

Implémentation de la méthode du transport pseudo-déterministe dans un code Monte Carlo pour le calcul de la dose hors-champ

Valentin Champciaux¹, Mathieu Agelou², Juan-Carlos Garcia-Hernandez³

¹CEA, LIST, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France, Université Paris-Saclay, valentin.champciaux@cea.fr

²CEA, LIST, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France, juan-carlos.garcia-hernandez@cea.fr

³CEA, LIST, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France, mathieu.agelou@cea.fr

Résumé

Les nouvelles techniques de radiothérapie, telles que la RCMI ou l'arcthérapie volumique modulée, permettent de mieux en mieux de conformer la dose au volume tumoral à traiter, épargnant ainsi les tissus et organes sains à proximité des effets à court terme et augmentant le taux de guérison. Malgré ces progrès technologiques, une partie du rayonnement (diffusé ou traversant le collimateur) parvient toujours à déposer une dose dans des régions éloignées du champ d'irradiation, formant ainsi la dose périphérique ou hors-champ. Un grand nombre d'études épidémiologiques montrent un possible lien entre les faibles doses, telles que la dose hors-champ, et les effets néfastes à long terme, tels que l'apparition de troubles cardiaques ou l'induction de cancers secondaires. Certaines études montrent également que les techniques modernes tendent à occasionner des doses hors-champ plus élevées, à cause de la multiplication du nombre de faisceaux et du temps d'irradiation nécessaire, et pourraient largement augmenter le risque d'apparition d'un cancer secondaire en particulier pour les patients les plus jeunes [1-2]. Il existe également une grande disparité dans les doses hors-champ entre les différents types de RCMI utilisées [3-4].

Pour la planification des traitements et pour les études épidémiologiques, la connaissance de la dose hors-champ devient fondamentale, puisqu'elle tend à augmenter avec les nouvelles techniques et ses effets sont encore mal connus. Aujourd'hui, il n'existe que très peu (voire aucun) outil rapide et fiable pour prédire cette dose, qui est généralement ignorée des logiciels de planification de traitement.

La meilleure façon de connaître théoriquement cette dose est la simulation Monte Carlo, qui est limitée par l'obstacle du temps de calcul. En particulier, les régions hors-champ ne sont atteintes que par un très petit nombre de particules. Il devient alors difficile d'obtenir la convergence du calcul et un résultat statistiquement significatif, même pour un temps de simulation très long. La solution proposée ici est l'utilisation de la technique de réduction de variance basée sur la méthode du transport pseudo-déterministe, implémentée dans le code Monte Carlo Ines actuellement développé au CEA.

La méthode du transport pseudo-déterministe peut être appliquée lorsqu'un photon subit une diffusion. Un photon additionnel est artificiellement créé, puis est diffusé et transporté sans interaction jusqu'à une sphère qui entoure la zone d'intérêt. Deux mécanismes permettent de ne pas biaiser l'estimateur d'énergie : la contribution du nouveau photon est réduite proportionnellement à la probabilité d'être réellement diffusé dans la direction choisie et d'atteindre la sphère, et le photon réel est tué s'il entre dans la sphère lors de son déplacement suivant l'interaction, et ne contribue alors plus aux estimateurs.

Les tests préliminaires de l'implémentation de la méthode dans le code montrent que l'efficacité du calcul peut être grandement augmentée, d'autant plus lorsqu'on s'éloigne du champ, et pourrait donc permettre le calcul de dose hors-champ dans un temps raisonnable.

Références

- [1] Kry et al., Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., Vol. 62, n°4, pp. 1195-1203, 2005
- [2] Hall et al., Physics in Medicine and Biology, Volume 56, Number 1, 2003
- [3] Xu et al., Physics in Medicine and Biology, Volume 53, 2008
- [4] Murray et al., Physics in Medicine and Biology, Volume 60, Number 3, 2015