



## Sujet de thèse / PhD position

**INSA**

Développement d'un Simulateur pour la Chirurgie Endovasculaire de l'Aorte  
Design of a Haptic Training Simulator for Aorta Endovascular Surgery

*English version on page 5*

<b>Établissement d'inscription :</b> INSA Lyon
<b>École doctorale :</b> ED 160 EEA de Lyon
<b>Intitulé du doctorat :</b> Automatique
<b>Unité de recherche :</b> Ampère (UMR CNRS 5005) Au sein du Groupe de travail Robotique du laboratoire <a href="#">Ampère (département Automatique pour l'Ingénierie des Systèmes AIS)</a> à l' <a href="#">INSA de Lyon</a>
<b>Directeur de thèse :</b> M. LELEVÉ Arnaud
<b>Co-encadrants :</b> M. MOREAU Richard ( <a href="mailto:richard.moreau@insa-lyon.fr">richard.moreau@insa-lyon.fr</a> )
<b>Rémunération:</b> 1990€ brut soit 1600€ nets
<b>Période :</b> Septembre 2021 – Septembre 2024

### Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels :

Laboratoires [LaMCoS](#) et [LIRIS](#)

### Domaine et contexte scientifiques :

Les maladies cardiovasculaires sont la première cause de mortalité dans le monde industrialisé (2 millions de décès / an dans l'UE, soit 42% de la mortalité européenne). Le poids des maladies cardiovasculaires devrait encore augmenter avec le vieillissement de la population, l'obésité et l'amélioration des dépistages. Les anévrismes de l'aorte abdominale (AAA) et de l'aorte thoracique (AAT) représentent une part importante des interventions chirurgicales vasculaires, réalisées selon 2 techniques : (1) procédure chirurgicale ouverte, en cas d'urgence vitale (rupture de l'anévrisme), qui consiste à remplacer la portion d'aorte anévrismale par un tube prothétique synthétique : efficace et fiable mais induit de nombreux risques de complications. (2) La procédure endovasculaire consiste quant à elle à monter une endoprothèse par voie fémorale à l'aide d'un fil guide et de la déployer au niveau de l'anévrisme. Moins invasive, elle réduit la durée d'hospitalisation mais elle est plus difficile pour les chirurgiens : les retours visuel (images 2D par rayon X) et haptique (tactile : contact et frottements) indirects compliquent le guidage du cathéter et le positionnement des outils dans la phase de cathétérisation. En conséquence, une augmentation du temps d'intervention, des risques de lésion ou perforation de l'artère, un surdosage des agents contrastants, une surexposition aux rayons X, constituent des risques aggravant.

### Mots-clefs :

Robotique médicale, Entraînement au geste, Simulation haptique, Évaluation de l'apprentissage du geste

### Objectifs de la thèse :

L'objectif de cette thèse consiste en la conception, la réalisation et l'évaluation d'un prototype de **simulateur haptique pour l'apprentissage du geste en chirurgie endovasculaire de l'aorte**. Le simulateur devra reproduire fidèlement le comportement biomécanique d'une aorte (reproduction bio-fidèle en polymère à propriétés mécaniques variables) avec un anévrisme, lors de la procédure de cathétérisation endovasculaire, avec des conditions hémodynamiques per-opératoires. Il s'agira d'offrir à l'apprenant une

