

Thèse CIFRE : Laser Brillouin à fibre émettant dans le visible pour la manipulation d'atomes

Contexte :

L'intégration de dispositifs quantiques (horloge, capteurs, calcul) nécessite des lasers visibles, de très haute pureté spectrale, compacts et à prix compétitifs. Aujourd'hui les solutions de lasers visibles pour le quantique sont coûteuses et encombrantes.

Le projet « QoQeliQo » rassemble différents acteurs industriels et académiques, dont SILENTSYS et l'Institut Foton, et **visé à accompagner le développement industriel des technologies quantiques** en proposant une **offre de lasers visibles cohérents compacts et à prix compétitifs**. La solution proposée consiste à affiner par diffusion Brillouin stimulée (SBS) un laser de pompe accordable en fréquence. Un affinement de la largeur de raie d'au moins un facteur 100 sera démontré [1]. Cette technologie, déjà implémentée avec succès aux longueurs d'onde infrarouges [2]–[4], **sera pour la première fois développée à un TRL industriel aux longueurs d'onde visibles**. Les lasers SBS présentent de nombreux atouts notamment des puissances optiques pouvant atteindre plusieurs watts [5] tout en maintenant une grande cohérence [6]–[8]. De plus, cette technologie peut s'appliquer à toutes longueurs d'onde pour peu que l'on dispose d'un laser de pompe monochromatique à la longueur d'onde cible et de composants fibrés performants.

Dans le cadre de ce projet, deux produits seront développés. Le premier est un **laser Brillouin visible de très haute pureté spectrale (sub-kHz) et agile en fréquence** permettant d'adresser des longueurs d'onde reconnues comme essentielles par les industriels de la filière quantique. Le deuxième produit est un **module d'affinement spectral de lasers visibles** pouvant s'appliquer à n'importe quelle technologie laser et de fait s'hybrider avec des lasers haute puissance dont les performances spectrales sont insuffisantes. L'objectif est de mettre à disposition de la communauté une brique technologique supplémentaire permettant de combiner haute puissance et largeur de raie étroite.

Objectifs de la thèse :

La société SILENTSYS et l'Institut Foton proposent un projet de thèse CIFRE, dont l'objectif est d'étudier et de développer les cavités et lasers Brillouin basés sur diverses architectures en fonction des besoins en performances issus des spécifications du marché.

La thèse va se décomposer en unités de travail :

- **Etat de l'art des technologies Brillouin dans le domaine du visible (Institut Foton)**
- **Définition de l'architecture de la technologie (Institut Foton – SILENTSYS)**
 - Architecture et design des cavités Brillouin
 - Stabilisation passive & asservissement optoélectronique
 - Caractérisation des lasers Brillouin
- **Accompagnement dans la fabrication de prototypes et essais (SILENTSYS)**
 - Fabrication des cavités



- Assemblage du système complet et packaging
- Sélection et configurations des lasers Brillouin

Partenaires :

- SILENTSYS est une jeune entreprise française, créée en 2021, à la suite de la thèse du Dr. Pierre Brochard au laboratoire Temps-Fréquence de l'Université de Neuchâtel (Suisse). Elle a pour mission de rendre accessible des innovations deeptech pour faire avancer la recherche et l'industrie. Pour ce faire, nous développons et commercialisons des équipements photoniques, micro-onde / THz et électroniques ultra-bas bruit à la base de nombreuses applications de laboratoire ou dans l'industrie. L'équipe R&D combine des compétences dans les domaines de la photonique, de l'électronique, de la mécanique et de la vibro-acoustique. La société souhaite monter en compétences dans le domaine du visible car nos produits sont principalement utilisés aujourd'hui dans le domaine infrarouge.
- L'institut Foton, en tant que pôle d'excellence de la photonique, est une unité mixte de recherche regroupant le CNRS, l'Université de Rennes et l'INSA de Rennes. Il mène des recherches sur différents domaines tels que : la photonique, la télécommunication, les technologies liés aux applications industrielles et de défense et le photovoltaïque. L'équipe impliquée dans ce projet possède une expertise dans l'étude des lasers Brillouin et leur réalisation, dans la caractérisation des propriétés de bruits d'intensité et de fréquence, ainsi que dans l'asservissement en fréquence des lasers.

