Ecole doctorale I-MEP2 - Ingénierie – Matériaux, Mécanique, Environnement, Energétique, Procédés, Production (N° 510)

PROPOSITION D'UN SUJET

CONTRAT DOCTORAL 2025/2026

(à retourner avec l'argumentaire du directeur de laboratoire)

Demi-contrat doctoral : NON

1 - Rattachement administratif

SPECIALITE * : Génie Industriel

Unité de recherche * : Laboratoire G-SCOP (UMR 5272)

Etablissement de préparation de la thèse * : Grenoble INP - UGA

Année universitaire de 1ère inscription en doctorat * : 2025/2026

Date de début de la thèse * : 1/10/2025

Date limite de candidature * : 12/05/2025

Co-tutelle* : NON

Université :

2 - Projet Doctoral

Directeur de thèse * : Guillaume Thomann

Taux d'encadrement % : 40

Co-directeur (externe UGA et externe I-MEP²) :

Taux d'encadrement % :

Co-encadrant : Matthias Tummers

Taux d'encadrement % : 60

Modalités d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant * :

La/le doctorant-e intégrera l'équipe COSYS (conception systémique : Humain, Environnement, Technologies) du laboratoire G-SCOP. L'avancement des travaux et les directions à suivre seront discutés lors de réunions

hebdomadaires ou quinzomadaires. Un suivi rapproché et un support technique pourront être apporté lorsque nécessaire. Il est prévu que les travaux soient effectués en collaboration avec un professionnel de santé du CHU de Grenoble, probablement dans un service de l'unité de chirurgie (gastroentérologie, urologie, orthopédie, traumatologie ou cardiaque), les discussions sont encore en cours. Dans ces conditions, les éventuelles mises à jour des encadrements de thèse seront effectués et des phases de travail seront également menées au sein de l'hôpital.

Titre en français * :

Précision fonctionnelle de dispositif médical par l'embarquement de capteurs non-conventionnels, cas d'étude

Mots clés * :

1* - Dispositif médical

2 *- Capteurs non-conventionnels

3 – Précision fonctionnelle

4 – Conception centrée usages

5 – Physical intelligence

6 – Analyse sensorielle

English title * :

Embedded non-conventional sensors for a functionally accurate medical device, case study

Keys words * :

1* - Medical device

2 *- Non-conventional sensors

3 – Functional accuracy

4 – User centered design

5 – Physical intelligence

6 – Sensory analysis

Résumé du projet de thèse * :

Cette thèse vise à concevoir un dispositif médical innovant intégrant des capteurs non-visuels pour assister le geste chirurgical en mesurant la *précision fonctionnelle*. En s'éloignant des approches classiques—qui montrent aujourd'hui des limites—basées sur des recalages géométriques et une intelligence centralisée, la recherche explore le concept de '*physical intelligence*' par l'exploitation d'informations sensorielles alternatives (impédance, vibroacoustique, neuromonitoring, etc.) pour concevoir des systèmes plus capacitants pour les cliniciens.
Après une étude du geste chirurgical, une analyse de la pratique opératoire et une phase de modélisation, une succession de prototypes sera conçue et évaluée dans le but d'améliorer la précision du geste du professionnel de santé, l'efficacité et le taux de réussite des interventions médicales.

Summary of the thesis project * :

This thesis aims to design an innovative medical device integrating non-visual sensors to assist the surgical procedures by measuring *functional accuracy*. Moving away from conventional approaches— which have shown limitations—based on rigid geometric relations and centralized forms of intelligence, this research explores the concept of "physical intelligence." This involves leveraging alternative sensory information (impedance, vibroacoustics, neuromonitoring, etc.) to develop more capacitating systems for clinicians.
Following a study of surgical gestures, an analysis of operative practices, and a modeling phase, a series of

prototypes will be designed and evaluated to improve the precision of healthcare professionals' movements, as well as the efficiency and success rate of medical interventions.

Thématique :
Génie Industriel

Domaine :
Conception de dispositifs médicaux centrée usagers

Objectifs :
L'objectif principal de la thèse est de concevoir et de développer un dispositif personnalisé d'assistance au geste chirurgical mesurant ou réagissant à la précision fonctionnelle du geste par l'embarquement de capteurs non-conventionnels et non-visuels.