interface de simulation bioréaliste lui permettant de réaliser les gestes (trajectoires et efforts d'interaction avec les outils chirurgicaux) d'une telle opération et d'être évaluée objectivement et immédiatement sur sa performance et ses éventuels défauts. Une simulation numérique sera couplée à l'interface mécanique afin de représenter fidèlement la mécanique des parois artérielles et des outils, mais également de l'hémodynamique. Ce procédé permettra d'offrir une imagerie médicale 2D pour le retour visuel peropératoire et 3D pour l'analyse consécutive. **Le rôle principal** du simulateur sera de permettre la **formation initiale des cliniciens novices** et la **validation des compétences des cliniciens en formation continue**. Un rôle secondaire pourra consister à entraîner les chirurgiens sur un patient virtuel construit à partir des données d'un patient spécifique, afin de valider les choix des outils et les gestes à réaliser en prévision de l'opération réelle. L'étude (Aeckersberg-2019) a démontré l'intérêt d'un tel simulateur en complément de ceux actuellement utilisés qualifiés de « basse résolution ». Cependant, d'après (See-2016) et notre partenaire clinicien (Pr. LERMUSIAUX, chef du service Chirurgie Vasculaire et Endovasculaire aux Hospices Civils de Lyon), les simulateurs « mécatroniques » disponibles sur le marché (le Magellan (Hansen Medical, Mountain View, CA, USA), ANGIO Mentor (Symbionix, Cleveland, OH, USA) et le *Vascular Intervention System Trainer* (VIST, Mentice AB, Gothenburg, Suède)) ne sont pas encore assez suffisamment réalistes pour former efficacement les chirurgiens. Le Pr. LERMUSIAUX est à la recherche d'une solution plus avancée.

### **Verrous scientifiques :**

**La reproduction des sensations haptiques** liées à l'usage des guides et cathéters est un premier verrou car ces efforts sont faibles, les outils très flexibles et amovibles. Comme proposé par (Guo 2019) où l'utilisateur utilise une interface haptique à des fins de téléopération d'un robot de guidage endovasculaire, nous développerons un simulateur haptique au plus proche de la réalité. **Une simulation biomécanique temps-réel de la navigation endovasculaire** de ces outils avec une prise en compte des interactions avec les parois artérielles et l'écoulement sanguin est un 2<sup>e</sup> verrou. Celle-ci est actuellement étudiée par l'équipe de M. Benyebka BOU-SAÏD du [LaMCoS](#). En effet, le LaMCoS développe actuellement une plateforme logicielle de simulation numérique pour la modélisation mécanique du traitement endovasculaire des anévrismes intégrant le comportement mécanique non linéaire des différents matériaux (paroi artérielle, plaque athéromateuse et/ou calcifiée, endoprothèse, outils de mise en place de la prothèse), en impression 3D par exemple, comme dans (Torres-2017). Elle intègre aussi la gestion du contact avec frottement entre multi-corps déformables, ainsi que les contraintes générées par l'hémodynamique (caractères turbulents et rhéologiques non-linéaires et thixotrope du sang). Le développement de la partie mécatronique du simulateur offrirait ainsi un complément indispensable à ces travaux pour un usage pédagogique. **La synthèse en temps-réel d'images 2D rayon X synchronisées** avec la partie physique est un 3<sup>e</sup> verrou. Pour cela nous nous appuyerons sur les résultats de la thèse de Mme. Ma de los Angeles ALAMILLA DANIEL à Ampère (Alamilla 2019) ainsi que sur les compétences de l'équipe [SAARA](#) (*Simulation, Analysis, Animation for Augmented Reality*) du [LIRIS](#) avec qui nous avons récemment travaillé sur une problématique similaire pour un simulateur haptique d'apprentissage en rhumatologie.

Enfin, le dernier verrou et non le moindre concerne **le réalisme des sensations haptiques et de l'effet des manipulations sur les outils** qui ne pourra être garanti que s'il est validé tout au long du processus de conception et réalisation par des experts du domaine. En l'occurrence, nous nous appuyerons sur les compétences et la présence du Dr. Iris NAUDIN, chef de clinique en chirurgie endovasculaire à l'hôpital Louis PRADEL de Bron (HCL), qui a déjà travaillé dans le cadre de son stage de Master 2 en chirurgie sur ce sujet avec nous (Naudin 2019).

### **Contributions originales attendues :**

Peu d'équipes de recherche proposent ce type de simulateur. De plus, ils ne simulent que partiellement une telle opération. Par exemple, celui de (Koyama-2017) est basé sur un mannequin certes réaliste mais complètement passif sans mesure des trajectoires et efforts des outils. Ainsi il est difficile de reproduire de nombreux cas d'étude sans modifier mécaniquement le simulateur. Le simulateur de (Chi-2017) ne propose pas de retour haptique ni de modèle intégrant l'hémodynamique. Pour de plus amples détails, (Amin-2019) propose une synthèse récente sur ce type de simulateur.

