

## Sujet de thèse - Contrat doctoral Uds 2014

### Filtres connexes pour le suivi temporel en imagerie TEP/TDM.

#### Encadrement

- Directeur : Christian RONSE - Équipe MIV - ICube - [cronse@unistra.fr](mailto:cronse@unistra.fr)
- Co-encadrant : Benoît NAEGEL - Équipe MIV - ICube - [b.naegel@unistra.fr](mailto:b.naegel@unistra.fr)

#### Candidature

Cette thèse est à pourvoir au 1er septembre 2014.

Durée du financement : 3 ans.

Date limite de candidature : 31 mai 2014.

#### Profil du candidat

Master en Informatique, Imagerie ou Mathématiques discrètes.

Expérience en traitement d'images.

Programmation C++.

#### Contexte

L'équipe Modèles, Images et Vision du laboratoire ICube possède une expertise forte en traitement d'images et travaille depuis plus de 15 ans en collaboration étroite avec des médecins cliniciens sur des thématiques liées à l'imagerie médicale. Cette thèse vise à amorcer une collaboration entre l'équipe MIV et le service de médecine nucléaire de l'institut Jean Godinot de Reims, dirigé par le Professeur Dimitri Papathanassiou. Plus largement, ce travail de thèse s'inscrit dans un projet de collaboration autour de l'imagerie TEP initié entre l'équipe MIV et les laboratoires d'informatique LIGM de l'ESIEE à Paris et CReSTIC de l'Université de Reims Champagne-Ardenne. Pour répondre aux problématiques posées par ce sujet, le candidat profitera ainsi d'un environnement riche et pluridisciplinaire constitué de l'expertise du service de médecine nucléaire de l'institut Jean Godinot, de l'expérience en analyse d'images de l'équipe MIV ainsi que des équipes partenaires citées précédemment.

#### Sujet

L'imagerie nucléaire est une modalité essentielle pour le diagnostic, la caractérisation, la quantification et le suivi des lésions en cancérologie. Dans ce cadre, la tomographie par émission de positons (TEP) est une technique permettant de visualiser l'activité métabolique des cellules par injection d'un traceur radioactif. La désintégration de cet isotope génère un rayonnement gamma détecté par scintigraphie, permettant la reconstruction tomographique d'images en trois dimensions. En théorie, les images TEP permettent non seulement la détection des tumeurs mais aussi la quantification de leur métabolisme par le calcul de mesures d'activité directement extraites des images (SUV [1] par exemple). En pratique, les informations extraites restent toutefois insuffisantes et sont potentiellement erronées [2]. La délimitation précise des lésions cancéreuses par des procédés automatiques ou semi-automatiques reste un problème ouvert [3] dû à la faible résolution spatiale des images liée à l'incertitude sur la position des isotopes lors de leur désintégration et à l'effet de volume partiel. Une autre difficulté provient du fait que les zones d'hyperfixation, censées caractériser les zones d'activité tumorale, peuvent également correspondre à des tissus sains susceptibles de fixer les isotopes.

Dans ce contexte, un point crucial concerne l'évaluation de traitements pour des patients atteints de cancer, qui se fonde sur l'examen et l'analyse de plusieurs images TEP acquises sur plusieurs mois ou plusieurs années. L'analyse automatisée de ces images constitue un défi et nécessite d'une part une mise en correspondance des lésions entraînant des problématiques de recalage non triviales du fait de la qualité des images et de la variation de pose des patients entre plusieurs acquisitions, d'autre part la détection des apparitions et disparitions de lésions dans un contexte où les images contiennent de nombreux faux positifs.

Les acquisitions TEP sont généralement couplées à des images tomодensitométriques par rayons X (images TDM) qui permettent d'obtenir des informations de nature anatomique sur le patient. Ces images sont généralement utilisées pour la correction d'atténuation des images TEP. Il semble néanmoins intéressant d'utiliser ces deux types d'images pour mettre en correspondance les informations fonctionnelles avec les informations anatomiques. Une des pistes de recherche de cette thèse vise à exploiter cette multimodalité dans le cadre du recalage des images, de la segmentation et de la quantification des lésions, qui est à l'heure actuelle utilisée de façon marginale et représente un potentiel indéniable [4].