Organisation de travail :

Ce travail de recherche et développement se fera en étroite collaboration entre l'institut Foton (site de Lannion) et l'entreprise SILENTSYS (située au Mans) où le doctorant partagera son temps en adéquation avec le déroulement de la thèse. Un comité de suivi sera organisé tous les 15 jours entre les différentes partenaires en visioconférence et une réunion se fera en présentiel tous les 6 mois en alternance sur les différents sites.

Profil recherché :

Votre profil :

- Titulaire d'un diplôme de grade MASTER dans le domaine de la photonique, de la physique ou équivalent
- Des connaissances en électronique seraient très appréciées

Compétences techniques et savoir-faire:

- Bonnes connaissances en opto-électronique, physique des lasers, optique non-linéaire
- Modélisation et simulation de la physique des lasers sur logiciel Matlab ou équivalent
- Expérience en asservissement et stabilisation de lasers
- Connaissances en isolation vibro-acoustique serait un plus



- Anglais requis : bilingue (TOIEC > 945 - niveau C1)

Savoir-être :

- Autonome, vous savez prendre des initiatives
- Curieux, vous êtes attiré par les nouvelles technologies et aimez apprendre
- Rigoureux, vous savez respecter les délais et suivre un projet
- Le plus de votre profil : le travail en équipe multidisciplinaire vous attire, vous devrez travailler avec de multiples équipes dans le laboratoire et l'entreprise

Type de contrat :

- CDD sur la durée de la thèse avec opportunité d'embauche en CDI par la suite

Lieu de travail :

- Entreprise : Le Mans, zone université
- Laboratoire : Lannion

Date de prise de poste :

- Entre octobre 2024 et janvier 2025

Pour envoyer votre candidature ou pour tous renseignements, envoyer à : staff@silentsys.com et stephane.trebaol@enssat.fr en indiquant la référence « OFFRE D'EMPLOI #21 – Thèse CIFRE ».

Dossier de candidature : CV, lettre de motivation, copie du diplôme de Master, relevés de notes des deux dernières années (M1 & M2), lettre de recommandation (optionnelle)

[1] A. Debut, S. Randoux, et J. Zemouri, « Linewidth narrowing in Brillouin lasers: Theoretical analysis », *Phys. Rev. A*, vol. 62, n° 2, p. 023803, juill. 2000, doi: 10.1103/PhysRevA.62.023803.

[2] W. Loh, S. Yegnanarayanan, F. O'Donnell, et P. W. Juodawlkis, « Ultra-narrow linewidth Brillouin laser with nanokelvin temperature self-referencing », *Optica*, vol. 6, n° 2, p. 152, févr. 2019, doi: 10.1364/OPTICA.6.000152.

[3] S. Norcia, S. Tonda-Goldstein, D. Dolfi, J.-P. Huignard, et R. Frey, « Efficient single-mode Brillouin fiber laser for low-noise optical carrier reduction of microwave signals », *Opt. Lett.*, vol. 28, n° 20, p. 1888, oct. 2003, doi: 10.1364/OL.28.001888.

[4] A. Sebastian, I. V. Balakireva, S. Fresnel, S. Trebaol, et P. Besnard, « Relative intensity noise in a multi-Stokes Brillouin laser », *Opt Express*, vol. 26, n° 26, p. 33700-33711, déc. 2018, doi: 10.1364/OE.26.033700.

[5] Y. Tao, M. Jiang, L. Liu, C. Li, P. Zhou, et Z. Jiang, « Single-polarization single-frequency Brillouin fiber laser that emits almost 5 W of power at 1 μm », *Opt. Lett.*, vol. 47, n° 7, p. 1742-1745, avr. 2022, doi: 10.1364/OL.454534.

