

Proposition de thèse de doctorat à l'Université Grenoble Alpes : **Méthodologie de conception frugale intégrée pour robots collaboratifs : application à la rééducation motrice**

Lieu de travail : Laboratoires G-SCOP et GIPSA-Lab à Grenoble

Type de contrat : Doctoral de l'IMEP2, 36 mois

Date de début de la thèse : 1/10/2026

Date limite de candidature (en ligne) : 12/05/2026, **site de l'ADUM**

Directrice de thèse : Maud Rio (Maîtresse de Conférences à l'UGA, HDR), laboratoire G-SCOP, <https://g-scop.grenoble-inp.fr/>

Co-encadrant (interne UGA et IMEP2) : Matthias Tummers (Maître de Conférences à Grenoble-INP), laboratoire G-SCOP

Co-encadrante : Mathilde Lestoille (Chargée de Recherche au CNRS), laboratoire GIPSA-Lab, <https://www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/le-laboratoire>

Titre en français : Méthodologie de conception frugale intégrée pour robots collaboratifs : application à la rééducation motrice

Mots clés : Conception pour la soutenabilité, Robotique, Interaction humain machine (IHM), Conception frugale, Conception intégrée en milieu clinique, Robotique de rééducation

English title: Frugal design integrated methodology for collaborative robots: application to the use-case of rehabilitation

Keys words: Design for Sustainability, Robotics, Human robot interaction (HRI), Frugal design, Integrated design for medical partitioners, Rehabilitation robotics



Résumé du projet de thèse :

Cette thèse s'inscrit en génie industriel et vise à développer une méthodologie de conception de robots collaboratifs éco-conçus dans une logique de soutenabilité (contraintes environnementales, écologiques et sociales fortes) aidant à l'interaction physique humain-robot dans le cas de rééducation fonctionnelle ou d'application médicale. Les travaux cherchent à identifier, avec les utilisateurs, les besoins réels et les critères socio-écologiques permettant de définir les capacités minimales nécessaires d'un robot, afin d'éviter la surperformance technologique et la surconsommation de ressources. Le travail s'appuie sur un cas d'étude en rééducation motrice, et combine l'analyse d'usage expérimental avec un robot à niveau de performances variable, dans une démarche de frugalité. Les résultats attendus sont une méthode d'aide à la décision en conception et d'usage de robot dans un but de rééducation intégrant modélisation robotique

(analyse au juste besoin technologiques et matériel), évaluation environnementale multicritère et enjeux de frugalité pour les réseaux d'acteurs impliqués dans la conception, l'usage et la fin de vie du dispositif.



Summary of the thesis project:

This PhD project lies in the field of industrial engineering and aims to develop a methodology for designing ecodesigned collaborative robots with a focus on sustainability (strong environmental, ecological, and social constraints) that facilitate physical human-robot interaction in functional rehabilitation or medical applications. The work seeks to identify, with users, the real needs and socio-ecological criteria for defining the minimum capabilities required of a robot, in order to avoid technological overperformance and overconsumption of resources. The work is based on a practical case study and combines experimental usage analysis with a robot with variable performance levels, in a frugal approach. The expected results are a decision-making method for designers and robot users for rehabilitation purposes, integrating robotic modeling (analysis of technological and material “just need” approach), multi-criteria environmental assessment, and frugality issues for the actors involved in the design, use, and end of life of the device.

Thématique : Génie Industriel, **Domaine :** Conception intégrée pour la soutenabilité, application aux dispositifs de rééducation physique.

L'objectif principal de cette thèse est de comprendre comment rendre possible la conception soutenable, au juste besoin, de dispositif technologique circulaire de rééducation physique adaptés aux acteurs locaux impliqués dans un processus de rééducation physique sur un territoire délimité.

