



Conception et fabrication de composants mécatroniques innovants basés sur des origamis pour des interfaces homme-machines dynamiques

Lieu de la thèse : ICube (Strasbourg) 18 mois et FEMTO-ST (Besançon) 18 mois
Direction de thèse (ICube) : Olivier PICCIN (olivier.piccin@insa-strasbourg.fr)
Encadrant de thèse (ICube) : Lennart RUBBERT (lennart.rubbert@insa-strasbourg.fr)
Encadrant de thèse (FEMTO-ST) : Kanty RABENOROSOA (rkanty@femto-st.fr)
Encadrant de thèse (LIG) : Céline Coutrix (celine.coutrix@imag.fr)

Date de démarrage : octobre 2025

Ce projet de thèse concerne l'étude et le développement de structures d'interface homme-machine exploitant les origamis pour une collaboration dynamique entre humain(s) et système. Le travail proposé concerne la modélisation, la synthèse et la réalisation de telles structures, notamment par fabrication additive, en tenant compte des problématiques d'actionnement et d'intégration. Durant la thèse, les travaux viseront à permettre la réalisation d'une interface homme-machine (IHM) fonctionnelle dans le cadre d'une collaboration entre les laboratoires ICube, LIG et FEMTO-ST.

1. Contexte

Dans le cadre du PEPR eNSEMBLE¹, le projet *DEformation physique et Collaboration*² (DECO) se concentre sur l'étude de la déformation dynamique des dispositifs pour la collaboration numérique, dans le but d'améliorer la collaboration entre les humains et le système ainsi que parmi les humains à travers le système. DECO explore la déformation physique de l'entrée ou de la sortie du système, en considérant les utilisateurs et le système comme des agents potentiels. Le contexte de l'aviation sert de champ d'étude principal, avec un accent particulier sur trois scénarios de collaboration : le pilotage partagé air/sol, la tour de contrôle à distance et la télé-opération de drones. La déformation des dispositifs offre des opportunités d'adaptation aux capacités des utilisateurs, aux contextes de collaboration et aux tâches collaboratives. DECO examine comment la déformation des dispositifs peut améliorer la collaboration entre les opérateurs, la conscience de la situation et le contrôle partagé. Par exemple, les interfaces peuvent être physiquement déformées pour aider la perception d'informations critiques. Ces changements peuvent se produire en environnement co-localisé ou à

¹ <https://www.pepr-ensemble.fr/>

² <https://www.pepr-ensemble.fr/projets/#DECO>

distance, s'adaptant aux tâches en cours et soutenant le partage d'informations et la prise de décisions. DECO envisage les situations de collaboration synchrones et asynchrones.

De plus, DECO aborde la collaboration entre les humains et les systèmes intelligents, exploitant les changements physiques de forme pour fournir des retours visuels et haptiques combinés. Ces retours informent les utilisateurs sur les intentions de transformation du système intelligent, le degré d'automatisation engagé et les possibilités d'action ou de reprise de contrôle par l'utilisateur. L'objectif est de réduire les erreurs potentielles résultant d'une sur-confiance dans l'automatisation ou d'une sous-utilisation des systèmes intelligents.

Les axes de recherche de DECO s'étendent à la collaboration numérique à long terme et à grande échelle, utilisant les changements de forme physique pour un retour visuo-haptique afin d'améliorer la conscience de l'utilisateur du temps passé. Cette adaptabilité de forme peut aussi soutenir les activités collaboratives au sein de grandes communautés.

DECO implique une collaboration entre des équipes de recherche en Interaction Humain-Machine, Robotique, Mécatronique, Sciences Cognitives et Ergonomie, avec des professionnels de l'aviation pour élaborer des scénarios et évaluer les interactions proposées. Le projet vise à produire des prototypes d'interfaces déformables pour la collaboration, à mener des études empiriques et à remettre en question les théories existantes sur la collaboration numérique et les interfaces reconfigurables.

Les résultats de DECO ont le potentiel de s'étendre au-delà de l'aviation tels que les domaines critiques de l'automobile ou de la médecine.

2. Problématique et objectifs

Dans le contexte du pilotage collaboratif, nous souhaitons développer une interface de pilotage à base d'origamis de type « tour de Kresling ». Cet origami a été étudié dans la thèse de John Berre [1] et présente des propriétés cinématiques, de raideur et de bistabilité intéressantes et ajustables pour en faire un composant mécatronique léger [2] [3] [4]. Dans cette thèse, les origamis seraient des composants mésoscopiques actionnables pouvant être arrangés en série ou en matrice.

Pour définir des cas d'usage pertinents de ces origamis, une première phase de travail consistera à explorer de premiers concepts au travers d'interactions avec le LIG, l'ONERA et l'ENAC. Le doctorant serait alors au centre de ces interactions pour mettre en avant deux ou trois concepts particulièrement prometteurs et identifier leurs caractéristiques, leurs potentiels et leurs limites.

La deuxième phase consistera à faire la modélisation et la conception des solutions les plus pertinentes proposées, avec, dans un premier temps, des prototypes qui pourront être à une échelle macroscopique pour valider avec les partenaires la pertinence et la faisabilité des solutions, et à plus long terme la compatibilité avec une interface de pilotage.

