

Projet d'option MAAS

Développement d'une nouvelle approche pour le calcul à partir d'images

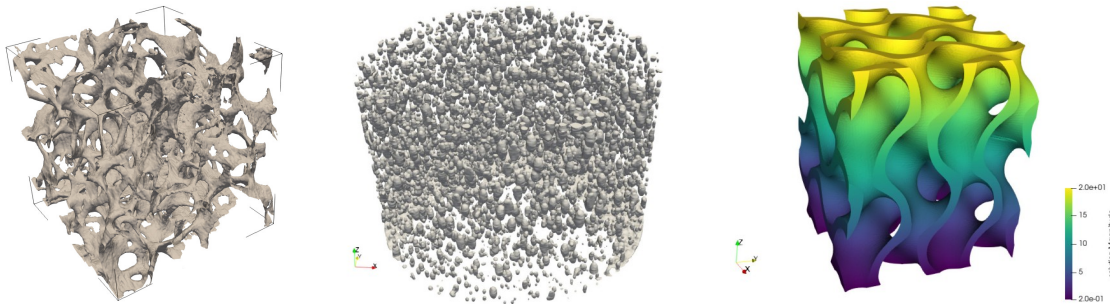
G.Legrain

Centrale Nantes – OD MAAS


Sujet n°3

L'objectif de ce projet d'option est d'implémenter et d'étudier le comportement d'une méthode de calcul à partir d'images.

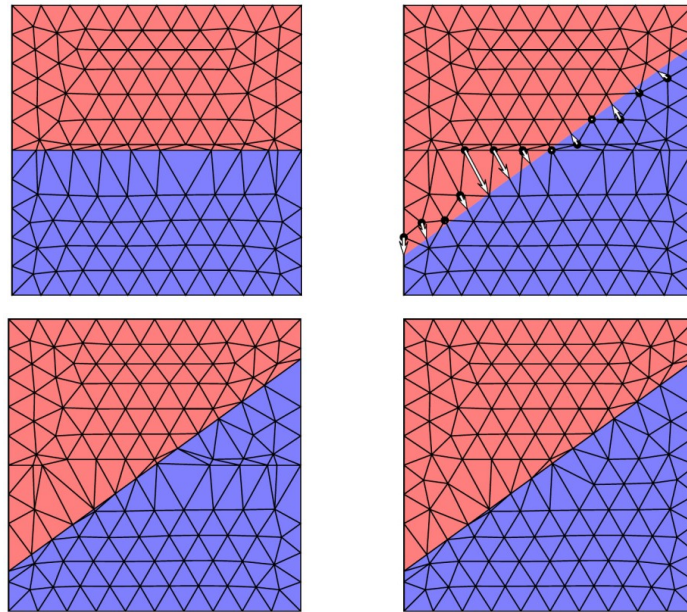
1 Contexte



Le calcul à partir d'images est devenu un aspect fondamental pour la simulation en sciences des matériaux, pour le reverse-engineering ou pour les modèles "*patient-specific*" en santé. Dans le premier cas, l'objectif est d'estimer les propriétés mécaniques des matériaux à partir de leur micro-structure (réelle ou reconstruite statistiquement) dans un objectif de prédiction ou d'optimisation. Dans le second, la géométrie d'une pièce peut être obtenue à partir d'un scanner surfacique afin d'en estimer les performances, ce qui peut être utile en rétro-conception ou pour une étude concurrentielle. Enfin, le dernier cas est utile en phase de préparation pré-opératoire ou pour la conception de prothèses dont la géométrie est parfaitement adaptée au patient.

La méthode des éléments finis est bien entendu un outil de choix pour tous ces cas d'application. La plupart des procédures actuellement utilisées manquent néanmoins de robustesse à cause de la difficulté à construire des maillages de qualité à partir de représentations géométriques complexes et bruitées. Des approches plus adaptées ont été proposées dans la littérature [1,2], notamment à l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique de l'École  [3]. Ces approches peuvent s'avérer très robustes et efficaces pour les cas linéaires, mais restent coûteuses si des non-linéarités comme la plasticité doivent être prises en compte.

1. En co-tutelle avec Nantes Université et le CNRS.



L'objectif de ce projet est d'étudier la mise en œuvre d'une approche alternative permettant de répondre à ces problématiques. Cette méthode, nommée X-Mesh (*eXtreme Mesh deformation method*) [4] propose de déformer le maillage afin de se conformer aux interfaces, quitte à obtenir des éléments dégénérés. Des approches correctives permettent alors d'obtenir des solutions de bonne qualité.

2 Objectifs

Nous nous restreindrons a priori aux cas 2D avec les objectifs suivants :

- Implémenter l'approche de déformation de maillage à partir de données en provenance d'imagerie;
- Lier la méthode avec un code de calcul HPC de recherche (Fenicsx et/ou mfem);
- Valider l'implémentation en linéaire et non-linéaire (plasticité, hyper-élasticité);
- Éventuellement, coupler l'approche avec des outils d'adaptation de maillage.

Les applications envisagées selon les contraintes temporelles et les difficultés rencontrées dans les phases précédentes sont :

- Calculs d'homogénéisation en élasticité linéaire à partir d'images;
- Calculs de plasticité sur géométries provenant d'imagerie;
- Problèmes comportant de l'auto-contact;
- Simulation du remodelage osseux.

3 Compétences attendues

- Bibliographie
- Appétence pour la programmation (principalement python ici)
- Appétence pour les éléments finis : -)

Références

- [1] Noble, David R., Elijah P. Newren, et Jeremy B. Lechman. « A Conformal Decomposition Finite Element Method for Modeling Stationary Fluid Interface Problems ». *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 63, no 6 (2010) : 725-42. <https://doi.org/10.1002/fld.2095>.
- [2] Parvizian, Jamshid, Alexander Düster, et Ernst Rank. « Finite cell method ». *Computational Mechanics* 41, no 1 (2007) : 121-33. <https://doi.org/10.1007/s00466-007-0173-y>.
- [3] Legrain, Grégory, M. Chevreuil, et N. Takano. « Prediction of apparent properties with uncertain material parameters using high-order fictitious domain methods and PGD model reduction ». *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 109, no 3 (2017). <https://doi.org/10.1002/nme.5289>.
- [4] Moës, Nicolas, Jean-François Remacle, Jonathan Lambrechts, Benoît Lé, et Nicolas Chevaugeon. « The eXtreme Mesh deformation approach (X-MESH) for the Stefan phase change model ». *Journal of Computational Physics* 477 (mars 2023) : 111878. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2022.111878>.