

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Métrologie Raman cohérente très haute cadence pour l'étude des écoulements réactifs ultra-brefs et hors équilibres

Référence : **PHY-DPHY-2026-11**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2026

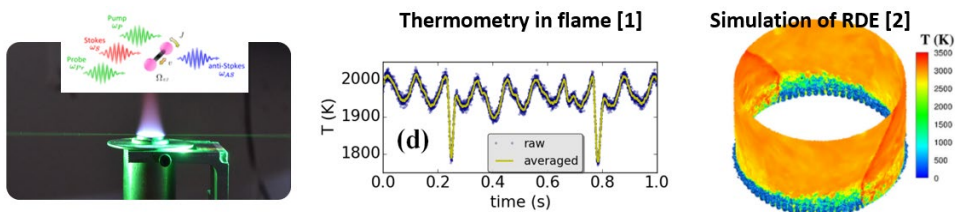
Date limite de candidature : Juin 2026

Mots clés : Spectroscopie Raman, CARS, laser femtoseconde, Machine Learning, Réseau de Neurone, Combustion, Energétique, plasma, Détonation rotative

Profil et compétences recherchées Ingénieur ou M2 avec compétences en spectroscopie, laser, IA

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

La spectroscopie par Diffusion Raman Anti-Stokes Cohérente (CARS) est une méthode de diagnostic optique non linéaire qui permet de sonder les niveaux ro-vibrationnels des molécules d'un milieu. L'étude du spectre CARS renseigne sur la distribution de population des états, obéissant à une loi de Boltzmann à l'équilibre, et permet de mesurer la température de façon précise et non invasive. Le banc de thermométrie CARS mis au point à l'ONERA [1] exploite des impulsions lasers ultra-courtes (régime hybride femto/pico-seconde) et permet de sonder les milieux réactifs comme les combustions et les plasmas. Nous prévoyons d'augmenter la cadence de mesure d'un ordre de grandeur par rapport à l'état-de-l'art, afin d'apporter une compréhension nouvelle des phénomènes turbulents ou transitoires qui se produisent dans les écoulements, comme les combustions à détonation rotative (RDE) [2] qui représentent une avancée majeure potentielle dans la propulsion aéronautique et spatiale. Dans ces milieux complexes soumis à des variations très rapides de pression et température, et localement hors équilibre thermodynamiques, le sondage *in-situ* des phénomènes physique à l'œuvre demeure un défi expérimental nécessaire pour confronter les modèles et optimiser les performances.



L'objectif de la thèse porte sur le développement et la caractérisation d'un nouveau banc CARS aux performances en rupture avec l'existant en tirant profit de nouvelles générations de sources laser et de détecteurs rapides. Il s'agira de démontrer la faisabilité expérimentale d'une mesure à très haute cadence et de quantifier son incertitude en fonction des conditions expérimentales. Pour traiter les larges volumes de données collectés, un défi consistera à rendre plus performante l'analyse des spectres, en s'inspirant de méthodes d'intelligence artificielle adaptées aux spécificités de l'analyse spectrale (réseaux de neurones convolutifs prometteurs) ou de nouveaux algorithmes de simulation spectrale «ultrafast» [3].

On démontrera d'abord la faisabilité de mesures sur les espèces chimiques d'intérêt l'étude des RDE, en conditions représentatives de température et pression : N_2 en tant que traceur présent dans l'air permettant de remonter à l'efficacité thermique du moteur, H_2 en tant que réactif injecté et résiduel en sortie de chambre, et CO en tant que produit de combustion. Pour ce dernier, le modèle spectroscopique devra être validé avec des données expérimentales obtenues en environnement contrôlé. Pour permettre la mesure d'événements ultra-brefs liées au passage de l'onde de choc et aux processus chimiques, on étudiera la capacité du diagnostic à réaliser une mesure simultanée en plusieurs coordonnées azimutales [4] et à résoudre le comportement transitoirement hors-équilibre thermodynamique du milieu, répondant à une statistique éventuellement non-Boltzmanienne. Le diagnostic peut être évalué dans des plasmas où le hors-équilibre est contrôlé spatialement et temporellement [5,6]. Une démonstration au sein d'une chambre de détonation de recherche pourra être envisagée en synergie avec des projets internes de l'ONERA.

[1] J. Barros, M. Scherman et al, Opt. Express (2020) 28:34656

[2] B. Le Naour, D. Davidenko et al, Frontiers in aerospace engineering (2023) 2:1152429

[3] F. Mazza, D. van den Bekerom, Communications Chemistry (2025) 8:3

[4] E. Lin, M. Scherman et al, Optics Express (2023) 31:11899

[5] S. Stepanyan et al, Plasma Sources Sci. Technol. 26 (2017) 04LT01

[6] G.D. Stancu et al, J. Phys. D : Appl. Phys. 49 (2016) 435202

Collaborations envisagées

ONERA/DMPE, ONERA/DTIS, TNO, Centrale Supélec

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Physique, instrumentation, environnement, espace

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Michael Scherman

Tél. : 01 80 38 61 90 Email : michael.scherman@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Stancu Gabi

Laboratoire : CentraleSupélec / EM2C

Tél. :

Email :

gabi-daniel.stancu@centralesupelec.fr

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