

Titre de la thèse : Commande d'un exosquelette de rééducation à la marche post-AVC pour patient hémi-parétique

Laboratoire : LAMIH – UMR CNRS 8201 (Valenciennes, France)

Département : Automatique

Co-encadrement :

- Jason Chevrie (jason.chevrie@uphf.fr)
- Antoine Dequidt (antoine.dequidt@uphf.fr)
- Laurent Vermeiren (laurent.vermeiren@uphf.fr)

Date souhaitée de début de thèse : 1^{er} septembre 2026 (pour une durée de 3 ans)

Date limite de candidature : poste ouvert jusqu'à ce qu'un candidat soit trouvé

Salaire : environ 2300€ bruts par mois (financement ANR).

Description du sujet

Contexte du sujet : La rééducation robotisée à la marche post-AVC est un outil permettant d'augmenter les chances de récupération des patients sur le long terme. Elle a notamment montré un gain en vitesse et en qualité de marche [1]. Cependant, en analysant les protocoles de rééducation proposés par les exosquelettes commercialisés, nous observons essentiellement un travail de répétition de tâche imposée aux deux jambes. Dans ce contexte, le projet RehabXO (projet ANR piloté par le CHU de Bordeaux) vise à développer un exosquelette spécifiquement conçu pour la rééducation à la marche post-AVC de patients hémi-parétiques fournissant entre autres :

- un catalogue de protocoles spécifiques, tels qu'un mouvement de marche imposé à une seule jambe ou la marche en ligne droite avec une taille et un rythme de pas variables,
- des trajectoires de marche adaptatives, générées à partir de modèles biomécaniques de la marche, pour synchroniser le membre lésé assisté avec le membre sain non assisté,
- un contrôle « d'assistance selon les besoins », basé sur une loi de commande par impédance variable, pour favoriser la participation du patient.

Un des objectifs du projet est de finir de développer un prototype « version hanche-genou » complet, puis de démontrer sa sécurité, sa faisabilité et ses performances en rééducation post-AVC lors d'une investigation clinique au sein du CHU de Bordeaux.

Les travaux du projet RehabXO reprennent et étendent ceux déjà menés dans le projet RehabByEXO [2, 3, 4, 5] qui ont conduit au développement d'un premier prototype d'exosquelette « version hanche » complet (système électromécanique + loi de commande + interface utilisateur) et au développement de la partie matérielle du second prototype « version hanche-genou ».

Objectifs : Le but de cette thèse est de développer et d'implémenter l'ensemble des lois de commande et des algorithmes de génération de trajectoire permettant d'offrir une « assistance selon les besoins » adaptée à divers exercices de rééducation à la marche du patient hémi-parétique avec le prototype d'exosquelette « version hanche-genou ».

Une première partie des travaux de cette thèse portera sur la conception des lois de commande hybride en impédance variable [2, 4, 6] permettant de faire varier la souplesse de l'assistance procurée aux deux articulations du patient (hanche et genou) en fonction des différentes phases du mouvement, du type d'exercice exécuté et du paramétrage effectué par le thérapeute. Ces lois de commande seront associées à différents algorithmes de génération de trajectoire, permettant d'offrir une assistance adaptée au type d'exercice [3, 4].



Prototype version hanche-genou

Une deuxième partie portera en parallèle sur l'étude de l'instrumentation du prototype avec des centrales inertiennes et sur le traitement de données nécessaires pour récupérer des informations supplémentaires sur le mouvement de l'exosquelette et du patient. La structure de l'exosquelette disposant de nombreux degrés de liberté non-actionnés et non-instrumentés, les mesures actuellement acquises seulement au niveau des actionneurs sont en effet insuffisantes pour connaître la position exacte de l'exosquelette et du patient. L'utilisation de ces données comme entrées des lois de commandes et des algorithmes de génération de trajectoire sera étudiée en fonction de la qualité des résultats obtenus.

