

# Optimisation de plans de traitement non-coplanaires dynamiques en radiothérapie externe.

## 1. Contexte et motivations

Les balistiques d'irradiation en radiothérapie externe sont passées en vingt ans de la conformation 3D à l'arc-thérapie dynamique en passant par l'IMRT statique. La radiothérapie «  $4\pi$  » [1] (voir Fig. 1.), qui utilise des faisceaux non-coplanaires, repose sur la prise en compte des rotations de table lors de la planification inverse : l'angle de la table s'ajoute aux paramètres habituels pilotant l'optimisation [2]. Ces degrés de liberté supplémentaires sont capables en théorie d'améliorer tant la conformation de la dose au « Planning Target Volume » (PTV) que la protection des organes à risques. Si ce type de plan de traitement est parfois choisi en stéréotaxie intracrânienne, la généralisation des plans non-coplanaires reste controversée [3] et souffre de facteurs limitants :

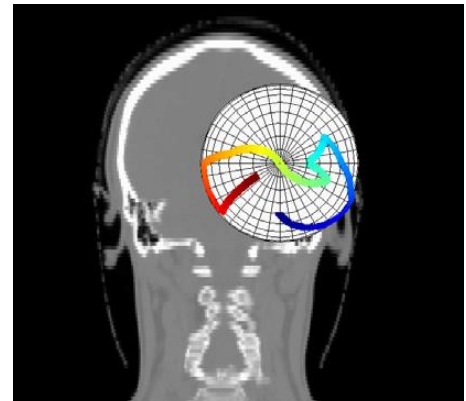


Fig. 1 : Trajectoire d'un faisceau d'irradiation par arc-thérapie dynamique  $4\pi$ .

temps de traitement allongé, risques de collision, optimisation logicielle délicate. Pourtant, les accélérateurs disponibles sur le marché proposent des fonctionnalités qui aujourd'hui facilitent la délivrance de faisceaux dynamiques non-coplanaires. Dans ce contexte, le sujet de thèse proposé vise à l'amélioration du traitement non-coplanaire dynamique offert par un accélérateur standard. Le travail portera à la fois sur l'optimisation des balistiques et leur vérification in-vivo en terme dosimétrique et à la fois sur l'optimisation des trajectoires de l'accélérateur et de la table afin de gérer les collisions et de diminuer les temps de traitement.

## 2. Développements proposés

L'accélérateur utilisé sera un TrueBeam Stx Novalis de chez Varian, installé dans le service de radiothérapie du CHRU de Brest. L'étude se placera dans un contexte de localisation prostatique, dans laquelle la présence d'organes à risque restreint souvent les possibilités d'escalade de dose (80 Gy). Le rectum en particulier, au contact du PTV, ne peut recevoir qu'une dose limitée pour réduire les effets secondaires et les risques à long terme. L'efficacité du traitement pourrait donc être améliorée via la planification  $4\pi$  qui permet en théorie une conformation plus ciselée via des gradients de dose plus élevés. Par ailleurs les têtes fémorales, plus distantes, font aussi l'objet de contraintes dosimétriques. Des plans non-coplanaires pourraient permettre de les protéger davantage. Enfin, l'étude de la prostate présente l'intérêt d'explorer les limites géométriques des rotations de table, compte-tenu de la position du patient. Le compromis entre gain dosimétrique et contraintes matérielles sera donc évalué. . Le sujet de thèse comprend plusieurs objectifs, qui sont :

- a. L'appareil est entièrement modélisé dans GGEMS [4], une plateforme de simulation Monte-Carlo sur architecture GPU, ce qui permet de lancer des calculs de dose précis et rapide. Le premier objectif sera, dans la plateforme GGEMS, d'ajouter et de simuler des tirs non-coplanaires dynamiques. Une étude d'évaluation par simulation permettra de situer les

performances dosimétriques d'un traitement  $4\pi$  par rapport aux traitements actuels de type VMAT coplanaire et IMRT non-coplanaire à 2 ou 3 angles discrets.

- b. La deuxième étape consistera à développer une nouvelle approche d'optimisation pour la planification des faisceaux balistiques dans un espace de solution  $4\pi$ . L'optimisation de chaque faisceau devra tenir compte de la dose au PTV, de la toxicité dans les organes à risques, mais également du nombre d'angles discrets. La précision et la rapidité de la planification seront également un critère, tout comme la distance et la distribution des angles discrets.
- c. L'étape suivante consistera à proposer une nouvelle solution méthodologique pour optimiser et sécuriser les trajectoires de l'accélérateur et de la table, en fonction des balistiques optimales déterminées précédemment. Les actionneurs de la tête de l'accélérateur et de la table sont indépendants mais leurs lois de commande doivent travailler de concert. Des méthodes issues de la robotique devront être explorées afin d'optimiser les commandes et les trajectoires en prenant en compte différents critères : collisions, minimisation de la trajectoire, temps de traitement, accélération, etc. Pour résoudre d'hypothétique conflit dans les trajectoires, les angles discrets d'un faisceau pourront être partiellement re-planifiés pour garantir un ensemble optimal.
- d. La dernière étape de la thèse consistera à évaluer le système de planification proposé pendant la thèse en utilisant l'accélérateur TrueBeam et des données cliniques. Il est possible via un mode développeur et le langage xml de piloter l'accélérateur ainsi que la table à 6 degrés de liberté pendant un traitement. A partir de données simulées, cliniques et expérimentales sur fantômes, la planification optimale développée dans la thèse sera comparée aux approches standard en radiothérapie  $4\pi$ . Une étude d'évaluation devra montrer le bénéfice des méthodes proposées concernant les aspects dosimétrique mais également clinique (ex. le temps de traitement). Dans ce contexte des méthodes de vérification dosimétrique in-vivo par imagerie portale devront probablement être développées pour faciliter la comparaison et la vérification des traitements.

### 3. Compétences requises et profil souhaité

- Une formation en automatique/robotique/informatique, ainsi que de solides compétences en programmation scientifique, sont indispensables.
- Une expérience acquise lors d'un stage de Master sur l'un des aspects du sujet (simulation Monte-Carlo, radiothérapie, programmation GPU) facilitera l'avancée du projet, mais n'est pas indispensable.
- Un bon niveau d'anglais à l'oral et à l'écrit est requis.

### 4. Contact et autres informations

Collaboration **LaTIM** :

Julien Bert (bert@univ-brest.fr)

Nicolas Boussion (nicolas.boussion@chu-brest.fr)

Dimitris Visvikis (dimitris@univ-brest.fr)



Collaboration **LIRMM** :

Salih ABDELAZIZ (salih.abdelaziz@lirmm.fr)

[3] Sheng K, Shepard DM, Orton CG. Noncoplanar beams improve dosimetry quality for extracranial intensity modulated radiotherapy and should be used more extensively. *Medical Physics* 42, 531 (2015); doi: 10.1118/1.4895981.

[1] Dong P *et al.*  $4\pi$  noncoplanar stereotactic body radiation therapy for centrally located or larger lung tumors. *Int J Radiation Oncol Biol Phys* 86, (2013); 407-413.

[2] Breedveld S, Storchi P, Voet P, Heijmen B. iCycle: Integrated, multicriterial beam angle, and profile optimization for generation of coplanar and noncoplanar IMRT plans. *Medical Physics* 39, 951 (2012); doi: 10.1118/1.3676689.

[4] Bert J *et al.* Geant4-based Monte Carlo simulations on GPU for medical applications. *Phys. Med. Biol.* 58 (2015) 5593.