

Validation du code Monte-Carlo GATE en dosimétrie interne,
sur le fantôme voxélisé féminin de référence de la CIPR.

Auteurs

D. Villoing^a, T. Mauxion^a, S. Marcatili^a, M. Poirot^a, M. Bardès^a.

^a *Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse, Université de Toulouse, INSERM UMR 1037.*

Objectifs

Le code Monte-Carlo GATE ^[1] a tout d'abord été conçu et très largement utilisé en médecine nucléaire pour la modélisation d'appareils d'imagerie scintigraphique, lors d'études de Tomographie par Emission de Positons ou de Tomographie d'Emission MonoPhotonique, aussi bien cliniques que précliniques.

Sa palette d'utilisation a depuis été développée puisqu'il est à présent possible d'utiliser GATE pour la modélisation d'autres systèmes d'imagerie et de radiothérapie, ainsi que, depuis la version 6.0, pour le calcul de la dose absorbée, que ce soit en radiothérapie externe (photons, électrons, hadrons) ou en médecine nucléaire.

La dosimétrie de la radiothérapie moléculaire, ou radiothérapie interne vectorisée, combine à la fois de l'imagerie quantitative et des calculs de dose absorbée.

C'est pourquoi être en mesure d'utiliser le même code Monte-Carlo pour ces deux aspects de la dosimétrie des radiopharmaceutiques est un atout majeur.

Cette étude a donc pour objectif de valider le code GATE pour la dosimétrie clinique interne, en comparant les valeurs de facteurs S (Gy.Bq-1.s-1), c'est-à-dire la dose absorbée moyenne par un organe cible par unité d'activité injectée, obtenues avec GATE et celles obtenues via le code de transport des rayonnements MCNPX ^[2], considéré comme une référence en dosimétrie.

Matériel et méthodes

Le fantôme voxélisé féminin de référence de la CIPR 110 ^[3], construit à partir des données de la « femme de référence » de la CIPR 89 ^[4], est utilisé comme support commun du transport des particules, afin de comparer les facteurs S de GATE (V6.2) et MCNPX (V2.7.a).

Parmi les 141 régions anatomiques segmentées dans ce modèle détaillé, 23 organes sources et cibles, pertinents dans le domaine de la médecine nucléaire, ont été sélectionnés.

Suivant la définition par la CIPR des matériaux constituant le fantôme, 53 matériaux différents ont été détaillés dans chacun des deux codes Monte-Carlo, selon leur composition élémentaire et leur densité.

Afin de comparer le dépôt d'énergie dans les organes cibles sélectionnés, différentes émissions de radiations ont été étudiées. Des photons et électrons monoénergétiques, d'une gamme d'énergie allant de 100 keV à 2 MeV, ainsi que 4 radionucléides communément utilisés en médecine nucléaire : le fluor 18, utilisé en diagnostic, et 3 émetteurs β^- utilisés en

thérapie, l'iode 131, le lutétium 177 et l'yttrium 90 (pur émetteur β^-). Les données de désintégration sont issues de l'ouvrage « MIRD: Radionuclide Data and Decay Schemes »^[5].

En entrée de MCNPX, la géométrie voxélisée du fantôme est indirectement intégrée à la simulation via une conversion de la matrice vers le format MCNPX (ImageJ). En sortie de MCNPX, l'énergie déposée dans l'organe cible est directement comptabilisée, ainsi que l'incertitude associée, grâce au tally *F8 qui donne la valeur en MeV.

En entrée de GATE, l'image du fantôme voxélisé, obligatoirement au format Interfile, est directement intégrée à la simulation grâce à la fonction InterfileReader mise à disposition dans ce code. Les données de sortie de GATE sont ici des images, au format Analyze, de la distribution d'énergie dans la géométrie voxélisée implémentée, et doivent être traitées grâce à une macro ImageJ afin d'obtenir des valeurs d'énergies déposées à l'échelle de l'organe cible.

Pour comparer les facteurs S entre organes sources et cibles pour les deux codes Monte-Carlo, on exprime la différence relative de facteurs S entre GATE et MCNPX, MCNPX étant la référence. L'incertitude associée à ce calcul est également calculée.

Résultats

Les résultats obtenus permettent d'établir en moyenne 3% de différences relatives entre GATE et MCNPX en ce qui concerne la dose auto-absorbée, c'est-à-dire lorsque la source et la cible sont confondues, avec moins de 0,2% d'incertitudes associées sur ces différences, sur l'ensemble des radionucléides et particules monoénergétiques simulées.

Pour des couples source/cible proches, les codes ne diffèrent pas au delà de 5%, avec des incertitudes associées acceptables.

Enfin, dans des configurations où source et cible sont éloignées, bien que les différences relatives observées soient plus élevées, les différences absolues entre ces facteurs S de très petites tailles peuvent être considérées comme non significatives.

Conclusion

Les facteurs S obtenus montrent une bonne correspondance entre GATE et MCNPX pour des photons et des électrons monoénergétiques ainsi que pour une gamme de radionucléides utilisés en médecine nucléaire, et ce pour une application de dosimétrie clinique sur un modèle de référence. Cette étude confirme les résultats obtenus à l'échelle préclinique^[6] et souligne la pertinence du code GATE dans le cadre de la dosimétrie des radiopharmaceutiques.

[1] Jan et al. Phys Med Biol 2011.

[2] Pelowitz et al. 2008. Los Alamos National Laboratory.

[3] Publication 110. Annals of the ICRP 2009. [4] Publication 89. Annals of the ICRP 2002.

[5] Eckerman & Endo. 2nd ed. SNM 2008.

[6] Mauxion et al. Med Phys 2013.