

## Contributions à la simulation Monte-Carlo pour l'optimisation du traitement en radiothérapie

La radiothérapie est une modalité de traitement contre le cancer, qui consiste à utiliser des rayonnements ionisants pour détruire les cellules cancéreuses, en bloquant leurs capacités à se multiplier. Le traitement doit aussi préserver au mieux les tissus sains et les organes avoisinants. Près de la moitié des personnes atteintes de cancer sont traitées par radiothérapie. Dans ce type de traitement, il n'est pas possible de façon précise, complète et en temps réel, de mesurer la dose d'irradiation déposée à l'intérieur du patient. Pour irradier correctement la tumeur, une étape de simulation numérique est donc introduite dans la planification du traitement. Comme l'environnement réel n'est pas observable, un environnement virtuel sera simulé *in silico*, pour prédire la résultante de l'irradiation sur le patient. Cette étape de planification permet d'optimiser le traitement de façon *a priori*. Le plan de traitement virtuel, qui a été optimisé, est sauvegardé de façon informatique, pour être utilisé ultérieurement par le système d'irradiation, le jour du traitement du patient.

Si cette mécanique de planification permet de déterminer au mieux les paramètres d'irradiation, elle n'est pas exempte d'imprécisions non négligeables. Avec pour conséquence notamment, d'accroître la présence des effets secondaires. Toute la difficulté en radiothérapie, réside dans la capacité à prédire un plan de traitement, qui soit le plus proche possible de la réalité. Certaines imprécisions sont liées à la simulation, car réalisée avec plus ou moins de réalisme, en fonction des modèles utilisés pour : le calcul de la dose, simuler le système de traitement, représenter l'anatomie du patient, etc. Il y a aussi des imprécisions liées à la non-stationnarité de certains modèles. C'est-à-dire, qu'un modèle est différent ou a évolué entre le moment où la simulation a été réalisée et le moment où le traitement a été délivré. C'est par exemple le changement anatomique du patient, les erreurs balistiques, etc. Toutes ces imprécisions ont un impact sur la toxicité, c'est-à-dire, les effets secondaires liés à l'irradiation des tissus sains. Ces imprécisions sont aussi un verrou pour la mise en place de nouveaux protocoles, comme une escalade de la dose ou une irradiation plus ciblée. L'amélioration de la simulation numérique dans la planification, permettrait de répondre à un enjeu socio-économique important, notamment en diminuant les soins post-traitement et en améliorant la qualité de vie des patients pendant et après leurs cancers.

Pour répondre à ces enjeux, mes travaux ont consisté à améliorer et à utiliser la Simulation Monte Carlo (SMC) dans le contexte clinique de la radiothérapie. La SMC est une méthode d'échantillonnage stochastique, qui permet de simuler de façon très précise les interactions entre les particules et la matière. Cette méthode a le potentiel nécessaire pour améliorer, de façon significative, la simulation du traitement en radiothérapie. Dans un premier temps, nous avons accéléré les temps de calcul de cette méthode par l'utilisation de cartes graphiques. Nous avons également amélioré la modélisation des systèmes de traitement, ainsi que leurs validations et la personnalisation du modèle utilisé pour le patient. Dans un deuxième temps, mes travaux ont consisté à la mise en place de la SMC dans un contexte clinique, notamment en curiethérapie de la prostate. Cela nous a conduit à travailler au-delà de la SMC, en développant et en innovant des méthodologies et des technologies multidisciplinaires. Comme par exemple, l'amélioration de la personnalisation du traitement par l'imagerie multimodale et par la modélisation biomécanique. Mais également par l'amélioration du contrôle de la délivrance du traitement par des méthodes de traitement d'images et de robotique collaborative.