

# Thèse

## Modèles hiérarchiques pour l'analyse multi-échelle de données de très haute résolution en imagerie synchrotron

### Lieu d'exercice

Université de Reims Champagne-Ardenne, Campus Moulin de la Housse  
Laboratoires [CReSTIC](#) et [MEDyC](#)

### Date de recrutement

Automne 2024

### Direction et contact

Nicolas Passat, CReSTIC ([nicolas.passat@univ-reims.fr](mailto:nicolas.passat@univ-reims.fr))  
Sébastien Almagro, MEDyC ([sebastien.almagro@univ-reims.fr](mailto:sebastien.almagro@univ-reims.fr))

### Projet ANR MODELAGE

Cette thèse est proposée dans le cadre du projet ANR [MODELAGE](#) (Modélisation de l'évolution des microstructures vasculaires par imagerie synchrotron à très haute résolution – Prédiction du vieillissement normal vs accéléré), mené en partenariat entre l'Université de Reims Champagne-Ardenne, l'Université de Technologie de Troyes et le Synchrotron SOLEIL (Saclay).

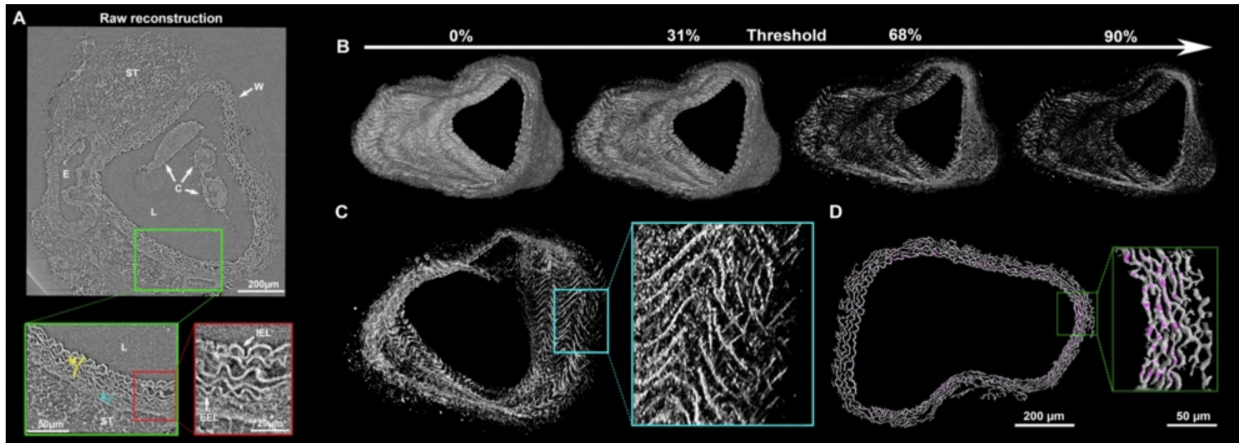


Figure 1: Image  $\mu$ CT acquise sur synchrotron (coupe 2D, à gauche) et structures extraites / visualisées partir de cette image (visualisation 3D à droite).

### Contexte

Le vieillissement vasculaire se caractérise par des altérations lentes et asymptomatiques des microstructures vasculaires. Parmi celles-ci, les lamelles élastiques de la paroi vasculaire sont les premières concernées. Néanmoins, les événements précoces prévoyant ces altérations restent pour la plupart non documentés. En effet, les méthodes d'exploration actuelles n'atteignent pas une résolution suffisante. L'exploration des caractéristiques vasculaires à l'aide de la microtomographie à rayons X synchrotron haute résolution ( $\mu$ CT) a révélé l'existence d'un réseau en forme de treillis construit à l'intérieur des lamelles élastiques chez la souris. Les images  $\mu$ CT acquises sur synchrotron peuvent ainsi fournir de nouveaux indices pour comprendre le processus de vieillissement vasculaire [1]. En effet, leur résolution, leur contraste et leur champ de vision sont

si élevés qu'ils révèlent de nouveaux détails structurels fins dans la paroi aortique (cf. figure 1). Cependant, la recherche, l'extraction et l'analyse de ces données massives et riches en informations constituent un véritable défi.

