

## Code de calcul TRIPOLI-4<sup>®</sup> - Application en dosimétrie pour les deux victimes de l'accident de criticité de Tokai-Mura (1999)

Yi-Kang Lee

Université Paris-Saclay, CEA, Service d'Études des Réacteurs et de Mathématiques Appliquées

91191 Gif-sur-Yvette, France

Mail : [yi-kang.lee@cea.fr](mailto: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<sup>®</sup> [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<sup>®</sup> sont la radioprotection, la sûreté-criticité, la physique du cœur des réacteurs et l'instrumentation nucléaire. TRIPOLI-4<sup>®</sup> permet dans ces différents domaines d'estimer des valeurs moyennes des grandeurs physiques d'intérêt (flux et courant de particules, débit d'équivalent de dose, facteur de multiplication effectif des neutrons, taux de réaction, bilan neutronique du milieu fissile, dépôt d'énergie dans la matière, dommage en dpa, etc., et leur intervalle de confiance associé), validées par des benchmarks et des expériences.

Dans le domaine de la radioprotection, le code TRIPOLI-4<sup>®</sup> 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, les débits d'équivalent de dose individuels et débits d'équivalent de dose ambiants [3].

Récemment, des fantômes mathématiques issus de MIRD (Medical Internal Radiation Dose) et des fantômes voxélisés de la CIPR 110 ont été modélisés avec le code TRIPOLI-4<sup>®</sup> [3-4]. Pour alléger la manipulation des dizaines de millions de voxels des fantômes, une option 'PHANTOM' a été introduite dans TRIPOLI-4<sup>®</sup> qui permet de faciliter leur utilisation dans des scénarios d'irradiations diverses [5-7].

Le 30 septembre 1999, un accident de criticité a provoqué la mort de deux opérateurs dans un établissement de traitement d'uranium exploité par JCO (Japan Nuclear Fuel Conversion Co.) sur le site de Tokai-Mura. En utilisant de l'uranium enrichi à 18,8 % en <sup>235</sup>U pour le combustible du réacteur rapide Joyo, un réservoir de précipitation pour la solution de nitrate d'uranyle a atteint une masse critique contenant environ 16 kg d'uranium et 44 L de solution. La criticité s'est maintenue par intermittence pendant environ 19 heures 40 minutes. [8-9]

Dans cette étude, avec le code de calcul TRIPOLI-4<sup>®</sup>, nous déterminons la dose absorbée pour les deux victimes de l'accident. La reconstruction des gestes corporels des victimes sur le lieu de l'accident est disponible [10]. L'évolution temporelle de la mesure des neutrons de fission montre un pic au début de l'accident et un plateau d'une durée de 17 heures [11]. L'étude de la dose reçue dans des organes des victimes de cet accident a été calculée avec le fantôme CHAD, un dérivé du fantôme voxélisé RPI-AM, sans traiter les sources gamma secondaires ni modélisation des deux victimes simultanément [12].

Avec la nouvelle option 'PHANTOM' du code TRIPOLI-4® et les données des fantômes CIPR 110, des modélisations des scénarios d'irradiation des victimes de l'accident Tokai-Mura seront d'abord présentées. Des résultats de calculs des doses neutron et photon, primaire et secondaire, dans des organes radiosensibles des victimes seront comparés avec ceux publiés. Les incertitudes des données et leurs impacts sur les résultats seront discutés.

\* TRIPOLI-4® est un "Registered trademark" du CEA. Nous remercions EDF pour le co-financement du code.

#### 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. International Commission on Radiological Protection, "Adult reference computational phantoms," *ICRP Publication 110*. Elsevier (2009).
4. Y.-K. Lee, "Organ dose calculations using ICRP adult voxel phantoms and TRIPOLI-4 Monte Carlo code," *J. of Nucl. Eng. and Radiation Science*, **6**(4): 041105, (2020).
5. Y.-K. Lee et al., "New route in TRIPOLI-4® for radiation dosimetry calculations using ICRP 110 voxel phantoms," *ANS M&C 2021*, Raleigh, NC, Oct. 3–7, (2021).
6. Y.-K. Lee, F.-X. Hugot, Y. Jin "Modélisation avancée des fantômes voxelisés par le code TRIPOLI-4®," *13ème Congrès National de Radioprotection*, 14-18, juin (2021).
7. Y.-K. Lee and F.-X. Hugot, "Current status of TRIPOLI-4® on adult and pediatric computational phantoms for radiation dosimetry study," *14th Int. Conf. on Radiation Shielding*, ICRS 14/RPSD 2022, Sep. 25- 29, 2022, (2022).
8. IAEA, "Report on the preliminary fact finding mission following the accident at the nuclear fuel processing facility in Tokai-Mura", (1999).
9. S.-I. Tanaka, "Summary of the JCO criticality accident in Tokai-mura and a dose assessment," *J. Radiat. Res.*, **42** (2001) Suppl., S1–S9.
10. K. Miyamoto et al. "Reconstruction of two victims' posturing based on the induced radioactivities in their bones in the criticality accident in Tokai-Mura, Japan," *Health Physics*, **83** (2002) 19.
11. A. Endo et al. "Analysis of time evolution of neutron intensity measured with a high-sensitive neutron collar during the JCO criticality accident," *J. of Nucl. Sci. and Technology*, **40** (2003) 628.
12. J. A. Vazquez et al. "Development of posture-specific computational phantoms using motion capture technology and application to radiation dose-reconstruction for the 1999 Tokai-Mura nuclear criticality accident," *Phys. Med. Biol.*, **59** (2014) 5277.