
Simulations Monte-Carlo de la fluence Cerenkov pour la dosimétrie en radiothérapie FLASH

Thibault Bernelin^{*†1,2}, Arthur Lalonde^{2,3}, and Louis Archambault^{†1}

¹CHU de Québec–Université Laval – Canada

²Centre de Recherche du Centre Hospitalier de l'Université de Montréal – Canada

³Université de Montréal – Canada

Résumé

Thibault Bernelin, Arthur Lalonde, Louis Archambault
Université Laval, Québec, Canada

Centre de Recherche du Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (CRCHUM), Montréal,
Canada

Université de Montréal, Montréal, Canada

Liens d'intérêt : aucun.

Introduction : La radiothérapie FLASH repose sur l'utilisation de débits de dose ultra-élevés (UHDR) afin de réduire la toxicité aux tissus sains tout en maintenant le contrôle tumoral (Favaudon, 2014 ; Ashraf, 2020). Cependant, la dosimétrie de ces faisceaux demeure difficile, car les détecteurs conventionnels présentent des phénomènes de saturation dans ces régimes de doses, des limites temporelles ou une instabilité du signal. L'utilisation du rayonnement Cerenkov représente une alternative prometteuse, puisqu'elle permet notamment une mesure non invasive du dépôt de dose (Cloutier, 2022) et n'est pas sujette à la saturation. L'objectif de ce travail est d'étudier, par simulation Monte-Carlo, la relation entre la dose absorbée, la production de photons Cerenkov et le signal optique détecté à l'extérieur d'une cuve à eau pour des faisceaux d'électrons FLASH, afin d'évaluer le potentiel d'un système de caméra placé à distance du faisceau.

Matériel et méthodes : Des simulations ont été réalisées avec TOPAS (Faddegon, 2020) pour des faisceaux d'électrons cliniques produits par un Mobetron à 6 et 9 MeV (Khodaei, 2024 ; Audet, 2025). Quatre espaces de phase ont été étudiés : 2,5 cm, 5 cm et 6 cm de diamètre à 6 MeV, ainsi qu'un diamètre de 2,5 cm à 9 MeV. La géométrie simulée comprend une cuve d'eau de $11,5 \times 11,5 \times 17,5$ cm³ avec des parois en PMMA de 1 cm d'épaisseur (fig. 1). Trois scoreurs ont été utilisés : un scoreur 2D de production de photons Cerenkov, un scoreur de dose absorbée et un scoreur de fluence optique placé à l'extérieur de la cuve afin de représenter le signal atteignant une caméra.

*Intervenant

[†]Auteur correspondant: thibault.bernelin.1@ulaval.ca

[‡]Auteur correspondant: Louis.Archambault@phy.ulaval.ca

Résultats : Les simulations montrent une forte corrélation visuelle entre la dose absorbée et la production de photons Cerenkov pour toutes les énergies et tailles de champ étudiées (fig. 2). Les profils longitudinaux confirment également cette relation, avec une évolution similaire des maxima de dose et de production optique (fig. 3). Cette corrélation est conservée malgré les variations de diamètre et d'énergie du faisceau, ce qui suggère une bonne robustesse de l'approche. En revanche, la fluence détectée à l'extérieur de la cuve présente un élargissement spatial et un décalage du maximum vers des profondeurs plus importantes. Ce comportement est attribuable au transport optique et à la distribution angulaire des photons Cerenkov dans le milieu (Cerenkov, 1958).

Conclusions : Ces résultats suggèrent que l'émission Cerenkov peut constituer un substitut fiable à la dose absorbée pour la dosimétrie bidimensionnelle en temps réel des faisceaux FLASH (Cloutier, 2024). Les simulations permettent également de mieux comprendre la relation entre la lumière produite dans l'eau et le signal mesuré par une caméra externe, ce qui pourra contribuer au développement de méthodes quantitatives de dosimétrie optique en radiothérapie FLASH.

Mots-Clés: FLASH, Qualité, Cerenkov, dosimétrie, électrons, caméra, TOPAS, mobetron