



[Stage de M2] Titre : Contribution au développement d'un outil de segmentation d'image IRM à vocation de calcul de biomarqueurs morphologiques et biomécaniques du genou.

Thème : Segmentation d'image IRM Mots clés : Segmentation, IRM, Tissus Mous, Biomécanique

Durée du projet : 6 mois (début : février - Avril 2024)

1. Contexte général et positionnement du projet :

Le développement de thérapies de bio-ingénierie du cartilage articulaire, en particulier celles visant à réparer les défauts locaux du cartilage induit par l'arthrose, nécessite des détections précoces de la pathologie, assurant un environnement bio-chimique correct du néo-tissu implanté. Pour cela, une analyse fine des structures molles de l'articulation par reconstruction 3D numérique via des images IRM, associée aux mesures cinématiques du corps entier pourraient donner naissance à des biomarqueurs précoces de pathologies articulaires. De tels outils d'analyse de la morphologie de tissus fortement déformables permettront d'assurer le suivi des thérapies de bio-ingénierie, en particulier du devenir des néo-tissus implantés. Ces outils permettront aussi de quantifier *in vivo* l'impact des systèmes de modulation des efforts transitant par les structures molles des articulations au cours de leur régénération. Des systèmes comme des exo-squelettes, des orthèses, des systèmes implantables sont actuellement à l'étude au LIRMM et au LMGC mais n'ont pas de moyens de validation *in vivo*. Le développement d'outils basés sur de l'imagerie IRM faiblement irradiante et toutefois très quantitative aux niveaux des critères morphologiques et mécaniques permettra d'améliorer la détection précoce des pathologies des tissus mous des articulations, d'en améliorer le suivi des traitements et la quantification de leur efficacité. En complémentarité des techniques d'IRM, nous souhaitons axer nos efforts sur des méthodes de calcul morphologiques et quasi-statiques, absentes pour l'instant des approches utilisant l'IRM pour qualifier les structures molles des articulations. A ce jour, aucune étude ne porte sur le tryptique morphologie cartilagineuse – cinématique articulaire – pathologies articulaires. Pour se faire, il est nécessaire de développer un outil d'analyse robuste.

2. Description scientifique et technique :

Des expériences préliminaires ont permis d'identifier des séquences IRM permettant la reconstruction 3D de l'articulation du genou en charge, en décharge et également en flexion sagittale, jusqu'à 120° d'angulation. Un deuxième type de séquence IRM en deux dimensions nous a permis de suivre la dynamique de flexion du genou. De plus, le travail de Master effectué à la fois au LMGC et à CARTIGEN, financé par l'appel à projet Kim Biomarker and Therapy, a permis de développer et d'évaluer la précision de la segmentation automatique dites « atlas based » du tibia et du cartilage du plateau externe via notre outil numérique. Cette méthode de segmentation consiste à utiliser une segmentation manuelle comme référence (l'atlas). L'image de référence est transformée de manière rigide puis élastique afin que la différence de niveau de gris avec l'image à segmenter soit minimisée suivant différents critères [Bonaretti et al., 2020]). Nos résultats montrent une segmentation quasi identique à une segmentation manuelle pour les os (fémur, tibia, 97% de similarités) et de très bonne qualité pour les cartilages (87% de similarité, parmi les meilleurs résultats de la littérature [Bonaretti et al., 2020]). Les travaux précédents ont permis de valider la méthode de segmentation, mais se sont limités au tibia et au cartilage du plateau externe.

L'objectif principal de l'étude proposée est de continuer à développer une méthode expérimentale et numérique pour décrire les paramètres morphologiques et mécanique *in vivo* du genou chez le sujet sain et pathologique, en particulier pour les tendons et les ménisques.

A terme, la méthodologie développée a pour but de suivre l'évolution de la morphologie du genou pathologique mais aussi d'évaluer l'impact des orthèses sur la cinématique et la charge mécanique du genou.

3. Aspects novateurs, verrous scientifiques et technologiques

Le dispositif d'IRM G-Scan d'ESAOTE (figure 1), intégré à la plateforme CARTIGEN et exploité par l'ingénieur Dr. G. Dusfour, permet de réaliser des images IRM 3D sous la charge propre du patient. La verticalisation du sujet permet de se rapprocher des conditions de la vie quotidienne. Cet équipement est unique au niveau national. Le couplage de cet équipement avec l'analyse quantitative via segmentation automatique permettra à terme d'obtenir des paramètres mécaniques (morphologies et déformations) *in vivo* des différents corps mous du genou.