Ce projet va donc contribuer à développer les outils de formation au geste en chirurgie endovasculaire.

Nous attendons principalement :

- le développement d'un mannequin dans lequel l'apprenant pourra insérer des guides et des cathéters

et ressentir les efforts d'interaction afin de simuler l'ensemble d'une opération endovasculaire. Nous comptons nous appuyer pour cela sur la plateforme [3D.fab](#) (3D Fabric of Advanced Biology) installée sur le campus LyonTech la Doua ;

- la synchronisation en temps-réel de ce mannequin avec le modèle biomécanique de simulation informatique développé par une équipe du LaMCoS ;
- un rendu réaliste de l'image rayon X 2D synchronisé avec les instruments et la simulation numérique. Ce travail sera réalisé en lien avec une équipe du LIRIS;
- le développement d'une méthode d'analyse du geste afin de proposer une évaluation objective de l'apprentissage;
- un retour d'usage avec des chirurgiens novices et experts afin de déterminer la qualité de l'évaluation objective.

Les deux derniers points seront abordés avec le corps médical des HCL. Ces résultats seront obtenus par des apports méthodologiques sur des techniques avancées d'actionnement pour l'haptique (pneumatique, liquides magnéto-rhéologiques) adaptés aux faibles efforts mis en jeu. Une attention particulière sera portée à la synchronisation entre la partie mécatronique et informatique afin de ne pas générer d'effet déstabilisant du fait de fréquences de rafraîchissement différentes. Le groupe de travail Robotique du laboratoire Ampère possède déjà une expérience solide en robotique médicale : il développe depuis plus de 15 ans des robots dédiés à l'apprentissage du geste chirurgical (simulateur d'accouchement (Moreau 2011, Herzig 2016), simulateur d'apprentissage pour l'anesthésie péridurale (Senac 2019), apprentissage du geste à base d'interface haptique pneumatique (Le 2013), simulateur en rhumatologie pour l'insertion d'aiguille dans une articulation (Alamilla 2020) mais aussi d'outils d'aide au geste (robot souple continu dédié à la coloscopie intelligente (Chen 2009).

Le service de radiologie de l'hôpital Louis PRADEL de Bron dont fait partie Iris NAUDIN fournira les images médicales pour la construction des modèles numériques bio-fidèles. Ce service dispose de matériels récents et performants en imagerie médicale par rayonnement et champs magnétiques.

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

Le doctorant débutera par une étude bibliographique sur les technologies d'actionnement pour les interfaces haptiques, ainsi que sur les avancées récentes des équipes concernées (Ampère, LaMCoS, LIRIS) dans leur domaine respectif. Il assistera à des opérations de chirurgie endovasculaire et à des sessions de formation afin de préciser les exigences (besoins et contraintes) inhérentes à cette problématique.

Une fois les choix de conception validés par l'ensemble des partenaires (scientifiques et médicaux), une simulation tout numérique alliant un modèle mécanique dynamique de l'interface haptique et les deux autres parties logicielles, sera réalisée afin de tester la viabilité de l'interconnexion mannequin-simulation numérique-synthèse image rayons X. La validation de cette simulation entraînera la réalisation du mannequin (dès le début de la 2<sup>e</sup> année) afin d'obtenir un prototype à paramétrer et optimiser au 2<sup>e</sup> semestre de la 2<sup>e</sup> année. La 3<sup>e</sup> année sera consacrée à la fiabilisation du prototype, aux retours d'usage, à la rédaction de publications et du mémoire.

### **Encadrement scientifique :**

- **Description du comité d'encadrement :**

Ce travail sera réalisé au sein du laboratoire Ampère en partenariat avec le laboratoire LaMCoS, le LIRIS et le Dr Iris NAUDIN du service de chirurgie endovasculaire de l'hôpital Louis PRADEL de Bron. Arnaud LELEVÉ (HdR) et Richard MOREAU ont déjà collaboré dans l'encadrement de thèses de doctorat en robotique médicale.

- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s) (Département/Equipe(s) impliquée(s))**

Le doctorant travaillera à 100% au sein du département MIS (Méthodes pour l'Ingénierie des Systèmes) du laboratoire AMPÈRE, plus précisément au sein du GT Robotique.

### **Profil du candidat recherché (prérequis) :**

Le candidat doit posséder de solides connaissances en automatique et en mécatronique (ou être diplômé

en mécanique). Une expérience dans ces deux domaines serait un plus. De bonnes compétences en programmation ainsi qu'une appétence pour les systèmes mécatroniques et le domaine médical seraient idéales. Nous recherchons un étudiant enthousiaste et autonome, très motivé et intéressé par la recherche multidisciplinaire. En quelques mots, nous attendons des compétences en :

- Robotique, automatique et/ou mécanique
- Matlab / Simulink
- Informatique: C / C++ / traitement d'images, avec une expérience de la 3D de préférence

**Objectifs de valorisation des travaux de recherche :**

Soumission de travaux aux principales conférences internationales dans le domaine (IROS, ICRA, EMBC) et aux revues internationales traitant de robotique médicale (IEEE Trans on Robotics, , ...) et de robotique médicale (IEEE Transactions on Medical Robotics, ...). Compte tenu de la forte composante applicative du sujet, les activités de transfert vers la communauté industrielle pour le médical seront également ciblées, via le développement et la distribution de solutions mécatroniques.

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

Les aspects pluridisciplinaires du projet permettront au doctorant de développer sa capacité d'ouverture et de synthèse, ainsi que des compétences en *deep learning* pour l'imagerie médicale et en conception et commande de prototype mécatronique.

**Perspectives professionnelles après le doctorat :**

Recherche publique ou en entreprise dans le domaine de l'apprentissage machine pour le traitement du signal et de l'image.

# PhD position

## Design of a Haptic Training Simulator for Aorta Endovascular Surgery

<b>Enrollment Institution :</b> INSA Lyon, Université de Lyon, France
<b>Doctoral School:</b> ED 160 EEA de Lyon
<b>PhD Department:</b> Automatic Control
<b>Research unit:</b> Ampère (UMR CNRS 5005) Within the Robotics Working Group of the <a href="#">Ampère laboratory</a> (Automation Systems Engineering Department AIS) at <a href="#">INSA Lyon</a> , France
<b>Thesis adviser:</b> M. LELEVÉ Arnaud
<b>Co-supervisor:</b> M. MOREAU Richard ( <a href="mailto:richard.moreau@insa-lyon.fr">richard.moreau@insa-lyon.fr</a> )
<b>Compensation:</b> 1990€ (raw) <=> 1600€ (real)
<b>Expected starting date:</b> Sept 2021 – Sept 2024

**Key words:** medical robotics, hands-on training, haptic simulation, gesture objective evaluation

**External Collaborations :** [LaMCoS](#) and [LIRIS](#) laboratories, Lyon Hospitals, Department of Endovascular Surgery headed by Professor LERMUSIAUX.

### Scientific field and context:

Cardiovascular diseases are the first cause of mortality in the industrial world (2 million deaths per year in the EU, representing 42% of the European mortality). The weight of cardiovascular diseases should still raise with the ageing of the population, obesity and the screening enhancements. The Aneurysms of the Abdominal Aorta (AAA) and of the Thoracic Aorta (TAA) represent an important percentage of the vascular interventions, performed according two techniques : (1) open surgical procedure, in case of vital emergency (aneurysm rupture), that consists of replacing the part of the aneurysmal aorta by a prosthetic tube: efficient and reliable but induces numerous risks and complications. (2) The endovascular procedure consists of guiding by means of a guide-wire via the femoral artery an endoprosthesis and of installing it at the level of the aneurysm. Less invasive, it reduces the hospitalization time but it is also more difficult for the surgeons: visual (2D X-ray images) and haptic (tactile : contact and friction) indirect feedback complicate the guiding of the catheter and the positioning of the tools during the catheterization stage. Therefore, an increase of the intervention time, the artery injury/perforation risks, an overdosage of contrasting agents, and an over-exposure to X-rays are aggravating risk factors.

