

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2025-13**  
 (à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DOTA

Tél. : +33 5 62 25 26 15

Responsables du stage :  
 Nicolas Cézard et Gérald Lemineur

Email : [nicolas.cezard@onera.fr](mailto:nicolas.cezard@onera.fr)

### DESCRIPTION DU STAGE

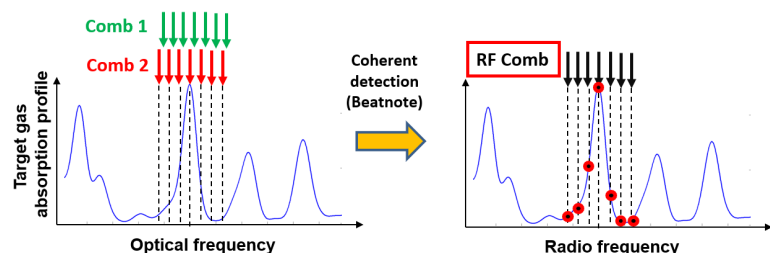
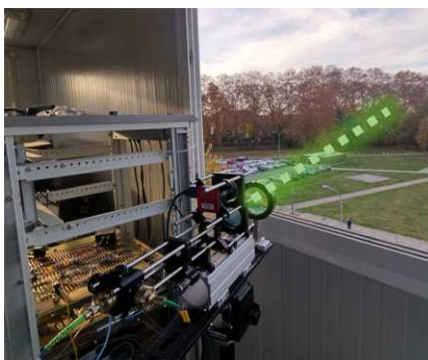
Thématique(s) : Laser, Lidar, Peigne de fréquence, Télémétrie, Gaz à effet de serre

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

#### Intitulé : Amélioration d'un Lidar à peigne de fréquence pour la mesure de gaz à effet de serre et la caractérisation d'objets distants

La technologie LIDAR (Light Detection and Ranging) permet de mesurer à distance, à l'aide d'un laser, certaines propriétés physiques de l'atmosphère ou bien d'objets distants. L'Onera développe des systèmes lidars depuis plusieurs décennies, sur les sites de Palaiseau et de Toulouse. A Toulouse, un lidar cohérent à peigne de fréquences (*frequency comb*), illustré ci-dessous, a été développé ces dernières années. Ce lidar est capable d'émettre simultanément plusieurs fréquences optiques régulièrement espacées, ce qui permet par exemple de faire de la spectroscopie instantanément multi-fréquence des gaz atmosphériques. La séparation des fréquences en réception s'effectue au moyen d'une détection dite cohérente, c'est-à-dire par mélange interférométrique, avec un second peigne de référence (*dual-comb detection*). Cela permet de transposer le peigne optique de sondage dans l'espace des radiofréquences, lesquelles peuvent être ensuite facilement numérisées et analysées séparément.

Les applications possibles de ce type de lidar sont nombreuses, allant de la mesure de concentration des gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O...) dans l'atmosphère [1], à la caractérisation de certaines propriétés d'un objet distant, comme sa macro-rugosité [2], sa distance, ou encore sa vitesse relative au lidar.



Gauche : Photographie du lidar à peigne de fréquence de l'Onera-Toulouse. Droite : principe de la détection « dual-comb » et de la spectroscopie multi-fréquence d'un gaz atmosphérique

Le stage proposé consistera dans un premier temps à apporter plusieurs améliorations techniques au démonstrateur lidar actuel, afin d'augmenter ses performances de mesure. Il s'agira en particulier (i) de mettre en place une méthode d'acquisition et de traitement/visualisation des signaux lidar plus rapide qu'aujourd'hui, (ii) de tester une nouvelle architecture pour faciliter la visée. Des mesures lidar de gaz atmosphérique (H<sub>2</sub>O) et de télémétrie à temps de vol seront réalisées pour qualifier les nouvelles performances obtenues.

Dans un second temps, le stage s'orientera vers des sujets de recherche plus ouverts, qui pourront servir d'introduction au sujet de thèse proposé par la suite. On s'intéressera notamment à l'étude et à la mise en œuvre de techniques de modulation spectrales et temporelles spécifiques, dans le but d'améliorer les

performances de caractérisation d'un objet distant (rugosité, distance, vitesse). Pour ce faire, l'étudiant(e) étudiera, par simulation et par la réalisation d'expériences au laboratoire, différents formats possibles de modulation optique et de démodulation du signal lidar, en phase ou en amplitude.

Au cours de ce stage, l'étudiant(e) développera des compétences en instrumentation optique dans le proche infrarouge (lasers semiconducteurs, optique fibrée, modulateurs, amplificateurs, détecteurs...), en pilotage d'instruments (Python), ainsi qu'en modélisation physique (Matlab ou Python).

### Références

[1] - <https://doi.org/10.1364/OE.515543> (article en accès libre)

[2] - <https://doi.org/10.1364/oe.457064> (article en accès libre)

### Méthodes à mettre en oeuvre :

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique                | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée     | <input type="checkbox"/> Travail de documentation                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input checked="" type="checkbox"/> 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 : 1<sup>er</sup> mars au 31 juillet 2025

### PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Aptitudes expérimentales en optique, connaissances en instrumentation générale et programmation (Python, Matlab)

Connaissances théoriques (laser, optique ondulatoire, statistiques) et gout pour la physique sont nécessaires pour la seconde partie + thèse possible

Ecoles ou établissements souhaités :

Ecoles d'ingénieur, Master 2