

## Analyse topologique de mouvements de grains dans une séquence d'images 3D

**Laboratoire et équipe d'accueil :** Laboratoire GREYC - UMR 6072, Équipe IMAGE

**Encadrants :** Yukiko Kenmochi (CR CNRS HDR, GREYC), Nicolas Passat (PR Univ. Reims)

**Adresses email :** [yukiko.kenmochi@unicaen.fr](mailto:yukiko.kenmochi@unicaen.fr), [nicolas.passat@univ-reims.fr](mailto:nicolas.passat@univ-reims.fr)

**Collaboration :** Edward Ando (Investigateur Principal, EPFL, Suisse)

**Durée :** 5-6 mois

**Mots clés :** analyses d'images, topologie discrète, morphologie mathématique, homologie persistente.

### Contexte :

L'un des défis des géomécaniciens avec lesquels nous collaborons est d'étudier le comportement complexe de la structure interne d'un matériau se déformant (par exemple, le sable) afin de comprendre les effets de séismes [1]. Pour cela, le test de compression triaxiale, qui est une méthode de mesure des propriétés mécaniques dans des solides déformables, est souvent réalisé afin d'observer la déformation axiale d'un échantillon cylindrique de sable soumis à une pression de l'extérieur. Cette déformation est localisée, c'est-à-dire non-uniforme, et l'on peut notamment observer une bande de cisaillement (voir la figure 1).

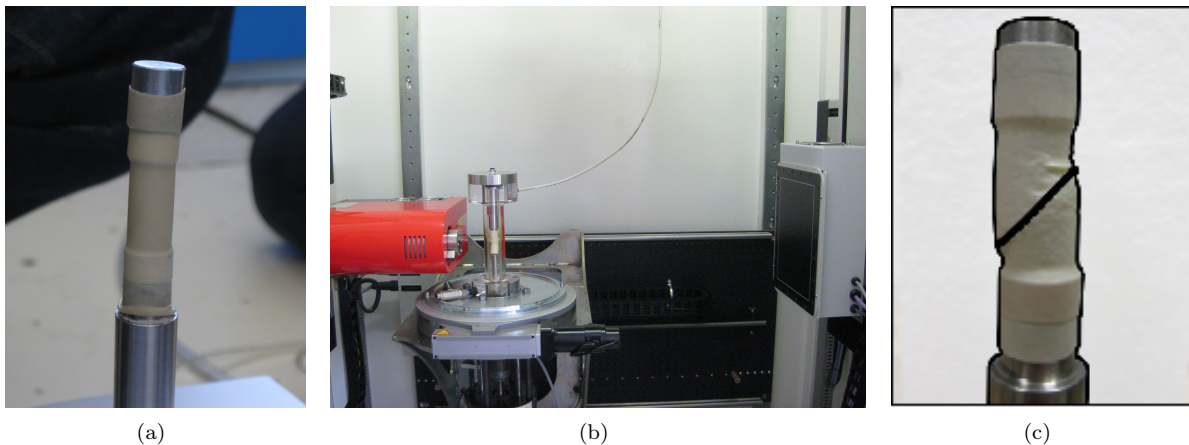


FIGURE 1 – (a) Un échantillon cylindrique de sable avant le test de compression triaxiale. (b) Une expérience du test de compression avec acquisition d'une séquence d'images 3D. (c) La bande de cisaillement observée après le test de compression.

Au cours du test de compression, des images 3D (taille de  $2000 \times 2000 \times 2000$ , niveaux de gris sur 32 bits) sont reconstruites en utilisant la tomodensitométrie par rayon X. Ces scans 3D sont réalisés à plusieurs reprises (voir la figure 2), conduisant à des séquences spatio-temporelles d'images (dites « images 3D+t ») permettant d'observer la déformation du matériau au cours du temps.

