor DIAL in the 2 µm Region: Design and Pre-Development Experimentations," Atmosphere 12, 402 (2021).

Collaborations envisagées : LATMOS, LSCE, SpaceTech GmbH, CNES

Laboratoire d'accueil à l'ONERA	**Directeur de thèse**
Département : DPHY - Physique, instrumentation, environnement, espace Lieu (centre ONERA) : Palaiseau **Contact** : Jean-Baptiste Dherbecourt Tél. : 0180386186, Email :jean-baptiste.dherbecourt@onera.fr	Nom : Cyrille Flamant Laboratoire : LATMOS Tél. : 0144274872 Email : cyrille.flamant@latmos.ipsl.fr

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