

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Lidar fibré à peigne de fréquence pour la caractérisation d'objets ou de surfaces distantes

Référence : **PHY-DOTA-2025-05** (à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2025

Date limite de candidature : 01/06/2025

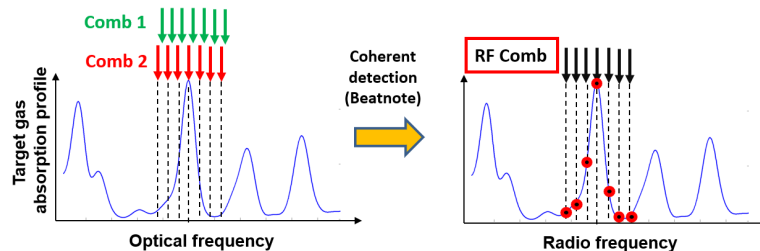
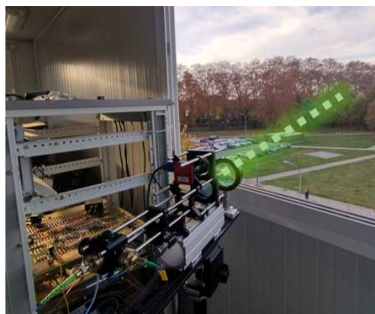
Mots clés : Laser, Lidar, Peigne de fréquence, Atmosphère, Télémétrie

Profil et compétences recherchées :

Prérequis : connaissances théoriques en laser, optique physique, optique ondulatoire, composants optoélectroniques, fibres optiques, traitement de signal. Maîtrise de l'anglais (lu, écrit, parlé). Expérience en Matlab et/ou Python. Goût pour l'optique instrumentale et expérience préalable en laboratoire vivement recommandée.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

La technologie LIDAR (*Light Detection and Ranging*) permet de mesurer à distance, à l'aide d'un laser, certaines propriétés physiques de l'atmosphère ou bien d'objets distants. L'Onera développe des systèmes lidars depuis plusieurs décennies, sur les sites de Palaiseau et de Toulouse. A Toulouse, un lidar cohérent à peigne de fréquences (*frequency-comb*), illustré ci-dessous, a été développé ces dernières années. Ce lidar est capable d'émettre simultanément plusieurs fréquences optiques, régulièrement espacées, en direction de l'atmosphère ou d'un objet distant à caractériser, et de collecter le signal rétrodiffusé porteur d'information. La séparation des fréquences à la réception s'effectue au moyen d'une détection dite cohérente, c'est-à-dire par mélange interférométrique, avec un second peigne de référence (*dual-comb detection*). Cela permet de transposer le peigne optique de sondage vers les radiofréquences, qui peuvent être ensuite numérisées et analysées séparément. Basé sur des briques technologiques robustes (composants optroniques fibrés), un lidar cohérent à peigne de fréquence présente également un fort potentiel d'embarquabilité pour des mesures aéroportées, voir satellitaires à terme.



Gauche : Photographie du lidar à peigne de fréquence de l'Onera-Toulouse. Droite : principe de la détection « dual-comb » et de la spectroscopie multi-fréquence d'un gaz atmosphérique

Dans la continuité de premiers travaux orientés sur la mesure de concentration de gaz à effet de serre (CO_2 , H_2O ...) dans l'atmosphère [1,2], nous souhaitons à présent explorer le potentiel du lidar à mini-peigne de fréquence pour caractériser plusieurs propriétés clés d'un objet ou d'une surface distante, comme sa distance, sa vitesse, ou encore sa topologie/rugosité de surface. L'intérêt de mesurer ces paramètres est multiple. Par exemple, pour la métrologie des gaz à effets de serre depuis l'espace, il est nécessaire de mesurer simultanément et avec une grande précision non seulement la concentration intégrée du gaz cible (paramètre IPDA, *Integrated Path Differential Absorption*), mais aussi la distance Terre-satellite (SSE, *Surface Scattering Elevation*). La mesure de la topologie ou de la rugosité de la surface terrestre, depuis un satellite ou un avion, est également un paramètre d'intérêt pour l'analyse de terrain en général (en hydrologie par exemple). Enfin, dans le cas d'un lidar disposé au sol et scrutant son environnement, la mesure de ces propriétés est susceptible d'aider à l'identification d'objets divers d'intérêt pour l'observateur.

La thèse proposée consiste ainsi à explorer le potentiel d'une ou plusieurs architectures lidar innovantes, combinant une structuration spectrale en peigne de fréquence avec d'autres techniques de modulation et démodulation spectrale ou temporelle des impulsions laser émises. Le choix des architectures sera guidé par l'objectif de trouver des compromis entre précision et versatilité du système, pour produire des mesures de distance, vitesse, et topologie avec une portée kilométrique.

Dans un premier temps, l'étudiant(e) se familiarisera avec les principes physiques liés à la technique de mesure du lidar actuel (génération des peignes de fréquence, détection hétérodyne dual-comb...) ainsi qu'avec ses composants optroniques principaux (laser, modulateurs, amplificateurs, fibres...). Puis, en s'appuyant sur les travaux de la littérature, il/elle développera un modèle (Matlab ou Python) prédictif des performances de mesure de distance, vitesse, et rugosité, pour une ou plusieurs architectures lidar judicieusement choisies. Il/elle effectuera en parallèle, au laboratoire, toutes les mesures et caractérisations de composants nécessaires pour conforter son modèle. Fort de cette expérience, il/elle pourra alors implémenter les architectures de son choix sur le démonstrateur lidar du laboratoire, et les tester en réalisant des expériences de télémétrie à portée kilométrique.

Au cours de cette thèse, l'étudiant(e) sera au contact quotidien de spécialistes en télédétection Lidar et instrumentation, sur lesquels prendre appui pour développer son projet de recherche, et bénéficiera de matériel de pointe. Il/Elle développera des compétences approfondies en optique, opto-électronique, laser, lidar, traitement de signal, modélisation, interaction laser-matière, et physique de l'atmosphère.

Références :

[1] - <https://doi.org/10.1364/OE.515543> (article en accès libre)

[2] - <https://doi.org/10.1364/oe.457064> (article en accès libre)

Collaborations envisagées : CNES

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Nicolas Cézard

Tél. : 05.62.25.26.15 Email : nicolas.cezard@onera.fr

Directeur de thèse :

Nom : Nicolas Cézard

Laboratoire : ONERA/DOTA

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