### Objectifs :

Notre but est non seulement d'évaluer le mouvement de chaque grain, mais aussi d'analyser les contacts entre ces grains. Nous nous intéressons en particulier à la manière dont les contacts évoluent au fil du temps en raison des mouvements de grains. Pour cela, nous utiliserons un descripteur topologique récemment proposé, basé sur des hiérarchies morphologiques, appelé l'arbre topologique des formes [2] (voir la figure 3 pour un exemple bidimensionnel). Pour ce faire, nous construisons un arbre topologique de formes pour chaque image 3D, puis nous comparons les arbres pour identifier leurs différences. Il serait aussi intéressant de déterminer

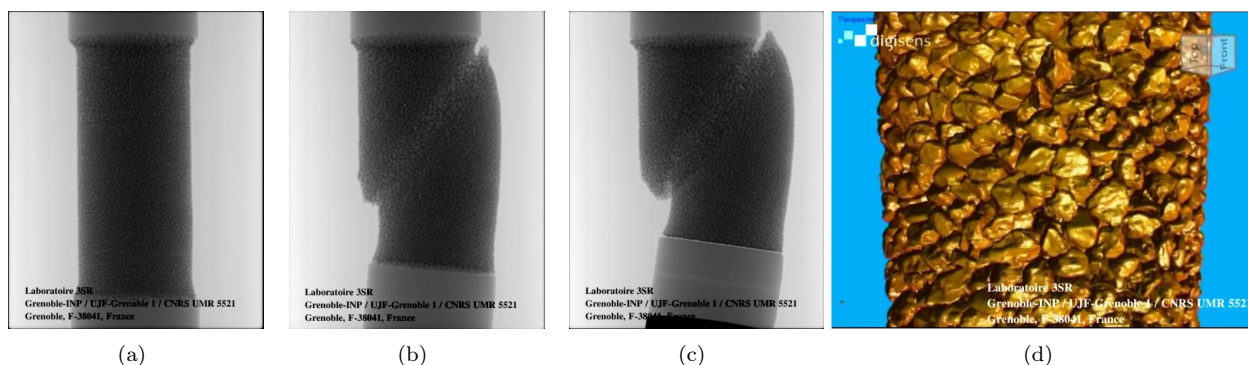


FIGURE 2 – (a–c) Scans 3D successifs acquis au cours du test de compression. (d) Visualisation 3D à un temps donné.

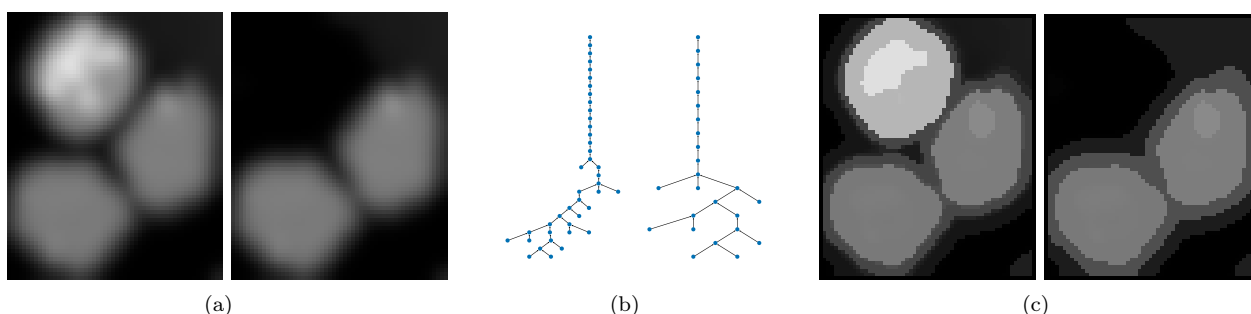


FIGURE 3 – (a) Images 2D de grains. (b) Leurs arbres topologiques des formes. (c) Une reconstruction des images à partir des arbres préservant la structure topologique.

automatiquement différents niveaux de la hiérarchie qui correspondent, par exemple, aux grains, et aux régions séparées par la bande de cisaillement.

L'intégration des développements dans la bibliothèque Higma (Hierarchical Graph Analysis) [3] est envisagée.

### Candidature :

Pour postuler, envoyer par email aux encadrants un dossier contenant un CV, une lettre de motivation, les relevés de notes des deux dernières années de formation, et éventuellement des lettres de recommandation ou des noms de référence.

### Références

- [1] E. Ando. *Experimental investigation of microstructural changes in deforming granular media using x-ray tomography*. PhD thesis, Université de Grenoble, February 2013.
- [2] N. Passat, J. Mendes Forte, and Y. Kenmochi. Morphological Hierarchies: A Unifying Framework with New Trees. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 65(5):718–753, 2023.
- [3] B. Perret, G. Chierchia, J. Cousty, S.J. F. Guimarães, Y. Kenmochi, and L. Najman. Higma: Hierarchical graph analysis. *SoftwareX*, 10:100335, 2019.