



<https://icb.cnrs.fr/>



PHYSIC – CHEMISTRY
ENGINEERING

NANOSCIENCES – PHOTONIC – MATERIALS SCIENCES & CHARACTERIZATION

Non silica glass waveguides and resonators for mid-InfraRed photonic sensing.

Research unit: Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), Univ. Bourgogne Europe, CNRS UMR 6303 Département Photonique - Equipe SAFIR - 9 avenue Alain Savary - BP 47870 - 21078 Dijon Cedex – France

Co-supervisors: Frédéric Smektala frederic.smektala@ube.fr, Aurélien Coillet aurelien.coillet@ube.fr, Frédéric Désévéday frederic.desevedavy@ube.fr, Bertrand Kibler bertrand.kibler@ube.fr

ICB laboratory offers a PhD fellowship (CNRS) on nonlinear optical waveguides and resonators based on tellurite and chalcogenide glasses for chemical sensing into the mid-infrared. This PhD thesis will be conducted within the framework of an international collaboration between the ICB laboratory and the University of São Paulo (Brazil), supported by the ANR (AAPG 2024 project call, RAISES 24-CE08-4812). This position is funded for 36 months and is expected to start between 1st of September and 31st of December 2025.

Wages (ANR financial support): 2200 €/month – net salary of 1800 €/month

Topic:

Mid Infrared (MIR), from 2 to 20 μm , is an attractive spectral range for many applications, particularly in sensing, as it matches with chemical bond resonances. Atmospheric pollutants, explosive substances and biological liquids among other can be targeted.

ICB has strong expertise in IR fiber based on heavy oxides and chalcogenide glasses, which exhibit wide transmission in this range and strong nonlinear optical properties. Mid-IR laser sources based on nonlinear optics in chalcogenide (S, Se and Te-based glasses) and tellurite (TeO_2) fibers have been developed at ICB. Supercontinuum generation in such fibers has led to a sup-100 mW IR source covering the 1-16 μm range as pictured in figure 1, [1]. Proof-of-concept experiments have demonstrated the potential of such fibered IR sources for CH_4 sensing up to 8 μm at ppm level [2]. The goal of the project is now to extend the potentialities of chalcogenide and tellurite glasses by shaping them into functionalized devices such as optical tapers or microresonators. In this context, a funded international ANR (France) – FAPESP (Brazil) project has been secured in collaboration with the Institute of chemistry of Sao Carlos (IQSC) from University of Sao Paulo to develop mid IR fibered sensors. The PhD thesis will build on the team's previous results to develop mid IR fiber-optic sensors that can act both as an IR light source (via supercontinuum generation) and as a sensing element. The strategies being considered relate to fiber geometry and fiber surface engineering.

Fibers with a locally reduced diameter, known as tapers, strongly enhance the confinement of the electromagnetic field, and therefore facilitate the generation of new wavelengths as well as sensing through evanescent wave spectroscopy. They have already yielded promising results and work in this direction will be continued (see figure 2). Microspheres that enable both resonators fabrication and sensing, for which promising preliminary results have already been obtained, will also be considered.

Numerical analysis, based on codes developed at ICB, will guide the investigations towards the development of Raman and Brillouin laser, supercontinuum and Kerr frequency comb generation.

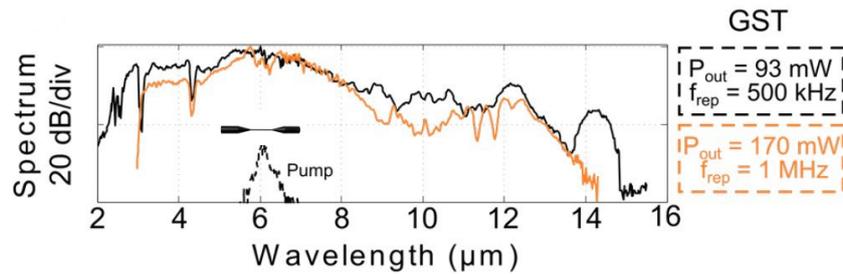


Figure 1: Measured output SC spectra pumped at 6.3 μm for 5-cm-long segment of tapered chalcogenide fiber [1].

