
Contrôle qualité patient en protonthérapie PBS par analyse des fichiers log et calcul de dose indépendant Monte Carlo

Noam Baron^{*†1}, Yasmine Ali¹, and Marie Vidal¹

¹Centre Antoine Lacassagne - Institut Méditerranéen de Protonthérapie et Cyberknife – Centre Antoine Lacassagne de Nice – France

Résumé

Introduction : En protonthérapie par balayage de faisceau (PBS), le contrôle qualité patient (PSQA) fondé sur des mesures 2D est chronophage et peu sensible à certaines erreurs de délivrance. L'analyse des fichiers log et le calcul de dose indépendant par Monte Carlo constituent des approches complémentaires pour affiner l'évaluation de la délivrance (1,2). Elles s'inscrivent en outre dans une démarche de contrôle qualité orientée par l'analyse de risque, visant à renforcer la sensibilité du PSQA aux écarts cliniquement pertinents (3). Dans ce contexte, nous évaluons une procédure de PSQA combinant l'analyse des fichiers log via un outil interne et un recalcul de dose Monte Carlo avec IDEAL 2.0 (2).

Matériel et méthodes : Des plans PBS délivrés sur ProteusONE (IBA), utilisant un faisceau pulsé et trois passages (repaintings) par couche, ont été étudiés. À partir des fichiers log, les positions et poids des spots ont été reconstruits à l'isocentre, puis utilisés pour générer un plan basé sur les logs, comparé au plan du TPS RayStation 2024b afin d'identifier les écarts entre planification et délivrance. Ces écarts ont été quantifiés par repainting, par spot après moyennage pondéré par la charge des repaintings, et par couche. En parallèle, IDEAL 2.0, basé sur GATE/GEANT4, a été utilisé comme outil de calcul de dose indépendant sur les CT patients à partir des plans TPS et des plans reconstruits depuis les logs. Les distributions de dose ont été comparées à la dose planifiée du TPS par analyse gamma 3D, complétée par l'analyse des histogrammes dose-volume. Enfin, des erreurs artificielles de position et de poids ont également été introduites pour tester la sensibilité du workflow.

Résultats : Sur 458 faisceaux soit 468 577 spots reconstruits, la reconstruction log a montré une précision submillimétrique, avec une erreur moyenne de position de $0,274 \pm 0,173$ mm et un RMS global de 0,324 mm. L'erreur relative absolue moyenne sur le poids des spots était de $0,60 \% \pm 1,63 \%$, avec un biais moyen de -0,04 %. Le workflow combinant analyse des fichiers log et calcul de dose indépendant a permis d'améliorer la sensibilité du contrôle qualité patient et de réduire le recours systématique aux mesures 2D.

Conclusions : Cette approche combinant analyse des fichiers log et recalcul de dose par Monte Carlo constitue une alternative pertinente aux contrôles qualité patients uniquement fondés sur la mesure. Elle apporte une évaluation plus sensible, plus complète et plus cliniquement pertinente de la délivrance en protonthérapie PBS. Liens d'intérêt : aucun.

^{*}Intervenant

[†]Auteur correspondant: noam.Baron@utoulouse.fr

Références : (1) Winterhalter C et al. Log file based Monte Carlo calculations for proton pencil beam scanning therapy. (2) Grevillot L et al. The GATE-RTion/IDEAL Independent Dose Calculation System for Light Ion Beam Therapy (2021). (3) Emert F et al. PSQA Working Group. Risk Assessment Report on Patient-Specific Quality Assurance, foreseen for publication as PTCOG TxEff QA White Paper; Spring 2026.

Mots-Clés: Protonthérapie, Pencil Beam Scanning, Patient Specific QA, Log files, GATE/GEANT4, IDEAL, ProteusOne