## Objectifs

Les images  $\mu$ CT sont des données 3D de très haute résolution (voxels de  $0.65 \mu\text{m}$  de côté) de très grande taille ( $4000 \times 4000 \times 2000$  voxels) pouvant de plus être empilées jusqu'à former des structures de l'ordre du téra-octet. Il est, en l'état, impossible de naviguer dans ces données et de les analyser dans leur globalité. Les solutions actuellement développées les manipulent par coupes 2D et/ou par tranches 3D épaisses [2].

Le premier but de cette thèse est de développer de nouvelles structures de données hiérarchiques (arbres) qui permettent de modéliser les images à différents niveaux d'échelle en adaptant le niveau d'échelle local au niveau de détail dans les images. Une telle politique repose de manière conjointe sur deux paradigmes : les espaces d'échelles [3] et les modèles de décomposition de type quadtree/octree [5]. Contrairement aux stratégies usuellement considérées pour les espaces d'échelles (approximation gaussienne) et pour les octrees (subdivisions régulières), l'idée est ici de tirer parti de la connaissance a priori sur le contenu des images pour développer un modèle hiérarchique morphologique [4] qui puisse représenter les images avec un minimum de perte d'information, tout en maximisant la compacité des structures, afin de permettre leur gestion en mémoire et une navigation complète sans recours à des architectures matérielles lourdes.

Les objectifs de cette thèse seront ainsi d'explorer des stratégies pour :

- définir de tels modèles hiérarchiques ;
- les construire de manière efficace ;
- développer de nouveaux descripteurs d'images dédiés aux images  $\mu$ CT ;
- développer des politiques de calcul efficaces de ces descripteurs sur les modèles hiérarchiques développés.

Ces travaux viendront s'interfacer avec des méthodes et outils récemment développés pour l'analyse des images synchrotron, dans le cadre du projet ANR [MODELAGE](#). Le(la) candidat(e) aura aussi l'opportunité de participer aux campagnes d'acquisition des images lors des expériences synchrotron.

## Compétences requises

Le(la) candidat(e) sera titulaire d'un diplôme de Master 2 et/ou d'un diplôme d'ingénieur. Il(elle) aura des compétences solides en informatique, mathématiques, et une capacité à travailler dans un contexte collaboratif et pluridisciplinaire.

Compétences impératives :

- Programmation C++ et Python
- Traitement et analyse d'images

Compétences souhaitées mais non-indispensables :

- Imagerie

## References

- [1] BEN ZEMZEM, A., LIANG, X., VANALDERWIERT, L., BOUR, C., ROMIER-CROUZET, B., BLAISE, S., SHERRATT, M., WEITKAMP, T., DAUCHEZ, M., BAUD, S., PASSAT, N., DEBELLE, L., AND ALMAGRO, S. Early alterations of intra-mural elastic lamellae revealed by synchrotron X-ray micro-CT exploration of diabetic aortas. *International Journal of Molecular Sciences* 23, 6 (2022), 3250.
- [2] LIANG, X., BEN ZEMZEM, A., ALMAGRO, S., BOISSON, J.-C., STEFFENEL, L. A., WEITKAMP, T., DEBELLE, L., AND PASSAT, N. Mouse arterial wall imaging and analysis from synchrotron X-Ray microtomography. In *IEEE International Conference on Image Processing, ICIP* (2022), IEEE, pp. 1731–1735.
- [3] LINDBERG, T. Scale-space for discrete signals. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 12, 3 (1990), 234–254.
- [4] PASSAT, N., MENDES FORTE, J., AND KENMOCHI, Y. Morphological hierarchies: A unifying framework with new trees. *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 65, 5 (2023), 718–753.
- [5] SAMET, H. The quadtree and related hierarchical data structures. *ACM Computing Surveys* 16, 2 (1984), 187–260.