



Proposition de stage ingénieur

Printemps 2025

| | |
|---|--|
| CEA/Saclay Direction de la Recherche Technologique Laboratoire Système et Photonique pour le Monitoring https://www.emploi.cea.fr/ | Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM) Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB) Axe Procédés Métallurgiques Durabilité des Matériaux (PMDM) https://www.utbm.fr |
| Contact : Guillaume LAFFONT guillaume.laffont@cea.fr tel : 0169082938 | Contacts : Sophie Costil ; Geoffrey Darut ; Christophe Verdy Sophie.costil@utbm.fr ; geoffrey.darut@utbm.fr ; Christophe.verdy@utbm.fr Tel : 0384583235 |

Etude de l'ancrage de réseaux de Bragg fibrés sur substrats métalliques par projection plasma

Environnement : Le Laboratoire Systèmes et Photoniques pour le Monitoring (LSPM) est spécialisé dans **l'instrumentation et le monitoring dans des environnements sévères**, tel que les hautes températures (> 500°C), sous radiations (X, γ , ...) en utilisant la **fibre optique** et en particulier les **réseaux de Bragg** gravés en leur sein comme élément sensible. Ces capteurs présentent de nombreux avantages, comme leur faible encombrement, la cadence d'interrogation, ou leurs insensibilités à certains paramètres de l'environnements extérieurs, tel que la quasi-totalité du spectre électromagnétique, ou la composition de l'atmosphère entourant la fibre.

L'UTBM (Université de Technologie de Belfort-Montbéliard) et en particulier son équipe ICB-PMDM s'est développée selon un axe unique de recherche : l'élaboration et la maîtrise des matériaux et de structures par des procédés additifs par voies sèches. Ses principaux axes de recherche sont :

- Le développement de poudres métalliques spécifiques adaptées aux nouveaux procédés de fabrication additive,
- Les mécanismes de formation des structures métalliques en fabrication additive par projection ou fusion laser sur lit de poudre,
- La maîtrise des procédés et revêtements en projection thermique ou à froid incluant leur optimisation, la simulation des conditions opératoires et des propriétés obtenues et le contrôle des interfaces.

Contexte : Les réseaux de Bragg (RdB), constitués d'une modulation périodique de l'indice du cœur de la fibre, permettent de mesurer des températures jusqu'à 1000°C, ainsi que des déformations. Pour obtenir des capteurs aussi robustes, une méthode d'écriture laser privilégiée consiste à utiliser un laser femtoseconde. La plateforme FemtoBragg du CEA List permet d'inscrire des réseaux de Bragg en quelques minutes, avec des lasers à impulsions ultra courtes (160 fs) et utilisant **la technique du point par point**, en créant un chapelet de **microvoids** (~1 μm x 200 nm) dans le cœur de la fibre optique. Si le verrou de la tenue en température de ces composants est désormais levé, leur utilisation comme jauge de déformation opérant à haute température apparaît comme une extension logique du potentiel de cette technologie pour la mesure en environnement extrême.

Des mesures « mécaniques » à haute température trouveraient des applicatifs dans de nombreux secteurs, scientifiques ou industriels. Citons par exemple le monitoring des tokamaks dédiés à l'étude de la Fusion Nucléaire, l'instrumentation de tuyauteries dédiées à la production d'hydrogène par reformage dans l'industrie chimique, la surveillance d'éléments de structure de turboréacteurs ou de moteurs de lanceurs spatiaux, de pièces de réacteurs nucléaires de nouvelle génération (SMR/AMR ou Génération IV) etc ...

En préalable à cet usage en mesure de déformations, voire de vibrations, il est impératif de trouver un moyen fiable pour ancrer les réseaux de Bragg à des structures métalliques soumises à de fortes températures (>600°C) ainsi qu'à de forts gradients thermiques. Si de premiers essais avec des colles chargées en particules métalliques ou céramiques ont été effectués au CEA, l'usage de procédés de projection plasma paraît plus avantageux et fiable. Il est toutefois nécessaire de travailler sur leur paramétrie pour adapter ces procédés au cas d'usage des fibres optiques.

Objectifs : Le but de ce stage sera de sélectionner des techniques de projection, les matériaux associés et d'identifier les moyens expérimentaux permettant de mettre au point l'ancrage de réseaux de Bragg fibrés sur substrat métallique voire céramique par ces procédés. Dans un second temps, des essais seront menés sur une plateforme spécifique. Il s'agira alors de définir le protocole expérimental permettant d'intégrer une fibre par projection sans risque d'endommagement et de caractériser les composants



ancrés. Dans un troisième temps, il s'agira d'ancrer des réseaux de Bragg par projection sur des éprouvettes métalliques en vue de tests de sollicitation thermique, voire thermo-mécanique, et qui seraient menés au sein de plateformes du CEA.

Le stagiaire sera encadré par des Ingénieurs de recherche, très fortement impliqués dans le développement de la métrologie par réseau de Bragg au sein du LSPM et par des ingénieurs de recherche spécialisés en projection plasma au sein de l'UTBM. Il devra faire preuve d'une grande **rigueur scientifique**, à la fois pour mener à bien ses expériences, mais aussi pour présenter et analyser les résultats. Il devra également être en mesure de travailler dans un environnement collaboratif et de faire la liaison entre deux équipes de recherche, à l'UTBM et au CEA.

Des déplacements durant le stage, pris en charge par le CEA, seront nécessaires pour réaliser certaines expérimentations.

Une possibilité de continuer en thèse, sur des sujets similaires, est envisageable.

Profil recherché : étudiant en fin de cursus d'ingénieur ou de Master (niveau Bac+5)

Domaine de spécialité : Fibres Optiques, Réseaux de Bragg, Déformation, Matériaux, Projection thermique, haute température, revêtements

Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...) : Plateforme de projection, caractérisations micrographiques, four haute température, machine d'essais thermo-mécaniques, capteurs à fibres optiques, réseaux de Bragg, interrogateurs optoélectroniques, pilotage d'instruments, acquisition de données, analyse de résultats

Logiciels : Langage de programmation type Matlab, Python, ou équivalent.

En pratique : Le stage proposé se déroulera majoritairement au sein du laboratoire ICB de l'UTBM avec des missions régulières sur le site de Saclay du CEA prises en charge par le CEA.

Une gratification moyenne de 553€/mois est proposée compte tenu du cadre administratif imposé par le ministère.