### Objectives of the thesis:

The objectives of this thesis are the design, realization and evaluation of a **prototype of a haptic simulator for gesture training in endovascular aorta surgery**. The simulator will have to reproduce with high fidelity the biomechanical behavior of the aorta (bio-accurate polymer coating with variable mechanical properties) with an aneurysm, during the endovascular catheterization procedure, with hemo-dynamic per-operative conditions. The trainee will have access to bio-realistic simulation interface allowing him/her to perform gestures (trajectories and interaction forces with surgical tools) of such an operation, and to be objectively and immediately assessed on his/her performance and its potential defects. A numerical simulation will be paired with a mechanical interface to accurately represent the mechanical behavior of the arterial walls and

tools, but also of the hemo-dynamical effects. This system will feature a medical imaging in 2D for the visual per-operative feedback and in 3D for the post-operative analysis. **The main role** of this simulator is **to allow the initial training of novice clinicians** and the **skill validation of clinicians in continuing training**. A secondary role will consist in training surgeons from patient-specific data to validate some pre-operative choices and gestures. The study (Aeckersberg-2019) demonstrated the interest of such a simulator besides the commercial simulators currently used and qualified as “low resolution” ones. However, according to (See-2016) and our clinician partner (Pr. LERMUSIAUX, Vascular and Endovascular Surgery chief at Hospices Civils de Lyon), “mechatronic” simulators available on the shelf (Magellan (Hansen Medical, Mountain View, CA, USA), ANGIO Mentor (Simbionix, Cleveland, OH, USA) and the Vascular Intervention System Trainer (VIST, Mentice AB, Gothenburg, Sweden)) are not yet sufficiently realistic to efficiently train surgeons. Pr. LERMUSIAUX is looking for more advanced solutions.

### Scientific problems:

**The reproduction of haptic sensations** linked to the use of guides and catheters is a first lock as the involved forces are small and the tools flexible and removable. As proposed by (Guo 2019) where a haptic interface is used for teleoperation purposes of an endovascular guiding robot, we will develop a haptic simulator the more realistic as possible. **A biomechanical real-time simulation of the endovascular navigation** of these tools, taking into account the interactions with the arterial walls and the blood flow is a second lock. The latter is currently studied in the team of Benyebka BOU-SAÏD at [LaMCoS](#) research laboratory. Indeed, LaMCoS is developing a numeric simulation software platform for the mechanical modeling of the aneurysm endovascular treatment taking into account the mechanical non-linear behavior of various materials (arterial walls, calcified plaques, endoprosthesis, prosthesis installation tools), in 3D printing for instance, as in (Torres-2017). It also features the contact with friction between several bodies that can warp, and the constraints generated by the hemodynamics (turbulent and rheological behavior of the blood with nonlinear and thixotropic phenomena). The development of the mechatronic part of the simulator would offer a necessary complement to these works for a didactic purpose. **The real-time synthesis of 2D X-ray images synchronized** with the mechanical part is a third lock. To this end, we will lean on the results of Mrs. Ma de los Angeles ALAMILLA DANIEL performed in Ampère lab. (Alamilla 2019), and on the skills of the SAARA (Simulation, Analysis, Animation for Augmented Reality) team of [LIRIS](#) lab. We recently worked with the team on a similar problem for a haptic training simulator in rheumatology. And finally, the last lock (but not the least one) is about the **realism of haptic sensations and of the effect of the manipulation of these tools** which can be guaranteed only if it is validated during the whole process of design and realization, by domain experts. We will lean on the skills and the presence of Dr. Iris NAUDIN, endovascular clinic leader at Louis PRADEL hospital in Bron, who already worked, in the context of her M.Sc. surgical internship on this topic (Naudin 2019).

### Expected contributions:

Few research teams work on this kind of simulator. Moreover, they only partially simulate such an operation. For instance, the simulator from (Koyama-2017) is based on a manikin, really realistic but fully passive, without tool trajectory and interaction force measures. Therefore, it is difficult to reproduce numerous use-cases without mechanically modifying the simulator. The one from (Chi-2017) does not feature haptic feedback, nor hemodynamic reproduction. For more details, a recent synthesis on this kind of simulators is available in (Amin-2019).