Le verrou principal repose sur le fait que la segmentation d'image IRM de qualité repose soit sur des outils « fermés » (en opposition à la science dite ouverte), non validé par la communauté scientifique ou non applicable aux séquences IRM de l'appareil G-Scan. De plus, la majorité des outils de segmentations ne réalise par les calculs de « post-processing », notamment le calcul des paramètres morphologiques.

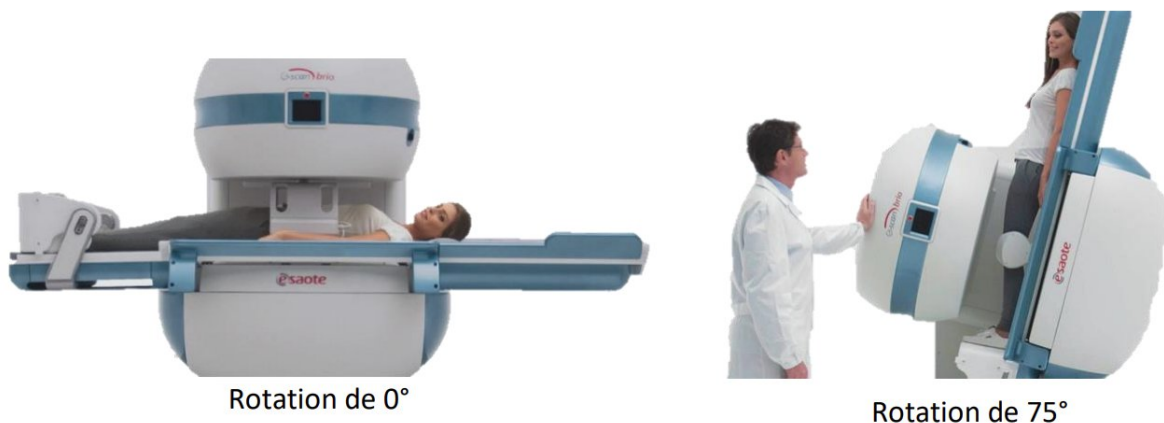
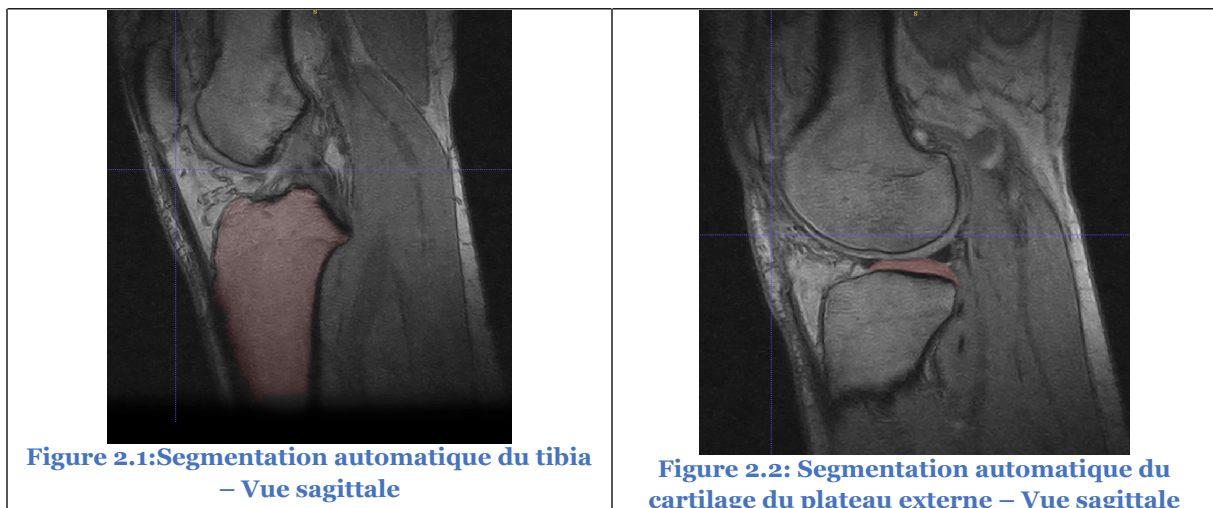
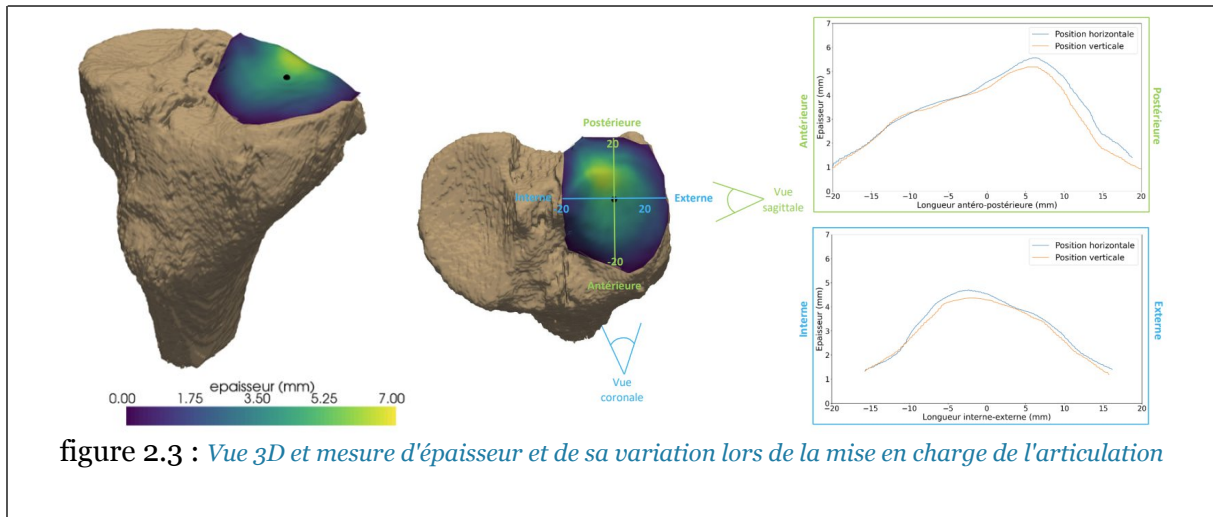