L'étape finale sera l'implémentation d'un exercice de marche complet pour des patients hémi-parétiques bien avancés dans leur rééducation, avec l'étude de la génération en ligne d'une trajectoire de marche, cohérente d'un point de vue biomécanique, à appliquer au membre assisté pour obtenir une marche synchronisée avec le mouvement réel du membre sain non-assisté. La commande de l'exosquelette sera testée durant des investigations cliniques au CHU de Bordeaux.

Candidature

Profil recherché : Le candidat doit avoir un très bon niveau en modélisation des systèmes mécaniques et mécatroniques ainsi qu'en automatique (contrôle de systèmes linéaires/non-linéaires). Une expérience en modélisation biomécanique et/ou traitement du signal appliqué aux centrales inertiennes constitue un plus. Le doctorant étant amené à travailler en équipe avec d'autres doctorants, stagiaires et partenaires rattachés au projet RehabXO, de bonnes capacités de communication et de travail en équipe sont requises, ainsi qu'une bonne maîtrise de l'anglais. Des compétences solides en programmation (en particulier MatLab/Simulink, C/C++ et langage automate ST) et une appétence pour les activités expérimentales seront appréciées, ainsi qu'un intérêt pour les applications dans le domaine médical.

Le candidat intéressé est invité à soumettre sa candidature par email à jason.chevrie@uphf.fr, en copie à antoine.dequidt@uphf.fr et laurent.vermeiren@uphf.fr, en incluant obligatoirement les éléments suivants :

- lettre de motivation
- CV
- relevés de notes de Master ou d'école d'ingénieur
- lettre(s) de recommandation ou noms/coordonnées des référents de stage

Références

- [1] G. Moucheboeuf, R. Griffier, D. Gasq, B. Glize, L. Bouyer, P. Dehail, and H. Cassoudeulle, "Effects of robotic gait training after stroke : A meta-analysis," *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, vol. 63, no. 6, pp. 518–534, 2020. doi: 10.1016/j.rehab.2020.02.008.
- [2] G. Courtois, J. Chevrie, A. Dequidt, X. Bonnet, and P. Pudlo, "Design of a rehabilitation exoskeleton with impedance control : First experiments," in *Proceedings of the 18th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics - ICINCO*, pp. 469–476, INSTICC, SciTePress, 2021. doi: 10.5220/0010580004690476.
- [3] G. Courtois, A. Dequidt, J. Chevrie, X. Bonnet, and P. Pudlo, "Gait-oriented post-stroke rehabilitation tasks online trajectory generation for 1-dof hip lower-limb exoskeleton," in *2023 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pp. 1–6, 2023. doi: 10.1109/ICORR58425.2023.10304696.
- [4] G. Courtois, *Actionnement et commande d'un exosquelette de membre inférieur pour la rééducation à la marche du patient hémiparétique sévère*. thèse de doctorat, July 2024. HAL Id: tel-05088593.
- [5] A. Rossi, S. Lepreux, G. Courtois, and C. Kolski, "Vers l'acceptation d'une interface utilisateur pour manipuler un exosquelette en rééducation à la marche post-AVC," in *IHM'24 - 35e Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine*, vol. IHM'24 : Actes étendus de la 35ème conférence Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, (Paris, France), AFIHM and Sorbonne Université, Mar. 2024. HAL Id: hal-04487273 .
- [6] M. Thieffry, A. Dequidt, L. Vermeiren, and P. Pudlo, "Stability analysis of variable impedance control for rehabilitation exoskeletons : quasi-lpv models and lmi conditions," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 59, no. 18, pp. 73–78, 2025. 14th IFAC Symposium on Robotics ROBOTICS 2025. doi: 10.1016/j.ifacol.2025.10.199.

