

Propagation de fissure sur un tronçon d'os cortical : transition dans le domaine dynamique

Mots-clés Fissuration, Os cortical, Essai mécanique, Modélisation numérique, FEM
Niveau Stage de fin d'études - M2
Encadrants TAILHAN Jean-Louis / GODIO-RABOUTET Yves / THOLLON Lionel : LBA
PITHIOUX Martine / KURTZ Théophile : ISM

Durée : 6 mois, à compter de Février 2025

Contexte général

En traumatologie, l'une des blessures les plus fréquentes est la fracture osseuse. Ce type de lésion est présent dans de nombreux scénarios (transports, professionnels ou sportifs). En parallèle, l'occurrence d'individus touchés par l'ostéoporose augmente les risques de fracture, en particulier celle du col du fémur chez les seniors. Ces affections, 50 000 par an en France, impactent fortement la qualité de vie des patients et représentent à elles seules un coût sociétal non négligeable : 800 millions d'euros¹. Afin de prévenir des prises en charge médicales coûteuses et tardives, réduire les impacts économiques et peut-être redéfinir les politiques de santé publique, il devient nécessaire d'approfondir les recherches sur la modélisation des fractures.

Dans ce contexte, les modèles mécano-numériques doivent être capables de prédire et d'aider à comprendre et à traiter les fractures osseuses. Il faut pour cela améliorer la description de l'apparition et de la propagation de la fracture tout en donnant accès à ses caractéristiques fines (faciès, ouvertures, etc. ...). La stratégie, qui est visée ici [1], est basée sur un enrichissement, non pas du modèle mécanique à proprement parlé, mais de ses données d'entrée: elle doivent représenter l'hétérogénéité du matériau et ses conséquences mécaniques (effet d'échelle, ...)

La détermination de ces données, essentiellement des propriétés mécaniques telles que des modules d'élasticité, des résistances et des énergies de fissuration, en lien avec l'hétérogénéité du matériau est donc fondamentale. L'aspect dynamique de la problématique globale nécessite de scruter correctement l'effet de la vitesse de sollicitation sur ces propriétés.

Objectifs

Le sujet s'intéresse donc à la détermination de ces propriétés mécaniques du tissu osseux cortical par des essais dynamiques. Le protocole actuel consiste à réaliser des essais de propagation de fissure sur des tronçons diaphysaires de fémurs humains pré-entaillés est soumis à une flexion trois points. Sur la base de ce protocole et d'une méthodologie de détermination inverse développée précédemment [2, 3], le candidat devra répondre aux problématiques suivantes :

- Quel est le seuil critique exprimé en vitesse de sollicitation maximale acceptable par le protocole d'essai actuel ?
- Proposer et tester une (des) adaptation(s) de ce protocole d'essai dynamique permettant d'aller au-delà de ce seuil critique.

Tout d'abord, il est indispensable d'établir une revue de la littérature des processus et propriétés mécaniques du tissu cortical en dynamique (mécanismes de fissuration, propriétés élastiques, propriétés de rupture, etc). Un grand nombre d'études ont été réalisés sur ce sujet [4, 5, 6], mais la diversité des types d'essais rend l'adoption d'un consensus complexe.

Ensuite, afin de répondre à la première question posée, il s'agira de réaliser des essais (selon le protocole établi) à différentes vitesses de sollicitations. Des propriétés mécaniques (modules et énergies de fissuration) seront alors estimées en fonction de la vitesse de sollicitation et seront comparées aux valeurs déterminées en statique [7]. En effet, les propriétés viscoélastiques de l'os jouent un rôle non négligeable dans le domaine dynamique sur l'estimation des propriétés mécaniques [8, 9]. La détermination de ces propriétés se fera par une comparaison des résultats de simulations numériques (Eléments Finis) biofidèles des essais avec les résultats expérimentaux.

¹Chiffre de la société française de rhumatologie

Enfin, des premiers éléments de réponse à la question du dépassement du seuil critique d'acceptabilité de la procédure expérimentale actuelle pourront être proposés et les solutions techniques envisagées pourront être testées en dynamique.