Another strategy of the project is to amplify the signal propagating at the surface of the glass fiber using chemical approach in collaboration with our Brazilian partner, who has developed a technique to coat the glass with a rare-earth-containing metal organic framework (Ln-MOF) that allow for ratiometric (intensities ratio fluctuation) sensing through energy transfer between the ligands and the rare earth [4]. The glass fiber surface can also be leveraged through physical phenomena based on plasmonic resonances. The deposition of a structured metallic nanolayer onto the glass fiber surface, with controlled morphology, leads to localized surface plasmon resonances which strongly enhanced the near field confined at the fiber surface [5]. This near field interacts with adsorbed molecules, resulting in an enhanced response for both Raman scattering and IR absorption [5]. Both phenomena will be investigated.

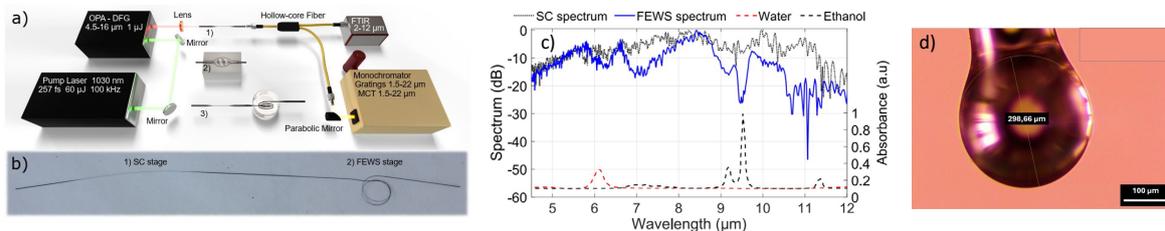


Figure 2: (a) Experimental setup of SC generation and Fiber Evanescent Wavelength Sensing (FEWS) by means of a multimode chalcogenide fiber pumped by a mid-IR femtosecond source. Spectral analysis is provided by either a FTIR spectrometer or a monochromator coupled to a MCT detector. (b) Photograph of a two-section fiber device, segment (1) for SC generation, segment (2) for FEWS measurement. (c) Comparison of the SC generated before and after immersing the two-sections sensing device in a mixture of water and ethanol (25:75 vol%) and (d) tellurite microsphere [3].

ICB facilities allow for glass synthesis and fiber fabrication (2 drawing towers), post processing operation (such as taper and microsphere fabrication) and linear/nonlinear optical characterization as well as ultrafast pulsed regimes in the IR range (from near IR up to 22 μm) within the Smartlight platform. Deposition of structured metal nanoparticles will be carried out using ICB's facilities (ARCEN technological platform). Our Brazilian partner, IQSC, is highly skilled in rare earth spectroscopic characterizations and glass surface functionalization through MOFs coating and chemical nanoparticle deposition with controlled morphology.

Depending on the candidate's profile and interests, the subject will focus either on material or optical aspects. Applicants should have a good background in materials science (physical chemistry of materials) or optics and physics. Experience in glass synthesis, cleanroom work, thin metallic film deposition or numerical simulation would be an advantage. The candidate should possess good English communication skills, both oral and written.

