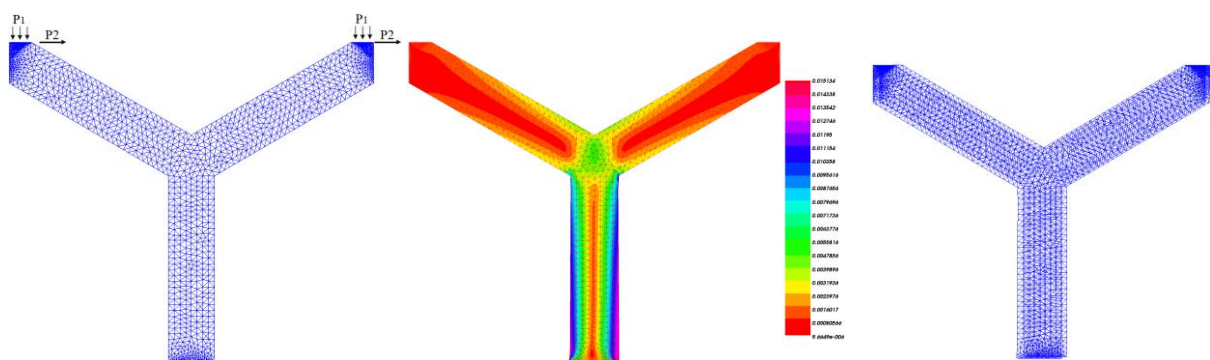


Modèles multiéchelles du remodelage de structures osseuses

Jean-François Ganghoffer. LEM3 - Université de Lorraine

L'accrétion est une situation générale en physique décrivant des phénomènes tels que la maçonnerie, l'accrétion gravitationnelle, le dépôt chimique en phase vapeur ou la formation de roches volcaniques et sédimentaires. La croissance de surface dans un contexte biologique résulte de l'agrégation de matière en surface d'un corps solide, résultant de l'activité de cellules qui produisent un nouveau tissu, ce dernier processus méritant la croissance de surface. Des modèles de croissance de surface et d'accrétion sont ici développés en biomécanique de l'os, sous l'égide de la thermodynamique des phénomènes irréversibles. La croissance de surface dans un contexte biologique se traduit par des cellules génératrices mobiles, responsables de l'apport de matière, définissant ainsi une surface ou interface évolutive. Nous analysons tout d'abord la situation d'accrétion sans croissance [1,2,3]. Ce cadre est ensuite élargi à l'accrétion accompagnée de croissance de surface afin de formuler une loi d'évolution du gradient de vitesse de croissance en fonction d'une force motrice conjuguée. Un modèle du second gradient est formulé afin de prendre en compte les forts gradients internes de déformation générés au sein de l'architecture trabéculaire ainsi que les effets de taille. Des simulations numériques illustrent la situation d'accrétion et de croissance de surface osseuse combinées [4], illustrées ci-dessous à l'échelle des travées osseuses.



Simulation de l'accrétion et de la croissance de surface. (a) Configuration initiale, (b) distribution de déformation, (c) superposition des maillages initiaux et après remodelage

Des modélisations reposant sur des principes d'optimisation [5] donnent lieu à des prédictions de la densité osseuse au sein d'échantillons de fémur, dont les prédictions sont en bon accord avec des images issues de CT scans.

References

- [1] Louna, Z., Goda, I. Ganghoffer, J.F., Benhadid, S., 2017. Formulation of an effective growth response of trabecular bone based on micromechanical analyses at the trabecular level. *Archive of Applied Mech.* 87(3), 457-477.
- [2] Goda, I. Ganghoffer, J.F., Maurice, G., 2016. Combined bone internal and external remodeling based on Eshelby stress. *Int. J. Solids Struct.*, 94–95, 138–157.
- [3] Ganghoffer, J.F., 2010. Mechanical modeling of growth considering domain variation – Part II: volumetric and surface growth involving Eshelby tensors. *J. Mech. Phys. Solids* 58 (9), 1434–1459.
- [4] Ganghoffer, J.F., Goda, I. A combined accretion and surface growth model in the framework of irreversible thermodynamics. *Int. J. Engng Sci.*, 2018.
- [5] Goda, I., Ganghoffer, J.F., Czarnecki, R., 2016. Optimal internal architectures of femoral bone based on relaxation by homogenization and isotropic material design. *MRC*, 76.