

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Utilisation des propriétés statistiques du speckle issu d'une illumination par combinaison cohérente de sources laser fibrées

Référence : **PHY-DOTA-2026-05**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2026 à Janvier 2027
selon le type de financement

Date limite de candidature : 01/06/2026

Mots clés :

Combinaison cohérente ; Propagation laser dans l'atmosphère ; Diffusion ; Speckle ; Laser ; Contrôle commande ; Intelligence artificielle

Profil et compétences recherchées :

Niveau Master 2 Recherche (Université, Ecole d'ingénieur ou Ecole Normale), avec une majeure en optique (laser, propagation), et une connaissance solide en traitement du signal et programmation

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

La combinaison cohérente de sources laser fibrées se présente comme une solution technologique potentielle pour réaliser de nouveaux émetteurs laser fonctionnant à haute puissance crête ou moyenne. Cet ensemble de techniques promet de s'affranchir des effets non-linéaires dans les fibres optiques qui entraînent une détérioration rapide de la qualité du faisceau, pouvant aller jusqu'à l'endommagement d'optiques ou même des sources fibrées. Pour fonctionner, la combinaison cohérente utilise le principe de l'interférence entre 2 ou plusieurs faisceaux laser amplifiés issus de la même source. Pour maximiser la puissance disponible, l'interférence doit être maintenue constructive, ce qui nécessite d'asservir les faisceaux de manière à minimiser leurs différences de phase. Cet asservissement est souvent dénommé mise en phase [1]. De nombreuses stratégies de contrôle-commande de la phase existent lorsque l'environnement du laser est stable (laboratoire), mais ces stratégies sont mises à l'épreuve, voire mise en défaut, lorsqu'il s'agit de maintenir l'interférence constructive sur une cible distante de plusieurs dizaines de mètres du système émetteur. En effet, les paramètres de la cible ou l'atmosphère turbulente vont dégrader la relation de phase entre les différents faisceaux.

Il est donc nécessaire de développer et d'appliquer des techniques de mise en phase utilisant un nouveau vecteur d'information : la lumière laser rétrodiffusée par l'objet cible illuminé. Cette lumière possède une nature complexe car constituée de plusieurs éléments déphasés, elle interfère sur un écran d'observation en générant des tavelures (souvent nommées par le nom anglais de *speckle* [2]). Dans cette thèse, nous proposons d'explorer des techniques de mise en phase dites « avec cible étendue dans la boucle » qui permettront de maintenir l'interférence constructive au niveau de l'objet.

Les applications potentielles sont multiples : défense avec la lutte anti-drone, chirurgie tumorale, télécommunications optiques en espace libre, et recharge de cellules photovoltaïques à distance à l'aide de faisceaux mis en forme par intelligence artificielle. Dans ces applications, l'étude de la rétrodiffusion des faisceaux laser donne accès à l'état de mise en phase sur l'objet distant, mais aussi à l'évolution de l'interaction lumière matière, ce qui permet un dépôt de puissance contrôlé.

La thèse sera abordée en trois volets complémentaires. Le/la doctorant(e) commencera par s'approprier les principes de base de la combinaison cohérente (bibliographie et expérimentation sur un banc laser [1]), en cherchant en parallèle à cerner les spécificités liées à la mise en phase sur une cible de grande dimension par rapport aux diamètres des faisceaux laser, distante de l'émetteur. Un travail de modélisation théorique et numérique approfondi sera ensuite mené, qui visera à évaluer les performances d'une nouvelle stratégie de contrôle-commande selon des critères multiples qu'il sera nécessaire d'établir. Dans ce cadre, l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) pour accompagner la boucle de contrôle-commande basée sur ce phénomène complexe de speckle pourrait être envisagé et développé par le/la doctorant(e) sur les bases d'un travail réalisé dans une thèse précédente [3]. Enfin, le troisième volet expérimental visera d'une part à confronter les performances obtenues avec les attendus, dans une démarche de validation des modèles, et d'autre part à expérimenter la réaction du système à des variations de l'objet ciblé (cible non coopérative). L'origine des dégradations de la performance de la liaison optique sera analysée a posteriori afin de proposer des voies d'amélioration futures.

Le/la doctorant(e) sera encadré(e) par une équipe spécialiste de combinaison cohérente de sources laser et de speckle optique. Il/Elle disposera d'un banc d'étude de combinaison cohérente, dédié aux travaux de la thèse. Son travail sera jalonné par des publications marquantes sur cette thématique de mise en phase sur cible, ainsi que des participations à des conférences.

- [1] Bastien Rouzé, Laurent Lombard, Hermance Jacqmin, Anasthase Liméry, Anne Durécu, and Pierre Bourdon, "Coherent beam combination of seven 1.5 μm fiber amplifiers through up to 1 km atmospheric turbulence: near- and far-field experimental analysis," Appl. Opt. **60**, 8524-8533 (2021).
- [2] J. W. Goodman, "Some fundamental properties of speckle*," J. Opt. Soc. Am. 66, 1145-1150 (1976).
- [3] Nathanaël Hulard, Pierre Bourdon, Stéphane Barland, Bastien Rouzé, and Laurent Lombard "Deep learning applied to coherent combining of fiber lasers: toward an experimental demonstration in a non-controlled environment", Proc. SPIE 13342, Fiber Lasers XXII: Technology and Systems, 1334210 (21 March 2025); <https://doi.org/10.1117/12.3042985>.

Collaborations envisagées :

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau et Toulouse

Contact : Bastien Rouzé (DOTA, SLS), Pierre Bourdon (DOTA, MOTA)

Tél. : 0180386322

Email : bastien.rouze@onera.fr, pierre.bourdon@onera.fr

Directeur de thèse :

Nom : Xavier Orlik

Laboratoire : DOTA, IODI

Tél. : 0562252618

Email : xavier.orlik@onera.fr

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