

Sujet : Algorithmes d'ordre élevé pour la résolution de problèmes inverses en médecine : application à la radiothérapie et à l'imagerie électrique cardiaque non-invasive

Contexte : Les travaux envisagés ici sont motivés par la résolution de problèmes inverses en médecine. Ces problèmes apparaissent soit dans le recherche d'un traitement optimum, soit dans la reconstruction d'images claires et précises de l'activité des organes internes à partir de mesures périphériques extra-corporelles non invasives.

En l'an 2000 près de 10 millions de personnes ont été atteintes d'un cancer dans le monde, dont la moitié a été traitée par radiothérapie. Les installations utilisées en radiothérapie conventionnelle reposent sur des sources de particules intenses (ions, protons, électrons). Ces particules produisent des électrons secondaires par ionisation dans le corps humain qui vont léser et détruire l'ADN des cellules cancéreuses. Il existe actuellement des méthodes permettant de prévoir l'énergie (encore appelée dose) déposée par ces électrons dans les différent tissus. Le point important ici est de bien prévoir la balistique des faisceau (angle d'attaque, énergie produite) afin de maximiser la dose délivrée dans les tissus cancéreux tout en préservant les tissus sains. Ce premier point relève donc de la recherche d'un traitement optimal.

Les maladies cardiaques sont responsables de 700000 morts chaque année en Europe, dont la moitié sont des morts subites par fibrillation ventriculaire. Avec, par ailleurs, 6 millions de personnes souffrant de fibrillation auriculaire, ces problèmes électriques sont un fardeau majeur pour la population et le système de santé en Europe. L'activité électrique du cœur à l'échelle de l'individu se déduit de l'organisation spatio-temporelle de l'activité ionique à l'échelle cellulaire (électrophysiologie) au sein du myocarde. Elle produit un champ électrique instationnaire au sein du thorax, dont la mesure constitue l'électrocardiogramme (ECG) un outil de diagnostic très répandu, bon marché et non invasif. Pour améliorer cet outil, nous disposons d'un système mesurant les potentiels thoraciques en 250 points. Associées à des images, ces mesures permettent de reconstruire les signaux électriques cardiaques (ie au niveau du myocarde) comme les potentiels d'action en résolvant un problème inverse.

Les problèmes inverses décrits dans les deux exemples précédents sont basées sur les mêmes techniques mathématiques d'optimisation. Il s'agit de calculer un écart minimum entre une observable théorique et celle obtenue par un calcul direct. Pour la radiothérapie cet observable est la dose déposée, et pour la cardiologie le résultat de l'ECG.

Les méthodes utilisées jusqu'à maintenant reposent sur des méthodes de descente de gradients. Les premières simulations numériques montrent que la vitesse de convergence est très lente. Ceci est expliqué d'une part par le caractère mal posé du problème inverse et d'autre part par le fait que les méthodes de descente de gradient utilisées sont d'ordre un.

Objectif de ce travail: L'objectif de ce travail est d'améliorer la résolution de ces problèmes inverses. Il s'agit d'abord de proposer des algorithmes de descente plus rapides (d'ordre deux) que les méthodes de gradient courantes, puis plus généralement de tester de nouvelles formulations ou régularisations du problème inverse. Ces méthodes seront étudiées, programmées et évaluées en collaboration entre les chercheurs du CELIA et de l'équipe INRIA Carmen. La validation expérimentale et clinique des résultats sera réalisée grâce aux données et en collaboration avec les instituts Bergonié pour la partie cancérologie et LIRYC (<http://www.ihu-liryc.fr>) pour la partie cardiologie.

Déroulement du travail: Une première étape de ce travail consistera à évaluer des méthodes d'ordre deux du type BFGS par exemple pour résoudre le problème d'optimisation sous une forme déjà bien connue. Dans une deuxième étape, nous enrichirons la formulation du problème d'optimisation pour prendre en compte les différentes contraintes cliniques. Pour finir, l'intérêt pratique de ces différentes stratégies de reconstruction sera évalué à partir de données expérimentales ou cliniques.

Encadrement : N. Zemzemi (CR Inria), Y. Coudière (Pr Bordeaux 1) du côté INRIA et CELIA