



Laboratoire PROMES-CNRS
Tecnosud, Rambla de la thermodynamique
66 100 Perpignan, France
<https://www.promes.cnrs.fr/>



Sujet de thèse

Modélisation et développement d'un démonstrateur de dosimètre à fibre optique réparti

Directeur de thèse : Stéphane Grieu, Professeur des Universités, grieu@univ-perp.fr

Co-directeur : Matthieu Caussanel, Maître de Conférences, matthieu.caussanel@univ-perp.fr

Co-encadrant : Julien Eynard, Maître de Conférences, julien.eynard@univ-perp.fr

Mots-clés : modélisation, identification des systèmes, traitement du signal, programmation scientifique.

Modalité d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant

Le doctorant sera accueilli au sein de l'équipe COSMIC (Commande des Systèmes, Instrumentation, Caractérisation) du laboratoire PROMES (UPR CNRS 8521). PROMES est rattaché à l'INSIS (Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes) et conventionné avec l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD). Un comité de suivi individuel (CSI) vérifiera chaque année la bonne avancée des travaux et autorisera la réinscription du doctorant. Ce dernier complètera sa formation grâce aux différents modules proposés par l'école doctorale ED 305 « Énergie et environnement ».

Présentation détaillée du projet doctoral

Le projet doctoral s'inscrit dans la continuité du projet DROÏD (Distributed Optical Fiber Dosimeter), financé depuis novembre 2013 par le PIA (Programme d'Investissement d'Avenir) RSNR (Recherche en Sécurité Nucléaire et Radioprotection). Son objectif est le développement d'un capteur linéaire réparti permettant d'effectuer une mesure de dose de radiation sur la totalité de la longueur d'une fibre optique avec une résolution spatiale métrique. La technologie employée est la réflectométrie optique, utilisée pour mesurer l'atténuation induite par les radiations dans la fibre (ou ARI, pour « atténuation radio-induite »). À ce jour, il n'existe pas de dosimètre linéaire (1D) réparti commercial et ce système viendra combler un manque entre les capteurs ponctuels déjà existants (0D) et la gamma caméra (2D). De nombreuses applications ont été identifiées en milieu nucléaire.

DROÏD a abouti au développement d'une fibre optique avec une sensibilité aux radiations record de 0,4 dB/Gy.m à une longueur d'onde de 850 nm. Pendant la dernière campagne d'irradiation du projet, cette fibre ultra-sensible a été caractérisée dans différentes conditions expérimentales, fournissant ainsi un jeu de données servant de base à la modélisation liant l'ARI à la dose reçue. Le travail de thèse va se dérouler en deux étapes. La première consiste à développer un modèle de la réponse aux radiations du capteur. Cette partie a débuté lors du projet DROÏD : la relation causale entre dose reçue et ARI a été modélisée, et une procédure d'inversion de ce modèle a été proposée. Toutefois, quelques aspects sont encore à améliorer, par exemple la prise en compte d'un effet de faible débit de dose observé expérimentalement. Par ailleurs, la robustesse au bruit du modèle sera étudiée. Au cours de la seconde étape, le modèle sera implémenté dans un logiciel qui pilotera le réflectomètre et calculera en temps réel le débit de dose reçu sur chaque tronçon du capteur. Ceci aboutit à un démonstrateur de l'interrogateur qui, associé à la fibre ultra-sensible, constitue le système de suivi dosimétrique.

Objectif

L'objectif du projet doctoral est de contribuer au développement d'un capteur de radiation réparti de nouvelle génération. Suite à des échanges avec EDF R&D, ce système de suivi dosimétrique trouve de nombreuses applications au sein d'une centrale nucléaire pour la production d'énergie électrique : (1) en tant que chaîne fixe de surveillance des rayonnements dans les installations (pourtour du bâtiment réacteur) (2) en tant que système et réseau de surveillance de la radioactivité dans l'air, l'eau (piscine de désactivation et stockage de combustible) et les sols (enterrement aisé des fibres) (3) pour la mesure de niveau de réservoirs contenant des produits radioactifs (4) pour la surveillance de dépôts de points chauds dans certains circuits identifiés et (5) pour la localisation d'une source bloquée dans la gaine d'un gammagraphe.

