



SUJET DE STAGE MASTER II

Titre du sujet de stage : SWIFTS multi-guides, spectromètre optique à haute résolution spectrale en photonique intégrée sur verre pour la caractérisation de gaz à effet de serre

Nom du labo et contact (*Nom et adresse mél*) : **IPAG et CROMA**

IPAG, Guillermo Martin guillermo.martin@univ-grenoble-alpes.fr

CROMA, Alain Morand alain.morand@univ-grenoble-alpes.fr

Date début de stage (et durée) : février 2027 (5 mois)

Mots clés (5 max.) : photonique intégrée, spectromètre, simulations propagation optique, traitement du signal, caractérisation atmosphérique

Ce projet adresse des thématiques scientifiques liées à la spectrométrie intégrée on-chip, avec comme applications dans le climat, l'industrie ou les télécoms. Par exemple, la Spectrométrie haute résolution peut permettre de faire du monitoring de Gaz (CO₂, CH₄...in situ et embarquée) ou d'effectuer de la métrologie Lasers Télécom (profils de raie d'émission, monitoring des réseaux télécom). Il est à la croisée de la micro-technologie, de la photonique intégrée et du traitement de données (via Python). Les techniques de spectrométries optiques sont basées sur différentes approches : des réseaux dispersifs, des spectromètres à transformée de Fourier (FTS,) ou des réseaux de guides d'ondes (AWG). Le FTS basé sur la photonique sur verre repose sur un principe d'interférométrie d'onde stationnaire (SWIFTS [1]). L'intérêt du SWIFTS est d'atteindre une très haute résolution spectrale grâce à un système compact, léger et de faible dimension (typ. <10cm x 5cm x 1cm, détecteur inclus). Dans un SWIFTS, on génère à l'intérieur même d'un guide optique intégré un interférogramme produit par la superposition de deux ondes contra-propagatives. Elles sont obtenues par la division du faisceau optique issue d'une fibre optique puis recombinaison en utilisant une configuration en boucle sur puce. Ce motif d'interférence est alors diffracté vers le détecteur situé au-dessus du guide par un réseau de discontinuités métalliques de tailles nanométriques, sans aucune pièce mobile. Ce projet est dans la continuité du développement de spectromètres dans le visible qui a débouché sur la création d'une start-up rachetée par Merck et basé sur deux brevets UGA/Grenoble INP-UGA/CNRS. Les contraintes propres à la bande de longueurs d'onde visée SWIR (1000-2500nm) nécessitent la résolution de problèmes nouveaux dont fait partie le sujet de stage.

Ce stage se situe dans la continuité des travaux menés sur des thèses précédentes qui ont permis notamment de valider l'utilisation par exemple d'un réseau de nano-émetteurs directionnels (antennes) en surface du composant [2] ou de boucle intégrée optique [3]. Il n'y a aucune optique de relais, ce qui donne un dispositif compact, solide et stable. Un premier composant avec un seul guide d'onde a permis de valider le concept. Pour étendre la bande spectrale d'utilisation ou augmenter la résolution spectrale un dispositif composé de plusieurs guides est proposé. Chaque guide va sous-échantillonner des points différents de l'interférogramme. Puis, en assemblant l'ensemble de ces points sur un seul interférogramme virtuel, il sera possible d'améliorer le spectre mesuré. Ces dispositifs fonctionnels ont déjà été réalisés.

Le but de ce stage est décomposé en plusieurs tâches :

a) **algorithmique & Data (Python)** : l'assemblage des différents points d'échantillonnage peuvent être affectés par des erreurs de positionnement des antennes sur les guides. Cela nécessite l'utilisation d'un algorithme pour restituer le spectre souhaité. L'étudiant devra optimiser son développement nécessitant la connaissance du langage Python.

b) **caractérisation de composants photoniques** : la caractérisation du dispositif doit être complétée pour enrichir la table de calibration permettant de valider l'algorithme précédent. L'étudiant sera formé pour injecter des sources optiques dans une puce en optique intégrée sur verre ainsi que sur le système de détection associé à cette puce. Différentes sources optiques seront utilisées allant de sources lasers fines accordables, à des sources large-bandes filtrées éventuellement en utilisant un filtre passe-bande accordable.

c) **simulation optique** : le logiciel COMSOL peut aussi être utilisé pour simuler le comportement des nano-antennes pour examiner l'étendue du signal optique rayonné sur les pixels du détecteur, afin de mieux relier les résultats expérimentaux avec les modèles.

d) **Vers une application environnementale** : il faut rendre opérationnel le spectromètre pour les mesures de gaz en utilisant des principes interférométriques simples pour injecter dans SWIFTS un spectre en « raies d'émission » apparentes plutôt qu'en « raies d'absorption » (difficiles à distinguer dans un fond continu intense). Pour des premiers tests, des cellules contenant différents gaz (CO₂, CH₄) seront utilisées, en les couplant par fibre optique à notre spectromètre.

La reconstruction d'un spectre de haute résolution spectrale et de large étendue spectrale, grâce à un concept de boucle optique multiplexant plusieurs guides n'a jamais été démontrée expérimentalement. Le passage de ce jalon permet d'ouvrir de nombreuses versions du spectromètre et d'obtenir des performances encore non atteignables dans un volume aussi petit. L'intégration à plus long terme dans la même puce de l'étape de conversion du spectre d'absorption en un spectre similaire « d'émission », permettrait de transformer radicalement la sensibilité du spectromètre intégré, rendant possible son utilisation dans des applications bien plus variées que la caractérisation de lasers.

L'étudiant bénéficiera d'un environnement scientifique d'excellence et participera donc à la toute première démonstration expérimentale de ce concept multi-guides, issu de brevets majeurs et connecté au monde industriel. Un sujet de thèse est envisagé à la suite de cette étude de stage.

[1] E. Le Coarer, S. Blaize et al., "Wavelength-scale stationary-wave integrated Fourier-transform spectrometry", Nat. Phot., Vol.1, pp. 473--478, (2007).

[2] A. Morand, I. Heras, G. Ulliac, E. Le Coarer, P. Benech, N. Courjal, G. Martin, "Improving the vertical radiation pattern issued from multiple nano-groove scattering centers acting as an antenna for future integrated optics Fourier transform spectrometers in the near IR", Optics Letters. 44(3), (2019).

[3] A. Morand, N. Mestre, S. Baccar, M. Irar, G. Grosa, A. Bouchard, P. Benech, and G. Martin, "Innovative monolithic integrated optic SWIR SWIFTS without lens between unprotected InGaAs area image sensor and optical glass chip surface," Opt. Express **33**, 34030-34040 (2025).

Informations complémentaires : 5 mois de stage financés