Submittals

- Letter of recommendation
 - Cover letter
 - Curriculum vitae
 - Transcripts of academic results
- Please submit your application to the following address:

frederic.desevedavy@u-bourgogne.fr

- [1] E. SERRANO, D. BAILLEUL, F. DÉSÉVÉDAVY, P. BÉJOT, G. GADRET, P. MATHEY, F. SMEKTALA, AND B. KIBLER, Accepted in Photonics Research, (2024).
- [2] R. BIZOT, I. TILIOUINE, F. DÉSÉVÉDAVY, G. GADRET, C. STRUTYNSKI, E. SERRANO, P. MATHEY, B. KIBLER, S. FÉVRIER, AND F. SMEKTALA, APL Photonics, 9, No. 11.
- [3] D. BAILLEUL, E. SERRANO, B. MAHLOOVANYI, C. BROUSSARD-PLEDEL, L. C. DAVID, F. DÉSÉVÉDAVY, P. MATHEY, G. GADRET, C. STRUTYNSKI, Y. MESSADEQ, F. SMEKTALA, AND B. KIBLER, Submitted to Applied Optics, (2025).
- [4] R. G. CAPELO, C. STRUTYSK, F. DÉSÉVÉDAVY, F. SMEKTALA, AND D. Manzani, Anais, (2024).
- [5] J. KOZUCH, K. ATAKA, AND J. HEBERLE, Nature Reviews Methods Primers, 3, No. 1, (2023).



PHYSIC – CHEMISTRY
ENGINEERING

NANOSCIENCES – PHOTONIC – MATERIALS SCIENCES & CHARACTERIZATION

Guides d'ondes et résonateurs en verres non silice pour la détection photonique dans le moyen infrarouge

Unité de recherche : Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), Univ. Bourgogne Europe, CNRS UMR 6303 Département Photonique - Equipe SAFIR - 9 avenue Alain Savary - BP 47870 - 21078 Dijon Cedex – France

Co-encadrants : Frédéric Smektala frederic.smektala@ube.fr, Aurélien Coillet aurelien.coillet@ube.fr, Frédéric Désévéday frederic.desevedavy@ube.fr, Bertrand Kibler bertrand.kibler@ube.fr

Le laboratoire ICB propose une bourse de doctorat (CNRS) sur les guides d'ondes optiques non linéaires et résonateurs à base de verres tellurites et de chalcogénures pour la détection d'espèces chimiques dans l'infrarouge moyen. Cette thèse de doctorat se déroulera dans le cadre d'une collaboration internationale entre le laboratoire ICB et l'Université de São Paulo (Brésil), soutenue par l'ANR (appel à projets AAPG 2024, projet RAISES 24-CE08-4812). Ce poste est financé pour 36 mois avec une date de démarrage prévue entre le 1er septembre et le 31 décembre 2025.

Salaire (financement ANR) : 2200 € brut/mois – 1800 € net/mois.

Description du sujet :

Le Moyen InfraRouge (MIR), de 2 à 20 μm , est une gamme spectrale d'intérêt pour de nombreuses applications, notamment dans le domaine des capteurs, car elle correspond aux résonances des liaisons chimiques. Les polluants atmosphériques, les substances explosives et les liquides biologiques, entre autres, peuvent être ciblés.

L'ICB possède une forte expertise dans l'élaboration des fibres MIR à base d'oxydes lourds et de verres chalcogénures, qui présentent une large fenêtre transmission dans cette gamme et de fortes propriétés optiques non linéaires. Des sources laser fonctionnant dans le MIR basées sur l'optique non linéaire dans des fibres de chalcogénures (verres à base de S, Se et Te) et de tellurite (TeO_2) ont été développées à l'ICB. La génération de supercontinuum dans de telles fibres a conduit à une source IR couvrant la plage de 1 à 16 μm et délivrant plus de 100 mW, comme illustré dans la figure 1, [1]. Des expériences de preuve de concept ont démontré le potentiel de ces sources IR fibrées pour la détection de CH_4 à 8 μm à un niveau de concentration de l'ordre du ppm [2]. L'objectif du projet est maintenant d'étendre les potentialités des verres chalcogénures et tellurites via leur mise en forme en composants photoniques fonctionnalisés tels que des fibres optiques effilées (tapers) ou des micro-résonateurs. Dans ce contexte, un projet international financé par l'ANR (France) et la FAPESP (Brésil) a été obtenu en collaboration avec l'Institut de chimie de Sao Carlos (IQSC) de l'Université de Sao Paulo pour développer des capteurs fibrés opérant dans le MIR. La thèse s'appuie sur les savoir-faire et les résultats de l'équipe pour développer des capteurs optiques fibrés, opérant dans le MIR, à double fonction : à la fois source de lumière IR (via la génération de supercontinuum) et de composant actif dans le mécanisme de détection. Les stratégies envisagées concernent la géométrie des fibres et leur ingénierie de surface.