Figure 1: IRM GSCAN ESAOTE





4. Résultats attendus et perspectives de valorisation

- Revue de la littérature pour identifier les différentes méthodes de segmentations automatiques d'images IRM.
- Organisation de réunion périodique (chaque semaine / 2 semaines)
- Segmentation Manuelle : Fémur + Cartilage + Rotule + Cartilage rotule (pour apprentissage et validation/évaluation)
- Segmentation automatique via Atlas Based ou exploration d'un autre outil de segmentation (IA, réseau de neurone) Fémur + Cartilage + Rotule + tendon
- Une publication sur :
 - Les déformations *in vivo* des cartilages et des ménisques du genou lors de la mise à la verticale des sujets.
 - L'étude de l'état de tension du tendon rotulien lors de la flexion du genou

Un outil logiciel en accès libre de segmentation automatique et de calcul de biomarqueurs morphologiques et mécanique avec une interface graphique sera développé. Cet outil pourra par la suite être utilisé à la fois par le milieu clinique pour suivre les biomarqueurs des patients mais aussi par la communauté scientifique internationale pour approfondir la thématique de l'analyse biomécanique du genou. Cet outil pourra aussi aider à la décision chirurgicale en permettant la visualisation en 3D de défaut cartilagineux.

Une base de données d'image IRM GSCAN de la plateforme CARTIGEN pourra être « augmentée » puis partagée de la même manière que le projet « Osteoarthritis Initiative » [Perterfy et al, 2008].

5. Profil du candidat

- Programmation python (et/ou Matlab)
- Connaissance en traitement d'image
- Fortes notions en réseaux de neurone
- Connaissance en image IRM et imagerie médicale en général
- Des connaissances en biomécanique/Anatomie humaine serait un plus

6. Équipe encadrante (envoyez votre candidature aux e-mails suivants)

DUSFOUR, Gilles (CHU Montpellier)

Email : g-dusfour@chu-montpellier.fr

MAGNIER, Baptiste (IMT Mines Alès)

Domaine / champ : Traitement d'image et des vidéos

Email : baptiste.magnier@mines-ales.fr

Références

1. Bonaretti, S., Gold, G. E., & Beaupre, G. S. (2020). pyKNEEr: An image analysis workflow for open and reproducible research on femoral knee cartilage. *Plos one*, *15*(1), e0226501.
2. Peterfy, C. G., Schneider, E., & Nevitt, M. (2008). The osteoarthritis initiative: report on the design rationale for the magnetic resonance imaging protocol for the knee. *Osteoarthritis and cartilage*, *16*(12), 1433-1441.