La piste envisagée est de développer une méthode d'aide à la décision pour le concepteur, permettant de spécifier avec les acteurs du cycle de vie impliqués (réseaux de praticiens, patients, réparateurs de dispositifs de rééducation, éco-organismes en charge du réemploi et du traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques) le juste besoin socio-écologique contextualisé du cahier des charges technologique pour la conception d'un dispositif de rééducation physique (manuelle, mécanique, électronique, robotique). La méthode d'évaluation reposera sur des critères socio-écologiques et technocritiques afin de garantir l'engagement du réseau d'acteurs dans une démarche d'éco-conception frugale et circulaire (au juste besoin, réutilisation locale, réparation, remise à neuf, modularité, démontabilité, recyclage facilité et local, etc.).

Contexte : Sept des neuf limites planétaires globales, identifiées comme critiques pour la stabilité de la Terre, ont déjà été dépassées [1]. Le modèle linéaire et extractiviste de nos sociétés industrielles menace les conditions d'habitabilité de la planète, malgré les avantages portés par les technologies (ex. : en médecine). Aujourd'hui, “la recherche doit maximiser son rôle moteur pour produire et mettre en valeur des savoirs permettant d'élaborer des solutions face aux bouleversements environnementaux en cours” [2]. Indépendamment, au cours de l'année 2021, 0.1 million de robots de service et 0.5 million de robots industriels furent introduits dans la société. Ainsi, la communauté de recherche s'interroge : les robots peuvent-ils contribuer à résoudre les bouleversements écologiques et les inégalités sociales en cours [3-4] ? Bien que la place de la robotique puisse prêter à débat dans certains contextes, celle-ci peut avoir un rôle important à jouer pour seconder l'humain, que ce soit pour intervenir dans des environnements dangereux ou inaccessibles pour l'humain, ou encore pour assister des personnes en situation de handicap. Cependant, alors que leurs usages devraient être repensés et qu'une utilisation raisonnée et frugale de ces dispositifs technologiques devrait être mise en avant en particulier en France où les déchets d'équipements électriques et électroniques sont en majorité exportés, la tendance est à l'escalade des technologies nécessaires à la

construction et au fonctionnement des robots, qui sont conçus pour être de plus en plus génériques et décontextualisés de leurs usages et traitements de fin de vie. Leurs capacités (précision, répétabilité, force, dextérité, etc.) ne cessent de monter en performance alors qu'un grand nombre d'applications nécessite une performance technique moindre, voire des solutions non robotisées. Lorsque les capacités techniques sont insuffisantes, elles sont compensées par des stratégies logicielles ou matérielles [5] ; à l'inverse, lorsque ces capacités dépassent les besoins, cette surperformance est rarement prise en compte. La question se pose particulièrement dans nombre de contextes impliquant la collaboration ou l'interaction physique humain-robot (cobotique en milieu industriel, exosquelette, bras robotiques d'assistance sur fauteuils roulants, réhabilitation motrice...) [6-7], où la précision et la répétabilité n'ont pas besoin d'être millimétriques.

Dans ce contexte, nous nous intéressons à comprendre comment aider à définir les besoins des acteurs impliqués dans les cycles de vie circulaires de dispositifs technologiques appliqués à la rééducation physique pour concevoir (et faire circuler) des dispositifs adaptés. La méthode d'ingénierie associée nécessiterait à la fois (i) de déterminer les caractéristiques minimales technologiques (potentiel du robot, sa précision, dextérité, force, sécurité) avec ou pas interaction physique humain-machine (IHM), dans un souci de frugalité et fondée sur des pratiques de conception pour la soutenabilité (éco-conception) et (ii) pour répondre aux besoins socio-écologiques contextualisés.