This project will then contribute in the development of gesture training tools in endovascular surgery. We mainly await for :

- the development of a manikin where the trainee can insert guide-wires and catheters in, and feel the interaction forces during an endovascular surgical operation. We will lean on the [3D.fab](#) platform (3D Fabric of Advanced Biology) settled on the campus LyonTech la Doua ;
- the real-time synchronization of this manikin with the biomechanical numeric simulation developed by the LaMCoS team ;
- realistic 2D X-ray images synchronized with the instruments and the numeric simulation. This work will be performed with the help of LIRIS team;
- the development of a gesture analysis method to propose an objective assessment;
- a usage feedback with novice and expert surgeons to determinate the quality of the simulator and

of the objective assessment.

### **Research program and proposed scientific approach:**

The doctoral student will start with a bibliographic study on training medical simulators, more particularly in endovascular surgery, on the actuating technologies for haptic interfaces, and on recent works from collaborating teams (Ampère, LaMCoS, LIRIS) in their respective domain. He/she will attend some endovascular surgical operations and training sessions to refine the requirements of this simulator. Once every design choice is validated par all the (scientific and medical) partners, a full-numeric simulation linking the mechanical model of the haptic interface and the two other software parts, will be proposed to test the sustainability of the interconnection manikin-numeric simulation—X-ray imaging. The validation of this simulation will lead to the realization of the manikin (from the start of the second year) to obtain a prototype to be optimized during the second semester of the second year. The third year will be dedicated to the reliability increasing of the prototype, the usage feedback, and the writing of publications and of the thesis report.

**Funding of the thesis:** Doctoral contract from the institution of registration

### **Objectives for the valorization of research work:**

Submission of papers to major international conferences in the field (IROS, ICRA, EMBC) and to international journals dealing with medical robotics (IEEE Trans on Robotics, ...) and medical robotics (IEEE Transactions on Medical Robotics, ...). Given the strong applicative component of the topic, transfer activities to the industrial community for the medical sector will also be targeted. The partnership with the Hospitals of Lyon motivates the interest of this simulator for the training of its staff and more generally of endovascular surgeons. The conception and validation of a field-tested prototype (TRL level 5) will pave the way for industrial valorization.

### **Supervision**

This work will be performed in the Ampère laboratory, in partnership with the LaMCoS and LIRIS laboratories, and Dr Iris NAUDIN of the endovascular surgery of Louis PRADEL hospital in Bron. Arnaud LELEVÉ and Richard MOREAU have already collaborated on medical robotics thesis supervision. The student will work 100% of his/her time in the Robotics workgroup of AIS department (Automatic Control for System Engineering) of Ampère Lab.

### **Skills that will be developed during the PhD:**

The multidisciplinary topics of this Ph.D. proposal will permit to develop his/her

- open-mindedness and capacity for synthesis.
- Skills in deep learning for medical imaging, mechatronic design, and automatic control for haptic systems
- Work methods related to any research work (bibliographical research, simulation, experimentation, writing scientific articles, ...).

### **Post-Doctoral Career Perspectives:**

Career in the academic field (post-doc followed by a position as a researcher) or in the industrial sector (e.g. R&D department).

### **Expected Profile (prerequisite) :**

The applicant should have strong skills in automatic control and mechatronics (or at least have a diploma in Mechanics). Some experience in one of these domains would be appreciated. Good programming skills and

some appetite for mechatronic systems and the medical domain would be ideal. We look for an enthusiastic, autonomous, and very motivated candidate who would like to work in a multidisciplinary research environment. In short:

- Robotics, automatic control, mechanics
- **With programming skills:** Matlab / C / C++ / Imaging, preferably with 3D experience



