

Stage de Master  
Reconstruction automatique des cordages de la valve mitrale  
Pierre-Frédéric Villard et Marie-Odile Berger

## 1 Informations générales

Encadrant Pierre-Frédéric Villard, Marie-Odile Berger  
Adresse LORIA, Campus Scientifique - BP 239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy  
Téléphone 03 54 95 85 01  
Email [pierrefrederic.villard@loria.fr](mailto:pierrefrederic.villard@loria.fr), [marie-odile.berger@loria.fr](mailto:marie-odile.berger@loria.fr)  
Bureau C 141

## 2 Contexte

Ce stage a pour contexte la chirurgie cardiaque et plus spécifiquement le traitement de pathologie sur la valve mitrale. La valve mitrale est composée de deux feuillets qui s'ouvrent et se ferment, un anneau autour des feuillets, des cordages pour maintenir la valve fermée, des muscles pour gérer l'action des cordages (Cf Fig.1.a).

Une des pathologies les plus courantes se traduit par les feuillets qui ne se ferment pas correctement et des fuites peuvent se produire impliquant une régurgitation du sang. Pour traiter ce problème, les opérations classiques consistent soit à réduire la surface des feuillets soit à changer l'architecture des cordages. Malheureusement, il est difficile d'anticiper si l'opération va bien arrêter les fuites. Le succès de la procédure est souvent lié à l'expérience du chirurgien.

Une solution consiste à simuler informatiquement la fermeture de la valve d'un patient se basant sur des données médicales 3D de ce patient. Pour cela, il faut reconstruire l'anatomie de la valve à partir d'images médicales (Cf Fig.1.b).

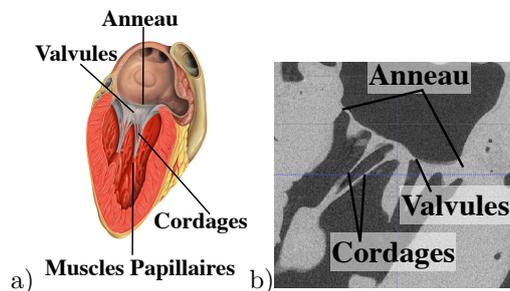


Figure 1: valve mitrale : a) anatomie, b) image médicale scanner

## 3 Sujet

L'objectif de ce stage est d'extraire les cordages de la valve mitrale à partir d'images (scanner 3D) de valve en position ouverte et fermée afin de construire un modèle biomécanique valide. Ce stage comprendra donc deux parties interconnectées : la segmentation des cordages et la validation biomécanique. L'idée est de procéder par itérations successives en affinant l'extraction des cordages tel que le résultat de la simulation de fermeture soit "valide".

### Segmentation

Malgré une image à fort contraste entre l'air et les tissus mous, La segmentation des cordages n'est pas triviale. La structure est en effet une structure filandreuse complexe : rayon variable, multiples embranchements, liaison avec d'autres structures un peu floue, etc...

Il n'existe pas de méthode automatique actuellement pour segmenter les cordages. Il existe par contre des familles de méthodes visant à détecter soit des structures tubulaires, soit des structures linéaires dont il faudra s'inspirer pour définir une méthode détection des cordages.

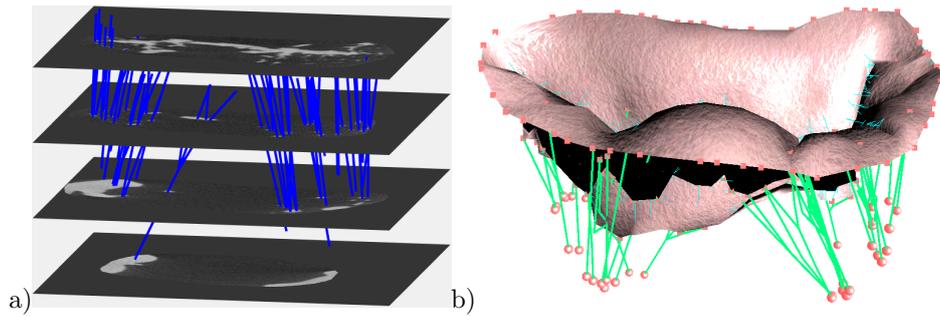


Figure 2: a)Extraction des lignes centrales des cordages à partir d'un scanner 3D et b) simulation biomécanique de la valve

Les méthodes utilisées pour détecter les vaisseaux utilisent un opérateur de “vesselness” basé sur la matrice Hessienne en chaque point du volume [Krissian et al.]. Des méthodes ont été développées pour détecter un vaisseau à partir de ce détecteur local, par exemple [Yuereidini et al.]. Cependant, la variation des diamètres des cordages est une difficulté pour ce type d'approche.