La méthode adoptée consistera à clarifier le contexte (état de l'art), question de recherche, et hypothèse, puis d'alterner des étapes de description et de proposition amenant à mesurer l'apport de la proposition sur la situation initiale (Design Research Methodology [8]). Les propositions seront confrontées au réel, tout d'abord par une analyse de terrain avec les utilisateurs (concepteur, roboticiens, patients, praticiens, réparateur en robotique, acteur de fin de vie ...), afin de cartographier le système dans lequel le dispositif s'inscrit (système de valeur, réseau d'acteurs). Puis, il s'agira d'identifier les principaux manques actuels dans ce système pour répondre aux besoins des usagers et du réseau d'acteurs associés (patients et praticiens), à la fois liés à la rééducation elle-même (mouvements à effectuer, mode d'assistance, gestion de la douleur ou de la spasticité, évolution des capacités motrices...) et nécessaires à une bonne intégration du robot de rééducation par les usagers, de son suivi, de sa recirculation avec des stratégies d'économie circulaire potentielle (parcours de soin, réseaux kiné, etc.). L'identification de ces besoins « contextualisés » combinerait différentes méthodes : une revue de la littérature, des méthodes d'analyse systémique de type Value Mapping Tool [9], Matrice des Technologies Conviviales [10], l'organisation de *focus groups* regroupant des rééducateurs et des patients et une étude mixte, conduite également auprès de rééducateurs et de patients. La combinaison de ces outils permettra de définir les besoins de rééducation, de cartographier les facteurs de désirabilité et d'identifier les exigences perçues comme incontournables pour un usage sécurisé et approprié, mais également d'établir une analyse de risques associés, et de technocritique.

À ce stade une proposition d'outil d'aide à la décision pourra s'élaborer en combinant un état de l'art sur les méthodes adaptées en Design for Sustainability et en conception de systèmes robotiques. L'application de la méthode prévoit des réalisations pratiques sur le cas d'étude d'un robot collaboratif pour la rééducation motrice du membre supérieur.

Le cas d'étude sera l'occasion de confronter les besoins identifiés en amont par les acteurs et les solutions techniques possibles (déterminer les capacités minimales (nombre de degrés de liberté, répétabilité, manipulabilité ...) du robot collaboratif). Une étude approfondie sur un bras robot KUKA LBR Med,

disponible au GIPSA-Lab pourra être menée. Les capacités techniques de ce robot peuvent être réduites de façon systématique via une limitation logicielle afin d'étudier l'impact de cette réduction sur la performance du robot et sur la réponse aux besoins des usagers, en évaluant par exemple la stabilité du contrôle, la performance liée à la tâche assistée (temps d'exécution, taux de succès, etc.) et les trajectoires articulaires de l'humain [11-12]. Il s'agira ainsi de définir les capacités minimales du robot qui fourniraient une réponse juste aux besoins des usagers.

La partie « développement d'ingénierie » de solution de conception combinera des outils de modélisation robotique [13-14] et des méthodes d'éco-conception pour la soutenabilité, de conception collaborative et de conception centrée humain pour déterminer l'architecture du dispositif robotique, le nombre et le type de capteurs ou d'actionneurs, ainsi que les matériaux possibles. Typiquement, les méthodes d'éco-conception nécessitent des analyses du cycle de vie (ACV) paramétrique dans une logique de frugalité (limitation, seuils d'impacts, normalisation à définir), combinant analyse quantitative et qualitative.

La méthode d'aide à la décision adressée au concepteur de tels dispositifs de rééducation visera à accompagner le processus de développement du système à concevoir, des phases amont, aux phases de prototypage, tout en engageant différentes expertises impliquées dans les différentes phases du cycle de vie (et des cycles de réutilisation) du système.

Résultats attendus

L'objectif principal de cette thèse est de comprendre comment rendre possible la conception soutenable, au juste besoin, de dispositif technologique circulaire de rééducation physique adapté aux acteurs locaux impliqués dans un processus de rééducation physique sur un territoire délimité. La piste envisagée est de développer une méthode intégrée d'aide à la décision pour le concepteur, permettant de spécifier avec les acteurs du cycle de vie impliqués (réseaux de praticiens, patients, réparateurs de dispositifs de rééducation, éco-organismes en charge du réemploi et du traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques) le juste besoin socio-écologique contextualisé du cahier des charges technologique pour la conception d'un dispositif de rééducation physique (manuelle, mécanique, électronique, robotique). La méthode d'évaluation du système en cours de développement reposera sur des critères socio-écologiques et technocritiques afin de garantir l'engagement du réseau d'acteurs dans une démarche d'éco-conception frugale et circulaire (au juste besoin, réutilisation locale, réparation, remise à neuf, modularité, démontabilité, recyclage facilité et local, etc.). Le cas d'application et d'étude viendra illustrer les étapes de la méthode intégrée et formaliser les lignes directrices, et les supports (modèles informatiques, ACV paramétriques, abaques, etc.) nécessaires à la réalisation du processus de conception (ou de réhabilitation de systèmes existants).