Contexte

À ce jour, dans les milieux du nucléaire et de la physique des hautes énergies, les relevés de dose de radiation sont réalisés par des mesures ponctuelles (0D, compteur Geiger-Müller, dosimètres à semi-conducteurs...) ou bien surfaciques (2D, imagerie gamma ou alpha). Pour des environnements qui présentent des risques électriques ou difficiles d'accès (réacteur nucléaire, conduits étroits avec de faibles rayons de courbure), l'utilisation de ces technologies est problématique (compatibilité électromagnétique, miniaturisation de l'électronique, faible rapport signal à bruit imposé par la distance). À cette fin, les fibres optiques offrent des avantages indéniables : une isolation galvanique parfaite, une immunité aux perturbations électromagnétiques, des dimensions et un poids réduits, une grande fiabilité et une facilité d'intégration. Aucun produit commercial ne permet à la fois la mesure et la localisation d'un dépôt de dose le long d'un objet linéaire. Ces deux opérations peuvent être réalisées en interrogeant une fibre optique à l'aide d'un réflectomètre optique. La capacité à localiser un phénomène physique d'intérêt est déjà utilisée dans des capteurs commerciaux de température ou de contraintes. Le travail proposé dans le cadre de ce projet doctoral va contribuer au développement d'un capteur de radiation réparti de nouvelle génération.

Résultats attendus

- Développement d'un modèle décrivant le comportement de la fibre optique sous rayonnement.
- Participation à la mise au point d'un démonstrateur du dosimètre.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Le projet de recherche fait suite au projet DROÏD financé depuis novembre 2013 par le PIA (Programme d'Investissement d'Avenir) RSNR (Recherche en Sécurité Nucléaire et Radioprotection). Le matériel (réflectomètre optique et échantillons) et les données expérimentales nécessaires au bon déroulement de la thèse sont déjà disponibles au laboratoire PROMES. Le reliquat d'un contrat passé avec EDF R&D, soit environ 20 k€, sera si nécessaire utilisé pour l'achat de petit matériel complémentaire et pour financer les missions de diffusion et de publication des résultats. Par ailleurs, l'équipe COSMIC pourra également répondre, sur ses fonds propres, aux besoins du doctorant.

Salaire mensuel

Le doctorant sera recruté dans le cadre d'un contrat doctoral qui fixe la rémunération à 1770 euros bruts mensuels pour une activité de recherche seule.

Ouverture internationale

En France comme à l'étranger, tous les acteurs du milieu nucléaire et de la physique des hautes énergies sont susceptibles d'être intéressés par le développement entrepris lors du projet DROÏD (PIA RSNR) et poursuivi par l'intermédiaire du présent projet doctoral.

Collaborations envisagées

Le département R&D d'EDF et le CEA ont manifesté leur intérêt quant à la technologie développée. Ainsi, de nouvelles collaborations ayant pour objet le test en environnement opérationnel du démonstrateur sont envisagées.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant

Il est raisonnable d'imaginer publier dans des revues internationales à comité de lecture au moins un article traitant du développement du modèle décrivant le comportement du capteur sous irradiation et de sa robustesse au bruit. La participation du doctorant à des congrès scientifiques nationaux et internationaux sera encouragée.

Profil et compétences recherchées

Le profil recherché est celui d'un titulaire d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur dans les domaines de l'électronique et de l'automatique.

Les compétences de premier plan recherchées sont l'identification des systèmes, le traitement du signal et la programmation scientifique (Matlab, LabView, C++). Les compétences de second plan sont l'instrumentation, la fibre optique et l'optoélectronique.

Références bibliographiques

- [1] G. Beauvois, M. Caussanel, J.-F. Lupi, M. Ude, S. Trzesien, B. Dussardier, H. Duval, S. Grieu, and W. Blanc, *Caractérisation de fibres optiques sous irradiation gamma : influence du thulium, de l'aluminium, du lanthane et du cérium*, in JNOG 2017, Limoges, France, pp. 242-244, July 4-6, 2017.
- [2] P. Stajanca, and K. Krebber, *Radiation-Induced Attenuation of Perfluorinated Polymer Optical Fibers for Radiation Monitoring*, *Sensors*, vol. 17, no. 9, pp. 1959, 2017.
- [3] G. Beauvois, M. Caussanel, J.-F. Lupi, M. Ude, S. Trzesien, B. Dussardier, H. Duval, and S. Grieu, *Presentation and Preliminary Results of DROÏD Project: Development of a Distributed Optical Fibre Dosimeter*, in 11th International Symposium on SiO₂, Advanced Dielectrics and Related Devices, Nice, France, pp. 74-75, June 13-15, 2016.
- [4] G. Beauvois, M. Caussanel, J.-F. Lupi, M. Ude, S. Trzesien, B. Dussardier, H. Duval, and S. Grieu, *Projet DROÏD : Développement d'un dosimètre distribué à fibre optique*, in FMR 2016 | 7^{es} journées sur les Fibres Optiques en Milieu Radiatifs, Chatenay-Malabry, France, pp. 6, 12-13 décembre 2016.
- [5] H. Henschel, M. Körfer, J. Kuhnenn, U. Weinand, and F. Wulf, *Fibre optic radiation sensor systems for particle accelerators*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, vol. 526, no. 3, pp. 537-550, 2004.
- [6] R. Hille, H. Bueker, and F. W. Haesing, *Glass fibers as radiation detectors*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 299, no. 1-3, pp. 217-221, 1990.