# Vers une spectroscopie moléculaire ultra-résolue et traçable au système international d'unités (SI) dans l'infrarouge moyen

# Towards ultra-high resolution SI-traceable molecular spectroscopy in the mid-infrared

**Porteur(s) :** C. Janssen, H. Elandaloussi (LERMA)
**Partenaire(s) :** M. Manceau, B. Darquié (LPL), L. Hilico, B. Argence (LKB)

**Résumé du projet en Français :**
La spectroscopie moléculaire à ultra-haute résolution spectrale a des applications fascinantes allant de la physique fondamentale et la métrologie à l'astrophysique, la télédétection et les sciences de la Terre. Les lasers à cascade quantique stabilisés sur des peignes de fréquences optiques (QCL/OFC) avec une traçabilité aux étalons primaires de fréquence sont une technologie révolutionnaire, récemment démontrée au LPL (Laboratoire de Physique des Lasers) et en cours de déploiement au LERMA (Laboratoire d'Etudes du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et Atmosphères) et au LKB (Laboratoire Kastler Brossel). Les QCL/OFC offrent un niveau de précision et de résolution sans précédent dans l'infrarouge moyen. La nécessité du contrôle ultime de la fréquence est évidente pour la physique fondamentale (pour tester des symétries fondamentales, par exemple). Curieusement, la télédétection atmosphérique pose des exigences similaires, car elle est souvent limitée par la qualité des données spectroscopiques, ce qui entraîne des biais systématiques dans la détermination de l'abondance des espèces atmosphériques. En fait, des précisions modérées sur les intensités de raies de 10-2 à 10-4 en valeur relative nécessitent un contrôle sur la fréquence de 5 à 6 ordres de grandeur meilleur ce qui est hors de portée des instruments traditionnels. Ce projet a pour objectif l'étude et l'amélioration les limitations actuelles de cette nouvelle technologie, et son exploitation à des premières mesures sous-Doppler de positions de raies de l'ozone autour de 9.5 µm.

**Abstract in English:**
Ultra-high spectral resolution molecular spectroscopy has fascinating applications ranging from funda- mental physics and metrology to astrophysics, remote sensing and Earth sciences. Quantum cascade lasers stabilized on optical frequency combs (QCL/OFC) with traceability to primary frequency standards is a breakthrough technology of this field that has recently been demonstrated at LPL (Laboratoire de Physique des Lasers) and is currently being deployed at LERMA (Laboratoire d'Etudes du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et Atmosphères) and LKB (Laboratoire Kastler Brossel). QCL/OFC offer an unprecedented level of precision and resolution in the mid-infrared (MIR), the so-called molecular fingerprint region. The need for ultimate frequency control is obvious for fundamental physics such as testing symmetries or measuring fundamental constants and their possible variations. Atmospheric monitoring has surprisingly a similar requirement. Remote sensing measurements are often limited by the quality of spectro- scopic data, resulting in systematic biases in the determination of atmospheric species. In fact, moderate relative accuracies in molecular line strengths of 10-2 to 10-4 require a 5-to-6-orders-of-magnitude better control on the frequency and investigations of line shape effects, which are out of reach of traditional spectrometers. In this project, we explore and improve the current limits of this new and exciting technology and apply it to high-precision line position and shift determinations using sub-Doppler spectroscopy of ozone.