

**Proposition de stage de fin d'études (possibilité de thèse a la clé)  
Année universitaire 2013- 2014**

**« CARACTÉRISATION DU PLUTONIUM PAR DES MESURES PASSIVES  
DE COÏNCIDENCES AVEC DES SCINTILLATEURS ORGANIQUES »**

**Contexte et enjeux**

Le Laboratoire de Mesure Nucléaire (LMN) du CEA Cadarache étudie une méthode de caractérisation innovante du plutonium basée sur la détection passive des coïncidences neutroniques de fission avec des scintillateurs plastiques. La méthode repose sur la mesure du temps séparant les impulsions enregistrées dans les multiples détecteurs composant le système de détection. A partir de ces mesures de temps on crée un histogramme qui permet d'identifier et de quantifier le signal associé aux événements corrélés en temps qui se détache du bruit blanc aléatoire induit par les coïncidences accidentelles.

L'utilisation de scintillateurs plastiques s'inscrit dans un contexte général de pénurie en détecteurs gazeux à  $^3\text{He}$ , utilisés généralement pour les mesures des colis de déchets par coïncidences neutroniques passives : les scintillateurs plastiques sont au minimum 10 fois moins coûteux à efficacité de détection équivalente.

Un autre avantage crucial est attendu plus spécifiquement en cas d'émission neutronique parasite intense due à des réactions ( $\alpha, n$ ) provoquées par des émetteurs alpha comme  $^{241}\text{Am}$  sur des noyaux légers (O, B, Li...), selon la forme chimique de la matière nucléaire. Ces réactions peuvent générer un taux de coïncidences accidentelles d'une importance telle qu'il devient difficile de soustraire le bruit blanc du signal utile, car le ratio des coïncidences réelles (fission spontanée) et accidentelles (réactions ( $\alpha, n$ )) est alors trop faible. On peut repousser la limite d'applicabilité de la méthode en utilisant des détecteurs plus rapides que les compteurs gazeux à  $^3\text{He}$  (temps de réponse de l'ordre de quelques dizaines de  $\mu\text{s}$  dû à la nécessité de thermaliser les neutrons dans du polyéthylène entourant les compteurs), comme les scintillateurs plastiques à proton de recul (détection directe des neutrons rapides, temps de réponse de l'ordre de quelques ns) : ceci permet d'utiliser une fenêtre d'analyse des coïncidences utiles de fission environ 1000 fois plus courte et d'améliorer d'autant le rapport signal sur bruit accidentel.

Par contre, contrairement aux compteurs gazeux, les scintillateurs sont très sensibles aux rayonnements gamma des objets radioactifs mesurés (raies jusqu'à quelques centaines de keV de l'Am et du Pu, et au-delà du MeV pour d'autres radioéléments éventuellement présents comme  $^{60}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , etc.) et à ceux de plusieurs MeV qui accompagnent, de façon corrélée, les neutrons célibataires des réactions ( $\alpha, n$ ) et pouvant conduire à des coïncidences réelles parasites. Ils sont aussi sensibles au phénomène de diaphonie entre détecteurs proches, c'est-à-dire à des détections simultanées dues à une seule particule suite aux diffusions élastiques et inélastiques dans un premier détecteur. Les réactions ( $n, n'\gamma$ ) ou ( $n, 2n$ ) dans les objets mesurés ou les écrans peuvent aussi générer des coïncidences réelles parasites (non dues à des fissions). Ces bruits parasites de nature corrélée temporellement, comme le signal utile, sont donc difficiles à soustraire par une analyse temporelle contrairement au bruit accidentel évoqué plus haut et il doit donc être étudié au cas par cas pour chaque application envisagée. Le LMN s'intéresse notamment à la caractérisation des colis de déchets radioactifs, au contrôle de procédé sur de grands équipements (four d'incinération) et à l'assainissement des installations nucléaires (mesure de boîtes à gants, diffuseurs, canalisations, cuves, etc.). Le LMN dispose d'une longue expérience des mesures neutroniques avec détecteurs à  $^3\text{He}$  dans l'ensemble du cycle du combustible et développe depuis 2010, dans le domaine de la lutte anti-terroriste, une méthode de détection des matières nucléaires par interrogation neutronique utilisant des scintillateurs plastiques pour détecter des coïncidences entre particules de fissions induites [1-4]. Ce programme lui a permis d'acquérir le code MCNP PoliMi [5] et de développer des outils de post-traitement sous ROOT [6] pour modéliser ces coïncidences à l'échelle de la nanoseconde.