La détection globale des cordages à partir d'un ensemble d'hypothèses de type (point, rayon) est donc une difficulté importante du sujet. Le candidat pourra étudier des algorithmes de type levelset permettant de détecter des iso surfaces en intensité ou en gradient. On pourra y intégrer des contraintes de faible courbure [Yushkevich et al.] caractéristiques des cordages. Ces méthodes nécessitent cependant une bonne estimée initiale pour fonctionner.

Les cordages étant sur une large partie des segments, on pourra s'intéresser à des algorithmes d'extraction robuste de segments tels que LSD [Gompone et al.]. Cet algorithme, dont le code est disponible en 2D, devra être étendu en 3D et appliqué sur les ensembles de points issus du détecteur Hessien. Ces candidats segments pourront être raffinés par des méthodes de levelset. Une autre solution potentielle pour la détection est l'utilisation de techniques de morphologie mathématique.

Une solution robuste pour la segmentation s'appuyant sur les idées précédentes devra donc être proposée et validée durant le stage, l'objectif étant de définir les cordages par leurs lignes centrales (Cf Fig. 2.a) et éventuellement leurs diamètres.

#### Validation mécanique

Il existe de nombreux travaux consistant à simuler mécaniquement le comportement de la valve mitrale [Sack et al, Kunzelman et al, Sacks et al, Lee et al, Hammer et al, Prot et al].

Un premier modèle de simulation mécanique de la fermeture de la valve mitrale existe déjà dans l'équipe (Cf Fig. 2.b). Ce modèle utilise le moteur de déformation SOFA<sup>1</sup>. Un premier travail consistera à adapter la définition du modèle pour ne plus simuler la fermeture de la valve mais le maintien de la valve en configuration fermée.

Afin de valider la structure de cordages issues de la simulation, un deuxième travail consistera à définir des critères permettant de dire si la structure est valide. Il faudra notamment estimer :

- Si la fermeture de la valve est bien hermétique (pas de fuite)
- Si la répartition des contraintes mécaniques est bien uniforme (pas de concentration de contraintes)
- Si la surface de contact entre les feuillets est bien optimale (surface de “coaptation” mesurée par les chirurgiens)

#### Informations supplémentaires

- Les données consistent en 17 images (scanner 3D) de valves de cochon en position ouverte et fermée, dont 3 images avec les valves déjà segmentées
- ce travail fait l'objet d'une collaboration avec le laboratoire Harvard Birobotics Lab

<sup>1</sup><https://www.sofa-framework.org>

## 4 Cadre du travail

Pré-requis : Des connaissances en traitement d'image sont souhaitées. Des connaissances en modélisation mécanique seraient un atout supplémentaire du candidat. Néanmoins, ces connaissances pourront être acquises durant le stage. La programmation du prototype sera faite en python ou matlab.

## 5 Biblio

[1] Kunzelman K, Einstein D, Cochran R. Fluid structure interaction models of the mitral valve: function in normal and pathological states. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 2007; 362(1484).

[2] Wang Q, Sun W. Finite element modeling of mitral valve dynamic deformation using patient specific multi slices computed tomography scans. *Annals of Biomedical Engineering* 2013; 41(1).

[3] Prot V, Haaverstad R, Skallerud B. Finite element analysis of the mitral apparatus: annulus shape effect and chordal force distribution. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology* 2009; 8(1).

[4] Hammer P, del Nido P, Howe R. Anisotropic mass-spring method accurately simulates mitral valve closure from image-based models. *Functional Imaging and Modeling of the Heart, Lecture Notes in Computer Science*, vol.6666, Metaxas D, Axel L (eds.). Springer Berlin Heidelberg, 2011.

[5] Robust blood vessel surface reconstruction for interactive simulations from patient data, Ahmed Yureidini, PhD Thesis, 2014. [6] Sacks, M.S., Smith, D.B.: Effects of accelerated testing on porcine bioprosthetic heart valve fiber architecture. *Biomaterials* 19(11) (1998).

[7] Paul A. Yushkevich, Joseph Piven, Heather Cody Hazlett, Rachel Gimpel Smith, Sean Ho, James C. Gee, and Guido Gerig. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: Significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage*, 31(3), 2006.

[8] Karl Krissian, Grégoire Malandain, Nicholas Ayache, Régis Vaillant, and Yves Troussel. Model Based Detection of Tubular Structures in 3D Images. 0 RR-3736, INRIA, 07 1999.

[9] Rafael Grompone von Gioi, Jérémie Jakubowicz, Jean-Michel Morel, and Gregory Randall, LSD: a Line Segment Detector, *Image Processing On Line*, 2 (2012).