

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2026-06**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DOTA/SLS

Tél. : 01 80 38 64 57

Responsable(s) du stage : Thomas LE BEUX et
Bastien ROUZE

Email : thomas.le_beux@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Combinaison cohérente, Télécommunications spatiales

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

Intitulé : Combinaison cohérente de signaux à modulation télécom et multiplexé en longueur d'onde à l'aide d'un Multi plane Light Converter.

Sujet :

Au fil des années, la quantité de données transmises à l'échelle mondiale ne cesse d'augmenter. Pour répondre à cette demande croissante, de nouveaux réseaux de télécommunications par satellites de très haut débit sont en cours de développement. L'ONERA travaille depuis plusieurs années sur le développement de la station sol FEELINGS pouvant réaliser un lien vers un satellite géostationnaire d'une distance de plus de 30 000 km. Pour augmenter le débit télécom, nous devons mettre en place de nouvelles techniques tel que le multiplexage en longueur d'onde (WDM). Cependant, pour pouvoir réaliser de tels liens, il faut composer avec la turbulence atmosphérique ainsi que la divergence, qui contraignent le bilan de liaison. C'est pour cela qu'il faut pouvoir générer des sources suffisamment puissantes, de l'ordre de quelques dizaines de Watts par canal. Une source WDM constituée d'un grand nombre de canaux doit alors dépasser la centaine de Watt. La réalisation d'amplificateurs au-delà de quelques dizaines de Watts demeure aujourd'hui un enjeu technologique majeur, notamment à cause des effets non linéaire et thermiques.

La combinaison cohérente est une approche innovante pour pallier cette limitation. Cette technique repose sur la réalisation d'interférences constructives de plusieurs amplificateurs pour dépasser la puissance d'un amplificateur unique. Pour maintenir ces interférences constructives, il faut asservir la phase de chaque voie. Dans le cas des faisceaux WDM-télécom qui disposent d'une très grande largeur spectrale ($\sim 4 THz$), la mise en phase seule ne suffit pas : il faut y ajouter la synchronisation. Concrètement, il faut s'assurer que les longueurs physiques des voies soient égalisées à la dizaine de microns près.

A l'ONERA un dispositif expérimental de combinaison cohérente sur 8 voies a été développé [1]. Ce montage original inclut la possibilité d'égaliser et de stabiliser la longueur des voies. En utilisant ce montage et en combinant à l'aide de coupleurs fibrés, nous avons démontré qu'il était possible de faire interférer constructivement 8 voies portant des signaux WDM-télécom. Cependant, cette technique de combinaison, utilisée pour la démonstration, n'est pas compatible avec la forte puissance. L'objectif du stage consiste à mettre en place et étudier un système de combinaison en espace libre compatible avec la forte puissance. A cette fin, nous disposons d'un module industriel 'Multi plane Light Converter' (MPLC). Le MPLC permet de convertir les modes fondamentaux de 7 fibres en 7 différents modes spatiaux qui, lorsque qu'on les combine, forment un faisceau gaussien. Cette technique de combinaison permet d'obtenir de bonnes efficacités de combinaison ($\sim 80 \%$) tout en pouvant supporter de fortes puissances.

Dans un premier temps, le stagiaire devra se familiariser avec la notion de combinaison cohérente, le principe du MPLC ainsi que les techniques de mise en phase et de synchronisation des signaux multispectraux. Pour cela, il réalisera une étude bibliographique ainsi que des simulations du système de combinaison.

Par la suite, le stagiaire travaillera sur le système expérimental de combinaison entièrement fibré décrit précédemment. Tout d'abord, il se familiarisera avec le dispositif de base. Une fois le système maîtrisé, le stagiaire devra y ajouter le MPLC ainsi que tous les composants en espace libre nécessaires. Le stagiaire

réalisera des mesures de performances de combinaison et adaptera les paramètres du système afin d'obtenir la meilleure qualité de combinaison possible.

Pour finir, le stagiaire réalisera, avec la nouvelle source combinée, un lien de télécommunication en espace libre sur une courte distance. Des mesures de transmission télécom permettront d'évaluer la compatibilité du dispositif de combinaison à transmettre un signal télécom et WDM.

[1] T. Le Beux, L. Bramerie, T. Chartier, M. Gay, L. Lombard, P. Pichon, and B. Rouzé, "Coherent beam combining of wavelength-division multiplexed telecom signals: toward high-power and high-bit-rate free-space optical telecommunications," Opt. Express **33**, 5600 (2025).

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

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 (6 mois sur dérogation uniquement)

Période souhaitée : de février à Juillet 2026

PROFIL DU STAGIAIRE

- | | |
|--|---|
| Connaissances et niveau requis : <ul style="list-style-type: none">• Optique et télécommunications• Simulations numérique (python)• Intérêt pour l'expérimentation | Ecoles ou établissements souhaités :
Université ou école d'ingénieur mention photonique et/ou télécommunications |
|--|---|