## Objectifs du stage

Le stage consistera à concevoir et à estimer, par simulation numérique, les performances de systèmes de mesure pour diverses applications. Les premières études menées au LMN montrent la nécessité d'exploiter les ordres de coïncidence élevés, c'est-à-dire au moins 4 ou 5 particules détectées simultanément, pour que le signal utile de fission soit significativement supérieur au bruit corrélé dû aux réactions ( $\alpha, n$ ) accompagnées de rayonnement gamma, à la diaphonie entre détecteurs et aux réactions ( $n, n'\gamma$ ) ou ( $n, 2n$ ), qui génèrent des coïncidences d'ordre plus faible. Le stage visera en particulier, avec les outils existants et en développant si nécessaire de nouvelles macros de post-traitement sous ROOT, à quantifier dans quelle mesure le taux de comptage total très élevé, dû essentiellement aux émissions autres que les fissions spontanées du Pu (telles les émissions neutroniques et gamma de  $^{241}\text{Am}$ ) peut accroître l'ordre des coïncidences par des détections accidentelles et réduire le contraste entre coïncidences utiles (du Pu) et parasites (de l'Am).

---

<b>Durée</b>	6 mois
<b>Profil recherché</b>	Sage de fin d'études : Ecole d'Ingénieurs ou Master 2 Recherche Possibilité de thèse à l'issue du stage
<b>Unité d'accueil</b>	CEA, DEN, Cadarache, Laboratoire de Mesures Nucléaires Bâtiment 224, 13108 Saint-Paul-lez-Durance
<b>Contacts</b>	Cédric Carasco <a href="mailto:cedric.carasco@cea.fr">cedric.carasco@cea.fr</a> 04 42 25 61 30 Bertrand Pérot <a href="mailto:bertrand.perot@cea.fr">bertrand.perot@cea.fr</a> 04 42 25 40 48

---

## Références bibliographiques

- [1] B. Perot, C. Carasco, *Method for detecting nuclear material by means of neutron interrogation, and related detection system*, WIPO Patent Application WO/2012/095357.
- [2] C. Carasco, C. Deyglun, B. Pérot, C. Eléon, S. Normand, G. Sannié, K. Boudergui, G. Corre, V. Konzdrasovs, P. Pras, *Detection of Special Nuclear Materials with the Associate Particle Technique*, CAARI 2012, 22<sup>nd</sup> International Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry.
- [3] C. Deyglun, C. Carasco, B. Pérot, S. Normand, G. Sannié, K. Boudergui, G. Corre, V. Konzdrasovs, P. Pras, *Passive and active correlation techniques for the detection of nuclear materials*, abstract submitted to ANIMMA 2013, Third International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation, Measurement Methods and their Applications, 23-27 June 2013, Marseille, France. Submitted to Transactions on Nuclear Science.
- [4] C. Deyglun, C. Carasco, B. Pérot, Monte Carlo parametric studies of neutron interrogation with the Associated Particle Technique for cargo container inspections, abstract submitted to SNA-MC 2013, 2nd joint international conference on Supercomputing in Nuclear Application (SNA) and Monte Carlo (MC), Paris 27 31 October 2013.
- [5] S. A. Pozzi, E. Padovani, M. Marseguerra, *MCNP-PoliMi: a Monte-Carlo code for correlation measurements*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 513 (2003) 550–558.
- [6] R. Brun, F. Rademakers, ROOT — An object oriented data analysis framework, NIM A 389, 1997, pp. 81–86, <http://root.cern.c>