Ce sujet de thèse vise à explorer les capacités offertes par de nouvelles modalités sensorielles pour rendre moins complexe et plus pertinent les mesures ou boucles de rétroaction d'un dispositif médical que ceux classiquement utilisées dans le domaine. Des approches de combinaison de technologies peuvent être envisagées [1]. Les notions de 'précision fonctionnelle' et de 'physical intelligence' (voir ci-dessous) constituent un axe de recherche majeur : étude fonctionnelle du geste, embarquement de capteurs au plus près des zones d'interaction, etc.

Contexte * :
Dans le contexte de procédures complexes telles que la chirurgie, les dispositifs d'assistance peuvent être une aide précieuse au chirurgien pour effectuer des gestes plus précis, plus surs, plus rapides, etc. Cet outillage technologique s'inscrit dans la perspective d'une augmentation des capacités humaines. Aujourd'hui, la tendance pour de tels dispositifs d'assistance est d'aller vers des systèmes de plus en plus complexes avec une intelligence centralisée qui est souvent basée uniquement sur des recalages géométriques. De tels dispositifs nécessitent ainsi généralement un système de guidage exogène et/ou des techniques d'imagerie complexes, coûteuses et énergivores. Par ailleurs, pour adresser des problématiques qui découlent de la complexité croissante de ces systèmes, l'intelligence artificielle devient quasiment incontournable, alors qu'on la sait extrêmement polluante aussi bien dans les matériaux nécessaires que dans son utilisation énergivore.

Nous proposons de nous pencher sur un nouveau paradigme de conception des dispositifs d'assistance pour des procédures complexes, qui soient capacitants pour les cliniciens, par la décentralisation de *'l'intelligence'* et par l'utilisation de capteurs non-conventionnels.

Ces dernières années connaissent un intérêt croissant pour ce qu'on appelle en anglais *'physical intelligence*' (PI) [2]. La PI peut être définie comme encodant physiquement la détection, l'actionnement, le contrôle, la logique, l'adaptation, l'apprentissage ou la prise de décision dans le corps d'un agent ou d'un objet. Traditionnellement, lors d'interventions médicales, les cliniciens s'appuient sur le retour visuel ainsi que sur des perceptions non-visuelles (tactiles, auditives, etc). Dans certains cas, le retour visuel n'est pas possible et le clinicien doit se baser uniquement sur les perceptions non-visuelles. Dans cette thèse, nous nous intéresserons à incorporer de la perception et des comportements semblables à ceux des chirurgiens directement dans le dispositif médical.

En intégrant de tels capteurs directement à l'intérieur des dispositifs, au plus proche de l'interaction entre le dispositif et l'environnement avec lequel il est en contact, nous concevrons le dispositif médical permettant de mesurer la PF proche de la façon dont le font les cliniciens, voir avec de l'information allant au-delà des capacités

humaines. Aujourd'hui, il n'existe que quelques dispositifs médicaux commercialisés qui utilisent de l'information non-visuelle pour atteindre des objectifs fonctionnels et de très nombreuses pistes restent à explorer.

Méthode :
Après une étude bibliographique, la première phase consistera en l'étude du geste chirurgical et une analyse fonctionnelle poussée afin de produire une cartographie des moyens de mesure et des critères de mesure de précision fonctionnelle. Remettre l'utilisateur final au centre des méthodes de conception est primordial pour la réussite de ce projet et une réflexion sur les meilleurs moyens de le faire sera nécessaire

Dans un deuxième temps, des phases de modélisation et d'analyses, ainsi que d'optimisation de la conception seront nécessaires.

Pour arriver à cet objectif, nous nous servirons de la notion de *'précision fonctionnelle'* (PF). Contrairement aux notions standards de précision en ingénierie (précision géométrique, résolution, sensibilité), la PF est intrinsèquement liée à l'application (clinique) et réside dans la mesure dans laquelle les objectifs (fonctionnels) sont atteints. Effectivement, dans un contexte clinique, l'objectif premier n'est pas de savoir si un instrument est positionné exactement selon une planification préopératoire (qui devient assez souvent rapidement obsolète), mais plutôt de restaurer ou de corriger la fonctionnalité des organes et des structures anatomiques. Plutôt que de traduire ces objectifs fonctionnels vers des spécifications géométriques comme dans l'approche classique, dans cette thèse, nous nous servirons de capteurs non-visuels embarqués pour mesurer la PF. De cette façon, il n'est pas nécessaire de construire des systèmes complexes, tentant d'égaler par exemple la capacité mentale d'un chirurgien. L'idée est plutôt d'utiliser des concepts simples pour arriver directement aux objectifs fonctionnels de l'application.

