

Invitation à la soutenance de thèse

Oscillateur Paramétrique Optique à Onde Contra-Propageante pour les futurs
Lidars à Absorption Différentielle

Antoine Zheng

28 Novembre 2025

Institut d'Optique Graduate School, à l'auditorium
2 Av. Augustin Fresnel, 91120 Palaiseau

Devant le jury composé de :

Patricia SEGONDS	Université Grenoble Alpes, Institut Néel, CNRS	Rapporteuse
Yannick DUMEIGE	Université de Rennes, INSA Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082	Rapporteur
Anne DHOLLANDE	Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL)	Examinatrice
Fabien BRETENAKER	Université Paris-Saclay, Laboratoire Lumière, Matière et Interfaces (LuMIn), CNRS	Examinateur
Antoine GODARD	DSG, ONERA	Directeur de thèse
Jean-Baptiste DHERBECOURT	DPHY, ONERA	Encadrant
Xavier DELEN	Université Paris-Saclay, Institut d'Optique Graduate School, Laboratoire Charles Fabry, CNRS	Encadrant

Résumé

Pour mesurer la distribution des gaz à effet de serre dans l'atmosphère tels que H_2O , CO_2 et CH_4 , les systèmes LIDAR à absorption différentielle (DiAL) à base de conversion paramétrique de fréquence à haute puissance sont intéressants, permettant d'atteindre une grande fenêtre spectrale. Le DiAL haute résolution nécessite une source impulsionnelle énergétique et accordable entre $1,5\ \mu m$ – $3\ \mu m$, avec une finesse spectrale (~ 100 MHz) afin de sonder les raies d'absorption des gaz. De plus, l'intégration dans les systèmes aéroportés et spatiaux pose un grand défi, nécessitant un laser capable de supporter des contraintes thermo-mécaniques conséquentes. Dans ce contexte, l'oscillateur paramétrique optique à onde contra-propagative (BWOPO) se montre prometteur en tant que source paramétrique robuste pour les systèmes DiAL. C'est un cristal à quasi accord de phase (QPM) avec une période d'inversion de domaine très courte. Cela permet une configuration de QPM dans laquelle l'une des ondes générées est contra-propageante à la pompe. Ceci permet au BWOPO un taux de conversion élevé sans

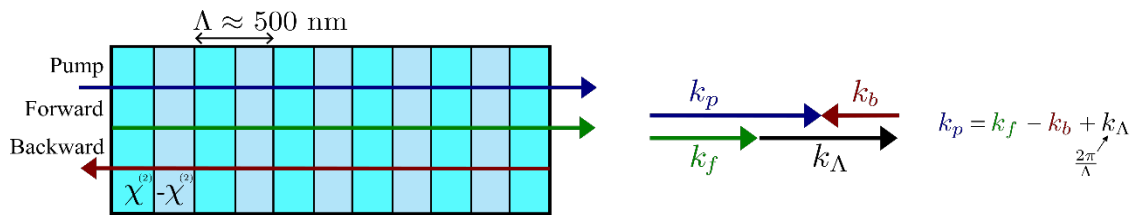


Figure 1 – Schéma d'un BWOPO et son accord de phase

l'insertion du cristal non linéaire dans une cavité optique, contrairement aux sources paramétriques résonantes. La géométrie du QPM confère également des propriétés spectrales intéressantes au BWOPO. L'une d'entre elles est que l'onde 'forward' hérite de la modulation de phase de la pompe, tandis que l'onde 'backward' est intrinsèquement à spectre étroit. Ainsi, l'onde 'backward' peut servir comme source DiAL stable et insensible à la dérive en fréquence de la pompe. L'onde 'forward' peut être utilisée pour générer les longueurs d'onde « on/off » du DiAL en accordant la source laser de la pompe. L'objectif de cette thèse est d'évaluer la pureté spectrale et la stabilité du BWOPO afin de quantifier sa compatibilité avec les systèmes DiAL.

Comme première caractérisation, le BWOPO a été pompé à l'aide d'un laser 1064 nm à haut niveau de maturité technologique (TRL). Nous avons constaté que les performances en puissance étaient limitées par l'ouverture du réseau QPM du BWOPO. Nous avons aussi observé que la pureté spectrale des ondes était limitée par une dérive de la période du réseau du cristal. Cela est dû à un effet de couplage complexe entre la région de déplétion de la pompe et la période locale du réseau QPM. Bien que la dérive totale estimée de la période soit très faible par rapport à la période moyenne des réseaux (rapport de 0,005 %), son effet est non négligeable dans le cas des exigences d'une source DiAL spatiale, ce qui entraîne des spectres de signal avec des lobes latéraux d'une largeur de 2 GHz. A travers la simulation, nous avons constaté que le pompage du BWOPO avec une impulsion carrée permettrait de contourner l'élargissement spectral induit par l'irrégularité de la période du réseau. Enfin, en ce qui concerne la stabilité en longueur d'onde du BWOPO, nous avons trouvé une forte corrélation avec la stabilité de la régulation de température et du pointage du faisceau laser.

Pour répondre à ces problèmes, nous proposons un nouveau laser hybride fibre/milieu massif à 1030 nm conçu pour le pompage du BWOPO, offrant un accord rapide et une flexibilité temporelle (durée d'impulsion de 13 ns à 40 ns et possibilité de mise en forme des impulsions). Nous démontrons une puissance moyenne de 90 W à une fréquence de répétition d'impulsions de 20 kHz. Cette architecture de laser à injection par fibre promet une grande stabilité de pointé ; sa puissance élevée pourrait démontrer une haute performance en puissance du BWOPO, et la flexibilité temporelle permettrait de générer une impulsion carrée pour une meilleure pureté spectral du BWOPO.

Grace à la flexibilité temporelle du laser, nous avons démontré que l'impulsion carrée améliore effectivement la pureté spectrale du signal BWOPO, réduisant l'amplitude des lobes latéraux à un niveau proche de la décroissance naturelle de la limite de transformée de Fourier.

Mots clés

OPTIQUE NON LINEAIRE, LIDAR, QUASI ACCORD DE PHASE, LASER, SPECTROMETRIE