

Introduction

La radiothérapie est l'une des trois principales modalités de traitement du cancer avec la chirurgie et la chimiothérapie, avec lesquelles elle est de plus en plus associée.

L'objectif principal en radiothérapie est de délivrer le maximum de dose à la tumeur tout en préservant les tissus sains environnants. Cette tâche s'avère très difficile si nous sommes confrontés à des mouvements et déformations des organes et de la tumeur, en particulier pour le cancer du poumon. Les travaux de cette thèse s'inscrivent dans le cadre d'un projet en étroite collaboration entre chercheurs du laboratoire LIRIS, le département radiothérapie du Centre Régional de Lutte Contre le Cancer Léon Bérard et un partenaire industriel : Elekta SA, France. Les protocoles cliniques dans lesquels nous sommes impliqués traitent par radiothérapie des cancers de poumons "non à petites cellules" en faisant appel à l'appareil ABC (Active Breath Coordinator) fabriqué par la société Elekta.

L'objectif des travaux de recherche de cette thèse est l'amélioration de la radiothérapie du cancer pulmonaire par une dosimétrie mieux ciblée (irradiation plus efficace), en particulier tenant compte des mouvements dus à la respiration. Pour cela, nous cherchons à prévoir, contrôler et étudier les déplacements et les déformations de la tumeur et des tissus pulmonaires grâce à des méthodes de recalage déformable d'images. L'information de mouvement extraite sera utilisée par la suite pour une modélisation de déformation détaillée du poumon, du déplacement et déformation de la tumeur et dans des études de dosimétrie dynamique permettant ainsi d'adapter les paramètres de balistique, les conditions de traitement (asservit ou non).

Organisation de la thèse

Le manuscrit se divise en trois grandes parties : le premier chapitre introduit le contexte médical, le deuxième est dédié aux outils informatiques mis en oeuvre dans les quatre études menées qui sont présentées dans les chapitres derniers.

1 - Contexte médical

Ce chapitre introduit des notions de terminologie et de procédure spécifiques au traitement par radiothérapie du cancer de poumon. Nous exposons la problématique du mouvement en radiothérapie. Nous présentons les protocoles cliniques autour desquels les travaux de cette thèse ont été concentrés.

2 - Plateforme logicielle de recalage déformable d'images

Après avoir introduit le contexte médical et décrit les données cliniques dont nous disposons, nous présentons dans ce chapitre les outils mathématiques et informatiques fondamentaux mis en oeuvre pour les différentes études menées durant cette thèse.

3 - Reproductibilité du blocage respiratoire

L'objectif de cette première étude a été d'évaluer pour chaque patient inclus dans le protocole "Respi2000" la reproductibilité du blocage respiratoire. Le déplacement des points similaires entre deux images acquises à un même instant de blocage respiratoire grâce à l'appareil ABC (Active Breath Coordinator) est calculé par recalage déformable d'images, afin de quantifier le déplacement résiduel de la tumeur et, à terme, de personnaliser les marges internes du plan de traitement. On obtient ainsi le mouvement résiduel des poumons. Pour l'instant nous faisons la supposition d'un milieu homogène et isotrope.

4 - Comparaison des énergies de régularisation

Dans ce chapitre nous avons comparé trois approches différents de régularisation : homogène (lissage gaussien), homogène qui prend en compte les effets de cisaillement (régularisation linéaire-élastique) et non homogène anisotropique (régularisation de type Nagel-Enckelmann) qui prend en compte la nature non homogène et l'anisotropie des poumons. Nous avons étudié des opérateurs de champs de vecteurs (symétrie et transitivité, jacobien, dilatation volumique) pour l'évaluation et la comparaison des méthodes.

5 - Étude de mouvement dans une acquisition TDM 4D

L'objectif de ce chapitre est d'étudier les trajectoires des voxels dans une acquisition TDM 4D. Il s'agit aussi d'une étude préalable au chapitre suivant. Elle permet de vérifier si l'hypothèse de trajectoire rectiligne décrite par les points du thorax n'est pas aberrante. Cela permet d'envisager la construction d'un première modèle 4D de mouvement.

6 - Simulation d'une TDM 4D à partir de deux TDM 3D

Dans le cadre du deuxième protocole clinique "Optim", nos travaux se concentrent sur l'étude des déformations des tissus pulmonaires au cours de la respiration et la création d'un modèle 4D à partir des acquisitions scanners acquises en apnée à trois instants différents du cycle respiratoire. Un tel modèle nous permet d'avoir une image TDM 3D à chaque instant du cycle respiratoire, donc un suivi de la tumeur au cours de la respiration qui se traduit par une amélioration du plan de traitement par un calcul dynamique précis de la dose délivré. Les méthodes de recalage développés précédemment ont du être adaptées afin de permettre le calcul des grandes déformations présentes entre les images.

La conclusion générale avec les résumés et perspectives possibles pour chaque étude effectué est suivie par la bibliographie (page 116) et un index des auteurs cités (page 127) en fin du document.

Contribution

Chaque étude, en entier ou en partie, a fait l'objet d'une publication dans des conférence ou revues internationales.