

## Appariement de surfaces par contrôle optimal en chirurgie augmentée

G. Mestdagh, Y. PRIVAT, S. COTIN  
*Université de Strasbourg, Équipe Inria Mimesis*

**Email** : guillaume.mestdagh@math.unistra.fr

**Mots Clés** : Contrôle optimal, Biomécanique, Appariement de surfaces

**Biographie** – Après avoir obtenu mon diplôme d'ingénieur à l'École polytechnique en 2017, j'ai effectué un master de recherche à Polytechnique Montréal en reconstruction d'images médicales. En 2019, j'ai commencé une thèse sous la direction de Yannick Privat en collaboration avec l'équipe Inria Mimesis. Je m'intéresse au contrôle optimal, à l'optimisation numérique et à ses applications biomédicales.

### Resumé :

La chirurgie augmentée consiste à superposer à des images intra-opératoires une représentation tridimensionnelle montrant l'intérieur de l'organe opéré. Sur ces images, le chirurgien visualise en temps réel certaines structures comme une tumeur ou des vaisseaux sanguins alors même que l'organe subit de grandes déformations [2].

Dans le cadre de la chirurgie du foie, nous cherchons à reconstruire le champ de déformation à l'intérieur du foie au cours d'une opération, et ce à partir de données partielles. La configuration de référence provient d'images IRM prises avant l'opération. Au cours de l'intervention une caméra stéréoscopique fournit la localisation de la surface visible du foie [5]. En particulier, on ne sait pas à quelle partie de la configuration de référence correspond la surface apparaissant sur la caméra.

Nous proposons une modélisation sous la forme d'un problème de contrôle optimal. Celui-ci met en jeu un modèle élastique qui décrit les déformations de l'organe sous l'effet d'un chargement surfacique. On cherche à minimiser une fonctionnelle qui mesure la qualité du recalage de surface [1, 4]. Une telle formulation se différencie des méthodes de recalage élastique existantes en permettant de décrire finement les propriétés du champ d'efforts extérieurs qui doit engendrer la déformation. Ainsi, plutôt que de créer des forces artificielles [3, 6], on tente de reconstruire des efforts physiquement vraisemblables.

Nous proposons et testons une approche numérique pour ce problème, reposant sur les conditions d'optimalité de premier ordre. En pratique, l'organe est représenté par un maillage, la surface cible par un nuage de points et les différents champs de vecteurs par des fonctions d'éléments finis P1.

Nous présentons des simulations de recalage sur des maillages en trois dimensions. En particulier, on s'intéresse au traitement du bruit présent dans le nuage de points, au moyen d'une pénalisation ou de contraintes ponctuelles sur le contrôle.

## Références

- [1] Maya de Buhan, Charles Dapogny, Pascal Frey, and Chiara Nardoni. An optimization method for elastic shape matching. *C. R. Math. Acad. Sci. Paris*, 354(8):783–787, 2016.
- [2] Nicolas Golse, Antoine Petit, Maité Lewin, Eric Vibert, and Stéphane Cotin. Augmented Reality during Open Liver Surgery Using a Markerless Non-rigid Registration System. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, January 2020.
- [3] N. Haouchine, S. Cotin, I. Peterlik, J. Dequidt, M. S. Lopez, E. Kerrien, and M. Berger. Impact of soft tissue heterogeneity on augmented reality for liver surgery. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(5):584–597, 2015.
- [4] Rogelio Ortigosa, Jesus Martínez-Frutos, Carlos Mora-Corral, Pablo Pedregal, and Francisco Periago. Optimal control of soft materials using a Hausdorff distance functional. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 2020.
- [5] Rosalie Plantefève, Igor Peterlik, Nazim Haouchine, and Stéphane Cotin. Patient-specific biomechanical modeling for guidance during minimally-invasive hepatic surgery. *Annals of Biomedical Engineering*, 44(1):139–153, Jan 2016.
- [6] Stefan Suwelack, Sebastian Röhl, Sebastian Bodenstedt, Daniel Reichard, Rüdiger Dillmann, Thiago dos Santos, Lena Maier-Hein, Martin Wagner, Josephine Wünsch, Hannes Kenngott, Beat P. Müller, and Stefanie Speidel. Physics-based shape matching for intraoperative image guidance. *Medical Physics*, 41(11):111901, 2014.