

# Sujet de thèse : Guidage topologique et relationnel pour la modélisation de structures anatomiques complexes

## Encadrement

- Directeur : Benoît NAEGEL - Équipe IMAGEs - ICube - [b.naegel@unistra.fr](mailto:b.naegel@unistra.fr)
- Co-directeur : Nicolas PASSAT - CReSTIC - [nicolas.passat@univ-reims.fr](mailto:nicolas.passat@univ-reims.fr)

## Financement

Cette thèse est à pourvoir à l'automne 2020.  
Durée du financement : 3 ans.

## Profil du candidat

Master en Informatique, Imagerie ou Mathématiques appliquées.  
Expérience en traitement d'images et apprentissage machine.  
Programmation Python, C++.

## Candidature

Le candidat devra adresser un dossier comportant impérativement les éléments suivants :

- résultats et classements pour les Master 1 et Master 2 ;
- résultats complets des diplômes obtenus avant le Master ;
- curriculum vitæ ;
- lettre de motivation.

## Sujet

Dans le domaine de l'analyse d'images, la segmentation constitue souvent un prérequis indispensable pour la mise en œuvre de procédures d'analyse de haut niveau. En particulier, dans le domaine de l'imagerie médicale, la segmentation des structures anatomiques est utilisée pour la reconstruction tridimensionnelle des objets et le calcul d'informations quantitatives sur ces structures.

Cependant, grâce aux progrès récents des techniques d'apprentissage profond, l'étape de segmentation peut devenir facultative. Par exemple, dans le cadre de la segmentation vasculaire, le masque binaire de la segmentation est utilisé pour la modélisation des vaisseaux à partir du calcul de leur ligne centrale (ou squelette) et des rayons associés. Cette étape peut conduire à des erreurs d'imprécision, puisque la segmentation est définie dans l'espace d'entrée (discret) de l'image, alors que les points de la ligne centrale sont définis dans un espace continu. Les approches d'apprentissage profond peuvent permettre d'inférer directement ces informations, sans nécessiter de segmentation préalable.

Cependant l'efficacité des méthodes à base de réseaux de neurones repose principalement sur deux prérequis : (1) la disponibilité de données annotées suffisamment nombreuses, et (2) une forme d'invariance entre les données interprétables à partir des vérité-terrain fournies en annotation.

Dans le cas de structure anatomiques « complexes », ces prérequis sont parfois difficiles à obtenir. Par exemple, en ce qui concerne les réseaux vasculaires, les structures d'intérêt présentent des propriétés morphologiques (taille, forme), spatiales (positions, orientation), et topologiques (variabilité des embranchements), qui rendent particulièrement délicate une annotation fiable des images, et induisent des variations sensiblement plus importantes que pour d'autres structures. Ainsi, pour de tels objets, les approches d'apprentissage profond souffrent encore d'un manque de robustesse (voir Figure 1).

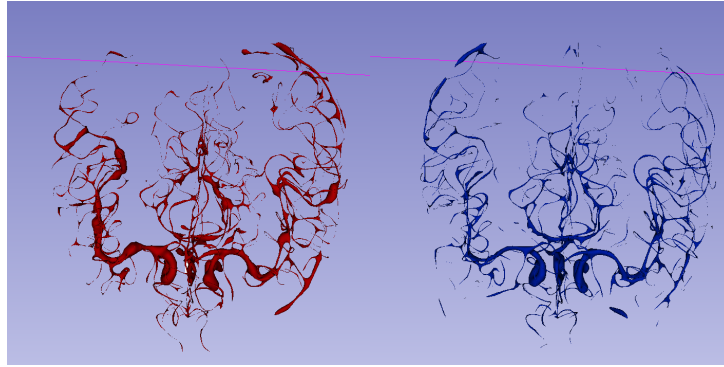


FIGURE 1 – Segmentation d’un réseau vasculaire cérébral en imagerie IRM [1]. À gauche : résultat d’une segmentation automatique par réseaux de neurones convolutifs. À droite : vérité terrain. La segmentation automatique souffre encore de certains défauts (déconnexions, parties manquantes, etc.).

L’objectif de cette thèse consiste à explorer des pistes permettant d’accroître la fiabilité des approches à base de réseaux de neurones pour la modélisation de structures anatomiques complexes, telles que les réseaux vasculaires (mais aussi potentiellement d’autres structures présentant des propriétés similaires, susceptibles de mettre en échec les paradigmes de segmentation classiques).

