



Aurea Technology
18 rue Alain Savary
25000 Besançon
<http://www.aureatechnology.com>



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



Sujet de thèse

Optimisation d'un réflectomètre par comptage de photons pour mesurer l'atténuation radio-induite d'une fibre optique

Introduction

Ce sujet de thèse est proposé conjointement par le laboratoire PROMES-CNRS, localisé à Perpignan, et l'entreprise Aurea Technology, située à Besançon, dans le cadre du dépôt à venir d'un dossier CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la Recherche) auprès de l'ANRT. Le doctorant sera amené à partager les 3 années de thèse entre le laboratoire et l'entreprise.

Directeur de thèse : Bernard CLAUDET, Professeur

Co-directeur : Matthieu CAUSSANEL, Maître de conférences

Co-encadrant : Johann CUSSEY, Directeur Général de l'entreprise Aurea Technology

Mots-clés : Réflectométrie optique, fibre optique, optoélectronique, électronique, instrumentation, automatique, traitement du signal, programmation scientifique (Matlab, LabView, C++).

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

Concernant le laboratoire PROMES (UPR CNRS 8521), le doctorant sera accueilli au sein de l'équipe COSMIC (Commande des Systèmes, Instrumentation, Caractérisation). 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 « Energie et environnement ».

Concernant l'entreprise Aurea Technology, le doctorant sera intégré à l'équipe R&D d'AUREA pendant ses travaux de thèse. Aurea Technology est une entreprise française, basée à Besançon (25), spécialisée dans la détection optique ultra-sensible et plus précisément dans la conception et la fabrication d'instruments de mesure à base de détecteur de photons.

Présentation détaillée du projet doctoral

Le projet doctoral s'inscrit dans la continuité du projet DROÏD (Distributed Optical Fiber Dosimeter), financé de novembre 2013 à mai 2018 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. La lecture correcte de l'atténuation de cette fibre par réflectométrie optique est un élément clef de la conception du dosimètre. Il existe plusieurs techniques de détection : directe, cohérente, par comptage de photon, à spectre étalé, etc. Le laboratoire possède un réflectomètre Viavi utilisant une détection directe, ainsi qu'un réflectomètre Aurea Technology par comptage de photons.

Le travail de thèse concerne le perfectionnement de la mesure d'ARI par ce réflectomètre fonctionnant selon le principe du comptage de photons. Cette amélioration du rapport signal à bruit porte à la fois sur les paramètres de fonctionnement du réflectomètre (fréquence et atténuation des impulsions laser, filtrage optique) et sur le traitement du signal obtenu. Une fois déterminée, la procédure de mesure d'ARI sera implémentée dans un logiciel qui pilotera le réflectomètre.

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

- Optimisation de la mesure d'ARI par réflectométrie optique de type comptage de photons.
- Évolution du réflectomètre par comptage de photon d'Aurea Technology
- Développement d'un logiciel de pilotage du réflectomètre.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Le projet de recherche fait suite au projet DROÏD financé à hauteur de 250 k€ de novembre 2013 à décembre 2018 par le PIA (Programme d'Investissement d'Avenir) RSNR (Recherche en Sécurité Nucléaire et Radioprotection). Le matériel (réflectomètre optique et échantillons de fibres optiques) nécessaire au bon déroulement de la thèse est déjà disponible au laboratoire PROMES. Le contrat de collaboration entre le laboratoire et l'entreprise permettra l'achat éventuel de petit matériel complémentaire, le financement des missions de diffusion, la participation à des salons professionnels et la publication des résultats.

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 a manifesté son intérêt quant à la technologie développée. Ainsi, une nouvelle collaboration avec ce dernier ayant pour objet le test en environnement opérationnel du prototype est envisagée.

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 de l'optimisation de la mesure d'ARI par le réflectomètre de type comptage de photons. 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'(opto)électronique et de l'automatique.

Les compétences de premier plan recherchées sont 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] G. Beauvois, M. Caussanel, J.-F. Lupi, M. Ude, S. Trzesien, B. Dussardier, H. Duval, and S. Grieu, *Presentation and Preliminary Results of DROID 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.
- [3] J. Brendel, *High-Resolution Photon-Counting OTDR for PON Testing and Monitoring*, in OFC/NFOEC 2008 - 2008 Conference on Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference, pp. 1-5, 24-28 Feb. 2008.
- [4] P. Eraerds, M. Legre, J. Zhang, H. Zbinden, and N. Gisin, *Photon Counting OTDR: Advantages and Limitations*, Journal of Lightwave Technology, vol. 28, no. 6, pp. 952-964, 2010.
- [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.