

FICHE SUJET DE THESE

Sujet N° (à remplir par l'ED) :	FINANCEMENT : <input type="checkbox"/> Demandé <input checked="" type="checkbox"/> Acquis	Origine du financement : Demandé : Acquis : Appel d'offre NeXT (85 000 €) + Ecole Centrale (matériel 55 000 €)
Titre de la thèse : Développement d'un jumeau numérique d'aide à la cardiologie interventionnelle grâce à un banc d'essai in vitro, un modèle d'interaction fluide-structure et une étude échocardiographique.	3 mots-clés : Banc d'essai Interaction fluide/structure Voie pulmonaire	
Unité/équipe encadrante : Nantes Université – UMR 1087 Institut du thorax – LHEEA Centrale Nantes (équipe MELUHSINE)		
Directeur de thèse : Patrice GUERIN, MD, PhD Co-Encadrant : Guillaume OGER, PhD		N° de tél : 0240165589 ; 0240372560 Mail : patrice.querin@chu-nantes.fr ; guillaume.oger@ec-nantes.fr
<p><u>Contexte socioéconomique et scientifique (env. 10 lignes) :</u> Les cardiopathies congénitales représentent 0,8 % des naissances. Certaines formes, dont la tétralogie de Fallot, nécessitent une intervention sur la voie d'éjection du ventricule droit lors de sa correction complète. D'autres cardiopathies, telles l'atrésie pulmonaire à septum ouvert ou le tronc artériel commun nécessitent souvent l'implantation d'un tube, en général valvé, pour créer la jonction entre le ventricule droit et l'artère pulmonaire. Enfin, les interventions de type « Ross » visant à corriger une valvulopathie aortique nécessitent l'implantation d'une prothèse valvulaire en position pulmonaire. Toutes ces chirurgies sont potentiellement pourvoyeuses à terme de sténose ou fuite pulmonaire, qui elles-mêmes favoriseront l'avènement de troubles du rythme cardiaque, d'insuffisance cardiaque droite voire de mort subite. Il est alors nécessaire de réopérer cette voie pulmonaire pour la revalver, de manière chirurgicale ou percutanée. La voie percutanée est souvent préférée car le risque opératoire n'est pas anodin chez ces patients souvent pluri-opérés. En effet, leur jeune âge lors de la première chirurgie les expose à des reprises multiples tout au long de leur vie, car les valves biologiques implantées ont une durabilité limitée, aggravée par la croissance. Actuellement, les modalités de revalvulation par voie percutanée (choix de bioprothèse, taille, technique) sont principalement guidées par les habitudes de l'opérateur et l'anatomie en tomographie cardiaque. Il n'existe pas d'étude des modifications hémodynamiques induites par les bioprothèses implantées au sein de la voie pulmonaire. Pourtant, la durée de vie des bioprothèses est un enjeu important : un résultat parfait pour l'écoulement sanguin est crucial. Les progrès des techniques numériques de simulation en hydrodynamique et biomécanique promettent de nouvelles applications en santé. Parmi celles-ci, la simulation du résultat hémodynamique d'une revalvulation pulmonaire est un challenge d'intérêt, pour guider le choix de la technique (chirurgicale ou percutanée) et de la bioprothèse à implanter chez un patient donné. Savoir apporter des éléments d'orientation en amont de la reprise, par analyse hémodynamique sur jumeau virtuel permettrait de traiter au mieux ces patients jeunes et de limiter les chirurgies itératives : c'est la base de notre programme de médecine personnalisée.</p>		
<p><u>Hypothèses et questions posées (env. 8 lignes) :</u> Nous allons développer un jumeau numérique d'aide à la décision pour les interventions percutanées sur la voie pulmonaire, basée sur un banc d'essai in-vitro, l'utilisation de la tomographie cardiaque pré-procédure, de logiciels de mécanique des fluides/structures et d'une étude échocardiographique. Nous allons étudier l'impact des modifications de la voie pulmonaire sur les performances de l'écoulement sanguin dans notre modèle in-vitro. Nous allons développer un jumeau numérique dédié et déterminer si ce dernier reproduit fidèlement le modèle in-vitro afin de le valider. Nous allons ensuite comparer les simulations numériques avec les résultats in vivo en se basant sur l'anatomie réelle des patients définie en tomographie cardiaque et les résultats échocardiographiques au cours du suivi. Enfin, nous développerons un outil d'aide à la décision pour le cardiologue interventionnel en déterminant les scénarii offrant les meilleurs résultats hémodynamiques pour un patient donné.</p>		
<p><u>Grandes étapes de la thèse (env. 12 lignes) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • M1-M24 : Sur le plan expérimental, un banc d'essai in-vitro de la voie pulmonaire sera développé parallèlement à un modèle numérique d'interaction fluide/structure entre la prothèse valvulaire et son environnement. <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans un premier temps, on montrera comment les analyses de modification d'écoulement (mesuré sur le banc d'essai in vitro par vélocimétrie laser), leur impact sur la vorticité, le shear-stress ; peuvent permettre d'optimiser l'implantation de la valve (type, taille, stent additionnel...), travail lui-même original. ○ Parallèlement, le modèle numérique d'interaction fluide-structure développé sera validé via des comparaisons fines avec les résultats expérimentaux obtenus sur le banc vasculaire. ○ Nous montrerons que le modèle numérique reproduit fidèlement le modèle in-vitro, et ce sur les 4 grands types de formes de voie pulmonaire définie en tomographie (pyramidale, rectiligne, concave, pyramidale inversée). • M12-M24 : Sur le plan clinique, une étude échocardiographique sera menée pour étudier le résultat hémodynamique et anatomique des remplacements valvulaires pulmonaires percutanés réalisés dans notre centre. Nous nous intéresserons aux performances des bioprothèses implantées mais aussi à leur impact sur le remodelage et les performances du ventricule droit, notamment via l'évolution du couplage ventriculo-artériel droit. Puis, nous comparerons les résultats simulés par le modèle numérique et ceux obtenus dans le suivi in vivo par l'étude échocardiographique. • M24-M36 : Enfin, but ultime : un outil d'aide à la décision sera développé pour le cardiologue interventionnel. Basé sur l'anatomie du patient déterminé à la tomographie, différents scénarii d'intervention seront simulés numériquement afin de déterminer celui offrant le meilleur résultat hémodynamique. 		