Le premier angle de recherche consistera à guider les approches d’apprentissage profond par des connaissances de haut niveau, qui ne sont pas forcément à même d’être directement inférées à partir de données annotées sous forme de vérités-terrain de segmentation. Dans cette perspective, plusieurs travaux récents proposent des méthodes pour intégrer des contraintes de type topologique dans les réseaux de neurones [2, 3, 4, 5, 6] ou encore modéliser des *a priori* de forme ou des contraintes anatomiques [7, 8].

Le second angle de recherche consistera à explorer la possibilité d’extraire directement des informations de haut niveau à partir des réseaux de neurones, afin de s’affranchir d’une étape de segmentation qui peut manquer de robustesse et dont la précision est limitée par la résolution de l’image de départ. Ces recherches pourront s’appuyer notamment sur les travaux de [9] qui permettent d’obtenir une précision sous-pixelique pour la mesure d’épaisseur des parois de vaisseaux.

## Références

- [1] P. Sanches, C. Meyer, V. Vigon, and B. Naegel, “Cerebrovascular network segmentation of MRA images with deep learning,” in *2019 IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2019)*, p. 768–771, IEEE, 2019.
- [2] A. Mosinska, P. Marquez-Neila, M. Kozinski, and P. Fua, “Beyond the Pixel-Wise Loss for Topology-Aware Delineation,” pp. 3136–3145, IEEE, June 2018.
- [3] R. J. Araújo, J. S. Cardoso, and H. P. Oliveira, “A Deep Learning Design for Improving Topology Coherence in Blood Vessel Segmentation,” in *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MICCAI 2019* (D. Shen, T. Liu, T. M. Peters, L. H. Staib, C. Essert, S. Zhou, P.-T. Yap, and A. Khan, eds.), Lecture Notes in Computer Science, (Cham), pp. 93–101, Springer International Publishing, 2019.
- [4] J. R. Clough, I. Oksuz, N. Byrne, V. A. Zimmer, J. A. Schnabel, and A. P. King, “A Topological Loss Function for Deep-Learning based Image Segmentation using Persistent Homology,” *arXiv :1910.01877*, Oct. 2019.
- [5] X. Hu, L. Fuxin, D. Samaras, and C. Chen, “Topology-Preserving Deep Image Segmentation,” *arXiv :1906.05404*, June 2019.
- [6] R. Brüel-Gabrielsson, B. J. Nelson, A. Dwaraknath, P. Skraba, L. J. Guibas, and G. Carlsson, “A Topology Layer for Machine Learning,” *arXiv :1905.12200*, May 2019.
- [7] M. R. Adrian V. Dalca, John Guttag, “Anatomical Priors in Convolutional Networks for Unsupervised Biomedical Segmentation,”
- [8] A. J. Larrazabal, C. Martinez, and E. Ferrante, “Anatomical Priors for Image Segmentation via Post-processing with Denoising Autoencoders,” in *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MICCAI 2019* (D. Shen, T. Liu, T. M. Peters, L. H. Staib, C. Essert, S. Zhou, P.-T. Yap, and A. Khan, eds.), LNCS, (Cham), pp. 585–593, Springer International Publishing, 2019.
- [9] K. M. van Hespen, J. J. M. Zwanenburg, J. Hendrikse, and H. J. Kuijff, “Subvoxel vessel wall thickness measurements from vessel wall MR images,” in *Medical Imaging 2019 : Image Processing*, vol. 10949, p. 109491Z, International Society for Optics and Photonics, Mar. 2019.

- [10] O. Oktay, E. Ferrante, K. Kamnitsas, M. Heinrich, W. Bai, J. Caballero, S. A. Cook, A. de Marvao, T. Dawes, D. P. O'Regan, B. Kainz, B. Glocker, and D. Rueckert, "Anatomically Constrained Neural Networks (ACNNs) : Application to Cardiac Image Enhancement and Segmentation," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 37, pp. 384–395, Feb. 2018.
- [11] U. Wickramasinghe, G. Knott, and P. Fua, "Probabilistic Atlases to Enforce Topological Constraints," *arXiv :1909.08330*, Sept. 2019.