[6] G. Danion *et al.*, « Mode-hopping suppression in long Brillouin fiber laser with non-resonant pumping », *Opt. Lett.*, vol. 41, n° 10, p. 2362-2365, mai 2016, doi: 10.1364/OL.41.002362.

[7] K. H. Tow *et al.*, « Linewidth-narrowing and intensity noise reduction of the 2nd order Stokes component of a low threshold Brillouin laser made of Ge₁₀As₂₂Se₆₈ chalcogenide fiber », *Opt. Express*, vol. 20, n° 26, p. B104, déc. 2012, doi: 10.1364/OE.20.00B104.

[8] J. Li, H. Lee, et K. J. Vahala, « Low-noise Brillouin laser on a chip at 1064 nm », *Opt. Lett.*, vol. 39, n° 2, p. 287, janv. 2014, doi: 10.1364/OL.39.000287.



PhD position: Visible Brillouin fibre laser for atom control

Background:

The integration of quantum devices (clocks, sensors, computing) requires visible lasers with very high spectral purity that are compact and competitively priced. Today, visible laser solutions for quantum computing are costly and bulky.

The 'QoQeliQo' project brings together various industrial and academic players, including SILENTSYS and the Institut Foton, and **aims to support the industrial development of quantum technologies by offering compact, coherent visible lasers at competitive prices**. The proposed solution involves refining a frequency-tunable pump laser using stimulated Brillouin scattering (SBS). Linewidth narrowing of at least a factor of 100 will be demonstrated [1]. This technology, already successfully implemented at infrared wavelengths [2]-[4], **will be developed for the first time at an industrial TRL at visible wavelengths**. SBS lasers offer several advantages, including optical powers that can reach several watts [5] while maintaining high coherence [6]-[8]. In addition, this technology can be applied at any wavelength as long as a monochromatic pump laser at the target wavelength and high-performance fibre components are available.

Two products will be developed as part of this project. The first is a **visible Brillouin laser with very high spectral purity (sub-kHz) and agile frequency**, making it possible to address spectral lines recognised as essential by the quantum industry. The second product is a **linewidth narrowing module for visible lasers** that can be applied to any laser technology and can therefore be hybridized with high-power lasers, whose spectral performance is insufficient. The aim is to provide the community with an additional technology for combining high power and narrow linewidth.

Objectives:

SILENTSYS and the Institut Foton are proposing a PhD position (CIFRE), with the aim of studying and developing Brillouin cavities and lasers based on various architectures in line with performance requirements based on market specifications.

The work will be divided into work packages:

- **State of the art of Brillouin technologies in the visible range (Institut Foton)**
- **Definition of the technology architecture (Institut Foton - SILENTSYS)**
 - Architecture and design of Brillouin cavities
 - Passive stabilisation and optoelectronic control
 - Characterisation of Brillouin lasers
- **Support in the manufacture of prototypes and tests (SILENTSYS)**
 - Cavity manufacture
 - Assembly of the complete system and packaging



- Selection and configuration of Brillouin lasers

Partners:

- SILENTSYS is a French startup, created in 2021, as a result of Dr. Pierre Brochard's thesis at the Time-Frequency laboratory of the University of Neuchâtel (Switzerland). The company's mission is to provide access to deep-tech innovations to advance research and industry. To do so, ultra-low noise photonic, microwave/THz and electronic equipment that forms the basis of numerous laboratory and industrial applications.
The R&D team combines skills in photonics, electronics, mechanics and vibro-acoustics. Our company wants to develop its skills in the visible range, as our products are currently used mainly in the infrared range.
- As a centre of excellence in photonics, Institut Foton is a joint research unit bringing together the CNRS, the University of Rennes and INSA (Rennes). It leads research in various fields, including photonics, telecommunications, technologies related to industrial and defence applications, and photovoltaics.
The team involved in this project has expertise in the study of Brillouin lasers and their design, in the characterisation of intensity noise and frequency noise properties, and in the frequency slaving of lasers.

