

## Thèse de doctorat : Mesure de températures cryogéniques par réseaux de Bragg à fibres optiques

### Laboratoire d'accueil :

Laboratoire Hubert Curien UMR CNRS 5516 (<https://laboratoirehubertcurien.univ-st-etienne.fr/en/index.html>) – Université de Saint-Etienne (<https://www.univ-st-etienne.fr>)

### Encadrants :

Pr. Emmanuel Marin, [emmanuel.marin@univ-st-etienne.fr](mailto:emmanuel.marin@univ-st-etienne.fr), +33 477 915 809

Pr. Sylvain Girard, [sylvain.girard@univ-st-etienne.fr](mailto:sylvain.girard@univ-st-etienne.fr), +33 477 915 812

### Mots clés :

Capteur à fibre optique, Réseau de Bragg, Mesures cryogéniques

---

**Contexte :** De nombreuses applications industrielles ou aérospatiales requièrent de suivre la température en différents points d'un équipement ou d'un bâtiment. Malgré les progrès spectaculaires des capteurs à fibre optique qu'ils soient ponctuels (tels que les réseaux de Bragg à fibres optiques, FBGs) ou répartis lors de ces dernières décades [1-3], la mesure des températures extrêmes cryogéniques (<80 K) ou très élevées (> 1000°C) reste un défi technologique, tant au niveau de la réalisation du capteur que de son implémentation. Pour les basses températures, les paramètres de la fibre exploités pour la mesure de température ne varient plus que faiblement [4] tandis que pour les hautes températures c'est la fibre fonctionnalisée (FBG) elle-même qui commence à se dégrader [5].

Parmi les laboratoires universitaires français, le laboratoire Hubert Curien, plus spécifiquement l'équipe Matériaux pour l'optique et la photonique en environnements radiatifs extrêmes (MOPERE), est l'un des acteurs majeurs des capteurs à fibres optiques ponctuels (réseau de Bragg) ou répartis [6,7]. L'équipe MOPERE s'intéresse à la vulnérabilité de l'ensemble de la chaîne de mesure en environnement sévère : du capteur à l'instrument, afin de développer des stratégies pour diminuer/annuler cette vulnérabilité ou au contraire l'exacerber. L'équipe MOPERE, au travers du laboratoire commun LabH6, collabore étroitement avec la société Exail (anciennement iXblue) dans le domaine des fibres spéciales, réseaux de Bragg, fibre active, ... Le laboratoire possède notamment les équipements nécessaires à la réalisation des FBGs par lasers ultraviolets ou femtosecondes ainsi que les différents outils métrologiques nécessaires à la caractérisation de leurs performances et à l'étude de l'évolution de leurs propriétés en environnement sévère (températures, radiations...).

### Objectifs de la thèse :

L'objectif principal du doctorat, en collaboration avec un industriel français, acteur majeur dans le domaine aérospatial, est d'identifier et de tester une chaîne de détection basée sur la technologie des réseaux de Bragg (FBG) et optimisée pour la mesure de température cryogénique. Les tâches d'innovation touchent les différents éléments de la chaîne de mesure que ce soit la fibre optique, le type de réseau de Bragg et l'interrogateur. La thèse, principalement expérimentale visera à concevoir, réaliser les capteurs, déterminer et optimiser les performances accessibles en fonction des conditions d'implémentation vis-à-vis de différents profils d'emploi industriels.

Cette optimisation aura lieu à différentes échelles. Tout d'abord, les fibres dites monomodes sont le plus souvent préférées pour la simplicité de l'analyse des capteurs FBGs. Néanmoins, pour des applications aussi originales, les fibres transportant un faible nombre de modes optiques peuvent être une alternative intéressante. Les fibres à cœur et gaine optique en silice pure ou dopée, avec revêtement acrylate ou polyimide, souffrent d'une baisse de sensibilité aux faibles températures envisagées, d'autres alternatives seront donc étudiées comme les fibres à revêtement métalliques, ou l'ajout d'une couche additionnelle thermosensible par impression 3D, ...

La thèse vise également à optimiser le processus de fabrication du FBG pour l'application visée dans ces différents types de fibres optiques. La photo-inscription par laser ultrabref (i.e. fs) permet sous certaines conditions de modifier l'ensemble des matériaux et s'avère plus versatile que la photo-inscription UV 'classique' tant sur le type de FBG que sur la localisation du FBG dans la fibre optique. Si la majeure partie des interrogateurs de FBG utilisent les longueurs d'onde des télécommunications, néanmoins d'autres alternatives existent dans le visible et le proche infra-rouge pourront être étudiées.

