

# Modélisation mécanique basée sur les images : application à la corrélation d'images volumiques.

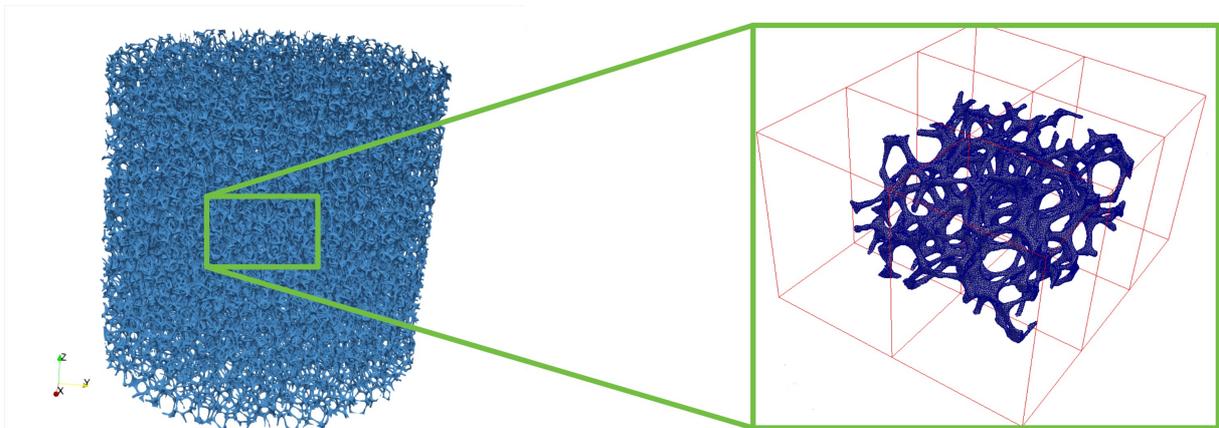
Ali Rouwane<sup>1,2</sup>, Robin Bouclier<sup>1,2</sup>, Jean-Charles Passieux<sup>1</sup> et Jean-Noël Périé<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ICA, Université de Toulouse, UPS, INSA, ISAE-SUPAERO, MINES-ALBI, CNRS, 3 rue Caroline Aigle, F31055 31400 Toulouse, France

<sup>2</sup> IMT, Université de Toulouse, UPS, UT1, UT2, INSA, CNRS, 135 avenue de Rangueil, F-31077 Toulouse Cedex 04, France  
Courriel : [ali.rouwane@univ-tlse3.fr](mailto:ali.rouwane@univ-tlse3.fr)

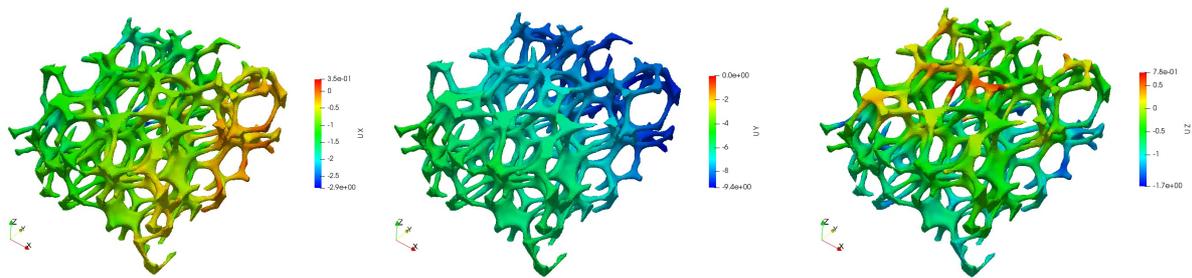
L'utilisation de la micro tomographie à rayons X (ou  $\mu$ -CT) s'est généralisée dans les laboratoires de mécanique. Pour les matériaux cellulaires, elle permet de construire des modèles mécaniques basés sur les images [1], ou d'explorer leur comportement interne à différentes échelles au moyen d'essais *in situ* et de mesures de champs cinématiques (par exemple par Corrélation d'Images Volumiques ou CIV [2]). Cette modalité d'imagerie permet donc d'envisager l'identification de paramètres constitutifs de lois de comportement en liant essais et simulations [3,4].

La CIV [2] est une technique de mesure de champs de déplacements qui peut faciliter ce lien. Cependant, la CIV (subset based ou globale Eléments Finis (EF)) repose sur la texture intrinsèque (distribution de niveaux de gris qui provient souvent uniquement de l'architecture) de l'échantillon afin de minimiser l'incertitude de mesure [5]. Ceci se traduit par le choix d'une taille de subset/d'élément en accord avec la longueur de corrélation. Ce choix pratique est illustré par la figure 1: la taille de corrélation choisie correspond à la taille d'une cellule. Néanmoins, une interpolation du champ classique (eg linéaire) à cette échelle ne peut en aucun cas représenter la cinématique sous-jacente induite par la micro-architecture, en particulier si des déformations complexes apparaissent à l'échelle sub cellulaire (comme de la flexion ou du flambement de ligaments).



