

## Projet Sim $\beta$ -AD : méthodologie pour l'évaluation de l'activité des radionucléides $\beta$ dans les déchets radioactifs produits par les cyclotrons

Jean-Michel HORODYNSKI<sup>1</sup>, Nicolas ARBOR<sup>2</sup>, Stéphane HIGUERET<sup>2</sup>, Daniel HUSSON<sup>2</sup>, The-Duc Lê<sup>2</sup>, Frédéric CHAPELLE<sup>1</sup>

1 : iRSD UAR3364, CNRS/INP, Orsay, France

2 : IPHC UMR7178, Université de Strasbourg/CNRS, Strasbourg, France

Jean-michel.horodynski@cnsr.fr

Les exploitants de cyclotrons sont confrontés actuellement à une problématique concernant la gestion des déchets radioactifs produits lors de leur fonctionnement, plus précisément sur la difficulté de déterminer l'activité en radionucléides émetteurs  $\beta$ -purs. En effet, les techniques de mesures sont très coûteuses en termes de mise en œuvre (scintillation liquide). Par conséquent, la reprise des déchets radioactifs par l'ANDRA est impossible et les questions liées à la sécurité de l'entreposage se posent.

Le projet Sim $\beta$ -AD (Simulation et détection pour l'évaluation de l'activation en radionucléides émetteur  $\beta$ -purs) a été initié afin de proposer aux exploitants de cyclotrons une méthodologie et des outils qui leur permettront d'évaluer l'activité des radionucléides difficilement mesurables à l'aide de facteurs de corrélation  $R_{\beta, \gamma}$ .

La méthodologie associe deux approches complémentaires :

- L'utilisation de codes de calculs Monte-Carlo afin de déterminer des facteurs de corrélations entre émetteurs gamma facilement mesurables et émetteurs  $\beta$  purs difficilement mesurables. Ces facteurs de corrélation permettront alors d'évaluer l'activité d'émetteurs  $\beta$  purs par simple mesure non destructive (spectrométrie gamma) lors des opérations de production des déchets.
- La réalisation et l'exploitation de mesures expérimentales afin de s'assurer de la précision des modélisations Monte Carlo, élément fondamental pour l'estimation des facteurs de corrélation. Une attention particulière sera portée dans ce projet à la caractérisation des distributions spatiales et énergétiques des neutrons, principales particules génératrices d'activation. Les fluences neutroniques calculées par simulations Monte Carlo, pour une situation d'irradiation donnée, seront comparées à des données expérimentales obtenues par l'utilisation de système innovant de détection des neutrons en temps-réel, basé sur la technologie des capteurs CMOS.

Cinq installations participent au projet Sim $\beta$ -AD et mettent à disposition leurs machines pour la réalisation des travaux de recherche et développement : trois installations de production de radionucléides (CYRCé (Strasbourg), CYCERON (Caen), ARRONAX (Nantes)), une installation dédiée à l'irradiation (CEMHTI (Caen)) et une installation de protonthérapie (CPO (Orsay)). Cinq codes de calculs Monte-Carlo seront mis en œuvre afin de simuler les champs de particules secondaires produits lors du fonctionnement des cyclotrons : FLUKA [1, 2], MCNP6 [3], PHITS [4], GEANT4 [5] et RayXpert [6]. Une analyse comparative de leur performance sera réalisée ainsi que la détermination des bibliothèques de sections efficaces les plus adaptées. Des mesures de caractérisation du champs neutroniques lors du fonctionnement des installations seront réalisées grâce aux détecteurs actifs de neutrons développés par l'IPHC. La technologie CMOS permet de proposer des détecteurs performants et compacts [7, 8] afin de réaliser des mesures (spectrométrie et comptages) en temps réel et

en minimisant les temps d'immobilisation des cyclotrons. Une campagne de mesures de pièces activées et de déchets radioactifs sera également entreprise dans ses installations afin d'obtenir un échantillon de données qui permettra de vérifier la fiabilité de la méthode.

Cette communication présentera les finalités du projet Sim $\beta$ -AD ainsi que les premiers résultats issus des expérimentations menées entre 2020 et 2022.

### Références

1. Ahdida, C., et al., *New Capabilities of the FLUKA Multi-Purpose Code*. Frontiers in Physics, 2022. **9**.
2. Battistoni, G., et al., *Overview of the FLUKA code*. Annals of Nuclear Energy, 2015. **82**: p. 10-18.
3. Armstrong, J., et al., *MCNP User's Manual*. 2017.
4. Sato, T., et al., *Particle and Heavy Ion Transport code System, PHITS, version 2.52*. Journal of Nuclear Science and Technology, 2013. **50**(9): p. 913-923.
5. Agostinelli, S., et al., *Geant4—a simulation toolkit*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2003. **506**(3): p. 250-303.
6. Derreumaux, S., et al., *Evaluation of RayXpert® for shielding design of medical facilities*. EPJ Web Conf., 2017. **153**.
7. Arbor, N., et al., *Real-time detection of fast and thermal neutrons in radiotherapy with CMOS sensors*. Physics in Medicine and Biology, 2017. **62**(5): p. 1920-1934.
8. Arbor, N., S. Higuere, and D. Husson, *Micro-scale characterization of a CMOS-based neutron detector for in-phantom measurements in radiation therapy*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2018. **888**: p. 103-109.