Enfin, le conditionnement du point de détection sera également un paramètre important à regarder tant pour augmenter la sensibilité du FBG et les performances du capteur que pour garantir une fiabilité et durabilité de la solution développée.

### Expérience / profil:

- Master en physique ou en science des matériaux avec d'excellentes notes, de préférence avec une spécialisation en optique et en photonique,
- Maîtrise d'au moins un langage de programmation : Matlab, Python, ...
- Motivation pour des problèmes interdisciplinaires,
- Forte motivation à poursuivre un doctorat (i.e. trois années),
- Excellentes capacités d'organisation,
- Capacité à faire preuve d'initiative et à travailler de manière indépendante,
- Excellentes aptitudes à la coopération et à la communication,
- Excellente maîtrise de l'anglais parlé et écrit

Le doctorant sera inscrit à l'école doctorale de Sciences, Ingénierie, Santé EDSIS488 (<http://edsis.universite-lyon.fr/> )

### Références

- [1] X. Bao, L. Chen, Recent Progress in Distributed Fiber Optic Sensors. *Sensors* 2012, 12, 8601–8639, doi:10.3390/s120708601.
- [2] A.H. Hartog, *An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors*; Series in fiber optic sensors; CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, 2017; ISBN 978-1-4822-5957-5.
- [3] R. Kashyap, *Fiber Bragg Gratings*; Optics and photonics; Academic Press: San Diego, 1999; ISBN 978-0-12-400560-0.
- [4] J. Roths, G. Andrejevic, R. Kuttler and M. Süßer, Calibration of fiber Bragg cryogenic temperature sensors, 18th International Conference on Optical Fibre Sensors, 2006
- [5] J. Canning, M. Stevenson, K. Cook, M. Aslund, W. Ecke, R. Willsch, H. Bartelt, H. J. Kalinowski, L. Grabarski, V. Oliveira, C. Martelli, A. Braga, N. Groothoff, G. D. Peng, G. -D, Optical fibre Bragg gratings for high temperature sensing, 20th International Conference on Optical Fibre Sensors, 2009
- [6] A. Morana, E. Marin, L. Lablonde, T. Blanchet, T. Robin, G. Cheymol, G. Laffont, A. Boukenter, Y. Ouerdane, S. Girard, Radiation effects on Fiber Bragg Gratings: vulnerability and hardening Studies, *Sensors*, vol. 22(21), 8175 (Oct. 2022)
- [7] S. Girard, A. Morana, E. Marin, 'Radiation Effects on Optical Fiber Sensors', in 'Optical fiber Sensors', Ed. P. Lecoy, ISTE (2023), à paraître.

## PhD Thesis: Cryogenic temperature measurements using fiber Bragg gratings

### Location:

Laboratoire Hubert Curien UMR CNRS 5516 (<https://laboratoirehubertcurien.univ-st-etienne.fr/en/index.html>) – Université de Saint-Etienne (<https://www.univ-st-etienne.fr>)

### Supervisors:

Prof. Emmanuel Marin, [emmanuel.marin@univ-st-etienne.fr](mailto:emmanuel.marin@univ-st-etienne.fr), +33 477 915 809  
Prof. Sylvain Girard, [sylvain.girard@univ-st-etienne.fr](mailto:sylvain.girard@univ-st-etienne.fr), +33 477 915 812

### Keywords:

Optical fiber sensor, Fiber Bragg grating, Cryogenic environment

---

**Context:** Numerous industrial and aerospace applications require temperature monitoring at different points on a piece of equipment or in a building. Despite spectacular advances in fiber optic sensors made over the last few decades [1-3], whether point sensors (such as fiber Bragg gratings, FBGs) or distributed sensors, measuring extreme cryogenic (<80 K) or very high (>1000°C) temperatures remains a technological challenge, both in terms of sensor design and implementation. At low temperatures, the fiber parameters used for temperature measurement vary only slightly [4], while it is the functionalized fiber (FBG) itself that begins to degrade [5] at high temperatures.

