

---

# Dosimétrie et Imagerie 4D basées sur un modèle biomécanique patient spécifique du système respiratoire

Yazid Touileb\*<sup>1</sup>, Matthieu Giroux\*<sup>2</sup>, Hamid Ladjal\*<sup>2</sup>, Behzad Shariat\*<sup>3</sup>, and Michaël Beuve\*<sup>4</sup>

<sup>1</sup>LIRIS SAARA – Behzad shariat – France

<sup>2</sup>LIRIS SAARA – Laboratoire d’InfoRmatique en Image et Systèmes d’information [LIRIS], Université Claude Bernard (Lyon 1), Université de Lyon, Université de Lyon – France

<sup>3</sup>LIRIS SAARA – Laboratoire d’InfoRmatique en Image et Systèmes d’information [LIRIS], Université Lyon 1, Université de Lyon, Université de Lyon – France

<sup>4</sup>Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPNL) – IN2P3, CNRS : UMR5822, Université Claude Bernard - Lyon I – France

## Résumé

La radio/hadron thérapie est une technique médicale utilisée pour le traitement contre le cancer. Cette méthode consiste à déposer une dose létale de rayonnement dans la tumeur (cellules cancéreuses) tout en réduisant l’impact de cette dose sur les tissus sains. Les mouvements internes, en particulier ceux engendrés par le système respiratoire modifient la forme, la position et la densité des organes, source d’erreur et d’incertitude sur la position du dépôt de dose. Le traitement des tumeurs mobiles telles que les tumeurs pulmonaires pose plus de problèmes dans le cas de l’hadronthérapie, où les changements des densités dus aux déformations internes modifient la position du dépôt d’énergie. Alors, ces déformations et les changements de densités engendrés posent des difficultés majeures pour la planification du traitement, la délivrance de dose et son contrôle en ligne par les techniques d’imagerie, telles que la tomographie par émission de positons (TEP) ou Gamma Prompt. Les techniques de prédiction des mouvements internes, basées sur l’imagerie, telles que le recalage déformable, font l’hypothèse d’un mouvement reproductible et prévisible de l’appareil respiratoire dans le temps, non conforme à la réalité. En effet, le mouvement respiratoire est chaotique et non reproductible dû à l’action indépendante des muscles thoraciques et diaphragmatiques rendant la respiration imprévisible. Pour résoudre ce problème, nous avons proposé un modèle biomécanique patient-spécifique basé sur la mécanique des milieux continus résolu par la méthode des éléments finis, en prenant en compte le comportement mécanique de chaque organe. Dans ce contexte, les organes sont modélisés par des éléments tétraédriques. Ce modèle permet de prendre en compte de la variabilité du mouvement respiratoire et piloter les mouvements des organes internes par des capteurs externes (caméra, spiromètre, etc...), en gardant toujours le caractère non-invasif. Concernant la dosimétrie 4D, nous avons remplacé la représentation discrète des densités (modèle de voxels) par une approche continue, inspirée de la méthode des éléments finis, en plaçant les densités sur les sommets des tétraèdres, en respectant le principe de la conservation de la matière. De plus, nous avons étendu cette

---

\*Intervenant

approche pour placer les doses (par un calcul d'interactions ions/matière), ainsi que les activités nucléaires pour l'imagerie sur les mêmes sommets. Nous obtenons alors une approche unifiée multi-physique permettant de stocker toutes les informations telles que les champs de déformation, les densités, les doses et les activités nucléaire sur les sommets du maillage. Ce travail est réalisé dans le cadre d'un projet interdisciplinaire incluant les informaticiens, les physiciens, les biologistes ainsi que les radiothérapeutes.

**Mots-Clés:** Dosimétrie 4D, Hadronthérapie, TEP, Gamma Prompt, éléments finis