Compétences scientifiques et techniques requises par le candidat (2 lignes) :

Travail sur banc d'essai hémodynamique, analyse biomécanique, analyse de tomodensitométrie cardiaque analyse échocardiographique, expertise en cardiologie interventionnelle et techniques de prise-en-charge de la voie pulmonaire. Le candidat travaille déjà sur le projet Aortic_Virtu et al. (ANR) qui nécessite des compétences équivalentes.

3 publications de l'équipe d'accueil relatives au domaine (5 dernières années) :

- Z. Li, G. **Oger, D.** Le Touzé, A partitioned framework for coupling LBM and FEM through an implicit IBM allowing non-conforming time-steps: Application to fluid-structure interaction in biomechanics, Journal of Computational Physics, vol. 449, pp. 110786, 2022.
- Edwards SAPIEN Transcatheter Pulmonary Valve Implantation: Results From a French Registry. **Plessis J** and al. JACC Cardiovasc Interv. 2018
- **Guerin P**, Fresse KW, Razafimahatratra O. Traitement percutané de la valve pulmonaire [Percutaneous treatment of the pulmonary valve]. Ann Cardiol Angeiol (Paris). 2019 Dec;68(6):474-479. French. doi: 10.1016/j.ancard.2019.10.003. Epub 2019 Nov 3. PMID: 31694766.

Collaborations nationales et internationales :

- CHU Nantes
- Ecole Centrale de Nantes