

Stabilisation en fréquence de lasers à cascade quantique dans l'infra-rouge moyen

Frequency stabilization of quantum cascade lasers in mid infra-red

Porteur(s) : B. Darquié (LPL)

Partenaire(s) :

Résumé du projet en Français :

Notre groupe (MMTF, Métrologie, Molécules et Tests Fondamentaux) possède une expertise en spectroscopie moléculaire à haute résolution, pour des applications en métrologie ou en physique fondamentale (mesure de la constante de Boltzmann, effet de violation de la parité,...). Pour lever la contrainte forte que constitue le domaine spectral étroit de nos lasers à CO₂, la solution des lasers à cascade quantique (QCL) est très prometteuse pour l'ensemble de l'infrarouge moyen. Nous développons donc un spectromètre compact et accordable à base de QCL. De manière à approcher ou dépasser les performances métrologiques de nos lasers à CO₂ actuels, un contrôle ultra-précis de la fréquence du laser est visé. Pour ce faire, plusieurs pistes sont explorées : asservissement en phase (par voie électronique ou par injection optique) sur un laser à CO₂ lui-même stabilisée, asservissement en fréquence sur une raie moléculaire sous-Doppler, asservissement en phase sur un peigne de fréquence lui-même stabilisé sur une référence ultra-stable.

Résultats marquants :

Nous utilisons des QCL DFB émettant autour de 970 cm⁻¹ (10.3 μm). La première étape a consisté à développer une source de courant bas bruit afin de réduire au maximum la contribution de la source au bruit de fréquence du QCL. Nous avons ensuite développé un dispositif d'analyse large bande de ce bruit de fréquence : le QCL est couplé à une cellule remplie d'un gaz d'ammoniac à basse pression et sa fréquence est accordée sur le flanc de la raie d'absorption moléculaire. Les fluctuations de fréquence du QCL sont ainsi converties en fluctuations d'amplitude du faisceau transmis. Nous avons également mesuré la largeur de la raie d'émission du QCL en faisant battre la fréquence de ce laser avec celle d'un de nos lasers à CO₂ stabilisé en fréquence sur un signal d'absorption saturée de la molécule OsO₄. Nous avons ainsi montré qu'un QCL pouvait présenter un bruit de fréquence remarquablement bas, se traduisant par des largeurs de quelques dizaines de kilohertz. Nous avons ensuite asservi en phase un QCL sur un laser à CO₂ stabilisé. La stabilité et l'exactitude de cette référence sont transférées au QCL. Ceci a pour conséquence, à la fois d'affiner la largeur d'émission au niveau de quelques dizaines de hertz, et de garantir une exactitude de ~100 Hz, un record à ce jour. Nous avons également montré que ce dispositif de stabilisation était compatible avec un balayage en fréquence de la QCL sur plusieurs gigahertz. Le QCL est en fait asservi sur l'une des bandes latérales obtenues après passage du faisceau du laser à CO₂ dans un modulateur électro-optique. Cette bande latérale est balayable sur ~10 GHz. Une fois asservi, le QCL a été utilisé pour enregistrer des spectres à haute-résolution de NH₃ et du méthyltrioxorhénium (MTO) sur plusieurs gigahertz, deux espèces d'intérêt pour les mesures de précisions effectuées dans le groupe MMTF. Le NH₃ est notre molécule de choix pour la mesure de la constante de Boltzmann par spectroscopie moléculaire, et le MTO est un complexe organo-métallique achiral dont les dérivés chiraux sont des candidats idéaux pour un test de violation de la parité.

Publications and communications linked with the funded project:

Peer-reviewed articles:

P.L.T. Sow, S. Mejri, S.K. Tokunaga, O. Lopez, A. Goncharov, B. Argence, C. Chardonnet, A. Amy-Klein, C. Dausy and B. Darquié, *A widely tunable 10-μm quantum cascade laser phase-locked to a state-of-the-art mid-infrared reference for precision molecular spectroscopy*, soumis à *App. Phys. Lett.* (2014).

S. Mejri, S.K. Tokunaga, L. Letouzé, P.L.T. Sow, A. Amy-Klein, C. Chardonnet, C. Daussy, and B. Darquié, *Improved measurement of rovibrational saQ(6,X) (X = 1 - 3) transition frequencies of NH₃ using a quantum cascade laser at 10 μm*, en préparation (2014).

