

Sujet de stage de master 2024

Titre : Elastographie par Résonance Magnétique : reconstruction des paramètres viscoélastiques par méthode d'Inversion Non-Linéaire

Durée : 6 mois

Localisation : Equipe MAGICS du laboratoire CREATIS. Bâtiment Léonard de Vinci Campus La Doua, 21 avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne, France

Description et objectifs du stage :

Ce projet se situe dans le domaine de l'imagerie médicale avec pour champ d'application l'élastographie par résonance magnétique (ERM). Cette technique d'imagerie permet de cartographier les propriétés biomécaniques des tissus mous comme le cerveau ou le foie à partir d'images obtenues en utilisant un appareil d'imagerie par résonance magnétique (IRM)¹. Il n'existe aucune méthode d'imagerie capable de cartographier les propriétés biomécaniques (telles que l'élasticité et la viscosité) de façon directe. Ainsi l'ERM se déroule en trois étapes. D'abord à l'aide d'un actionneur externe tel qu'un système pneumatique ou piézoélectrique, le tissu est sollicité mécaniquement ce qui va induire la propagation d'une onde de cisaillement dans le tissu. Ensuite, les déplacements générés par cette sollicitation sont mesurés au moyen de séquences IRM spécifiques produisant une série d'images volumétriques décrivant le mouvement dans trois directions orthogonales de l'espace. Finalement, ces images de déplacements tissulaire sont traitées par un algorithme de reconstruction numérique capable d'identifier les propriétés biomécaniques du tissu à partir de l'information sur sa réponse à la sollicitation contrôlée. L'algorithme utilisé couramment est basé sur l'inversion de l'équation de l'onde². D'autres algorithmes plus complexes, comme la méthode d'inversion non linéaire (NLI)³, sont aujourd'hui explorés. Cette dernière est basée sur un maillage du tissu et une définition des propriétés mécaniques à chaque nœud du maillage. La résolution du problème inverse consistant à retrouver les paramètres mécaniques du maillage qui permettent de simuler la propagation d'une onde qui soit la plus proche des images acquises. NLI permettrait une meilleure caractérisation des paramètres biomécaniques à partir de données ERM multifréquence⁴ avec entre autres une prise en compte des lois de comportement ou encore l'anisotropie des tissus. La figure 1 décrit l'acquisition et l'inversion NLI en ERM.

Le projet de recherche proposé ici vise spécifiquement l'étude de la performance de l'algorithme de reconstruction NLI par rapport à l'algorithme utilisé classiquement sur des images obtenues sur un IRM préclinique où les paramètres d'acquisition (le champ de vue, la résolution d'image, la fréquence des ondes...) sont complètement différents de ceux retrouvés en clinique pour lesquels la méthode NLI a été développée et éprouvée. Les données ERM multifréquence seront acquises sur une IRM préclinique sur la plateforme d'imagerie PILoT sur des échantillons réalisés afin de simuler différents cas rencontrés *in vivo*. Ce stage sera co-encadré par E. Van-Houten de l'université de Sherbrooke (des réunions par visioconférence sont prévues) et pourra bénéficier de l'utilisation de l'infrastructure 'Calcul Canada' sur laquelle seront réalisés les calculs numériques.

Plus précisément, les objectifs du stage seront les suivants :

- Optimiser le réglage des paramètres pour la reconstruction des propriétés biomécaniques par la méthode NLI : taille des souszones, résolution du maillage, conditions aux frontières...
- Reconstruire par la méthode NLI une série de données ERM multifréquentielles acquises à 7T sur des fantômes présentant des inclusions de différentes tailles et rigidités

- Vérifier et comparer le comportement viscoélastique des échantillons selon les lois rhéologiques.
- Comparer les résultats obtenus par NLI avec la reconstruction classique basée sur l'inversion de l'équation de l'onde et conclure sur le potentiel de la méthode NLI.

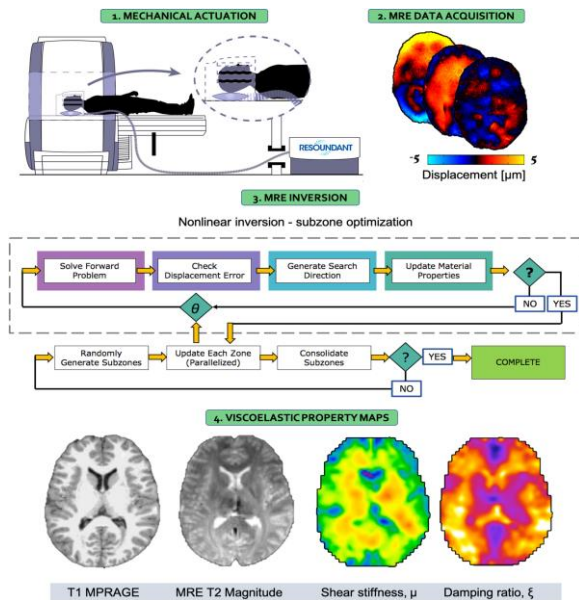


Figure 1. Aperçu de la procédure d'acquisition et d'analyse en ERM. Dans un premier temps, des ondes de cisaillement à 50 Hz sont induites dans le cerveau par l'intermédiaire d'un système d'actionnement pneumatique. La déformation tissulaire qui en résulte est capturée à l'aide d'une séquence d'imagerie ERM et ce, le long de trois axes distincts (antérieur-postérieur, droit-gauche et supérieur-inférieur). Les données de déplacement ainsi qu'un masque du cerveau sont fournis à l'algorithme d'inversion non linéaire qui modélise le tissu comme un matériau viscoélastique hétérogène. Une procédure d'optimisation de souszone est utilisée pour mettre à jour de manière itérative la description des propriétés dans un modèle de calcul par éléments finis afin de minimiser la différence entre les déplacements du modèle et les données de déplacement mesurées. Enfin, les cartes du module de cisaillement complexe sont converties en rigidité (shear stiffness) $\mu = 2|G^*|^2 / (G + |G^*|)$, et en ratio d'amortissement (damping ratio) $\xi = G''/2G'$. Les images MPRAGE pondérées en T1 et les images d'amplitude T2 de l'ERM spécifiques au patient sont fournies pour illustrer les images requises pour la procédure de normalisation spatiale.

Figure extraite de Hiscox et al., Hum Brain Mapp, 2020

Profil du candidat :

Compétences en biomécanique et programmation Matlab pour le traitement des données. Des connaissances en physique de l'IRM serait un plus. Appétence pour les mesures expérimentales.

Références :

- 1.P. Asbach *et al.*, Assessment of liver viscoelasticity using multifrequency MR elastography. Magnetic Resonance in Medicine. 2008;60(2):373-379.
2. TE. Oliphant *et al.*, Complex-valued stiffness reconstruction for magnetic resonance elastography by algebraic inversion of the differential equation. Magnetic Resonance in Medicine. 2001;45(2):299-310.
3. EEW Van Houten *et al.*, Three-dimensional subzone-based reconstruction algorithm for MR elastography, Magnetic Resonance in Medicine, 45(5), pp. 827—837, 2001.
4. J Testu *et al.*, Viscoelastic power law parameters of in vivo human brain estimated by MR elastography, Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 74, pp. 333—341, 2017.

Encadrement :

Pilar SANGO-SOLANAS et Kevin TSE VE KOON : CREATIS

Elijah VAN HOUTEN : Université de Sherbrooke

Candidature :

Envoyer un CV et une lettre de motivation à Pilar.Sango@creatis.univ-lyon1.fr et kevin.tsevekoon@creatis.univ-lyon1.fr