Enfin dans une troisième phase, l'actionnement et la commande seront développées avec FEMTO-ST afin que la ou les solutions retenues puissent être miniaturisées, intégrées et fonctionnelles pour évaluation et validation en tant qu'IHM pour le pilotage collaboratif auprès des partenaires du projets.

Plusieurs défis néanmoins persistent et seront abordés dans cette thèse. En effet, la solution retenue devra répondre à plusieurs enjeux, notamment :

- l'usage et la dynamique du système, la stratégie d'actionnement, le couplage entre origamis, la bande passante, la tenue en fatigue, etc. ;
- les contraintes liées à l'échelle, qui influencent directement le choix des matériaux et le procédé de fabrication, lesquels auront à leur tour un impact significatif sur les performances, notamment humaines, sur les performances de la solution développée.

Le choix du matériau implique nécessairement des contraintes particulières de fabrication et impacte les performances mécaniques. De plus, instrumenter et actionner un ou plusieurs origamis pour en faire une interface haptique par exemple, questionne des choix d'intégration de composants qui doivent être pertinent à la fois par rapport à l'intégration dans un origami, mais également par rapport à l'application visée.

3. Mobilité

La phase une se déroulerait sur 3 mois et la phase deux sur 15 mois, soit 18 mois à ICube à Strasbourg (octobre 2025 à mars 2027)

La phase trois et la rédaction du manuscrit de thèse se déroulerait sur 18 mois à FEMTO-ST à Besançon (avril 2027 à septembre 2028).

Des mobilités ponctuelles entre laboratoires des membres du projets sont envisagées.

4. Expertise et moyens mis en jeu

L'équipe RDH du laboratoire ICube développe une activité en robotique médicale reconnue au plan international, en s'appuyant notamment sur des compétences en conception mécatronique et fabrication additive multimatériaux. Ces compétences sont mises à profit dans le projet de thèse, avec par ailleurs la mise à disposition de la plateforme de fabrication additive multimatériaux du réseau ROBOTEX hébergée par la plateforme IRIS du laboratoire située au sein de l'IHU, au centre de Strasbourg.

L'équipe RoMoCo de FEMTO-ST, développe pour sa part une activité de recherche dans le domaine de la robotique déformable. Elle développe notamment des technologies de production de matériaux actifs, leur caractérisation et leur intégration pour créer des structures robotiques actives. De même, la conception de robots déformables à actionnement pneumatique est étudiée par l'équipe.

L'équipe IHM du laboratoire LIG est spécialisée dans l'Interaction Humain-Machine (IHM), et, entre autres, dans l'interaction avec les dispositifs à changement de forme. Cette expertise couvre les dispositifs reconfigurables pour le contrôle du système, les

études de perception associées, ainsi que l'exploration des paramètres de forme pour améliorer l'Interaction Humain-Machine. L'équipe possède également une expérience notable dans l'IHM en interaction avec l'IA.

5. Profil requis

Pour candidater, il faut être titulaire d'un master 2 ou un diplôme d'ingénieur en robotique, mécatronique ou génie mécanique et avoir une aisance en modélisation mécanique, et conception mécanique et mécatronique. Des compétences en fabrication et notamment en fabrication additive seront également très utiles. La maîtrise d'outils de CAO et de simulation numérique est indispensable. Le travail de thèse inclura une dimension expérimentale, avec la fabrication de prototypes et des tests sur maquette. Un goût pour la réalisation et l'expérimentation est donc requis.

Par ailleurs de bonnes capacités d'expression écrite en français et en anglais sont attendues. Le travail en équipe et en interaction avec des partenaires au sein d'un projet de recherche collaboratif pluridisciplinaire nécessite ouverture d'esprit et curiosité. De ce fait, il faut être capable de communiquer aisément. Écoute, dynamisme et persévérance seront des qualités indispensables pour mener un travail de recherche sur 3 ans.

6. Modalité de candidature

La candidature devra être adressée par [email](#) accompagnée d'une lettre de motivation, un CV et des relevés de notes (M1 et M2 ou 4ème et 5ème années universitaires) sous forme de fichier unique en PDF.

7. Bibliographie

- [1] John Berre. Conception de structures robotiques exploitant des origamis non rigidement pliables. Automatique / Robotique. Université de Strasbourg, 2022. Français. [⟨NNT : 2022STRAD026⟩](#). [⟨tel-04012014⟩](#)
- [2] B John Berre, François Geiskopf, Lennart Rubbert, Pierre Renaud. Towards the design of Kresling tower origami as a compliant building block. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 2022, [⟨10.1115/1.4053378⟩](#). [⟨hal-03594848⟩](#)
- [3] John Berre, Lennart Rubbert, François Geiskopf, Pierre Renaud. Embedded Active Stiffening Mechanisms to Modulate Kresling Tower Kinetostatic Properties. *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2023)*, May 2023, Londres, United Kingdom. [⟨10.1109/ICRA48891.2023.10160882⟩](#). [⟨hal-04587852⟩](#)
- [4] Kejun Hu, Thomas Jeannin, John Berre, Morvan Ouisse, Kanty Rabenorosoa. Toward actuation of Kresling pattern-based origami robots. *Smart Materials and Structures*, 2022, 31 (10), pp.105025. [⟨10.1088/1361-665X/ac9020⟩](#). [⟨hal-03812990⟩](#)