

Conception d'un détecteur gamma prompt pour le contrôle en ligne de la hadronthérapie

Maxime Jacquet, Marie-Laure Gallin-Martel, Sara Marcatili

La protonthérapie est un traitement tumoral qui tire avantage du comportement des particules chargées dans leur interaction avec la matière, soit un dépôt maximal et très localisé d'énergie à la fin de leur parcours (pic de Bragg). Cependant, la localisation estimée du pic de Bragg est soumise à des incertitudes qui obligent à la mise en place de marges de sécurité lors de l'irradiation du patient, diminuant ainsi l'efficacité du ciblage en faveur d'un traitement plus sûr. Un contrôle en ligne de la protonthérapie permettrait de localiser en temps réel la position du pic de Bragg, limitant ainsi les incertitudes sur la mesure de la position de celui-ci. Cette visualisation est basée sur la détection des gamma prompts, particules secondaires générées quasi-instantanément à la suite d'une interaction proton-matière. De fait, nous proposons une nouvelle modalité d'imagerie gamma pour le contrôle en temps réel de la protonthérapie par la conception d'un détecteur multi canal de gamma prompts disposés autour de la cible de manière homogène. Ce système se base sur la mesure exclusive du temps de vol du proton plus du gamma prompt obtenue par la mesure en coïncidence d'un moniteur faisceau et de notre détecteur. La principale nouveauté proposée ici est l'utilisation d'un algorithme de reconstruction non itératif des vertex des gamma prompts, permettant la déconvolution du trajet de ce dernier du temps de vol mesuré. Cela permet la conversion des spectres des temps de vol des gamma prompts obtenus via les différents détecteurs en une distribution 3D des vertex, indépendamment de la position et de la géométrie des détecteurs utilisés. Dans le but d'atteindre une excellente résolution temporelle de 100 ps rms, on se propose de combiner l'utilisation de radiateurs Cerenkov lus par des Silicon PhotoMultiplier avec un moniteur faisceau en diamant et de travailler à intensité de faisceau réduite jusqu'à atteindre l'émission d'un proton à la fois (protons étiquetés spatialement et temporellement par le moniteur faisceau). 100 ps rms de résolution temporelle améliorerait nettement la sensibilité des méthodes plus conventionnelles basées sur la mesure du temps de vol et amènerait à une résolution millimétrique sur le parcours des protons. Le potentiel de cette technique a été évalué au travers de la réalisation de simulation Monte Carlo que j'ai développé. J'ai pu démontrer qu'une sensibilité longitudinale et latérale respectivement de 1 et 2 mm à 2 sigma pour 10^8 protons incidents pouvaient être atteintes. Mes simulations ont aussi montré qu'une excellente résolution sur la mesure du temps de vol permettait la réduction de l'impact du bruit de fond sur la sensibilité de la méthode sans la nécessité d'une bonne résolution en énergie. Ces résultats ouvrent la voie au développement d'un système d'imagerie gamma prompt novateur basé sur la mesure exclusive du temps de vol : la Prompt Gamma Time Imaging ou PGTI.