## Travail à effectuer

Les outils envisagés pour répondre à cette problématique se fondent sur la morphologie mathématique. Plus précisément, les filtres connexes [5] constituent un développement relativement récent de la morphologie mathématique et ont été utilisés avec succès dans différents problèmes d'analyse d'images : filtrage, simplification d'image, segmentation [6, 7, 12, 13, 14, 15]. Les filtres connexes s'appuient sur les zones plates de l'image et ont la propriété de ne pas altérer leurs contours. Dans le contexte de la segmentation d'images, les filtres connexes permettent de sélectionner un ensemble de zones plates de l'image vérifiant certaines caractéristiques : texture, forme, luminance. Ces caractéristiques peuvent être calculées soit de manière interactive par la délimitation de structures d'intérêt représentant l'objet à rechercher, soit automatiquement par des techniques d'apprentissage supervisé.

Une première piste consistera à étendre un algorithme de segmentation interactive fondé sur les filtres connexes [14, 15] dans le cadre de la quantification et du suivi temporel de lésions. L'extension consistera à prendre en compte d'une part l'aspect temporel (images 3D+t) par une mise en correspondance des structures qui pourra s'appuyer sur des techniques de recalage ou de matching de graphes, et d'autre part l'effet de volume partiel afin de fournir des mesures d'erreur relatives à ces informations quantitatives. Pour pallier les problèmes de connexion et déconnexions dus au bruit et à la faible résolution des images, des connexités alternatives pourront être envisagées [8, 9, 10, 11]. Un point important concernera la reproductibilité des segmentations : deux opérateurs qui utilisent la méthode doivent avoir des mesures de quantification relativement similaires.

Une deuxième piste de recherche visera à utiliser des méthodes d'apprentissage afin de guider, voire d'automatiser, la segmentation et le suivi des lésions [12, 13]. Ces techniques pourront se fonder sur un apprentissage supervisé des caractéristiques pertinentes permettant de discriminer les structures d'intérêt. Dans ce but, une étude des descripteurs potentiels devra être menée.

Enfin, l'intégration de la multimodalité dans le cadre des opérateurs connexes pourra se faire par le biais du graphe des coupes introduit récemment [16, 17]. En particulier, les filtres connexes agissant sur l'espace des formes, ou *shapings* [18], pourront être étendus au cas multimodal.

Afin d'évaluer la pertinence des approches proposées, l'ensemble de ces développements méthodologiques devra être validé dans un cadre clinique. Dans ce but, un outil de validation permettant au clinicien d'annoter les lésions sera développé afin d'obtenir des données de validation quantitatives.

## Objectifs

Les objectifs de cette thèse sont multiples :

- d'un point de vue clinique, un objectif de ce travail est d'évaluer le gain apporté par l'imagerie TDM dans la quantification et plus précisément le suivi temporel des lésions dans le cadre d'un traitement. En effet, actuellement les médecins fondent essentiellement leur diagnostic sur l'imagerie TEP, l'image TDM acquise simultanément ne servant généralement qu'à corriger l'image TEP.
- d'un point de vue méthodologique en traitement des images, l'objectif de cette thèse est de développer de nouvelles méthodes de segmentation, de quantification et de mise en correspondance adaptées au contexte du suivi temporel en imagerie multimodale TEP/TDM.
- enfin, d'un point de vue informatique, ces travaux devront être rendus accessibles à la communauté

de traitement d'images médicales. Dans ce but, ils seront intégrés dans le framework ITK<sup>1</sup> et implantés dans la bibliothèque de traitement d'images médicales MediPy<sup>2</sup>.