Les fibres optiques dont le diamètre est localement réduit, appelées *tapers*, exacerbent le confinement du champ électromagnétique et facilitent ainsi, par effet optiques non-linéaires, la génération de nouvelles longueurs d'onde en favorisant les opérations de détection via la spectroscopie d'onde évanescente. Des résultats prometteurs ont été obtenus, et les travaux dans cette direction se poursuivront (voir figure 2). Les microsphères qui permettent à la fois la fabrication de résonateurs et de capteurs, pour lesquelles de premiers résultats encourageants ont été obtenu, sont aussi envisagées. Les modélisations numériques, reposant sur des codes développés à l'ICB, orienteront les recherches vers le développement de lasers Raman et Brillouin ainsi que la génération de supercontinuum et peignes de fréquences Kerr.

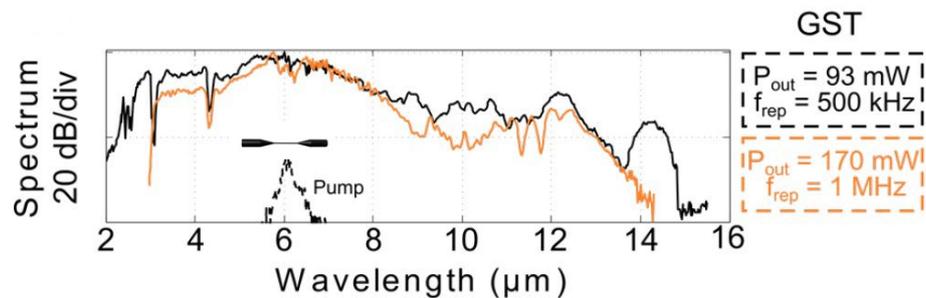


Figure 1 : Spectres SC mesurés en sortie de taper long de 5 cm en verre de chalcogénure (GST) pompé à 6.3 μm [1].

Une autre approche du projet consiste à exploiter le signal se propageant à la surface de la fibre de verre en utilisant un procédé chimique en collaboration avec notre partenaire brésilien, qui a développé une technique permettant de déposer à la surface du verre une couche d'organométallique dans laquelle le métal est une terre rare (*Ln-MOF*) qui permet la détection ratiométrique (fluctuations des rapports d'intensité) [4]. La surface de la fibre de verre peut également être mise à profit à travers des phénomènes physiques basés sur les résonances plasmoniques. Le dépôt sur la surface de la fibre de verre d'une couche métallique structurée, dont la morphologie est contrôlée, conduit à la formation de plasmons de surface localisés amplifiant fortement le champ proche confiné à la surface de la fibre [5]. Ce champ proche interagit avec les molécules adsorbées à la surface du guide d'onde, entraînant une réponse amplifiée aussi bien pour la diffusion Raman que pour l'absorption IR. Ces deux phénomènes feront l'objet d'investigations.