Références bibliographiques :

- [1] Planetary Boundaries Science (PBSscience). 2025. Planetary Health Check 2025. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam, Germany.~
- [2] Comité d'éthique du CNRS. Intégrer les enjeux environnementaux à la conduite de la recherche – Une responsabilité éthique. Avis n°2022-43 (2022).~
- [3] Guenat, Solène, et al. "Meeting sustainable development goals via robotics and autonomous systems." *Nature communications* 13.1 (2022).
- [4] Haidegger, Tamas, et al. "Robotics: Enabler and inhibitor of the sustainable development goals." *Sustainable Production and Consumption* 43 (2023): 422-434.
- [5] Schuchert, Philippe, and Alireza Karimi. "High-precision control of a robotic arm using frequency-based data-driven methods." *Control Engineering Practice* 155 (2025).
- [6] Taesi, Claudio, Francesco Aggogeri, and Nicola Pellegrini. "COBOT applications—recent advances and challenges." *Robotics* 12.3 (2023).
- [7] Jarrassé, Nathanaël, and Guillaume Morel. "Connecting a human limb to an exoskeleton." *IEEE Transactions on Robotics* 28.3 (2011): 697-709.

- [8] Blessing, Chakrabarti, The Design Research Methodology, (2009).
- [9] Bocken, Nancy, et al. "A value mapping tool for sustainable business modelling." *Corporate governance* 13.5 (2013): 482-497.
- [10] Vetter, Andrea. "The matrix of convivial technology—assessing technologies for degrowth." *Journal of cleaner production* 197 (2018): 1778-1786.
- [11] Balasubramanian, Sivakumar, et al. "Robotic assessment of upper limb motor function after stroke." *American journal of physical medicine & rehabilitation* 91.11 (2012).
- [12] Schwarz, Anne, et al. "Systematic review on kinematic assessments of upper limb movements after stroke." *Stroke* 50.3 (2019): 718-727.
- [13] Murray, R. M., Li, Z., & Sastry, S. S. (2017). A mathematical introduction to robotic manipulation. CRC press.
- [14] Lynch, K. M., & Park, F. C. (2017). Modern robotics. Cambridge University Press.

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 dotés de cobots, qui pourront être mobilisés pour les recherches, et de moyens de fabrication, pour le prototypage et la fabrication des développements tout au long du travail de recherche. Le GIPSA-Lab doté de plateformes d'expérimentation autour du mouvement humain et récemment d'un cobot KUKA LBR Med sera également un lieu privilégié pour le déroulement d'expériences. De la même manière, les professionnels de santé pourront être sollicités pour des essais expérimentaux en environnement réaliste.

Il est également prévu que la thèse soit soutenue par des stages de Master pour apporter un soutien sur des tâches comme l'identification des besoins, au travers d'ateliers participatifs, des observations de terrain, d'enquêtes auprès des réseaux d'acteurs concernés, permettant notamment l'identification de potentiels verrous ou difficultés à l'utilisation de dispositifs technologiques (manuel, robotique, robot collaboratif, etc.) pour la rééducation physique, mais aussi sur les problématiques de réparation, entretien, modèles d'échanges entre praticiens-patients, de traitement de fin de vie (démontage, recyclage, traitements spécifiques / technologies types électroniques).

