Modélisation du comportement mécanique du cartilage de la hanche : vers l'estimation des contraintes intra-articulaires dans la dysplasie développementale de la hanche

Porteur : Zeinab AWADA
(Le porteur s'engage à participer et présenter son projett aux journées de la GI-EIF)
Partenaires : Boumediene Nedjar (Université d'Evry Paris Saclay), Renaud Amoakon et Philippe Corbeil (Université Laval, Canada)
Laboratoire : Laboratoire de biomécanique et mécanique de chocs (LBMC)
Composante : (si applicable)

Nature du financement demandé : Stage de M2
Dates : Mars 2027- Août 2027

Résumé : (200 mots)
Ce stage porte sur la validation d'un modèle poromécanique en grandes déformations visant à caractériser le comportement mécanique du cartilage articulaire de la hanche. Dans le contexte de la dysplasie développementale de la hanche (DDH), cette approche a pour objectif de mieux comprendre la répartition des contraintes intra-articulaires et les mécanismes impliqués dans la dégradation du cartilage. Le travail consistera dans un premier temps à étudier les fondements théoriques de la poromécanique, notamment la théorie de Biot, puis à prendre en main le logiciel Abaqus et les sous-routines UMAT développées par l'équipe. Des tests numériques et des études paramétriques seront réalisés afin de vérifier la cohérence de l'implémentation et d'évaluer la sensibilité du modèle à ses différents paramètres. Enfin, le modèle sera confronté à des données expérimentales obtenues sur quinze têtes fémorales, dans le but d'évaluer sa capacité à reproduire leur réponse mécanique. Ce travail contribuera à préparer son application à des géométries anatomiques spécifiques aux patients, reconstruites à partir d'images TDM, en vue d'une meilleure évaluation biomécanique de la DDH.

Sujet développé :
Description du projet :
La dysplasie développementale de la hanche (DDH) est une pathologie caractérisée par un développement anormal de l'articulation de la hanche, susceptible de modifier la répartition des charges mécaniques, favorisant la dégradation du cartilage ainsi que le développement précoce d'une arthrose. La compréhension des mécanismes mécaniques impliqués dans cette pathologie constitue donc un enjeu important pour améliorer l'évaluation des contraintes articulaires et, à terme, contribuer à une meilleure prise en charge des patients.

Le cartilage articulaire est un tissu mou dont le comportement mécanique repose sur l'interaction entre sa matrice solide et le fluide qu'il contient. Sa capacité à répartir les charges et à limiter les frottements est essentielle au bon fonctionnement de l'articulation. Toutefois, sa faible capacité de régénération rend sa dégradation particulièrement préoccupante.

Afin de mieux caractériser son comportement, un modèle poromécanique intégrant les grandes déformations est en cours de développement par l'équipe encadrante, dans le cadre d'une collaboration entre le Laboratoire de Biomécanique et de Mécanique des Chocs (LBMC), l'Université d'Évry et l'Université Laval. Ce modèle sera appliqué à des géométries spécifiques aux patients, reconstruites à partir d'images de

tomodensitométrie (TDM), et validé à partir d'essais mécaniques réalisés sur quinze têtes fémorales, en collaboration avec l'entreprise Biomomentum Inc. (Laval, Québec). Ce travail constitue une étape vers une estimation localisée et physiologiquement cohérente des contraintes intra-articulaires, notamment dans le contexte de la DDH.

Objectifs du stage :
Dans ce contexte, les objectifs de ce stage sont :
1. Valider le modèle poromécanique développé ;
2. Evaluer sa capacité à reproduire les réponses mécaniques expérimentales sur les têtes fémorales.
3. Préparer son application à des géométries spécifiques, en vue d'estimer les contraintes intra-articulaires chez les patients atteints de la DDH.

Déroulement du stage :
Pour atteindre ces objectifs, le stage s'organisera autour des étapes suivantes :
- Réaliser une étude bibliographique sur la poromécanique des tissus biologiques, la théorie de Biot et les modèles constitutifs en grandes déformations.
- Prendre en main le logiciel Abaqus et les sous-routines UMAT développées par l'équipe encadrante.
- Mettre en place des tests numériques permettant de vérifier le comportement du modèle et la cohérence de son implémentation.
- Réaliser des études paramétriques afin d'évaluer la sensibilité du modèle aux différents paramètres.
- Contribuer à la validation du modèle à partir des données expérimentales disponibles et préparer son application à des géométries anatomiques spécifiques reconstruites à partir d'images TDM.

Ce projet sera mené en collaboration entre le laboratoire LBMC (Université Claude Bernard Lyon 1, France), le laboratoire GRAME (Université Laval, Canada) et le Laboratoire LMEE (Université d'Evry Paris Saclay, France). Il regroupe des biomécaniciens, des kinésiologues, et un chirurgien orthopédiste.

Résultats attendus :
Ce stage permettra de contribuer au développement et à la validation d'un outil numérique avancé pour décrire le comportement poromécanique du cartilage. À terme, cette approche permettra d'estimer les contraintes intra-articulaires dans des configurations anatomiques spécifiques aux patients. Elle ouvrira ainsi des perspectives pour une meilleure compréhension des mécanismes mécaniques impliqués dans la dégradation du cartilage et pour le développement futur d'outils d'aide à l'évaluation biomécanique des pathologies de la hanche.

Candidat :
Le stage s'adresse à des étudiants en master 2 recherche et/ou en fin de cursus d'école d'ingénieur.
Plus précisément, un profil incluant les aspects suivants est recherché :

- Formation en mécanique /biomécanique,
- Bonnes bases en mécanique des milieux continus,
- Connaissances en modélisation par éléments finis,
- Expérience pratique d'un solveur de calcul EF,
- Connaissance en programmation (python ou fortran),
- Revue bibliographique et littérature scientifique,
- Rédaction des rapports sous LaTeX.