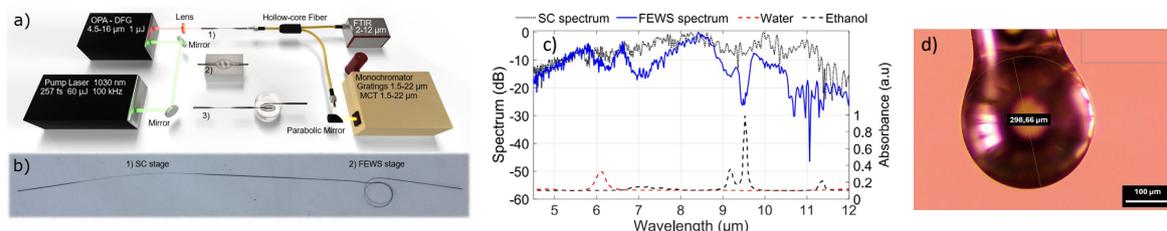


Figure 2 : (a) Dispositif expérimental pour la génération de SC et la détection par champs évanescent sur fibre (FEWS) à l'aide d'une fibre chalcogénure multimode pompée par une source laser MIR femtoseconde. Un spectromètre FTIR ou un monochromateur couplé à un détecteur MCT est employé pour la détection du spectre. (b) Cliché d'un capteur fibré double segment, segment (1) pour la génération de SC, segment (2) pour la détection FEWS. (c) Comparaison du SC généré avant et après immersion du segment (2) dans un mélange eau-éthanol (25:75 vol%) et (d) microsphère tellurite [3].

Les infrastructures de l'ICB permettent la synthèse de verres, l'élaboration de fibres optiques (deux tours de fibrage), ainsi que des opérations de post-traitement (fabrication de tapers et de microsphères) et les caractérisations optiques linéaire et non linéaire. Elles permettent également l'étude des régimes d'impulsions ultrarapides dans la gamme infrarouge (du proche IR jusqu'à 22 μm) au sein de la plateforme *SmartLight*. Le dépôt de nanoparticules métalliques structurées sera réalisée grâce aux équipements de l'ICB (plateforme technologique *ARCEN*). Notre partenaire brésilien, l'*IQSC*, possède une expertise avancée concernant la caractérisation spectroscopique des ions de terres rares et la fonctionnalisation de surfaces des amorphes par revêtement de *MOFs* et dépôt chimique de nanoparticules métalliques à morphologies contrôlées.

En fonction du profil et des intérêts du candidat, le sujet de recherche pourra s'orienter préférentiellement sur les aspects liés aux matériaux ou sur les aspects optiques. Les candidats doivent posséder de solides connaissances en science des matériaux (physico-chimie des matériaux) ou en

optique et physique. Une expérience concernant la synthèse de verre, le travail en salle blanche, le dépôt de couches minces métalliques ou la simulation numérique serait un atout. Le candidat doit posséder de bonnes compétences en anglais, à l'écrit comme à l'oral.

Dossier de candidature

- Lettre de recommandation
- Lettre de motivation
- Curriculum vitae
- Relevés de notes académiques

Veillez soumettre votre candidature à l'adresse suivante :

frederic.desevedavy@u-bourgogne.fr

[1] E. SERRANO, D. BAILLEUL, F. DÉSEVÉDAVY, P. BÉJOT, G. GADRET, P. MATHEY, F. SMEKTALA, AND B. KIBLER, Accepted in Photonics Research, (2024).

[2] R. BIZOT, I. TILIOUINE, F. DÉSEVÉDAVY, G. GADRET, C. STRUTYNSKI, E. SERRANO, P. MATHEY, B. KIBLER, S. FÉVRIER, AND F. SMEKTALA, APL Photonics, 9, No. 11.

[3] D. BAILLEUL, E. SERRANO, B. MAHLOOVANYI, C. BROUSSARD-PLEDEL, L. C. DAVID, F. DÉSEVÉDAVY, P. MATHEY, G. GADRET, C. STRUTYNSKI, Y. MESSADEQ, F. SMEKTALA, AND B. KIBLER, Submitted to Applied Optics, (2025).

[4] R. G. CAPELO, C. STRUTYSK, F. DÉSEVÉDAVY, F. SMEKTALA, AND D. MANZANI, Anais, (2024).

[5] J. KOZUCH, K. ATAKA, AND J. HEBERLE, Nature Reviews Methods Primers, 3, No. 1, (2023).