

Mesure de traces de radioactivité dans l'environnement par spectrométrie γ en coïncidence

Hugo-Dev LENOUEL

CEA

hugo-dev.lenouvel@cea.fr

Le CEA-DAM a mis au point il y a 10 ans un système dédié à la mesure de produits de fission et d'activation présents à l'état de traces dans l'environnement, appelé Gamma³ [1] (Figure 1). Ce système est composé de trois détecteurs germanium hyper pur (HPGe) pour la spectrométrie γ classique ainsi que d'un blindage optimisé. La partie passive est composée de plomb (FA, TFA et archéologique) ainsi que de polyéthylène boré. Quant au blindage actif, il est composé de scintillateurs plastiques, permettant une mesure en anticoincidence réduisant le bruit de fond cosmique d'un facteur 10. A titre d'exemple, la limite de détection de l'²³⁸U est de l'ordre de 3.1 $\mu\text{g/L}$, 10 fois inférieure aux concentrations limites recommandées par l'OMS ($\sim 30 \mu\text{g/L}$) pour l'eau potable.

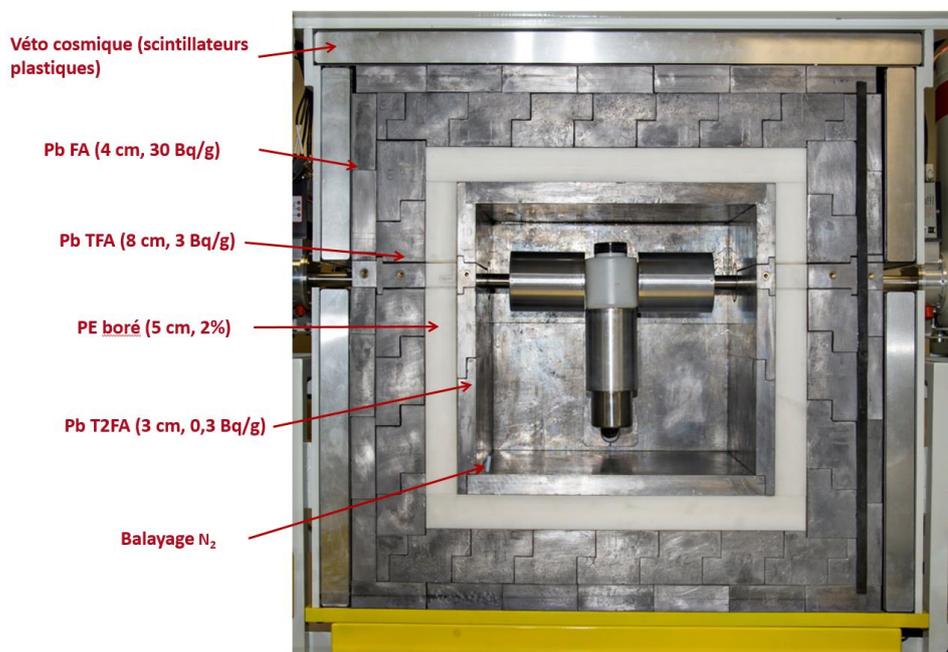


Figure 1 : Photographie du Gamma³

Outre la spectrométrie γ classique, le Gamma³ peut fonctionner en mode coïncidence en détectant plusieurs particules dans plusieurs détecteurs dans une courte fenêtre temporelle [2]. Jusqu'à présent, le laboratoire utilise les coïncidences γ/γ à des fins qualitatives uniquement. Le faible taux d'évènements détectés en coïncidence est compensé par un rapport signal sur bruit élevé (un gain d'un à deux ordres de grandeur par rapport à la spectrométrie classique) et des limites de détection nettement plus basses. Par exemple, pour une mesure de 3 jours, les limites de

détection pour l' ^{110m}Ag et le ^{60}Co sont de l'ordre de 5 mBq pour une mesure en coïncidence, contre 30 mBq en spectrométrie γ classique.