## References:

- Aeckersberg G., Gkremoutis A., Schmitz-Rixen T., Kaiser E., The relevance of low-fidelity virtual reality simulators compared with other learning methods in basic endovascular skills training, *Journal of Vascular Surgery*, 69(1), pp 227-235, 2019, ISSN 0741-5214, doi:[10.1016/j.jvs.2018.10.047](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2018.10.047).
- Alamilla Daniel M. A., Moreau R., Redarce T., A new method to render virtual walls for haptic systems: "Tracking wall". Application to needle insertion simulation. ICMCE, Nov 2018, Amsterdam, Netherlands. DOI :[10.1145/3332305.3332317](https://doi.org/10.1145/3332305.3332317).
- Alès P.J., Herzig N., Lelevé A., Moreau R., Bauer C. 3D Haptic Rendering of Tissues for Epidural Needle Insertion using an Electro-Pneumatic 7 Degrees of Freedom Device. In IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Korea, 2016, DOI :[10.1109/IROS.2016.7759760](https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7759760)
- Chen Gang, Pham Minh Tu, Redarce Tanneguy. Sensor-based guidance control of a continuum robot for a semi-autonomous colonoscopy. *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, 2009, 57 (6-7), pp.712-722. DOI :[10.1016/j.robot.2008.11.001](https://doi.org/10.1016/j.robot.2008.11.001)
- Chi W., Raffi-Tari H., Payne C. J., Liu J., Riga C., Bicknell C., Yang G. Z., A learning based training and skill assessment platform with haptic guidance for endovascular catheterization, in. *Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, Singapore, 2017, pp. 2357-2363, doi : [10.1109/ICRA.2017.7989273](https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989273)
- Guo S., Song Y., Yin X., Zhang L., Tamiya T., "A Novel Robot-Assisted Endovascular Catheterization System With Haptic Force Feedback," in *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 35, no. 3, pp. 685-696, June 2019, DOI : [10.1109/TRO.2019.2896763](https://doi.org/10.1109/TRO.2019.2896763)
- [Koyama](#) J., [Hanaoka](#) Y., [Kiuchi](#) T., [Sasaki](#) T., [Murata](#) T., [Sato](#) A., [Hongo](#) K., Development of Simulator System Using Endovascular Evaluator for Catheter Intervention Training, *Journal of Neuroendovascular Therapy*, 2017, doi :[10.5797/jnet.oa.2017-0010](https://doi.org/10.5797/jnet.oa.2017-0010)
- Le M.Q., Pham M.T., Tavakoli M., Moreau R., Simon J.P., Redarce T., Bilateral Control of a Nonlinear Pneumatic Teleoperation System with Solenoid Valves, *IEEE Transactions on Control System Technology(TCST)*,21(4):1463-1470,2013, DOI :[10.1109/TCST.2012.2205386](https://doi.org/10.1109/TCST.2012.2205386)
- Moreau R., Pham M.T., Brun, X., Redarce T., Dupuis O., Simulation of an instrumental childbirth for the training of the forceps extraction: control algorithm and evaluation, *IEEE-Transactions on Information Technology in Biomedicine(TITB)*,2011,15(3):364-372, DOI :[10.1109/TITB.2011.2107746](https://doi.org/10.1109/TITB.2011.2107746)
- Naudin, I., Pham, M.T., Moreau, R., Lelevé, A. 2019. A Robotic Platform for Endovascular Aneurysm Repair *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, IEEE, Jul 2019, Hong Kong, China, DOI :[10.1109/AIM.2019.8868919](https://doi.org/10.1109/AIM.2019.8868919)
- See K., Chui K.H., Chan W.H., Wong K.C., Chan Y.C., Evidence for Endovascular Simulation Training: A Systematic Review, *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 51(3), 2016, pp. 441-451, , ISSN 1078-5884, doi:[10.1016/j.ejvs.2015.10.011](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2015.10.011).
- Senac T., Lelevé A., Moreau R., Krähenbühl L., Sigwalt F., et al.. Simulating a Syringe Behaviour Using a Pneumatic Cylinder Haptic Interface. *Control Engineering Practice*, Elsevier, 2019, 90, pp.231-240. DOI :[10.1016/j.conengprac.2019.07.005](https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2019.07.005)
- Torres I.O., De Luccia N., A simulator for training in endovascular aneurysm repair: The use of three dimensional printers, *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 54(2), pp 247-253, 2017, ISSN 1078-5884, doi:[10.1016/j.ejvs.2017.05.011](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2017.05.011).