## Références

- [1] A. -S. Dewalle-Vignion, A. El Abiad, N. Betrouni, C. Hossein-Foucher, D. Huglo, M. Vermandel. Thresholding methods for PET imaging : A review. *Med. Nucl.*, Vol. 34, p. 119-131, 2010
- [2] R. Boellaard, N. Krak, O. Hoekstra, A. Lammertsma Effects of noise, image resolution, and ROI definition on the accuracy of standard uptake values : A simulation study. *J. Nucl. Med.*, Vol. 45, 1519-1527, 2004
- [3] S. Vauclin, I. Gardin, K. Doyeux, S. Hapdey, A. Edet-Sanson, P. Vera. 18F-FDG PET image segmentation. Principles and literature reviewing. *J. Nucl. Med.*, Vol. 45, p. 1519-1527, 2004
- [4] D. Papathanassiou, C. Bruna-Muraille, J.C. Liehn, T.D. Nguyen, H. Curé. Positron Emission Tomography in oncology : Present and future of PET and PET/CT. *Crit. Rev. Oncol./Hematol.*, 72 :239-254 (2009)
- [5] P. Salembier and J. Serra Flat zones filtering, connected operators, and filters by reconstruction. *IEEE transactions on image processing : a publication of the IEEE Signal Processing Society*, Vol. 4 Nul. 8, 1153-60
- [6] L. Najman, M. Couprie Building the component tree in quasi-linear time. *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.15 Num. 11, p. 3531-3539, 2006
- [7] Y. Pan and J.D. Birdwell and S.M. Djouadi Preferential image segmentation using tree of shapes *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.18, Num. 4, p.854-866, 2009
- [8] C. Ronse Set-theoretical algebraic approaches to connectivity in continuous or digital spaces *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol.8, p. 41-58, 1998
- [9] C. Ronse Partial Partitions, Partial Connections and Connective Segmentation *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol.32, Num. 2, p. 97-125, 2008
- [10] G. K. Ouzounis and M. H. F. Wilkinson. Hyperconnected attribute filters based on k-flat zones *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33(2), p.224-239, 2011.
- [11] B. Perret, S. Lefèvre, C. Collet et E. Slezak. Hyperconnections and hierarchical representations for grayscale and multiband image processing. *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol.21 Num. 1, p. 14-27, 2012
- [12] B. Naegel and N. Passat and N. Boch, and Michel Kocher. Segmentation using vector-attribute filters : methodology and application to dermatological imaging. In G.J.F. Banon, J. Barrera, and U.M. Braga-Neto, editors, *International Symposium on Mathematical Morphology ISMM07*, 8th International Symposium, Proceedings, volume 1, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, pages 239-250, October 2007. INPE.
- [13] B. Caldaïrou and B. Naegel and N. Passat. Segmentation of complex images based on component-trees : Methodological tools. In M.H.F. Wilkinson and J.B.T.M. Roerdink, editors, *Proceedings of ISMM09 : 9th International Symposium on Mathematical Morphology*, volume 5720 of *Lecture Notes in Computer Science*, Groningen, The Netherlands, pages 171-180, August 2009. Springer.
- [14] A. Dufour and N. Passat and B. Naegel and J. Baruthio. Interactive 3D brain vessel segmentation from an example. *ISBI 2011, 8th International Symposium on Biomedical Imaging : From Nano to Macro*, Proceedings. Chicago, IL, USA, March 30-April 2, pages 922-925, 2011, (IEEE Signal Processing Society)
- [15] N. Passat and B. Naegel and F. Rousseau and M. Koob and J. -L. Dietemann. Interactive segmentation based on component-trees. *Pattern Recognition*, 44(10-11) :2539-2554 (2011).
- [16] N. Passat and B.Naegel Component-trees and multivalued images : Structural properties. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Springer, 2014 (in press).
- [17] B. Naegel and N. Passat Toward connected filtering based on component-graphs. *International Symposium on Mathematical Morphology (ISMM)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7883, p 350-361, Springer, Uppsala, Sweden, 2013.
- [18] Y. Xu and T. Géraud and L. Najman Two applications of shape-based morphology : blood vessels segmentation and a generalization of constrained connectivity. *International Symposium on Mathematical Morphology (ISMM)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7883, p 390-401, Springer, Uppsala, Sweden, 2013.

---

1. <http://www.itk.org/>

2. <https://code.google.com/p/medipy/>