Les spectres de coïncidences (Figure 2) sont des matrices à 2 dimensions avec un nombre de canaux important ($16384 * 16384$) ce qui en fait des objets informatiques volumineux. De fait, l'exploitation de ces données est relativement complexe et coûteuse en temps d'opérateur pour parcourir l'ensemble de la matrice. De plus, l'estimation des rendements d'absorption totale pour chaque radionucléide peut s'avérer complexe, surtout pour des périodes courtes ou des radionucléides difficiles à obtenir en source étalon.

Ce travail propose une approche hybride utilisant la simulation Monte-Carlo (MCNP) pour déterminer les rendements d'absorption totale afin de quantifier les activités à partir de mesures en coïncidence. Pour assurer le raccordement métrologique entre l'expérience et la simulation, les modèles numériques ont d'abord été validés par spectrométrie γ classique à l'aide de sources radioactives étalons. Les rendements d'absorption totale en coïncidence sont obtenus à partir de matrices simulées et sont appliqués aux résultats expérimentaux pour les calculs d'activité d'un échantillon.

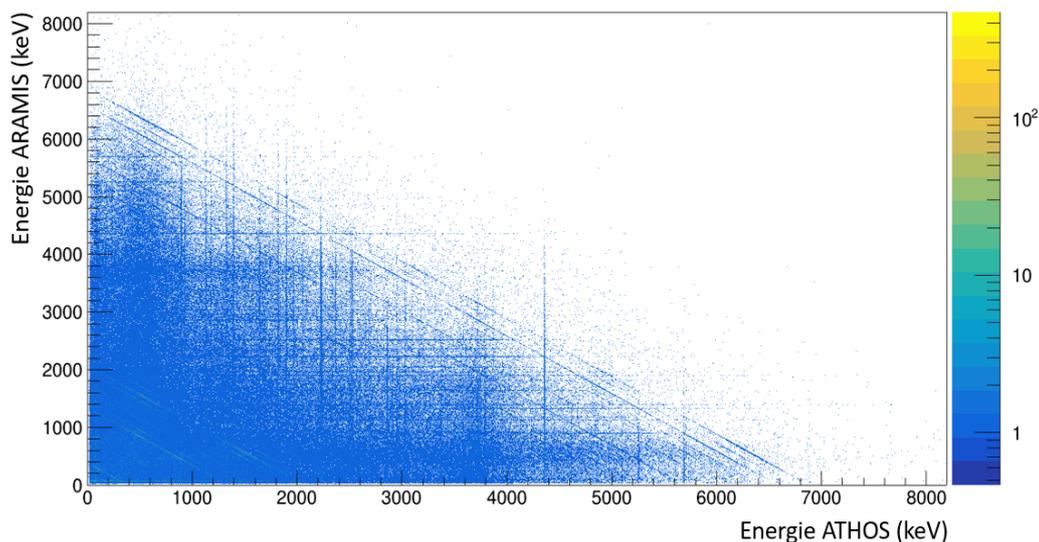


Figure 2 : Matrice de coïncidence γ/γ

Un outil d'intelligence artificielle (CNN ou ANN) est en cours de développement pour analyser de manière automatique l'ensemble de la matrice de coïncidence. Cet outil nécessite une importante base de données d'apprentissage qui a été générée à l'aide du modèle Monte-Carlo validé du système de mesure. Cet outil d'intelligence artificielle permettra d'indiquer rapidement la présence d'un radionucléide dans une matrice de coïncidence.

Le raccordement métrologique par la simulation Monte-Carlo et l'outil d'intelligence artificielle ont été testés sur des échantillons d'intercomparaison. L'un d'entre eux est un mélange de produits de fission « frais » et le second un mélange de produits de fission, d'activation et de radionucléides naturels. La méthode de raccordement a été validée avec succès et les résultats obtenus avec l'outil d'IA sont encourageants pour de futures recherches dans cette direction.

Références :

[1] A. Cagniant, *Développement et modélisation d'un spectromètre multidétecteur Ge/Si pour la détection des ultra-traces de produits de fission dans l'environnement*,



mémoire de thèse, Université Pierre et Marie Curie, 2015.

[2] H. Paradis, *Développement de la mesure par spectrométrie gamma en coïncidence*, mémoire de thèse, Université Paris-Saclay, 2016.