

Développement d'une source laser IR & visible, compacte, fibrée, stabilisée en fréquence

Proposant : Laboratoire SYRTE

Financement : CNES + Demande Cofinancement en cours.

Encadrement : P. Tuckey & O. Acef

Lieu : LNE-SYRTE / Observatoire de Paris

Contacts : philip.tuckey@obspm.fr; Tél. 01 40 51 22 46

ouali.acef@obspm.fr; Tél. 01 40 51 20 50

Le contexte

Le laboratoire SYRTE développe depuis de nombreuses années, des projets de lasers stabilisés, de hautes performances métrologiques, pour des applications tant terrestres que spatiales, et émettant dans une large gamme du spectre électromagnétique, allant du domaine IR à l'UV.

Par ailleurs, les lasers stabilisés en fréquence, dans des configurations instrumentales très compactes, sont impliqués et/ou requis dans de nombreuses missions spatiales, telles-que celles dédiées à la mesure du champ gravitationnel terrestre, à la détection d'ondes gravitationnelles, à la géodésie spatiale, la spectroscopie, aux communications optiques inter-satellites ou bord-sol (GRACE Follow on, LISA, GRICE, etc ...).

Cette proposition de thèse s'inscrit dans cette perspective et a pour objectif de poursuivre un travail qui a démarré depuis plusieurs années et qui a pour objectif de développer un laser infrarouge stabilisé en fréquence, de grandes performances, très compact et majoritairement fibré. Ce développement est mené avec le soutien financier du CNES, et associe aussi un partenariat industriel. Le projet s'appuie sur un développement original qui permet de relier de manière simple et efficace les domaines IR ($\sim 1.5 \mu\text{m}$) et vert ($\sim 514 \text{ nm}$) du spectre optique, par un processus de triplage de fréquence novateur. De cette façon, il nous a été possible d'associer des lasers Telecom très compactes et fibrées (type diode laser Butterfly @ $1.54 \mu\text{m}$) de grande pureté spectrale intrinsèque, à des raies d'absorption de l'iode moléculaire (@ 514 nm) dotées d'un facteur de qualité très élevé ($> 10^9$). Ces deux facteurs, associés ensemble, permettront de développer une génération nouvelle de lasers stabilisés de grandes performances métrologiques.

Un premier travail de thèse (2014-2017) basé sur cette association laser Telecom/vapeur moléculaire a permis de démontrer une stabilité de fréquence remarquable, jamais conférée auparavant à une diode laser émettant au voisinage de 1.5 μm stabilisé sur une raie atomique. Le niveau des fluctuations résiduelles de fréquence atteint est de 3.5×10^{-14} à 1s, et un minimum de 6×10^{-15} après 40 s d'intégration. D'un point de vue instrumental, cette première thèse s'est appuyée sur le développement d'un laser triplé en fréquence partiellement fibré ($\omega \rightarrow 3\omega$), et un banc de spectroscopie de l'iode moléculaire à 514 nm opérant en espace libre.

Le travail de thèse (2017-2020)

Le doctorant sera amené à poursuivre le travail de stabilisation en fréquence de sources laser à 1.5 μm , avec comme objectif le développement d'un démonstrateur totalement fibré, très compact. Le volume du dispositif optique visé est < 10 litres, et le niveau d'instabilité de fréquence résiduelle attendu pour ce dispositif est $< 7 \times 10^{-14}$ à 1s. Le dispositif s'appuiera sur une nouvelle génération de laser Telecom triplé en fréquence, totalement fibré, développé en collaboration avec un industriel francilien. La cellule contenant la vapeur d'iode très compacte est en cours de développement en partenariat avec un laboratoire Tchèque. Ces deux outils, laser Telecom triplé en fréquence et cellule d'iode, tous deux optiquement fibrés, seront disponibles au démarrage de la thèse (Oct. 2017).

La technique de stabilisation en fréquence utilisée, dite sub-Doppler, est l'absorption saturée. Elle est basée sur l'utilisation de deux faisceaux laser contra-propageants dans une cellule contenant une vapeur atomique, associée à la méthode bien maîtrisée de transfert de modulation de fréquence. La modulation en phase (ou fréquence), appliquée à un faisceau laser pompe est transférée à un faisceau laser contra-propageant (dit sonde), non modulé. Les raies d'absorption saturée de la vapeur, qui servent de discriminant de fréquence, sont alors détectées sur un fond exempt des effets de l'absorption linéaire. C'est cette approche qui a été utilisée à ce jour dans le cadre du projet en mode semi-fibré. La modulation de phase est dans ce cas appliquée sur le faisceau pompe à 514 nm.

L'objectif de développer un système totalement fibré, très compact, nous amène à déporter la modulation de phase (fréquence) sur le faisceau IR, avant le processus de triplage de fréquence. De plus, les composants opto sur lesquels on applique la modulation possèdent une maturité technologique supérieure à ceux disponibles dans le visible, et sont déjà impliqués dans de nombreux projets spatiaux. Afin de contourner la difficulté à utiliser des signaux atomiques détectés sur un fond d'absorption linéaire, susceptible d'altérer la stabilité de fréquence à moyen/long terme, nous proposons d'utiliser une approche nouvelle pour ce projet de stabilisation. Celle-ci utilisera deux harmoniques impairs successifs des raies de saturation atomiques selon une méthode

que le doctorant adaptera, en même temps qu'il contribuera au développement du nouveau dispositif fibré. Il ou elle aura donc la charge de mettre en place le banc optique fibré et d'évaluer les performances de stabilité de fréquence avec la nouvelle technique de détection des signaux atomiques. Il investiguera aussi l'influence de divers paramètres expérimentaux sur les raies de l'iode qui constituent le discriminant de fréquence, afin de conférer une stabilité de fréquence dans la gamme de 10^{-15} en valeur relative pendant des temps d'intégration $> 1\ 000$ s. Ce niveau de performance constitue un véritable enjeu pour les projets spatiaux cités précédemment.

Connaissances de base souhaitées:

Physique atomique, optique gaussienne, optique linéaire, électronique de base

Les étudiant(e)s intéressé(e)s peuvent consulter cette offre de thèse sur le site du CNES, ainsi que les conditions et modalités de candidature.

<https://cnes.fr/fr/consulter-les-offres>

Ou

<https://cnes.fr/fr/les-ressources-humaines-du-cnes/developpement-dune-source-laser-ir-visible-compacte-fibree>

ATTENTION

**La date limite de dépôt des candidatures au CNES est fixée au 31 mars
2017**

Prenez contact avec les encadrants bien avant cette date.