

## Sujet de thèse CIFRE

Intitulé : Développement d'une méthode de mesure multipoints pour la réduction d'incertitudes de la quantification de l'activité dans les colis de déchets par spectrométrie gamma.

Niveau : bac +5

Public : école d'ingénieur/master 2 professionnel ou recherche

Période : 2019-2022

Entreprise : Innowtech est une TPE innovante créée en octobre 2017 qui compte 4 membres aux compétences pluri-disciplinaires et complémentaires pour le développement de solutions innovantes en mesure industrielle pour l'Industrie 4.0.

Laboratoire d'accueil : CEA/DRT/LIST/DM2I/SCI/LCAE

Le Laboratoire Capteurs et Architectures Electroniques (LCAE) est un laboratoire appartenant à la branche technologique du CEA (CEA Tech) situé sur le centre de Saclay. Le LCAE est un laboratoire pluridisciplinaire composé de trois thématiques, à savoir : le pôle « mesure physique et instrumentation » ; le pôle « chimie » ; le pôle « architectures électroniques ». L'ensemble de ces compétences permet de constituer une chaîne de mesure nucléaire complète en allant par exemple de la conception de scintillateurs plastique modifiés, au dimensionnement du système par simulation Monte Carlo, à la réalisation de la chaîne de mesure, et à la validation expérimentale du système.

Les principaux clients industriels du LCAE sont : ORANO, EDF, Rolls-Royce Civil Nuclear, ainsi que des entreprises spécialisées en instrumentation nucléaire (Mirion Technologies, Nuvia, Bertin).

Résumé :

La gestion des déchets représente un enjeu majeur pour l'ensemble des industries. L'industrie nucléaire ne fait pas exception. Les déchets radioactifs sont classés en fonction de critères spécifiques et propres à chaque pays, permettant de les associer à une filière d'évacuation/gestion (exutoires). Ils sont classés à partir de leur niveau d'activité et de la période radioactive des radionucléides. Les processus qualité garantissent une connaissance détaillée de la composition des colis de déchets ; ces processus s'appuient sur deux types de mesures présentant chacune ses avantages et inconvénients. Les analyses (radiochimiques) destructives nécessitent un prélèvement d'échantillon et leur préparation en laboratoire. Elles permettent d'atteindre une grande sensibilité, mais ne sont représentatives que des échantillons prélevés compte tenu de l'hétérogénéité des déchets. Les mesures nucléaires non destructives actives ou passives permettent d'obtenir une caractérisation systématique (plus ou moins rapide) de l'ensemble du colis. Parmi les mesures nucléaires non destructives passives, la spectrométrie gamma est très largement utilisée, car elle ne nécessite pas de source de rayonnement externe et est simple à mettre en œuvre. En revanche l'atténuation

des rayonnements dans les colis de déchets peut générer des incertitudes importantes qui conduisent actuellement au sur-classement de nombreux colis, entraînant ainsi un coût supplémentaire pour l'entreprise.

Le budget puis la propagation des incertitudes sont des sujets fondamentaux sur l'ensemble de la chaîne de la gestion des déchets radioactifs. Une approche générale est imposée par la diversité des colis, elle s'appuie sur des méthodes de collecte et de traitement des données et informations collectées.

Pour répondre à la connaissance de l'incertitude associée à la déclaration en activité des colis de déchets nucléaires, Innowtech développe des systèmes de mesures embarqués et embarquables. Afin de compléter son offre, Innowtech a pour objectif de développer les algorithmes de traitement des données acquises ainsi que l'IHM associée.

Un cas concret d'application consiste à équiper de capteurs embarqués un des deux bras robotiques six axes qui, complété avec un système de frottis et un contaminamètre, composent un système de caractérisation de colis de déchets (Figure 1). Ce système permettra de réaliser des mesures multipoints (Figure 2), en débit de dose (avec une sonde de débit de dose de type Geiger Muller) et en spectrométrie gamma (avec un spectromètre de type CdZnTe). Les fûts de déchets sont de type FA-MA, dans lesquels les radioéléments à identifier sont des produits d'activation et des actinides.



Figure 1: Système de caractérisation de colis de déchets

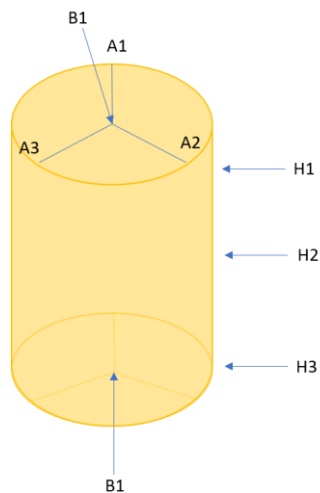


Figure 2: Position des points de mesure sur le fût

L'objectif de cette thèse est de définir une méthode de mesure multipoints dynamique pour l'optimisation de la déclaration de l'incertitude associée à la grandeur d'intérêt (débit de dose et activité). L'identification des points chauds et la détermination du débit de dose global avec son incertitude associée sont également des valeurs cibles de la méthodologie. Les axes d'optimisation de la méthode concernent le choix des capteurs, les modalités de collecte des données et leur traitement. Une première approche pourra ainsi comparer des méthodes telles que la méthode T/ECT (Transmission/Emission Computed Tomography) vis-à-vis d'une mesure globale d'un fût tournant en spectrométrie gamma ou au SGS (Segmented Gamma Scanning).