Working organisation:

This research and development work will be carried out in close collaboration between Institut Foton (Lannion site) and SILENTSYS (located in Le Mans), where the PhD student will share his time in accordance with the progress of the thesis. A monitoring committee will be organised every 15 days between the different partners by videoconference and a face-to-face meeting will be held every 6 months, alternating between the different sites.

Profile requirements:

Your profile:

- Holder of a MASTER'S degree in photonics, physics or equivalent
- Knowledge in electronics would be highly appreciated

Technical skills and know-how:

- Good knowledge of optoelectronics, laser physics and non-linear optics
- Laser physics modelling and simulation with Matlab or equivalent
- Experience in laser locking and stabilisation
- Knowledge of vibro-acoustic isolation would be an advantage
- English required: bilingual (TOIEC > 945 - level C1)

Soft skills:

- Autonomous and able to take the initiative
- Curious, you are attracted by new technologies and enjoy learning



- Rigorous, you know how to meet deadlines and follow up projects
- A plus in your profile: you enjoy working in a multidisciplinary team, as you will be required to work with multiple teams in the laboratory and the company

Type of contract:

- Fixed-term contract for the duration of the thesis, with the possibility of a permanent contract afterwards

Work location:

- Company: Le Mans, university area
- Laboratory: Lannion

Starting date:

- Between October 2024 and January 2025

To send your application or for further information, please send an e-mail to: staff@silentsys.com and stephane.trebaol@enssat.fr quoting the reference 'JOB OFFER #21 – PhD position'.

Application documents: CV, covering letter and copy of master's degree.

- [1] A. Debut, S. Randoux, et J. Zemmouri, « Linewidth narrowing in Brillouin lasers: Theoretical analysis », *Phys. Rev. A*, vol. 62, n° 2, p. 023803, juill. 2000, doi: 10.1103/PhysRevA.62.023803.
- [2] W. Loh, S. Yegnanarayanan, F. O'Donnell, et P. W. Juodawlkis, « Ultra-narrow linewidth Brillouin laser with nanokelvin temperature self-referencing », *Optica*, vol. 6, n° 2, p. 152, févr. 2019, doi: 10.1364/OPTICA.6.000152.
- [3] S. Norcia, S. Tonda-Goldstein, D. Dolfi, J.-P. Huignard, et R. Frey, « Efficient single-mode Brillouin fiber laser for low-noise optical carrier reduction of microwave signals », *Opt. Lett.*, vol. 28, n° 20, p. 1888, oct. 2003, doi: 10.1364/OL.28.001888.
- [4] A. Sebastian, I. V. Balakireva, S. Fresnel, S. Trebaol, et P. Besnard, « Relative intensity noise in a multi-Stokes Brillouin laser », *Opt Express*, vol. 26, n° 26, p. 33700-33711, déc. 2018, doi: 10.1364/OE.26.033700.
- [5] Y. Tao, M. Jiang, L. Liu, C. Li, P. Zhou, et Z. Jiang, « Single-polarization single-frequency Brillouin fiber laser that emits almost 5 W of power at 1 μm », *Opt. Lett.*, vol. 47, n° 7, p. 1742-1745, avr. 2022, doi: 10.1364/OL.454534.
- [6] G. Danion *et al.*, « Mode-hopping suppression in long Brillouin fiber laser with non-resonant pumping », *Opt. Lett.*, vol. 41, n° 10, p. 2362-2365, mai 2016, doi: 10.1364/OL.41.002362.
- [7] K. H. Tow *et al.*, « Linewidth-narrowing and intensity noise reduction of the 2nd order Stokes component of a low threshold Brillouin laser made of Ge₁₀As₂₂Se₆₈ chalcogenide fiber », *Opt. Express*, vol. 20, n° 26, p. B104, déc. 2012, doi: 10.1364/OE.20.00B104.
- [8] J. Li, H. Lee, et K. J. Vahala, « Low-noise Brillouin laser on a chip at 1064 nm », *Opt. Lett.*, vol. 39, n° 2, p. 287, janv. 2014, doi: 10.1364/OL.39.000287.

