

Développement et validation de fantômes dosimétriques pour les études en radiobiologie

Véronique Ménard

CEA

veronique.menard@cea.fr

Morgane Dos Santos

ASNR/DRES/SERAMED/LRAcc

François Trompier

Yoann Ristic et Miray Razanajatovo

ASNR/DRES/SDOS/LDRI

Depuis plus de 30 ans, l'importance de la dosimétrie pour la radiobiologie est mise en avant (Desrosiers et al., 2013) (Pederson et al., 2016) (Draeger et al., 2019) insistant sur la nécessité d'une dosimétrie robuste afin de comparer les résultats d'expériences. Des actions d'harmonisation et de standardisation des pratiques notamment pour l'irradiation de rongeurs (Trompier et al. 2024; Stern et al. 2024) se mettent en place. Avant une expérimentation en radiobiologie, une dosimétrie dans les conditions réelles doit donc être réalisée afin de mimer les interactions dans la matière. L'interaction rayonnement/matière et donc le dépôt de dose dépend en effet de la densité de l'élément traversée, de sa composition chimique et des hétérogénéités. On utilise pour cela des fantômes de rongeurs. Concernant la forme et la taille des fantomes ainsi que le choix de leur matériaux, il n'y a pas de recommandations ; ce qui peut être problématique pour comparer les études radiobiologiques. L'impact des différents types de fantôme utilisés lors de la dosimétrie n'a pas été estimé. La dosimétrie peut alors ne pas être représentative de la dose réelle délivrée aux animaux lors de différents types d'irradiation. Par ailleurs, de plus en plus de laboratoires de recherche s'équipent de générateurs utilisant des rayonnements X de basse et moyenne énergie (XRAD 320, SARRP...etc.). Ce sont de nouveaux défis en terme de réalisation de dosimétrie en raison de la complexité de ces irradiations, de l'hétérogénéité du dépôt de dose...etc. Il existe également peu d'études sur les doses réellement délivrées (Dos Santos 2018). L'utilisation de fantôme adapté pour estimer les doses réellement délivrées aux animaux est nécessaire avec les nouveaux moyens d'irradiation type SARRP (Larry et al. 2021).

Des fantômes cylindriques, mono-matériaux étaient utilisés jusqu'alors au CEA et à l'ASNR pour la dosimétrie des configurations corps entiers. Dans le but d'harmoniser et de standardiser les mesures dosimétriques, le projet FantoMice a vu le jour porté conjointement par le CEA et l'ASNR. Les objectifs de ce projet sont de développer et de valider des fantômes dosimétriques plus représentatifs des modèles animaux utilisés en radiobiologie au moyen de différentes techniques.

Dans un 1^{er} temps, des fantômes de rongeurs ont été fabriqués avec un seul matériau. Ils ont été réalisés par moulage de rongeurs morts. Dans ces moules, on a ensuite versé un matériau équivalent tissu. Dans un second temps, nous avons réalisé des

fantômes multi-densités en insérant des squelettes de rongeurs prélevés au préalable sur des animaux morts. Ces fantômes multi-densités ont également été réalisés par moulage.

Afin de réaliser des fantômes dosimétriques encore plus représentatifs des animaux utilisés en radiobiologie, nous réalisons actuellement des tests afin de concevoir des fantômes multi-densités grâce à l'impression 3D. Une étude est en cours afin de choisir parmi les différents types de matériaux utilisés habituellement pour l'impression 3D celui le plus adapté au type de rayonnement utilisé (X ou gamma) en fonction de l'épaisseur traversée. A basse énergie l'effet photoélectrique prédomine avec une forte dépendance du dépôt de dose alors qu'à plus haute énergie avec l'effet Compton la dépendance est bien plus faible. Une courbe de rendement en profondeur pourrait être obtenue afin de choisir pour la dosimétrie le type de matériau du fantôme en fonction de la modalité d'irradiation.

Pour valider ces fantômes mono matériau et multi-densités, des mesures ont été réalisées sur un irradiateur Cesium (GSR D1) au CEA, sur un générateur X (SARRP pour Small Animals Radiation Research Platform) au CEA et sur l'accélérateur linéaire de l'ASNR. Ces mesures ont été réalisées dans les mêmes conditions sur des rongeurs afin de valider ces fantômes d'un point de vue dosimétrique. Les premiers résultats sont concluants car l'écart est inférieur à 2% entre la moyenne des doses sur un fantôme de rongeur et la moyenne des doses sur un rongeur quelle que soit la modalité d'irradiation. Pour les fantômes réalisés en impression 3D, une première courbe de différents rendements en profondeur a été obtenu grâce à des mesures réalisées à des épaisseurs allant de 0 à 2.5 cm sur des matériaux tels que du PETG, du PLA pierre, du PLA XRS...etc.

La fabrication de ces fantômes selon différentes techniques nous permettra de choisir le meilleur type de fantôme en fonction de la modalité d'irradiation et, d'assurer ainsi une reproductibilité dans la réalisation des fantômes afin de réaliser les dosimétries en radiobiologie.