Une première partie du travail consistera en une étude paramétrique pour dégager le budget d'incertitude et les termes d'intérêt. Pour cela le candidat, s'appuiera sur des outils de simulation : un code de calcul Monte Carlo de transport des particules (MCNP6 ou TRIPOLI, à l'appréciation de l'étudiant) et les méthodes de propagation des incertitudes. Les indicateurs mesurables seront dégagés des résultats de simulation. A partir des simulations de différents types de matrices, le candidat définira la mesurabilité (faisabilité, domaine d'application, limites de détection, incertitudes de mesure, etc.) de la méthode mise en place.

Il s'agit de répondre à la question : le positionnement des capteurs est-il une solution à la réduction des incertitudes associées à la grandeur d'intérêt ?

Cette interrogation devra ouvrir à des solutions alternatives, par exemple le traitement numérique pour lesquelles les solutions d'apprentissage seront particulièrement étudiées.

La seconde partie du travail concernera l'instrumentation : cette partie pourra être complétée par des études (simulations) permettant d'affiner et justifier le choix de détecteur, quantifier l'impact de la qualité de la résolution du spectre CdZnTe sur l'incertitude des résultats, optimiser les distances de mesure, dimensionner un collimateur (si nécessaire), etc.

Commenté [AG1]: Proposer MCNP ou TRIPOLI

En parallèle le doctorant collaborera avec un ingénieur ou un stagiaire dont la mission sera de coder l'algorithme de traitement de ces données, dans un langage facilement portable (C++, C#, etc) qui devra être une brique technique facilement interfaçable avec une supervision.)

Par la suite, la méthodologie sera confrontée à des mesures expérimentales sur des fûts factices avec des sources ponctuelles, puis sur des fûts « typiques » que l'on rencontre sur les installations nucléaires.

#### Phasage prévisionnel:

- 0-6 mois – bibliographie / prise en main de MCNP6 / identification des termes d'intérêt/source d'incertitudes / définitions des premiers modèles des études paramétriques / choix des algorithmes de tomographie – [LCAE, Saclay](#)
- 6-18 mois -- Ecriture de l'algorithme / Allers-retours avec les simulations / perfectionnement de l'étude paramétrique et affinage du modèle / Évaluation des différentes briques technologiques du système de manière indépendante / premiers essais expérimentaux des différentes briques techniques (CdZnTe, GM, etc.) en laboratoire (12 – 18 mois)– [LCAE, Saclay](#)
- 18-24 mois – Tests (sources puis fûts factices et fûts réels) et validations expérimentales de la méthode / Optimisation du modèle de simulation -- [Innowtech, Nîmes/CEA Marcoule](#)
- 24-30 mois – rédaction et validation du plan du mémoire de thèse / Tests supplémentaires / Fin de validation de la méthode / Portage de l'algorithme en C#/C++ -- [Innowtech, Nîmes](#)
- 30-36 mois -- rédaction du mémoire de thèse / préparation de la soutenance / recherche d'emploi ou perspectives au sein de l'entreprise – [lieu au choix](#)

#### Pratique :

L'accueil en entreprise se fera dans les locaux d' Innowtech à Nîmes.

Une partie des montages et tests seront réalisés dans les locaux d'Innowtech situés à Bagnols-sur-Cèze (~60km de Nîmes). Des discussions et expériences seront réalisées sur une installation du CEA Marcoule (~9km de Bagnols-sur-Cèze). Par conséquent, la possession d'un véhicule est recommandée.

Connaissances requises : Physique nucléaire, interaction rayonnement-matière, instrumentation, système de détection (spectrométrie gamma, mesure de débit de dose), simulation numérique et calcul scientifique, analyse statistique, métrologie.

**Commenté [SA2]:** Cette étape consiste plus en un travail d'ingénierie que d'un travail de R&D d'un doctorant. Il pourrait être envisagé de déléguer cette tâche à un stagiaire encadré par le doctorant.

**Commenté [AG3]:** Oui pour l'instrumentation et le développement d'application logicielle. Je serai plutôt partant pour le dev du soft car cela aboutirait le stage. En parallèle nous pourrions faire le dimensionnement du poste. A discuter.

**Commenté [SA4]:** Le planning nous convient très bien.

**Commenté [SA5]:** Sachant que l'étape suivante (18 à 24 mois) ne dure que 6 mois et comporte des essais sur des fûts factices et réels. On peut envisager d'ajouter des premiers essais expérimentaux au labo entre 12 et 18 mois (par exemple), de manière à évaluer indépendamment les différentes briques du futur système complet (le CdZnTe, le GM, etc.). Tests avec des sources seules, sans fut.

**Commenté [SA6]:** Est-il de prévu de faire des allers-retours avec le modèle de simulation validé précédemment ?