

## PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Laboratoire de rattachement	Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC)
Titre de la thèse en français	Développements méthodologiques pour le déploiement de l'analyse du mouvement <i>markerless</i> en routine clinique
Titre de la thèse en anglais	Methodological developments for the routine clinical deployment of markerless motion analysis
Localisation principale	LBMC, Bron
Ecole doctorale	ED162, MEGA
Etablissement d'inscription	Université Lyon 1
Encadrement	Antoine MULLER ( <a href="mailto:antoine.muller@univ-lyon1.fr">antoine.muller@univ-lyon1.fr</a> ) Xavier GASPARUTTO ( <a href="mailto:xavier.gasparutto@hug.ch">xavier.gasparutto@hug.ch</a> ) Thomas ROBERT ( <a href="mailto:thomas.robert@univ-eiffel.fr">thomas.robert@univ-eiffel.fr</a> )
Début de thèse	Automne 2026
Mots-clefs	Analyse du mouvement, markerless, clinique, imagerie médicale, biomarqueurs.

### Description du projet

L'analyse quantifiée du mouvement humain a de nombreuses applications cliniques. Elle permet, par exemple, l'évaluation fonctionnelle de patients porteurs d'une Prothèse Totale de Hanche (PTH) ou d'une Prothèse Totale de Genou (PTG) après chirurgie [1, 2, 3]. À l'aide de tests standardisés ou semi-standardisés, elle fournit des indicateurs cliniques basés sur la cinématique et la dynamique articulaire, contribuant à identifier les principaux déficits fonctionnels postopératoires. Ces mesures objectives peuvent aider à guider une rééducation individualisée et optimisée pour chaque patient.

Actuellement, ces mesures objectives sont réalisées à l'aide d'un système optoélectronique qui mesure la position 3D de marqueurs réfléchissants placés sur la peau du patient. Bien que considérée comme la mesure de référence, elle nécessite un temps de préparation et de traitement important ce qui limite le suivi de larges cohortes de patients comme cela peut être le cas pour des centres avec plusieurs dizaines de patients opérés par semaine. Pour répondre à ces limites, l'utilisation de caméras vidéo et de modèles d'apprentissage pour identifier et suivre automatiquement les trajectoires des points anatomiques (approche dite *markerless*) semble une approche prometteuse. Elle ne nécessite aucun temps de préparation du patient qui peut également garder ses vêtements pendant l'évaluation, ce qui implique la possibilité de faire un test directement dans un couloir.



Bi-Plane X-Rays

3D Bone Geometry

Video-Based  
Motion Capture

Motion Analysis

Cette approche a été évaluée en laboratoire [4, 5], mais son usage en routine clinique, notamment pour des patients PTH ou PTG, reste préliminaire [6] et présente plusieurs verrous scientifiques. Premièrement, les conditions expérimentales y sont moins contrôlées, affectant la standardisation des protocoles. Deuxièmement, les modèles d'apprentissage estimant la position des points anatomiques présentent des incertitudes importantes et l'analyse de patients gardant leurs vêtements ajoute de l'incertitude. Troisièmement, les indicateurs cliniques utilisés actuellement ont été établis en lien avec une mesure basée marqueurs. Un changement du moyen de mesure rend parfois impossible

l'évaluation de certains de ces indicateurs. Néanmoins, la mesure en clinique offre l'accès à des données d'imagerie médicale (radiographie long-axes, radiographie bi-plane) qui peuvent être combinées à diverses méthodes de capture du mouvement pour affiner les modèles biomécaniques via des méthodes de calibrage anatomique [7, 8]. De même, la combinaison des mesures *markerless* avec des capteurs embarqués (e.g. centrales inertielles) pourraient venir compenser leurs limites et améliorer leur fiabilité.

### **Objectif de la thèse**

L'objectif de ce projet de recherche est de réaliser les développements méthodologiques permettant un déploiement de l'analyse du mouvement *markerless* en routine clinique, dans le contexte d'une évaluation fonctionnelle des patients porteurs de PTH et PTG.

### **Méthodologie**

Ce projet de thèse vise à développer, selon trois axes, des méthodologies de traitement permettant de répondre aux verrous scientifiques détaillés précédemment liés à l'application en routine clinique.

#### Axe 1 : Adéquation entre mesures expérimentales et paramètres cliniques

Cet axe vise à améliorer la correspondance entre mesures expérimentales et paramètres cliniques, soit par l'enrichissement du dispositif de mesure, soit par l'adaptation des indicateurs aux contraintes expérimentales.

#### Axe 2 : Mise à l'échelle des modèles biomécaniques à partir de l'imagerie médicale.

Cet axe vise à développer et à évaluer une méthode de personnalisation des modèles biomécaniques basée sur les données d'imagerie, afin d'améliorer leur niveau de personnalisation et la fiabilité des indicateurs cliniques associés.

