

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2026-24**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Châtillon

Département/Dir./Serv. : PHY/DOTA/HRA

Tél. : 01 46 73 47 86

Responsable(s) du stage : Léa Krafft

Email : lea.krafft@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Propagation d'onde en milieu complexe, optique adaptative, imagerie

Type de stage : ☒ Fin d'études bac+5 ☒ Master 2 ☐ Bac+2 à bac+4 ☐ Autres

Intitulé : Multiplexage spatial pour le contrôle dynamique du front d'onde : modélisation et caractérisation et développement expérimental.

Sujet :

Le contrôle du front d'onde en environnement réel, complexe et dynamique est un enjeu scientifique et technologique majeur pour de nombreuses applications : imagerie biomédicale [1], télécommunications optiques en espace libre ou encore dispositifs de défense à énergie dirigée. L'enjeu réside dans la capacité à assurer dynamiquement :

- La pré-compensation des déformations du front d'onde subies par l'onde électromagnétique se propageant dans les milieux complexes (aberrations optiques).
- La déflexion angulaire du faisceau lumineux (balayage).

Traditionnellement, la correction des aberrations est assurée au moyen de dispositifs d'optique adaptative (utilisant des miroirs déformables, caméras, relais optiques) et le balayage par des miroirs mécaniques. Ces solutions basées sur l'utilisation de composants mobiles, présentent des limitations intrinsèques : une vitesse contrainte par l'inertie (bande passante limitée à quelques dizaines de kHz pour les miroirs de scan), un encombrement conséquent et une vulnérabilité aux instabilités mécaniques.

Pour assurer la pré-compensation et le balayage rapide du faisceau tout en levant ces verrous, l'équipe Haute Résolution Angulaire (HRA) de l'ONERA investit une approche de rupture, basée sur l'utilisation de guides d'ondes. Cette démarche s'appuie sur les techniques de combinaison cohérente [2] et sur le principe de fonctionnement des Optical Phased Array (OPA) [3][4]. Des réseaux de guides d'onde associés à des modulateurs de phase peuvent générer et contrôler individuellement les retards relatifs d'une multitude de faisceaux élémentaires. Cette approche a pour objectif d'assurer la mise en phase des faisceaux à travers le milieu complexe et de diriger le flux propagé à haute cadence. Cette technologie exploite des modulateurs de phase électro-optiques permettant des fréquences de modulation de l'ordre du GHz. Ce concept constitue ainsi une alternative prometteuse aux solutions traditionnelles en ouvrant la voie vers des architectures photoniques ultrarapides, miniaturisables et déployables sur le terrain.

Ce stage vise à contribuer à la mise en œuvre expérimentale de ce projet. Le travail portera plus particulièrement sur une brique technologique essentielle : le système de multiplexage spatial qui réalise l'interface entre le dispositif de guides d'ondes et l'espace libre. L'exemple en Figure 1 illustre le principe de balayage de faisceau non mécanique en sortie d'un exemple de multiplexeur. Dans le cadre de ce stage, il s'agira d'étudier et développer un procédé innovant de multiplexage récemment proposé par l'équipe HRA. L'étude sera orientée vers les spécifications d'une application cible comme l'imagerie rétinienne.

Les missions proposées sont les suivantes :

- Modéliser le procédé optique de multiplexage et étudier l'influence des paramètres géométriques du multiplexeur sur les performances (bilan photométrique, diaphonie, qualité des faisceaux).
- Caractériser expérimentalement un dispositif de multiplexage disponible au laboratoire.
- Développer et tester une stratégie de calibration permettant d'obtenir un balayage angulaire contrôlé, en déterminant les déphasages optimaux à appliquer pour chaque direction visée.

Le stage s'appuiera sur les outils de simulation et les bancs expérimentaux développés par l'équipe Haute Résolution Angulaire de l'ONERA, qui possède une expertise reconnue en optique adaptative et en propagation dans les milieux complexes.

Une poursuite en thèse portant sur ces thématiques pourra être envisagée à la suite de ce stage.

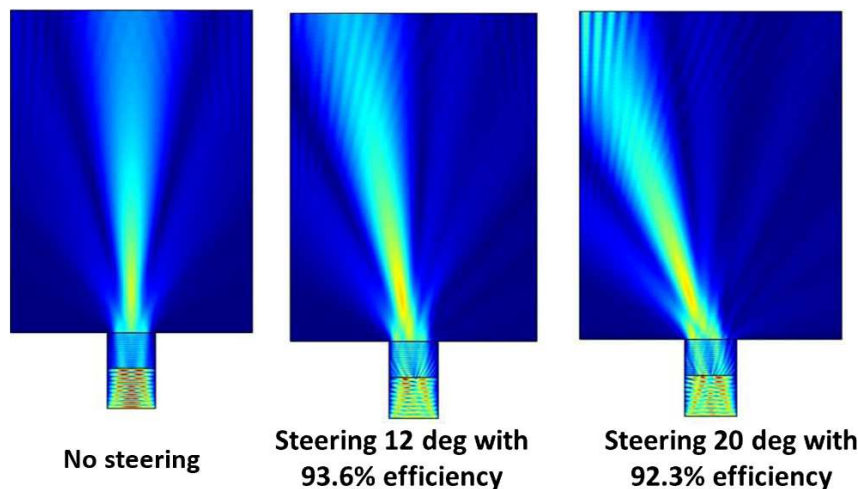


Figure 1: Exemple illustrant le principe de fonctionnement du balayage non mécanique en sortie d'un multiplexeur [4]

Bibliographie :

- [1] P. Senée *et al.*, Revealing neurovascular coupling at a high spatial and temporal resolution in the living human retina. **Sci. Adv.** 11(26), eadx2941(2025).
- [2] O. Balasiano *et al.*, "Demonstration of coherent beam combining for atmospheric free space optical communication over 10 km." **J. Lightwave Technol.** 42, 7085–7094 (2024).
- [3] J. Sun *et al.*, Large-scale silicon photonic circuits for optical phased arrays. **IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.** 20, 264–278 (2014).
- [4] P. F. McManamon *et al.*, Progress and opportunities in the development of nonmechanical beam steering for electro-optical systems. **Optical Engineering**, 58(12), 120901-120901.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Oui

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|---|
| ☐ Recherche théorique | ☒ Travail de synthèse |
| ☒ Recherche appliquée | ☒ Travail de documentation |
| ☒ Recherche expérimentale | ☒ Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 4 mois Maximum : 5 mois

Période souhaitée : 1^{er} mars au 31 juillet 2026

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :
Dernière année d'école d'ingénieur avec spécialisation en optique, photonique ou instrumentation. Intérêt pour l'expérimentation en optique et/ou la simulation numérique.

Ecoles ou établissements souhaités :
M2 recherche ou Ecole d'ingénieur