www.onera.fr

# PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé :** Métrologie pour le contrôle/commande du façonnage en temps réel de faisceaux laser hélicoïdaux

Référence : **PHY-DOTA-2024-26**
*(à rappeler dans toute correspondance)*

| | |
|---|---|
| **Début de la thèse :** octobre 2024 | **Date limite de candidature :** juillet 2024 |

**Mots clés :**

Laser digital, PISTIL, Coherent Amplification Network, Coherent Beam Combination, Interférométrie, Métasurfaces, Orbitum Angular Moment

**Profil et compétences recherchées :**

Opticien, Physicien, avec le goût de la théorie et de l'expérimentation, dans un contexte de collaboration scientifique Onera/Ecole Polytechnique

**Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :**

L'avènement des lasers à combinaison cohérente de multiples faisceaux (CBC) est à l'origine d'un changement de paradigme dans le domaine de l'architecture laser. L'opérateur de ce nouveau type de source lumineuse se voit en effet offrir la possibilité d'agir canal par canal sur les caractéristiques des faisceaux lasers individuels afin de façonner la distribution d'énergie optimale du faisceau recombiné et s'adapter ainsi à l'application visée. Une telle approche, illustrée par le terme laser digital, ouvre un vaste champ applicatif, avec, en particulier, la génération de faisceaux laser à moment angulaire orbital (OAM). Ces faisceaux, porteurs de fronts de phase hélicoïdaux et générant de ce fait une distribution transverse d'énergie toroïdale en champ lointain, offrent une large gamme d'applications allant de la manipulation optique, en passant par l'optique quantique et l'imagerie (comme en astronomie ou en caractérisation de l'écoulement des fluides) les communications optiques, la cryptographie jusqu'à la propagation de faisceaux laser ultra-intenses (pour canaliser les éclairs, détecter les polluants atmosphériques ou déposer de l'énergie distance).

Classiquement, ce genre de faisceau laser est obtenu par éclairage d'une métasurface (lame optique nanostructurée) conçue pour générer le faisceau OAM. Cette surface optique ne permet aucune adaptation dynamique du faisceau, ce qui limite le champ d'applications au cas des faisceaux OAM statiques. L'originalité du laser digital réside dans sa capacité potentielle à assurer le façonnage dynamique de ce type de faisceaux par le pilotage des amplitudes, phase et polarisation de chacun des lasers individuels qui le constitue. Ceci ouvre la voie à un champ applicatif encore inexploré.

Avec son prototype à 61 canaux, mis au point et développé dans un partenariat entre Thales et l'Ecole Polytechnique, la plateforme laser XCAN (X Coherent Amplifying Network) offre une capacité de démonstration unique de ce type d'architecture laser. Assurer la génération de ces faisceaux OAM passe par la mesure précise des caractéristiques des faisceaux individuels à cophaser en temps réel (amplitude/phase/polarisation). Ce travail est l'objet de cette thèse.

De récentes études menées à l'ONERA sur l'analyse des surfaces d'ondes morcelées ont abouti à une nouvelle version d'interféromètre, dénommé PISTIL (PIStON and TILt interferometry), adapté à la mesure simultanée d'un grand nombre de faisceaux lasers CBC, et donc compatible avec une application au contrôle/commande de ce nouveau concept de laser digital. Elle consiste à comparer, en une seule mesure, la sortie de chaque fibre avec ses voisines directes pour en extraire les informations de phase relative entre les faisceaux adjacents. Cet analyseur se révèle être également capable de remonter aux informations d'amplitude et de polarisation des faisceaux à analyser, moyennant une adaptation qu'il conviendra de mettre au point pendant cette thèse. Ce travail fait l'objet d'une collaboration entre l'Onera et l'Ecole Polytechnique depuis maintenant une quinzaine d'années. La thèse se déroulera suivant les phases suivantes :

- Mise au point de l'interféromètre PISTIL dans son adaptation à la mesure des amplitudes et polarisations des faisceaux : Cette partie des travaux se déroulera à l'Onera. Dans un premier temps, une étude théorique sur la capacité de l'interféromètre à mesurer ces nouveaux paramètres sera menée, puis la technique sera testée sur le banc d'essai HIBISCUS. Afin de simuler une surface d'onde représentative du laser XCAN dans son fonctionnement pour créer un faisceau OAM, une lame métasurface optique

devra être étudiée par le doctorant puis réalisée et caractérisée afin d'être insérée sur le banc HIBISCUS comme étalon métrologique.

- Optimisation théorique et pratique des techniques de traitement des interférogrammes de mesure, en prenant en compte les trois paramètres amplitude / phase / polarisation dans une logique temps réel et métrologique : Cette partie débouchera sur un algorithme de traitement adapté à implémenter sur le banc XCAN.
- Insertion sur le laser digital XCAN pour des essais de mise en forme de faisceau opérationnelle. Cette partie de la thèse se déroulera sur le banc XCAN avec l'analyseur développé dans les parties précédentes de la thèse. Elle permettra d'évaluer les performances et la robustesse de la technique.

La thèse se fera au sein des équipes CIO (Composants et Instruments Optroniques) du DOTA de l'ONERA et XCAN du LULI à l'Ecole Polytechnique.

**Collaborations envisagées :**

IST (https://tecnico.ulisboa.pt/pt/) et INESC MN (metasurfaces)

| **Laboratoire d'accueil à l'ONERA :** | **Directeur de thèse :** |
|---|---|
| Département : Département d'Optique et Techniques Associées | Nom : Chanteloup |
| **Lieu (centre ONERA)** : Palaiseau | Laboratoire : LULI (UMR 7605) |
| **Contact** : Cindy Bellanger | Tél. : 01 69 33 53 95 |
| Tél. : 0180386384 Email : cindy.bellanger@onera.fr | Email : jean-christophe.chanteloup@polytechnique.fr |

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