Ouverture internationale : les développements seront communiqués à la communauté scientifique internationale (CIRP LCE, CIRP Design). Si nécessaire en fonction des développements et de leur avancement, une collaboration avec des partenaires à l'international peut être envisagée.

Collaborations envisagées : au-delà de la collaboration de la thèse entre deux équipes de recherche de l'UGA et des professionnels de santé qui seront identifiés en première année, la thèse prévoit également un rapprochement avec une entreprise de robotique de rééducation qui, parmi les contacts des équipes de recherche impliquées, permettrait de tester la méthode d'aide à la décision qui serait développée.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle : les développements des travaux de thèse seront structurés autour de communications scientifiques dans des conférences nationales et internationales (chaque année) ainsi que dans des articles de revues (à partir de l'année 2), de plusieurs domaines : la conception intégrée pour la soutenabilité (réseau EcoSD en France, réseau CIRP LCE à l'international), l'ingénierie orientée usage & la robotique (Club EEA, etc.).

Caractère confidentiel des travaux : non ; **Type de Financement du projet doctoral :** Concours pour un contrat doctoral

 **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 + Master orienté recherche, mineur ou spécialisation (stage, projet) sur les enjeux environnementaux (éco-conception, économie circulaire, enjeux de l'anthropocène, évaluation environnementale, approche low-tech, théorie du Donut, etc.).

Des compétences en contrôle et en modélisation robotique et des compétences en conception collaborative et centrée humain sont requises, des capacités analytiques (modélisation et intégration informatiques) sont fortement recommandées. La créativité, le goût pour le travail expérimental, pour l'analyse de terrain, et pour l'exercice de l'interdisciplinaire sont nécessaires. L'engagement du ou de la candidat.e sur les enjeux socio-écologiques est fortement conseillé.

 **Profile and skills required:** Master's degree (Master 2), or another equivalent qualification recognized by French higher education, in design, mechanical engineering, mechatronics, eco-design, design for sustainability, Life Cycle Assessment, to be completed by October 2025.

Skills in control systems and robotic modeling are required, along with competencies in collaborative and human-centered design associated with socio-ecological issues (Donut theory, low-tech, etc.). Strong analytical abilities (modeling and computational integration) are highly recommended. Creativity, an interest in experimental work, and an aptitude for interdisciplinary research with experts from the field (designers, medical practitioners, engineers, users, end-of-life treatment actors) are greatly encouraged.

Niveau de français requis : B2 ; Niveau d'anglais requis: B2

Rattachement administratif

SPECIALITE : Génie Industriel, **Unité de recherche :** Laboratoire G-SCOP (UMR 5272),

Etablissement de préparation de la thèse : UGA ; **Année universitaire de 1ère inscription en doctorat :** 2026/2027

Date de début de la thèse : 1/10/2026 **Date limite de candidature:** 12/05/2026

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) du laboratoire G-SCOP. Toutefois l'encadrement joint entre les laboratoires G-SCOP et GIPSA-Lab permettra de bénéficier des plateformes technologiques des deux laboratoires et d'effectuer régulièrement ou par périodes certaines tâches expérimentales au GIPSA-Lab. L'avancement des travaux et les directions à suivre seront discutés lors de réunions hebdomadaires ou quinzomadaires entre les trois encadrants et le ou la doctorant.e. Un suivi rapproché et un support technique pourront être apportés lorsque nécessaire. Il est prévu que les travaux soient effectués en collaboration avec un ou plusieurs professionnels de santé (p. ex. kinésithérapeutes). Ainsi des phases de travail seront également menées au sein du milieu clinique.

Lors des périodes dans les laboratoires respectifs, le ou la doctorant.e participera à la vie de l'équipe : réunion d'équipe, ateliers entre doctorants, journées du laboratoire et d'équipe, séminaires ciblés. Le suivi des formations doctorales (école d'été, formation spécifique prévue par l'IMEP2 et à l'UGA) ciblant des thématiques nécessaires à la thèse qui seront discutées collectivement et planifiées sur les 3 ans.