

Titre du Master	Caractérisation mécanique pour l'impression 3D de vertèbres avec ou sans métastases osseuses
Titre en anglais	Mechanical characterization for 3D printing of vertebrae with or without bone metastases
Lieu de travail principal	MatéIS INSA Lyon-UCBL-CNRS, UMR5510, Villeurbanne, mateis.insa-lyon.fr Lyos INSERM-UCBL, U1033, Lyon, www.lyos.fr
Encadrants	Joris CLAUDE, Doctorant INSA Lyon, joris.claude@insa-lyon.fr Rémy GAUTHIER, CR CNRS, remy.gauthier@cnrs.fr Hélène FOLLET, CR HDR INSERM, helene.follet@inserm.fr Christian OLAGNON, PU INSA Lyon, christian.olagnon@insa-lyon.fr

Description du projet :

Les cancers les plus fréquents, comme ceux du sein, des poumons et de la prostate, provoquent souvent des métastases osseuses, qui migrent du site du cancer principal vers les os. Ces métastases peuvent causer des douleurs sévères et fragilisent la structure osseuse, augmentant le risque de fractures vertébrales. Actuellement, les cliniciens évaluent la stabilité de la colonne avec le score SINS (Spinal Instability Neoplastic Score), basé sur des paramètres morphologiques et cliniques. Ce score permet aux cliniciens de décider entre le traitement de la métastase ou la stabilisation de la colonne par une chirurgie. Toutefois, bien que le score soit fiable dans les cas extrêmes, il reste imprécis pour les situations intermédiaires [1].

La modélisation numérique apparaît alors comme un outil pertinent pour estimer la charge à rupture d'une vertèbre à partir des données issues de l'imagerie clinique. En général, la densité minérale osseuse (BMD) est mesurée par scan tomographique (CT-Scan) et fournit une estimation de la rigidité osseuse, ce qui permet d'attribuer des propriétés mécaniques aux éléments dans une simulation éléments finis. L'unité INSERM U1033 (LYOS) a mené des recherches sur l'os ostéoporotique et métastatique en utilisant des simulations par éléments finis qui intègrent la géométrie osseuse, les propriétés des matériaux (os cortical/spongieux et métastase) et les conditions de chargement [2]. Le modèle est généralement validé par expérimentation sur pièces anatomiques humaines. Cependant ces approches restent coûteuses en temps et en matériel.

L'objectif global de ce projet est de développer des modèles physiques de vertèbres en 3D par fabrication additive (MatéIS). Si des modèles 3D existent déjà pour l'entraînement des chirurgiens [3], ils ne permettent pas d'évaluer le risque de fracture.

Une vertèbre présente une organisation architecturale spécifique et complexe, composée d'un réseau interconnecté de travées osseuses de 100 µm de diamètre environ, renforcé par une coque d'os cortical. Le but de ce projet est de fournir un modèle exploitable cliniquement, en utilisant donc des données d'imagerie clinique avec une résolution limitée (voxel > 400 µm), qui ne permet pas de segmenter le réseau de travées osseuses.

Les travaux menés dans le cadre de ce projet ont permis d'aboutir à la conception d'une architecture basée sur des Surfaces Minimales Triplements Périodiques (TPMS) à densité relative variable [4], permettant de reproduire localement le module d'Young de la vertèbre à partir des données cliniques. Cette architecture est imprimée en 3D à l'aide d'une imprimante 3D LCD et d'une résine photopolymérisable chargée en particules céramiques.

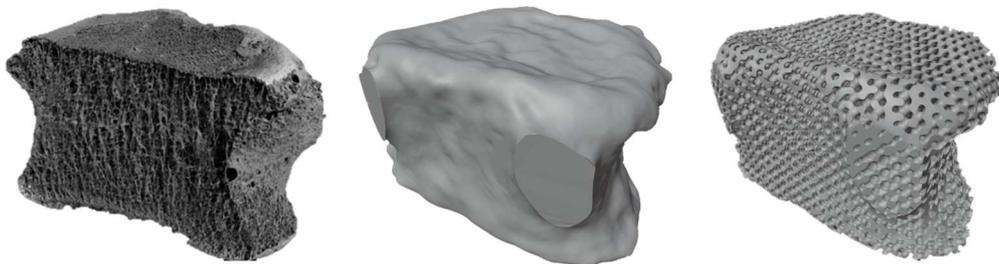


Figure 1 : Architecture interne de la vertèbre (gauche), Maillage STL surfacique (milieu), Architecture TPMS à densité relative variable (droite)

Ces modèles physiques imprimés en 3D seront validés par des essais mécaniques sur vertèbres humaines via une collection de vertèbres humaines disponibles au LYOS. Les modèles seront notamment testés in situ sous tomographe afin d'obtenir à la fois la réponse globale de la pièce (courbe force-déplacement) mais aussi la distribution des déformations au sein de sa structure interne. Ils seront comparés à des essais similaires réalisés sur des vertèbres humaines.

Objectif du stage : Dans ce contexte, l'objectif du stage est d'évaluer les propriétés mécaniques anisotropes de l'architecture TPMS imprimées en 3D par des essais mécaniques et des simulations numériques, afin de les intégrer dans la conception de l'architecture du modèle physique imprimé en 3D.

Méthodologie : Pour atteindre cet objectif, le stage de master se déroulera de la façon suivante :

- Prise en main des procédés d'impression 3D et de conception numérique de l'architecture TPMS.
- Essais mécaniques sur la structure homogène et sur la structure avec variation de densité relative.
- Simulation numérique du comportement des différentes structures.
- Caractérisation du comportement mécanique.
- Intégration à la conception de l'architecture 3D.

Résultats attendus : Ce projet permettra de vérifier la faisabilité de créer un modèle vertèbre imprimée en 3D permettant de reproduire le comportement global d'une vertèbre humaine sous chargement.

Encadrement : Ce projet s'inscrit dans le cadre de la thèse de Joris Claude.

Prérequis : Connaissances globale en mécanique, science des matériaux et simulation numérique. Une connaissance en impression 3D serait un plus.

Durée : 5-6 mois, début dès que possible

Lieu : Lyon

Candidature : Envoyez votre CV, votre lettre de motivation, vos notes des 3 dernières années ainsi qu'une lettre de recommandation (si possible) à joris.claude@insa-lyon.fr, remy.gauthier@cnrs.fr, helene.follet@inserm.fr et christian.olagnon@insa-lyon.fr

Références :

- [1] Confavreux, C.B.; Follet, H.; Mitton, D.; Pialat, J.B.; Clézardin, P. Fracture Risk Evaluation of Bone Metastases: A Burning Issue. *Cancers* 2021, 13, 5711. <https://doi.org/10.3390/cancers13225711>
- [2] Valentin Allard. Failure load prediction of metastatic vertebrae using numerical simulation : inter-laboratories validations. *Biomechanics [physics.med-ph]*. Université Claude Bernard - Lyon I, 2022. English. (NNT : 2022LYO10123). (tel-04283276)
- [3] Clifton, W., Pichelmann, M., Vlasak, A. et al. Investigation and Feasibility of Combined 3D Printed Thermoplastic Filament and Polymeric Foam to Simulate the Corticocancellous Interface of Human Vertebrae. *Sci Rep* 10, 2912 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59993-2>
- [4] O. Al-Ketan, D.W. Lee, R. Rowshan, R.K. Abu Al-Rub, Functionally graded and multi-morphology sheet TPMS lattices: Design, manufacturing, and mechanical properties, *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.103520>