Déroulement du stage

Le sujet proposé intègre un partenariat entre l'Institut des Sciences du Mouvement (ISM) et le Laboratoire de Biomécanique Appliquée (LBA). Les essais expérimentaux se dérouleront au LBA sur le site de la Faculté de Médecine Secteur Nord.

Partenaires :

ISM: Martine Pithioux, Théophile Kurtz.

LBA: Lionel Thollon, Yves Godio-Raboutet, Jean-Louis Tailhan.

Le stage se déroulera conjointement entre les équipes du Laboratoire de Biomécanique Appliquée (LBA) à la Faculté de Médecine Nord et de l'Institut des Sciences du Mouvement (ISM) à l'Hôpital Sainte-Marguerite, tous deux basé à Marseille.

Contacts :

- Théophile Kurtz: theophile.kurtz@univ-amu.fr
- Jean-Louis Tailhan: jean-louis.tailhan@univ-eiffel.fr

Qualités et compétences requises

Sérieux, motivation, autonomie, sens de l'organisation et des responsabilités. Goût pour l'expérimental et le numérique. Des compétences dans la modélisation numériques et l'utilisation d'outils numériques (CAO, codes aux éléments finis, ...) sont les bienvenues.

Compétences requises

- Connaissances des moyens d'essais et de mesure
- Capacité de développer et réaliser une campagne d'essais mécaniques
- Modélisation numérique (Segmentation et CAO)
- Méthode des Eléments Finis
- Autonomie et prise d'initiative



Laboratoire de
Biomécanique
Appliquée

UMR T24

Bibliographie

- [1] Théophile Kurtz. "Cracking processes in cortical bone tissue: experimental and numerical strategy for a probabilistic modeling". PhD thesis. Mar. 19, 2024. DOI: <https://hal.science/te1-04668173v1>.
- [2] J. -L. Tailhan et al. "Macrocrack propagation in a notched shaft segment of human long bone: Experimental results and mechanical aspects". In: *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 128 (Apr. 1, 2022), p. 105132. ISSN: 1751-6161. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2022.105132.
- [3] Théophile Kurtz et al. "Method for Evaluating Cortical Bone Young's Modulus: Numerical Twin Reconstruction, Fe Calculation and Microstructure Analysis". In: *Journal of Biomechanical Engineering* (Aug. 5, 2023), pp. 1–30. ISSN: 0148-0731. DOI: 10.1115/1.4063100.
- [4] J. C. Behiri and W. Bonfield. "Fracture mechanics of bone—The effects of density, specimen thickness and crack velocity on longitudinal fracture". In: *Journal of Biomechanics* 17.1 (Jan. 1, 1984), pp. 25–34. ISSN: 0021-9290. DOI: 10.1016/0021-9290(84)90076-9.
- [5] R. O. Ritchie et al. "A fracture mechanics and mechanistic approach to the failure of cortical bone". In: *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* 28.4 (2005), pp. 345–371. ISSN: 1460-2695. DOI: 10.1111/j.1460-2695.2005.00878.x.
- [6] Xuedong Zhai et al. "Real-time visualization of dynamic fractures in porcine bones and the loading-rate effect on their fracture toughness". In: *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 131 (Oct. 1, 2019), pp. 358–371. ISSN: 0022-5096. DOI: 10.1016/j.jmps.2019.07.010.
- [7] Michael J. Katzenberger et al. "Effects of sex, age, and two loading rates on the tensile material properties of human rib cortical bone". In: *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 102 (Feb. 1, 2020), p. 103410. ISSN: 1751-6161. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2019.103410.
- [8] Peter Zioupos, Ulrich Hansen, and John D. Currey. "Microcracking damage and the fracture process in relation to strain rate in human cortical bone tensile failure". In: *Journal of Biomechanics* 41.14 (Oct. 20, 2008), pp. 2932–2939. ISSN: 0021-9290. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.07.025.
- [9] M. Fois et al. "Study of human cortical bone and demineralized human cortical bone viscoelasticity". In: *Journal of Applied Polymer Science* 79.14 (2001), pp. 2527–2533. ISSN: 1097-4628. DOI: 10.1002/1097-4628(20010401)79:14<2527::AID-APP1061>3.0.CO;2-J.