Oral communications:

B. Darquié, F. Auguste, S.K. Tokunaga, A. Shelkovnikov, C. Daussy, A. Amy-Klein et C. Chardonnet, *New perspectives on the search for a parity violation effect in chiral molecules*, 6th International Symposium on Modern Problems of Laser Physics (MPLP'2013), Novosibirsk, Russie (25-31 août 2013). (invitée)

P.L.T. Sow, B. Chanteau, F. Auguste, S. Mejri, S.K. Tokunaga, B. Argence, O. Lopez, A. Goncharov, C. Chardonnet, A. Amy-Klein, C. Daussy, B. Darquié, D. Nicolodi, M. Abgrall, Y. Le Coq, G. Santarelli, *QCL- and CO₂ laser-based mid-IR spectrometers for high accuracy molecular spectroscopy*, International Symposium on Molecular Spectroscopy 68th Meeting, Columbus, USA (17-21 juin 2013).

S. Mejri, P.L.T. Sow, O. Lopez, S.K. Tokunaga, A. Goncharov, B. Argence, B. Chanteau, C. Chardonnet, A. Amy-Klein, B. Darquié and C. Daussy, *Quantum cascade laser spectrometer for frequency metrology and high accuracy molecular spectroscopy around 10 μm*, 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe (CLEO 2013) and International Quantum Electronics Conference (IQEC 2013), Munich, Allemagne (12-16 mai 2013).

B. Darquié, P. L. T. Sow, S. Mejri, A. Goncharov, A. Amy-Klein, C. Chardonnet, C. Daussy, *Développement d'un spectromètre laser à cascade quantique pour la spectroscopie et la métrologie*, Journées de l'Optique 2012, Cargèse, France (17-19 octobre 2012).

B. Darquié, *New perspectives on the search for a parity non-conservation effect in chiral molecules*, séminaire invité au Laboratoire de Chimie et Physique Quantiques, Université Paul Sabatier, Toulouse (6 avril 2012).

Pictures with captions (curve, photo, scheme ...):

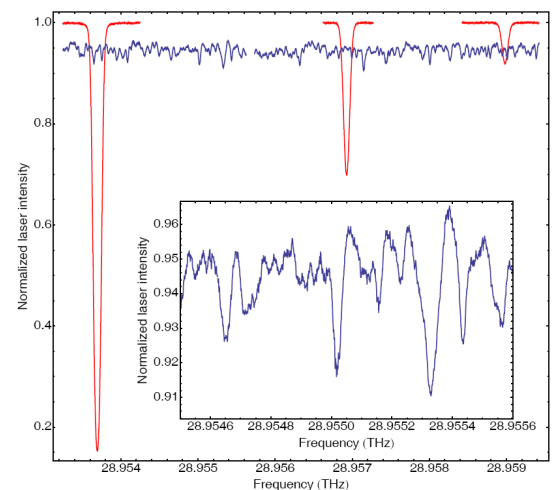
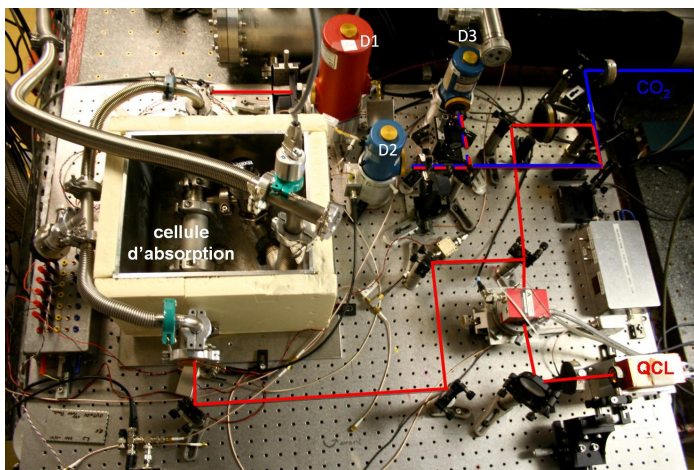


Fig. 1 : Dispositif expérimental. La cellule d'absorption (associée au détecteur D1) est utilisée à la fois pour la caractérisation du bruit de fréquence du QCL libre, et pour la spectroscopie à haute résolution. Le battement du QCL avec le laser à CO₂ sur le photodétecteur D2 est utilisé pour caractériser la raie d'émission du QCL libre, et pour l'asservir en phase sur le laser à CO₂ stabilisé.

Fig. 2 : Spectres d'absorption linéaire de NH₃ (courbe rouge) et du MTO (courbe bleue), enregistrés sur plus de 6 GHz avec un QCL (de quelques dizaines de hertz de largeur de raie d'émission) asservi en phase sur un laser à CO₂ stabilisé. De gauche à droite, sur le spectre d'ammoniac, les trois raies rovibrationnelles saQ(6,3) (celle sondée dans notre expérience de mesure de kB), saQ(6,2) et saQ(6,1) du mode de vibration ν₂ de 14NH₃. L'insert est un zoom sur le spectre de MTO.