

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE**

**Intitulé : Circuits de guides d'ondes photoniques imprimés en 3D par un laser pour l'imagerie hyperspectrale**

Référence : **PHY-DOTA-2022-06**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse :** Septembre 2022

**Date limite de candidature :** Mai 2022

**Mots clés :**

Optique intégrée, micro-photonique, guides d'ondes, spectro-imagerie, hyperspectral

**Profil et compétences recherchées :**

Optique, micro-photonique, laser, programmation (Python, Matlab...). Goût prononcé pour l'expérimentation optique et les simulations numériques

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

Les caméras hyperspectrales collectent et traitent l'information spectrale pour chaque pixel de son champ de vue. De telles caméras permettent d'extraire plus d'informations sur la scène que les caméras traditionnelles. L'imagerie hyperspectrale a un large champ d'applications : agriculture, biologie, imagerie biomédicale, astronomie, géoscience et pour la surveillance. Afin de pouvoir être largement utilisable, ces caméras hyperspectrales doivent être compactes, robustes et stables tout en créant des images de hautes qualités et en ayant des fonctions optiques avancées. Cependant, la combinaison de tous ces paramètres dans le même dispositif est un véritable challenge.

Par ailleurs, depuis plus d'une décennie, les communautés scientifiques de l'information quantique et de l'astronomie ont développé et elles ont utilisé des circuits photoniques intégrés, constitués de guides d'ondes, pour améliorer la stabilité, la mise à l'échelle et la complexité de leurs expériences et dispositifs. De tels circuits photoniques sur puce ont atteint un grand niveau de maturité : la fabrication de circuits en trois dimensions et reconfigurables est maintenant possible [1].

De manière plus précise, nous étudions à l'ONERA depuis plusieurs années les imageurs hyperspectraux. Nous avons conçu les instruments SIELETTERS et SIBI (figure ci-dessous et références [2,3]). Ces deux instruments basés sur la spectroscopie par transformée de Fourier opèrent aux longueurs d'onde infrarouges. Tous les deux reposent sur des composants optiques fonctionnant en espace libre. Pour augmenter les performances et les fonctionnalités des architectures optiques tout en les miniaturisant, nous étudions des concepts non conventionnels et nous évaluons leur apport pour des systèmes optiques. Dans cette perspective, nos recherches nous ont permis de fonctionnaliser des lames optiques afin d'insérer, à terme, une majorité du système optique dans une puce photonique.

**Imageur hyperspectral SIELETTERS**



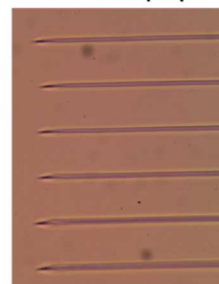
~ 10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup>

**Imageur hyperspectral SIBI**



~ 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>

**Guides d'ondes sur une lame optique**



< 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>

Parallèlement, l'Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO) étudie la microstructuration 3D de l'indice optique de matériaux diélectriques par un laser femtoseconde [4]. Avec ce procédé, l'indice optique du matériau d'une lame optique est modifié localement grâce au contrôle précis de la position et de l'énergie du laser. Dans le cadre d'une collaboration entre l'ONERA et l'ICMMO, ce procédé nous a déjà permis de concevoir et de réaliser des lentilles au sein d'une lame optique grâce à un laser.

Nous souhaitons à présent aller plus loin et mettre en place la fonction d'imagerie hyperspectrale sur une puce en utilisant des guides d'ondes photoniques grâce à la technique de structuration 3D par un laser de l'ICMMO. L'usage de circuits photoniques sera un avantage indéniable pour nos instruments du futur qui pourront être plus compacts, encore plus stables et plus polyvalents que nos imageurs hyperspectraux actuels.

L'objectif de la thèse est d'analyser numériquement et expérimentalement les phénomènes physiques en jeu et de caractériser les performances ultimes d'un tel dispositif à travers la réalisation de la preuve de concept d'un imageur hyperspectral intégré sur une puce photonique.

La thèse pourrait se décomposer comme suit :

- Le/la doctorant(e) se familiarisera dans un premier temps avec la technique de structuration par un laser de l'indice optique d'une lame de l'ICMMO et réalisera ses premiers guides d'ondes.
- Le/la doctorant(e) développera ensuite des outils pour simuler les profils transverses et la propagation d'une onde électromagnétique dans ces guides d'ondes et ces circuits grâce à un logiciel de type FDTD (MEEP, disponible à l'ONERA).
- Le/la doctorant(e) réalisera de manière progressive des guides d'onde en trois dimensions, des coupleurs et des interféromètres de mach-Zehnder et les caractérisera optiquement afin de vérifier la qualité des fabrications, leurs performances ainsi que la compréhension des phénomènes physiques sous-jacents.
- Le/la doctorant(e) étudiera comment obtenir un interféromètre sur une puce fonctionnant sur une large bande spectrale. Il/elle se basera pour cela sur les outils de simulations mis en place au préalable et en étudiant les échantillons qu'il/elle aura fabriqués.
- Finalement, une preuve de concept d'un imageur hyperspectral sur une puce sera fabriquée et ses performances seront étudiées expérimentalement en laboratoire et en extérieur.

Le/la doctorant(e) profitera des compétences en instrumentation optique et des moyens de caractérisations du Département d'Optique et Techniques Associées de l'ONERA et de l'ICMMO. Il/elle bénéficiera également des moyens et du savoir-faire de l'ICMMO dans l'impression de fonctions 3D par laser femtoseconde. Cette thèse s'inscrit dans le cadre de l'ANR FLAG-IR.

- [1] F. Hoch et al., *Boson Sampling in a reconfigurable continuously-coupled 3D photonic circuit*. arXiv:2106.08260 [quant-ph] (2021).
- [2] C. Coudrain et al., *SIELETTERS, An airborne infrared dual-band spectro-imaging system for measurement of scene spectral signatures*. *Optics Express* 23, 16164 (2015).
- [3] A. Pola Fossi et al., *Miniature and cooled hyperspectral camera for outdoor surveillance applications in the mid-infrared*. *Optics Letters* 41, 1901 (2016).
- [4] J. Cao et al., *Pulse energy dependence of refractive index change in lithium niobium silicate glass during femtosecond laser direct writing*. *Optics Express* 26, 7460 (2018).

**Collaborations envisagées :**

Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO)

**Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : Optique et Techniques Associées (DOTA)

Lieu (centre ONERA) : ONERA, Centre de Palaiseau

**Contact** : Olivier Gazzano

Tél. : 01 80 38 63 63 Email : [olivier.gazzano@onera.fr](mailto:olivier.gazzano@onera.fr)

**Directeur de thèse**

Nom : Matthieu Lancry

Laboratoire : ICMMO

Tél. : 01 69 15 62 18

Email : [matthieu.lancry@u-psud.fr](mailto:matthieu.lancry@u-psud.fr)

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