

MODÉLISATION AVANCÉE DES FANTÔMES VOXÉLISÉS PAR LE CODE TRIPOLI-4® ÉTUDE DES CAS EURADOS-WG6, WG10, et WG12

Yi-Kang LEE, François-Xavier HUGOT, Yue JIN

Université Paris-Saclay, CEA,
Service d'Études des Réacteurs et de Mathématiques Appliquées
91191 Gif-sur-Yvette, France
yi-kang.lee@cea.fr

Le Service d'études des réacteurs et de mathématiques appliquées (SERMA), du Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA), pilote le développement, la validation et la maintenance de codes de calculs déterministes et stochastiques pour la simulation du transport de particules dans diverses applications de l'industrie nucléaire. Le code TRIPOLI-4® [1, 2], l'un d'entre eux, permet de simuler le transport de neutrons, photons, électrons et positrons dans la matière par la méthode de Monte-Carlo.

Les quatre domaines d'application du code TRIPOLI-4® sont la radioprotection, la sûreté-criticité, la physique du cœur des réacteurs et l'instrumentation nucléaire. TRIPOLI-4® permet dans ces différents domaines d'estimer des valeurs moyennes des grandeurs physiques d'intérêt (flux, courant, débit d'équivalent de dose, taux de réaction, dépôt d'énergie dans la matière, dépôt de charge, dommage en dpa..., et leur intervalle de confiance associé), validées par des benchmarks et des expériences.

Dans le domaine de la radioprotection, le code TRIPOLI-4® a été utilisé et validé pour le dimensionnement de protections radiologiques, les calculs d'effet de ciel, les études de contournement de protection et de fuite de rayonnements (radiation streaming) ainsi que pour les applications dosimétriques visant à estimer les doses absorbées neutron et photon D, les débits d'équivalent de dose individuels Hp(10) et débits d'équivalent de dose ambiants H*(10) [3-6].

Afin de déterminer la dose absorbée moyenne dans un organe ou dans un tissu D_T et la dose efficace E, une nouvelle option du code TRIPOLI-4® a été récemment conçue. Elle permet de faciliter l'utilisation des fantômes voxélisés dans les applications de radioprotection [7-8]. Par rapport aux fantômes mathématiques, les fantômes voxélisés présentent un grand réalisme anatomique. À partir des images médicales de patients (CT scan / IRM), la création de fantômes voxélisés et personnalisés avec des millions de voxels serait aussi envisageable.

Le groupe EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) a récemment proposé des benchmarks basés sur l'homme (AM) et la femme (AF) de référence définis dans la publication ICRP 110 [7]. Divers scénarios d'irradiation des fantômes voxélisés sont disponibles à partir des Working Groups WG6 (Computational dosimetry), WG10 (Retrospective dosimetry), et WG12 (Dosimetry in medical imaging). Le benchmark de WG6 avec un seul fantôme voxélisé (AF ou AM) et des sources externes (neutron, gamma, bêta, et rayonnement X) et internes (gamma, bêta et bêta+) a été calculé avec TRIPOLI-4® [8]. Les modélisations des cas de WG10 [9] et WG12 [10] nécessitent de traiter deux fantômes voxélisés (AF-AM, AF-AF, et AM-AM) dans des positions différentes.

En utilisant la nouvelle option du code TRIPOLI-4®, cette présentation a pour objectif d'exposer les travaux récents sur les sujets suivants :

- 1) la modélisation conviviale des fantômes voxélisés de ICRP 110;
- 2) la visualisation accélérée de ces modèles des fantômes voxélisés avec l'outil dénommé "T4G";
- 3) la vérification et la validation des modèles TRIPOLI-4[®] de fantômes voxélisés dans des scénarios divers d'irradiation avec des sources Tc-99m, I-131 et F-18 en organes pour l'application médecine nucléaire [10] et Ir-192, en externe pour l'application industrielle [9];
- 4) des calculs des doses moyennes délivrées aux organes et des doses efficaces pour l'irradiation interne et l'irradiation externe.

Références

1. E. Brun et al., "TRIPOLI-4[®], CEA, EDF and AREVA Reference Monte Carlo Code," *Annals of Nuclear Energy* Vol. 82 pp. 151-160 (2015).
2. F.-X. Hugot, and Y.-K. Lee, "A New Prototype Display Tool for the Monte Carlo Particle Transport Code Tripoli-4," *Prog. Nucl. Sci. Technol.*, 2, pp. 851–854, (2011).
3. Y.-K. Lee, "Analysis of neutron and photon response of a TLD-ALBEDO personal dosimeter on an ISO slab phantom using TRIPOLI-4.3 Monte Carlo code," *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 115, pp. 329-333 (2005).
4. Y.-K. Lee, "TRIPOLI-4 solution for SIGMA graphite moderated Am-Be neutron field," *Workshop on Uncertainty Assessment in Computational Dosimetry – CONRAD* Bologna, Italy, Oct. 8-10, 2007.
5. Y.-K. Lee and K. Sharma, "TRIPOLI-4[®] gamma-ray dose calculation for spent PWR fuels," *Proc. of the 21th Int. Conf. on Nucl. Eng., ICONE21*, Chengdu, China, July 29 – Aug. 2, 2013.
6. Y.-K. Lee, "Reactor radiation skyshine calculations with TRIPOLI-4[®] code for Baikal-1 experiments," *Prog. in Nuclear Science and Technology*, Vol. 4, pp. 303-307 (2014).
7. International Commission on Radiological Protection, "Adult reference computational phantoms," *ICRP Publication 110*. Elsevier (2009).
8. Y.-K. Lee, "Organ Dose Calculations Using ICRP Adult Voxel Phantoms and Tripoli-4[®] Monte Carlo Code," *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science*, Oct. 2020, 6(4): 041105 (10 pages) <https://doi.org/10.1115/1.4046213> (2020).
9. L. Waldner et al., "The 2019-2020 EURADOS WG10 and RENEB Field Test of Retrospective Dosimetry Methods in a Small-Scale Incident Involving Ionizing Radiation," *Radiation Research*, 2020 Dec 21. doi: 10.1667/RADE-20-00243.1. Online ahead of print.
10. L. Struelens et al., "External dose rates from nuclear medicine patients to specific patient-caregiver geometries – A computational approach", *33rd Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine (EANM), Joint symposium 4, EAMN/EURADOS*, Oct. 22-30, (2020).