

**Sujet de thèse**  
**École doctorale EEA de Lyon**

*Merci de compléter l'ensemble des rubriques et de lire les notes de bas de page.*

<b>Etablissement d'inscription :</b> INSA de Lyon <sup>1</sup>
<b>École doctorale :</b> ED 160 EEA de Lyon dirigée par Scorletti Gérard
<b>Intitulé du doctorat :</b> Traitement du Signal et de l'Image <sup>2</sup>
<b>Sujet de la thèse :</b> Modélisation personnalisée multiparamétrique pour la caractérisation et le pronostic de l'état fonctionnel du myocarde normal et pathologique
<b>Unité de recherche :</b> CREATIS, dirigée par BEUF Olivier
<b>Directeur/trice de thèse :</b> Mr CLARYSSE Patrick (HDR)
<b>Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant)</b> <sup>3</sup> :
<b>Co-directeur/trice de thèse en entreprise (le cas échéant) :</b> [civilité, nom, prénom]

<sup>1</sup> A impérativement choisir dans la liste suivante : Ecole Centrale de Lyon, INSA de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1

<sup>2</sup> A impérativement choisir dans la liste suivante : Automatique // Electronique, Micro et Nano-électronique, Optique et Laser // Génie Electrique // Ingénierie pour le vivant // Traitement du signal et de l'Image

<sup>3</sup> Un/une co-encadrant-e n'est pas nécessairement co-directeur/trice de thèse puisque pour remplir ce rôle, il est nécessaire d'être habilité à diriger des recherches (pour plus de précision, voir le règlement intérieur de l'ED EEA, section 3.

**Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels<sup>4</sup>** : J. Ohayon, Professeur, Université Savoie Mont-Blanc

**Domaine et contexte scientifiques** : L'anatomie et l'état fonctionnel du coeur normal et pathologique peuvent être aujourd'hui appréhendés par un ensemble de techniques d'imagerie. En attendant des démarches purement de prévention, l'enjeu aujourd'hui reste en clinique de quantifier les dommages engendrés par une pathologie et de prédire l'évolution positive ou négative du patient [Salerno, et al., 2017]. Notre approche repose sur l'association de paramètres issus de l'imagerie et d'un modèle numérique, qui à la fois réalise l'intégration des multiples informations et peut produire des informations complémentaires, non accessibles à la mesure. Dans le cadre d'une précédente thèse (K. Rumindo 2015-2019) et d'une collaboration avec J. Ohayon (biomécanicien, TIMC-IMAG, Grenoble), une méthodologie de personnalisation d'un modèle par éléments finis 3D (EF-3D) de la dynamique du ventricule gauche (VG) a été proposée à partir de données issues de l'Imagerie par Résonance Magnétique Cardiaque (IRMC) [Rumindo, 2019, Rumindo, et al., 2019]. La démarche expérimentée sur des données IRMC de volontaires sains a permis de préciser une gamme des paramètres biomécaniques passif (raideur) et actif (contractilité). L'application de la procédure pour l'analyse de patients a pu être démontrée sur des données de synthèse réalistes.

**Mots-clefs** : modélisation patient spécifique, quantification spatio-temporelle de la fonction cardiaque, analyse statistique et intégration multi-paramétrique.

**Objectifs de la thèse** : Notre objectif dans le cadre de cette thèse est de déployer le modèle EF-3D pour l'analyse multi-paramétrique de cohortes cliniques. On propose pour cela de conduire les développements pour :

- 1) optimiser le workflow de personnalisation pour une utilisation en routine,
- 2) intégrer dans la modélisation des informations additionnelles issues d'acquisitions complémentaires en IRMC (ex : nécrose par rehaussement tardif, oedème en imagerie T2, pondérée T1, diffusion...),
- 3) identifier les paramètres ou combinaisons de paramètres caractéristiques de l'état fonctionnel du coeur, de la pathologie et de son évolution,
- 4) généraliser l'approche aux 2 ventricules.

**Verrous scientifiques** : Le premier point essentiel pour le déploiement de l'approche dans le protocole de routine requiert d'optimiser les conditions limites en fonction des données produites par l'acquisition (pressions, orientation des fibres) avant de valider l'approche sur un échantillon significatif de cas normaux et pathologiques documentés. L'intégration d'informations complémentaires nécessite d'assurer la mise en correspondance spatiale et temporelle des diverses informations avec le modèle personnalisé et d'associer certaines d'entre elles à la procédure de personnalisation. L'identification des paramètres diagnostiques et pronostiques clés repose sur une analyse statistique multi-paramétrique d'une base constituée d'un nombre significatif de cas par des techniques d'apprentissage nouvelles développées dans le cadre d'un autre travail doctoral.

**Contributions originales attendues** : Ce travail de thèse doit conduire à une chaîne de traitement complète pour l'analyse intégrée de multiples paramètres anatomiques, tissulaires et fonctionnels qui peuvent aujourd'hui être étudiés en IRMC de routine. Nous

---

<sup>4</sup> Hors contrats doctoraux fléchés UMI par l'établissement, les sujets de thèse en cotutelle ne sont pas acceptés.

escomptons que les vues synthétiques qu'elle produira permettront de mieux caractériser le myocarde normal et pathologique ainsi que son évolution future.

