

## Référencement sur cellule mince d'un peigne de fréquences métrologique compact à 1.55 $\mu\text{m}$

La thèse se déroulera au Laboratoire de Physique des Lasers et sera co-dirigée par A. Laliotis (équipe Spectroscopie Atomique aux Interfaces - SAI) et F. Du-Burck (équipe Molécules, Métrologie et Tests Fondamentaux - MMTF). Elle portera sur la spectroscopie de gaz moléculaires confinés en cellules d'épaisseur micro et nanométrique et leur mise en œuvre pour la réalisation d'une référence de fréquence compacte. Le complément de financement fait l'objet d'une demande auprès de l'Agence de l'innovation de défense (AID) de la DGA (Thématique prioritaire « Photonique »).

Nous avons développé une référence de fréquence basée sur une transition moléculaire d'acétylène à 1,55  $\mu\text{m}$  détectée en cellule par spectroscopie de saturation [1]. La stabilité de cette référence ( $10^{-13}$  entre 0.1 et 40000 s) est transférée à un peigne de fréquences à semi-conducteurs. La maturité technologique des composants développés pour les télécommunications optiques à 1,5  $\mu\text{m}$  permet d'envisager la réalisation de dispositifs entièrement fibrés. Notamment, des références de fréquence fibrées portables associant compacité, stabilité et exactitude seraient de tout premier intérêt dans de nombreux domaines (systèmes de navigation embarqués, métrologie, spectroscopie à haute résolution, manipulation optique d'atomes et de molécules, imagerie haute résolution, expériences de physique fondamentale dans l'espace, communications "tout optique", etc.). Cela nécessite de remplacer la cellule d'acétylène conventionnelle par un dispositif moins encombrant et moins fragile.

L'objectif de la thèse est d'explorer les possibilités ouvertes par l'utilisation des cellules minces microscopiques pour la réalisation d'une référence métrologique de grande compacité. Les collisions des molécules avec les parois confinent leur mouvement à des distances plus petites que la longueur d'onde d'excitation et conduit à des largeurs de raie sub-Doppler détectées en spectroscopie linéaire (rétrécissement Dicke [2]). Deux volets seront envisagés au cours de ce travail.

Le premier volet porte sur les aspects fondamentaux de la spectroscopie des molécules confinées et sur les effets de l'interaction molécule-surface. On étudiera les transitions rovibrationnelles sub-Doppler de  $\text{NH}_3$  et  $\text{SF}_6$  à l'aide d'un laser QCL ( $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ ) dans une cellule d'épaisseur  $L = 5 \mu\text{m}$  correspondant à  $\sim \lambda/2$ . On s'intéressera ensuite à sonder des molécules dans des cellules minces d'épaisseur nanométrique (entre 100-50nm) à fin d'effectuer des mesures spectroscopiques de l'interaction Casimir-Polder entre une molécule et une surface. Les calculs théoriques de l'interaction molécule-surface pour ces molécules simples sous forme gazeuse ( $\text{NH}_3$  et  $\text{SF}_6$ ), pourront être menés en collaboration avec Benoit Darquié (LPL, groupe MMTF) et le groupe de S. Scheel à U. Rostock.

Le deuxième volet porte sur l'exploitation des signaux sub-Doppler observés en cellules minces pour la réalisation d'une référence de fréquence aux longueurs d'onde télécom avec un dispositif compact et simplifié par rapport au dispositif conventionnel utilisant les signaux d'absorption saturée. On réalisera la spectroscopie linéaire de transmission de la raie P(16) d'acétylène à 1542 nm dans une cellule d'épaisseur  $\sim 750 \text{ nm}$  (correspondant à  $\lambda/2$ ). Le doctorant développera un banc de spectroscopie linéaire en cellule mince remplie d'acétylène. Il étudiera la stabilité, l'exactitude et identifiera les effets systématiques. Il mènera l'étude détaillée des facteurs limitants le rapport signal-à-bruit des signaux détectés. Il devra pour cela tester des géométries en multipassage afin d'augmenter la longueur d'interaction effective et permettre l'amélioration du rapport signal-à-bruit des signaux détectés. Il optimisera le nombre de passages dans la cellule ainsi que la géométrie du dispositif d'interrogation afin de déterminer les conditions de réalisation d'une référence basée sur cette approche permettant d'atteindre une compacité compatible avec la réalisation d'un dispositif fibré transportable.

[1] K. Manamanni *et al.*, CLEO Europe 2017, Munich, Allemagne (24-28 juin 2019).

[2] R. H. Romer and R. H. Dicke, Physical Review **99**, 532 (1955).

**Mots clés :** interaction molécule-surface, métrologie des fréquences optiques, spectroscopie moléculaire, effet Dicke

**Contacts :** Athanasios Laliotis (+33 1 49 40 39 28, [athanasios.laliotis@univ-paris13.fr](mailto:athanasios.laliotis@univ-paris13.fr)) ; Frédéric Du-Burck (+33 1 49 40 33 41, [frederic.du-burck@univ-paris13.fr](mailto:frederic.du-burck@univ-paris13.fr))