

Invitation à la soutenance de thèse

DÉVELOPPEMENT D'UN LIDAR À ABSORPTION DIFFÉRENTIELLE INTÉGRÉE BASÉ SUR UN SPECTROMÈTRE À DOUBLE PEIGNE POUR LA SURVEILLANCE DES GAZ À EFFET DE SERRE

DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED-PATH DIFFERENTIAL ABSORPTION LIDAR BASED ON A DUAL-COMB SPECTROMETER FOR GREENHOUSE GAS MONITORING

William Patino

Le 25 janvier 2024 à 15h
Auditorium Caroline Aigle
Onera - 2 Av. Édouard Belin, 31400 Toulouse

Devant le jury composé de :

M. Carlo SIRTORI	École normale supérieure	Rapporteur
M. Jérôme GENEST	Université Laval	Rapporteur
M. Alain DABAS	Météo France	Examinateur
Mme Gaëlle LUCAS-LECLIN	Institut d'Optique Graduate School	Examinatrice
M. Vincent NOEL	Laboratoire d'aérodynamique	Examinateur
M. Nicolas CEZARD	ONERA	Directeur de thèse
M. Alexandre PARRIAUX	Université de Neuchâtel	Membre invité
M. Philippe HEBERT	CNES	Membre invité

Résumé

Dans le contexte de la surveillance des gaz à effet de serre, des études antérieures ont mis en évidence les avantages potentiels de l'utilisation de la spectroscopie à double peigne (DCS) pour les mesures lidar à absorption différentielle à trajet intégré (IPDA). Contrairement aux lidars IPDA traditionnels, dans lesquels les longueurs d'onde de sondage sont émises de manière séquentielle dans le temps, la DCS permet l'émission simultanée de longueurs d'onde régulièrement espacées. Cela peut contribuer à atténuer les erreurs dans la mesure de la concentration de gaz, en particulier dans les scénarios de plateformes mobiles. Cependant, plusieurs défis doivent être relevés avant d'envisager l'extension de la DCS à des applications aériennes ou spatiales.

Cette thèse présente le développement et l'étude des performances d'un lidar IPDA à double peigne de fréquences pour la surveillance des gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone. Nous avons abordé les difficultés associées à l'implémentation de la DCS pour les mesures de gaz atmosphériques en utilisant des cibles non-coopératives à de longues distances (de l'ordre de 1 km). Cela a impliqué le développement d'une architecture lidar, d'une méthode d'inversion et d'un traitement du signal adapté aux pertes optiques élevées et au bruit de speckle inhérents à la mesure lidar. Un

modèle de performance permettant d'anticiper et d'optimiser la mesure a été développé, et un prototype de lidar IPDA à double peigne a été mis en œuvre. Le prototype peut fonctionner à deux longueurs d'onde différentes, 1544 nm (avec des impulsions de 100 μ J) et 1572 nm (20 μ J), pour la détection de H₂O et CO₂, respectivement. L'utilisation de peignes électro-optiques permet d'accorder facilement le nombre de dents (inférieur à 10) et leur espacement dans une plage allant jusqu'à 10 GHz. La capacité du lidar à surveiller (non simultanément) les concentrations de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone, avec une précision de 3% et 5% respectivement, en utilisant une cible non-coopérative située à 700 m de distance, a été démontrée. Une excellente concordance avec des mesures in situ a été observée. Ces résultats pourraient ouvrir la voie à de nouveaux concepts de lidars gaz multi-spectraux robustes et accordables.

In the context of greenhouse gas monitoring, previous studies have highlighted the potential benefits of using dual-comb spectroscopy (DCS) for integrated-path differential absorption (IPDA) lidar measurements. Unlike traditional IPDA lidars, in which the probing wavelengths are emitted sequentially over time, DCS enables the simultaneous emission of precisely evenly spaced wavelengths. This can help mitigate errors in the gas concentration measurement, especially in moving platform scenarios. However, several challenges must be addressed before considering the extension of DCS for air or spaceborne applications.

This thesis presents the development and performance assessment of a ground-based IPDA lidar based on a dual-comb spectrometer for greenhouse gas monitoring, specifically carbon dioxide. We addressed the issue of implementing DCS for atmospheric gas measurements using the lidar returns from topographic targets at long distances (in the order of 1 km). This involved developing a lidar architecture, an inversion method, and signal processing suitable to the high optical losses and speckle noise inherent to the lidar measurement. A performance model to anticipate and optimize the measurement was developed, and a dual-comb IPDA lidar prototype was implemented. The prototype can operate at two different wavelengths, 1544 nm (with 100 μ J pulses) and 1572 nm (20 μ J), for H₂O and CO₂ sensing, respectively. The use of electro-optic combs enables easy tuning of the number of comb lines (below 10) and the comb line spacing within a range of up to 10 GHz. The ability of the lidar to monitor (non-simultaneously) water vapor and carbon dioxide concentrations, with a precision of 3% and 5%, respectively, using a non-cooperative target located 700 m away, was demonstrated. Excellent agreement with in-situ measurements was observed. These results may open the way for new concepts of robust, tunable multi-spectral gas lidars.

Mots clés

lidar, peigne de fréquences, spectroscopie, gaz à effet de serre, électro-optique.