#### Axe 3 : Estimation de variables dynamiques sans mesure instrumentée des forces de réaction au sol.

Cet axe vise à développer une méthode d'estimation des forces de réaction au sol reposant uniquement sur la mesure du mouvement *markerless*. Pour cela, des approches basées sur la dynamique directe intégrant des modèles de contact pourront être adaptées pour l'analyse de patients.

### **Résultats attendus**

Ce projet de recherche vise à permettre le déploiement de l'analyse de mouvement *markerless* en routine clinique. Ces travaux méthodologiques viseront à fournir un outil clé en main validé, comprenant l'ensemble de la chaîne de traitement ainsi que des recommandations d'usage, depuis l'acquisition vidéo jusqu'à l'estimation automatisée de paramètres cliniques pertinents. Cet outil a pour objectif de proposer une alternative validée à l'analyse du mouvement actuellement basée marqueurs, en améliorant son utilisabilité : suppression du temps de préparation du patient, réduction des coûts et limitation des contraintes pouvant affecter le déroulement naturel des gestes. Ces avancées permettraient le suivi de cohortes de patients en intégrant les mesures du mouvement dans leur parcours, à la manière des radiographies. Ainsi, les registres d'orthopédie, utilisés pour le suivi de la qualité des implants et des procédures chirurgicales [9], pourraient bénéficier de mesures objectives complémentaires des mesures subjectives [10] principalement utilisées actuellement du fait de leur simplicité.

### **Collaboration**

Ce projet de thèse s'inscrit dans un projet collaboratif entre le LBMC (Université Lyon 1, Université Gustave Eiffel) et le K-LAB (Hôpitaux Universitaires de Genève).

La thèse se déroulera dans les locaux du LBMC près de Lyon. Des mobilités financées seront réalisées dans les locaux du K-LAB à Genève.

### **Profil du candidat.e**

Candidat.e disposant d'un Master 2 et/ou diplôme d'ingénieur dans le domaine de l'ingénierie. Des compétences en outils numériques et en programmation (Python) sont primordiales. Un intérêt pour le domaine de la biomécanique et de la santé sera apprécié.

### **Candidature**

Un CV, une lettre de motivation et un relevé des notes de Master sont à transmettre par mail à [antoine.muller@univ-lyon1.fr](mailto:antoine.muller@univ-lyon1.fr).

### **Références**

- [1] Vissers, M. M., Bussmann, J. B., Verhaar, J. A., Arends, L. R., Furlan, A. D., & Reijman, M. (2011). Recovery of physical functioning after total hip arthroplasty: systematic review and meta-analysis of the literature. *Physical therapy*, 91(5), 615-629.
- [2] Sosdian, L., Dobson, F., Wrigley, T. V., Paterson, K., Bennell, K., Dowsey, M., ... & Hinman, R. S. (2014). Longitudinal changes in knee kinematics and moments following knee arthroplasty: a systematic review. *The Knee*, 21(6), 994-1008.
- [3] Gasparutto, X., Gueugnon, M., Laroche, D., Martz, P., Hannouche, D., & Armand, S. (2021). Which functional tasks present the largest deficits for patients with total hip arthroplasty before and six months after surgery? A study of the timed up-and-go test phases. *PLoS one*, 16(9), e0255037.
- [4] Chaumeil, A., Lahkar, B. K., Dumas, R., Muller, A., & Robert, T. (2024). Agreement between a markerless and a marker-based motion capture systems for balance related quantities. *Journal of Biomechanics*, 165, 112018.

- [5] Bousigues, S., Naaim, A., Robert, T., Muller, A., & Dumas, R. (2025). The effects of markerless inconsistencies are at least as large as the effects of the marker-based soft tissue artefact. *Journal of Biomechanics*, 182, 112566.
- [6] Cimorelli, A., Patel, A., Karakostas, T., & Cotton, R. J. (2024). Validation of portable in-clinic video-based gait analysis for prosthesis users. *Scientific reports*, 14(1), 3840.
- [7] Gasparutto, X., Wegrzyk, J., Rose-Dulcina, K., Hannouche, D., & Armand, S. (2020). Can the fusion of motion capture and 3D medical imaging reduce the extrinsic variability due to marker misplacements?. *Plos one*, 15(1), e0226648.
- [8] Gasparutto, X., Rose-Dulcina, K., Grouvel, G., DiGiovanni, P., Carcreff, L., Hannouche, D., & Armand, S. (2024). Sensor-to-Bone Calibration with the Fusion of IMU and Bi-Plane X-rays. *Sensors*, 24(2), 419.
- [9] Lübbecke, A., Silman, A. J., Prieto-Alhambra, D., Adler, A. I., Barea, C., & Carr, A. J. (2017). The role of national registries in improving patient safety for hip and knee replacements. *BMC musculoskeletal disorders*, 18(1), 414.
- [10] Gandhi, R., Tsvetkov, D., Davey, J. R., Syed, K. A., & Mahomed, N. N. (2009). Relationship between self-reported and performance-based tests in a hip and knee joint replacement population. *Clinical rheumatology*, 28(3), 253-257.