
Développement et validation expérimentale d'un simulateur Monte Carlo d'examens kV-CBCT basé sur la méthode des sources virtuelles

Guillaume Boissonnat^{*1}, Hélène Chesneau², Eric Barat¹, Julien Bellec², and Lucie Berger³

¹Laboratoire Modélisation et Simulation des Systèmes (LM2S) – CEA-DRT-LIST-DM2I – CEA Saclay
- DRT/LIST/DM2I/LM2S Bat 135 (DOSEO) 91191 - GIF SUR YVETTE, France

²Centre Eugène Marquis – CRLCC Eugène Marquis – Avenue Bataille Flandres-Dunkerque 35042
RENNES CEDEX, France

³Centre Jean Perrin – CRLCC Jean Perrin – 58 rue Montalembert, 63011 Clermont-Ferrand Cedex,
France, France

Résumé

Introduction

La radiothérapie guidée par l'image (IGRT) entraîne une utilisation croissante des systèmes à rayons X (RX) d'imagerie de repositionnement. Actuellement les doses délivrées liées à l'imagerie de positionnement ne sont pas accessibles de façon personnalisée. Le projet ANR AID-IGRT cherche à proposer un outil d'estimation de ces doses basé sur la méthode Monte-Carlo (MC). Cet outil intègre des modèles de sources virtuelles pour décrire les propriétés physiques des sources de photons issues des tubes RX de ces systèmes d'imagerie. Nous présentons ici cette méthode de calcul et sa validation par des mesures OSL sur fantôme anthropomorphe pédiatrique pour les systèmes kV-CBCT OBI (Varian) et XVI (Elekta).

Matériel et méthodes

Chaque tube RX a été modélisé à l'aide du code MC PENELOPE. Pour chaque faisceau d'irradiation (tension et filtration de forme), une première simulation MC du tube RX (S0) a été réalisée puis son résultat converti en un modèle de source virtuelle (MSV). Le MSV est constitué d'un triplet d'histogrammes représentant la distribution spatiale et énergétique des photons en sortie du tube. Une seconde simulation (S1) utilise ce MSV pour générer les photons à chaque incidence du tube définie dans le protocole d'acquisition et calculer la dose délivrée dans la géométrie voxelisée d'un fantôme anthropomorphe. Dans cette étude, le fantôme anthropomorphe enfant (Grant/CIRS/ATOM) a été modélisé à partir des valeurs Hounsfield de chaque voxel de son image CT, via un processus de segmentation itératif suivi d'une assignation supervisée des matériaux le constituant.

Pour valider l'utilisation des MSV, une simulation équivalente (S2) mais propageant directement le résultat de la simulation du tube (S0) est réalisée.

Les cartographies de dose 3D obtenues sont finalement comparées aux mesures ponctuelles

*Intervenant

réalisées dans des conditions d'acquisitions équivalentes aux simulations, à partir de dosimètres OSL nanodots (Landauer), utilisant une calibration adaptée aux énergies kV mises en jeu.

Résultats

La comparaison des simulations (S1) utilisant les MSV avec les calculs conventionnels (S2) a mis en évidence des écarts moyens en dose inférieurs à 3% dans le champ d'irradiation. Ces résultats montrent la possibilité d'utiliser des MSV sans perdre en précision de calcul tout en compactant la représentation des propriétés physiques de la source de photons. Parallèlement, l'utilisation des MSV permet d'accélérer le temps de calcul d'un facteur 2,6 dans les géométries voxélisées.

L'écart entre les mesures OSL et les calculs MC sur le fantôme anthropomorphe est inférieur à 20% pour les deux systèmes XVI et OBI. Cet écart est compatible avec les incertitudes de mesure des OSL dans les tissus et paraît suffisant pour estimer les doses délivrées aux organes dans un but de radioprotection du patient.

Conclusion

L'approche présentée dans cette étude pour modéliser des MSV adaptés aux protocoles d'imagerie kV-CBCT permet d'améliorer la faisabilité des calculs dosimétriques personnalisés. En effet, l'accord global avec les doses OSL mesurées dans le fantôme anthropomorphe permet d'espérer une précision dosimétrique suffisante alors que les gains en temps de calcul et les simplifications apportées par l'utilisation des MSV devraient faciliter le transfert d'un tel outil vers la pratique clinique. Cette étude sera prochainement étendue à d'autres systèmes d'imagerie de positionnement kV (Cyberknife, ExacTrac) et MV (Tomothérapie).

Mots-Clés: Dose d'imagerie, kV, CBCT, IGRT, Sources virtuelles, Monte Carlo