#### **Programme de recherche et démarche scientifique proposée :**

1. Appropriation du modèle EF-3D existant,
2. Optimisation des conditions limites pour une utilisation adaptée aux données obtenues en situation clinique,
3. Constitution d'une base de données initiale de test B0 (20 sujets sains, 20 sujets pathologiques) incluant les données anatomiques, structurales et fonctionnelles extraites de l'IRMC (géométrie, mouvement, rehaussement tardif, T1, T2, ...),
4. Intégration des données complémentaires au modèle et évaluation de l'approche intégrative sur données de synthèse et la base de test B0,
5. Etude des paramètres caractéristiques de l'état fonctionnel actuel et futur à partir d'une base de données étendue B1. Nous devrions avoir accès à plusieurs cohortes de plus de 100 cas, dont la base MARVEL (CHU St Etienne) en cours de constitution (n=100).
6. Généralisation de l'approche aux 2 ventricules.

#### **Encadrement scientifique :**

- **Description du comité d'encadrement :** [à compléter avec le rôle dans l'encadrement scientifique (en termes de compétences scientifiques, etc.) et le pourcentage d'implication du directeur de thèse<sup>5</sup> et des autres membres du comité<sup>6</sup> ]

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
CLARYSSE Patrick	CREATIS	Analyse d'images médicales	40
DUCHATEAU Nicolas	CREATIS	Analyse statistique de données médicales	30
OHAYON Jacques	TIMC	Biomécanique du tissu Vivant	30

L'implication de J. Ohayon dans le comité d'encadrement est essentielle en ce qu'elle apporte l'expertise en Biomécanique nécessaire au projet. Nous avons une collaboration de plusieurs années sur le sujet.

- Le comité d'évaluation de l'HCERES ayant demandé à l'école doctorale de limiter la taille du comité d'encadrement à deux membres (directeur de thèse compris), il est impératif de ne proposer des comités d'encadrement de taille plus importante que si cela est absolument nécessaire<sup>7</sup> et **de le justifier soigneusement.** [à compléter si plus de deux membres]

<sup>5</sup> Le directeur de thèse doit être un HdR rattaché à l'ED EEA ou en passe de le devenir avant juin 2019 ou bénéficier d'une dérogation du Conseil Scientifique lors du dépôt du sujet de thèse.

<sup>6</sup> Dans le cas d'un comité d'encadrement réparti sur plusieurs établissements, la plus grande partie de l'encadrement est effectuée par des membres de l'établissement. Si l'encadrement de la thèse implique des membres hors de l'ED EEA, la part de l'encadrement des membres ED doit être très supérieur à 50%.

<sup>7</sup> Un certain nombre de commissions type CNU ne reconnaissent un co-encadrement qu'au-delà d'un certain pourcentage. Souvent l'encadrement est considéré comme effectif si > 30%.

- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s)** (Département/Equipe(s) impliquée(s)) (**pourcentage du temps travail au sein de ce ou ces laboratoire(s)**) : 100% CREATIS, équipe MOTIVATE

**Financement de la thèse** : Contrat doctoral de l'établissement d'inscription

**Profil du candidat recherché (prérequis)** : Le candidat justifiera d'une formation générale en sciences de l'ingénieur en particulier sur les aspects numériques comme le traitement du signal et l'analyse d'image, la modélisation mathématique, si possible biomécanique, la programmation scientifique (C++, python, MATLAB).

**Objectifs de valorisation des travaux de recherche** : Les travaux de recherche seront valorisés au travers de publications dans les journaux du domaine (Medical Image Analysis, IEEE Trans Biomedical Engineering, ...). A ce stade, nous envisageons une mise à disposition libre du modèle et des données de test associées.

**Compétences qui seront développées au cours du doctorat** :

- Approfondissement des connaissances en analyse de données médicales et modélisation
- Acquisition de connaissances en physio-pathologie et imagerie cardio-vasculaire
- Interactions dans un environnement pluri-disciplinaire

**Perspectives professionnelles après le doctorat** : Les perspectives professionnelle de ce sujet sont autant académiques (recherche et enseignement supérieur) qu'industrielles. Le domaines d'activité concernés sont la modélisation (géométrique, biomécanique, problèmes inverses), l'analyse de données (traitement d'images, statistiques) et la programmation scientifique pour des applications biomédicales mais pas exclusivement.

**Références bibliographiques sur le sujet de thèse** :

- [Salerno, et al., 2017] M. Salerno, B. Sharif, H. Arheden, A. Kumar, L. Axel, D. Li, and S. Neubauer, "Recent Advances in Cardiovascular Magnetic Resonance," *Circulation: Cardiovascular Imaging*, vol. 10, no. 6, 2017.
- [Rumindo, 2019] G. K. Rumindo, "Predictive cardiac modelling for the study of myocardial injuries," PhD PhD, INSA Lyon, Université de Lyon, 2019.
- [Rumindo, et al., 2019] G. K. Rumindo, J. Ohayon, P. Croisille, and P. Clarysse, "In vivo estimation of normal left ventricular stiffness and contractility based on routine cine MR acquisition," *Medical Engineering and Physics*, 2019.