Différents types d'information non-conventionnelle non-visuelle peuvent être utiles dans ce contexte : l'impédance électrique des tissus, la tomographie par cohérence optique (TCO) [3], la vibroacoustique [4], le neuromonitoring, les forces et couples [5], la température, etc.

Résultats attendus :

Formaliser des connaissances de praticiens pour innover dans la conception de nouveaux dispositifs médicaux. Les solutions retenues seront prototypées et les performances seront évaluées qualitativement et quantitativement dans le contexte d'application à l'aide d'expériences adaptées à la maturité du prototype.

Références bibliographiques * :

[1] Ha, X. T., Ourak, M., Al-Ahmad, O., Wu, D., Borghesan, G., Menciassi, A., & Vander Poorten, E. (2021). Robust catheter tracking by fusing electromagnetic tracking, fiber bragg grating and sparse fluoroscopic images. *IEEE Sensors Journal*, *21*(20), 23422-23434.

[2] Sitti, M. (2021). Physical intelligence as a new paradigm. *Extreme Mechanics Letters*, *46*, 101340.

[3] Borghesan, G., Ourak, M., Lankenau, E., Hüttmann, G., Schulz-Hildebrant, H., Willekens, K., ... & Vander Poorten, E. (2018). Single scan oct-based retina detection for robot-assisted retinal vein cannulation. Journal of Medical Robotics Research, 3(02), 1840005.

[4] Goossens, Q., Leuridan, S., Henyš, P., Roosen, J., Pastrav, L., Mulier, M., ... & Vander Sloten, J. (2017). Development of an acoustic measurement protocol to monitor acetabular implant fixation in cementless total hip Arthroplasty: A preliminary study. Medical Engineering & Physics, 49, 28-38.

[5] Federspil, P. A., Geisthoff, U. W., Henrich, D., & Plinkert, P. K. (2003). Development of the first force-controlled robot for otoneurosurgery. The Laryngoscope, 113(3), 465-471.

Conditions scientifiques matérielles (conditions de sécurité spécifiques) et financières du projet de recherche * :

Le laboratoire G-SCOP est en proximité immédiate avec la plateforme S.mart pour le prototypage et la fabrication des dispositifs développés tout au long du travail de recherche. De la même manière le laboratoire d'anatomie du CHU pourra être sollicité pour des essais expérimentaux en environnement réaliste.

Ouverture Internationale :

Les développements seront communiqués à la communauté scientifique internationale. Si nécessaire en fonction des développements et de leur avancement, une collaboration avec des partenaires à l'international peut être envisagée (collaboration envisageable avec les services de gastroentérologie, orthopédie ou urologie du CHU de Grenoble ou avec un hôpital privé à Bergame en Chirurgie cardiaque).

Collaborations envisagées :

Une collaboration avec un ou plusieurs cliniciens du CHUGA est envisagée. Le rapprochement avec une entreprise de dispositifs médicaux du domaine est également une possibilité en fonction des avancées.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle, … * :

Les développements seront communiqués à la communauté scientifique par le biais de conférences nationales et internationales ainsi que dans des articles de revues.

En fonction de l'avancement des travaux, la publication de brevets est envisageable. Le rapprochement avec une entreprise de dispositifs médicaux du domaine est également une possibilité.

Caractère confidentiel des travaux *: non

3 - Financement du projet doctoral

Type de Financement du projet doctoral* : demande d'un financement de contrat doctoral de 3 ans

4 - Candidature

Profil et compétences recherchées* :

Titulaire en octobre 2025 d'un diplôme d'ingénieur ou d'un Master 2 (ou un autre diplôme étranger équivalent dans l'enseignement supérieur français) en conception, mécanique, mécatronique ou dans un domaine similaire.

Des compétences en conception (assistée par ordinateur) et fabrication mécatroniques sont requises, des capacités analytiques (modélisation et intégration informatique) sont fortement recommandées. La créativité, le goût pour le travail expérimental et interdisciplinaire sont souhaitables.

Profile and skills required* :

Niveau de français requis (aucun ou niveau de A1 à C2) : 0

Niveau d'anglais requis (aucun ou niveau de A1 à C2) : B2

Candidature en ligne du sujet sur le site ADUM* : OUI

Avez-vous un candidat et souhaitez-vous lui réserver ce projet ? NON

Tous les champs ayant un * doivent être obligatoirement complétés pour l'insertion de la demande sur ADUM. Attention : ne pas insérer de figures !!!