Among French university laboratories, the Laboratoire Hubert Curien, and more specifically the Materials for Optics and Photonics in Extreme Radiation Environments (MOPERE) team, is one of the major players in point (Bragg grating) or distributed fiber optic sensors [6,7]. The MOPERE team is interested in the vulnerability of the entire measurement chain in severe environments, from the sensor to the instrument, in order to develop strategies to reduce/cancel this vulnerability or, on the contrary, exacerbate it. The MOPERE team, through the LabH6 joint laboratory, works closely with Exail (formerly iXblue) in the field of special fibers, Bragg gratings, active fibers, etc. In particular, the laboratory has the equipment needed to produce FBGs using ultraviolet or femtosecond lasers, as well as the various metrological tools required to characterize their performance and study the evolution of their properties in harsh environments (temperature, radiation, etc.).

**PhD Thesis objectives:** The main objective of the PhD, conducted in collaboration with a very prominent French industrial company in the aerospace field, is to identify and test a sensing chain based on Bragg grating technology (FBG) and optimized for cryogenic temperature measurement. The innovative tasks involve the various elements of the measurement chain, including the optical fiber, the type of Bragg grating and the interrogator. The aim of the thesis, which will be mainly experimental, will be to design and manufacture the sensors, and to determine and optimize the achievable performance according to the implementation conditions for different industrial use profiles.

This optimization will take place at different scales. In the first place, so-called single-mode fibers are most often preferred for the simplicity of FBG sensor analysis. Nevertheless, for such

original applications, fibers carrying a low number of optical modes may be an interesting alternative. Fibers with a pure or doped silica core and cladding, with acrylate or polyimide coatings, suffer from reduced sensitivity at the projected low temperatures. Other alternatives will therefore be studied, such as metal-coated fibers, or the incorporation of an additional thermosensitive layer by 3D printing, etc.

The PhD thesis also aims to optimize the FBG manufacturing process for the targeted application in these different types of optical fibers. Under certain conditions, ultra-fast laser (i.e. fs) photo-inscription enables all materials to be modified, and is more versatile than 'conventional' UV photo-inscription, both in terms of FBG type and FBG localization in the optical fiber. While the majority of FBG interrogators use telecommunications wavelengths, other alternatives that exist in the visible and near infrared can also be studied.

Finally, the packaging of the detection point will also be an important parameter to consider, both to increase FBG sensitivity and sensor performance, and to guarantee the reliability and durability of the sensing solution developed.

### Your Profile:

- Successfully completed a scientific master's degree in physics or materials science with excellent grades, preferably with a specialization in optics and photonics
- Knowledge of at least one programming language: Matlab, Python, etc.
- Motivation to tackle interdisciplinary problems and to collaborate
- High motivation for completing a PhD within three years
- Excellent organizational skills
- Ability to show initiative and work independently
- Excellent cooperation and communication skills, and ability to work as part of a team
- Excellent skills in spoken and written English

The PhD student will be enrolled in the doctoral school of Sciences, Engineering, Health EDSIS488 (<http://edsis.universite-lyon.fr/>)

### Bibliography:

- [1] X. Bao, L. Chen, Recent Progress in Distributed Fiber Optic Sensors. *Sensors* 2012, 12, 8601–8639, doi:10.3390/s120708601.
- [2] A.H. Hartog, *An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors*; Series in fiber optic sensors; CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, 2017; ISBN 978-1-4822-5957-5.
- [3] R. Kashyap, *Fiber Bragg Gratings*; Optics and photonics; Academic Press: San Diego, 1999; ISBN 978-0-12-400560-0.
- [4] J. Roths, G. Andrejevic, R. Kuttler and M. Süßer, Calibration of fiber Bragg cryogenic temperature sensors, 18th International Conference on Optical Fibre Sensors, 2006
- [5] J. Canning, M. Stevenson, K. Cook, M. Aslund, W. Ecke, R. Willsch, H. Bartelt, H. J. Kalinowski, L. Grabarski, V. Oliveira, C. Martelli, A. Braga, N. Groothoff, G. D. Peng, G. -D, Optical fibre Bragg gratings for high temperature sensing, 20th International Conference on Optical Fibre Sensors, 2009
- [6] A. Morana, E. Marin, L. Lablonde, T. Blanchet, T. Robin, G. Cheymol, G. Laffont, A. Boukenter, Y. Ouerdane, S. Girard, Radiation effects on Fiber Bragg Gratings: vulnerability and hardening Studies, *Sensors*, vol. 22(21), 8175 (Oct. 2022)
- [7] S. Girard, A. Morana, E. Marin, 'Radiation Effects on Optical Fiber Sensors', in 'Optical fiber Sensors', Ed. P. Lecoy, ISTE (2023), to be published.