**Figure 1.** À gauche : Micro-architecture d'une mousse polyuréthane générée à partir d'une image volumique obtenue par  $\mu$ -CT (551 × 504 × 507 voxels) [6]. À droite : En rouge : discrétisation retenue pour corréler avec une approche CIV-EF le sous-volume de taille (100 × 100 × 50) voxels, en bleu : géométrie éléments finis représentant la microstructure complexe des ligaments de la mousse.

La présente contribution concerne le développement d'un algorithme de corrélation d'images volumiques qui permet d'améliorer la résolution spatiale de mesure pour des architectures cellulaires (eg des mousses). Cette technique s'appuie directement sur le maillage éléments finis représentant la micro-architecture comme support de mesure, ce qui ouvre la voie du dialogue essais calcul. En pratique, pour compenser le déficit de texture à l'échelle des ligaments, une régularisation de type Tikhonov basée sur l'écart à l'équilibre mécanique est exploitée [7,8]. On montre que cette approche permet d'identifier une cinématique à l'échelle sub cellulaire. Des résultats probants comme ceux illustrés par la figure 2 ont été obtenus pour une mousse polyuréthane sollicitée en compression.



**Figure 2.** Mesure car CIV régularisée à l'échelle des ligaments d'une mousse polyuréthane. Les trois figures représentent respectivement les déplacements mesurés suivant les directions  $x, y$  et  $z$ .

- [1] Ulrich, D., van Rietbergen, B., Weinans, H., & Rügsegger, P. (1998). Finite element analysis of trabecular bone structure: a comparison of image-based meshing techniques. *Journal of biomechanics*, 31(12), 1187-1192.
- [2] Bay, B. K., Smith, T. S., Fyhrie, D. P., & Saad, M. (1999). Digital volume correlation: three-dimensional strain mapping using X-ray tomography. *Experimental mechanics*, 39(3), 217-226.
- [3] Avril, S., Bonnet, M., Bretelle, A. S., Grédiac, M., Hild, F., Ienny, P., ... & Pierron, F. (2008). Overview of identification methods of mechanical parameters based on full-field measurements. *Experimental Mechanics*, 48(4), 381.
- [4] Buljac, A., Navas, V. M. T., Shakoov, M., Bouterf, A., Neggers, J., Bernacki, M., ... & Hild, F. (2018). On the calibration of elastoplastic parameters at the microscale via X-ray microtomography and digital volume correlation for the simulation of ductile damage. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 72, 287-297.
- [5] Croom, B. P., Burden, D., Jin, H., Vonk, N. H., Hoefnagels, J. P. M., Smaniotto, B., ... & Li, X. (2021). Interlaboratory Study of Digital Volume Correlation Error Due to X-Ray Computed Tomography Equipment and Scan Parameters: an Update from the DVC Challenge. *Experimental Mechanics*, 61(2), 395-410.
- [6] Pétureau, L. (2018). *Stratégie de couplage expérimentation/modélisation dans les matériaux hétérogènes. Identification de propriétés mécaniques locales* (Doctoral dissertation, Université de Poitiers).
- [7] Leclerc, H., Périé, J. N., Roux, S., & Hild, F. (2011). Voxel-scale digital volume correlation. *Experimental Mechanics*, 51(4), 479-490.
- [8] Rouwane, A., Bouclier, R., Passieux, J. C., & Périé, J. N. (2021). Architecture-Driven Digital Image Correlation Technique (ADDICT) for the measurement of sub-cellular kinematic fields in speckle-free cellular materials. *International Journal of Solids and Structures*, 111223.

**Remerciements :**

Les auteurs remercient Pascal Doumalin pour les images tomographiques provenant d'essais *in-situ* sur la mousse polyuréthane.

Cette étude est inscrite dans le cadre du projet de thèse d'Ali Rouwane. Elle est financée par la région Occitanie et l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées.

**Indiquer le nom de la personne à contacter :**

**Nom :** Rouwane                      **Prénom :** Ali              **Courriel :** ali.rouwane@univ-tlse3.fr

**Indiquer le thème de votre présentation :**

- Traitement des données
- État mécanique, approche multi échelles
- Imagerie, tomographie

**Indiquer votre mode de présentation préféré :** Communication orale