PhD thesis title: Control of a gait rehabilitation exoskeleton for post-stroke hemiparetic patients

Laboratory: LAMIH – UMR CNRS 8201 (Valenciennes, France)

Department: Automation

Co-supervision:

- Jason Chevie (jason.chevie@uphf.fr)
- Antoine Dequidt (antoine.dequidt@uphf.fr)
- Laurent Vermeiren (laurent.vermeiren@uphf.fr)

Tentative starting date: September 1st, 2026 (for 3 years)

Application deadline: Position open until filled

Salary: around 2300€ gross per month (ANR funding).

Description

Context: Post-stroke robot-assisted gait-training is a tool for increasing a patient's chance of long-term recovery. It has notably been shown to bring improvements in walking speed and gait pattern [1]. However, when reviewing rehabilitation protocols offered by commercially available exoskeletons, it is seen that the primarily used task is the repetition of an imposed bilateral walking motion. In this context, the RehabXO project (ANR project piloted by the University Hospital of Bordeaux) aims at developing an exoskeleton specifically designed for post-stroke gait rehabilitation of hemiparetic patients that provides among others:

- a catalog of specific protocols, such as single-leg assisted gait pattern or straight-line walking with variable step size and pace, for example,
- adaptive walking trajectories, generated from biomechanical walk models, to synchronize the assisted deficient limb with the unassisted healthy limb,
- an "assist-as-needed" control based on variable impedance control to promote patient participation.

One of the projects objectives is to finish the development of a complete "hip-knee" prototype, and then to demonstrate its safety, feasibility, and rehabilitation performance in post-stroke patients during a clinical investigation conducted at the University Hospital of Bordeaux.

The work of the RehabXO project continues and extends the work already done during the RehabByEXO project [2, 3, 4, 5], which led to the development of a first complete "hip only" prototype (hardware + control law + human-machine interface) and to the development of the hardware part of the second "hip-knee" prototype.

Objectives: The goal of this PhD thesis is to develop and implement the control laws and trajectory generation algorithms to offer an assistance "as-needed" adapted to several gait rehabilitation exercises for hemiparetic patients with the "hip-knee" exoskeleton prototype.

A first part of the work will cover the design of hybrid variable impedance control laws [2, 4, 6] to enable a variation in the compliance of the assistance provided to both patient joints (hip and knee) depending on the different motion phases, on the type of exercises and on the parameters set by the clinician. These control laws will be coupled to different trajectory generation algorithms to offer an assistance adapted to each exercise type [3, 4].

A second part will consist in the study in parallel of the instrumentation of the prototype using inertial measurement units and the required data processing to obtain additional data on the exoskeleton and



"Hip-knee" prototype

patient motion. The exoskeleton structure has many non-actuated and non-instrumented degrees of freedom, so that the currently available measures on the actuators are not sufficient to retrieve the exact position of the exoskeleton and patient. The use of the resulting data as input to the control laws and trajectory generation algorithms will be studied depending on the quality of these data.

The final step will be to implement a complete gait exercise for hemiparetic patients that are well advanced in the rehabilitation process, with the study of the online generation of the biomechanically compatible gait trajectory to apply to the assisted deficient limb in order to obtain a gait pattern that is synchronized with the motion of the unassisted healthy limb. The control of the exoskeleton will be validated during clinical investigations at the University Hospital of Bordeaux.

Application

Desired profile: Candidates should have a very good level in mechanical and mechatronic system modeling, as well as in control engineering (linear/non-linear system control). Experience in biomechanical modeling and/or signal processing applied to inertial measurement units are a plus. Since the candidate will have to collaborate with other PhD or Master's students and with other partners of the RehabXO project, good communication skills and the ability to work in a team are required, as well as a good level of English proficiency. Solid programming skills (in particular MatLab/Simulink, C/C++ and ST language for PLC) and a certain interest for experimental work will be appreciated, as well as an interest in applications in the medical field.

Interested candidates are invited to submit their application by e-mail to jason.chevrie@uphf.fr, with a copy to antoine.dequidt@uphf.fr and laurent.vermeiren@uphf.fr, including all the following elements:

- cover letter
- CV
- transcript of records of Master degree or Engineering school
- recommendation letter(s) or contact information of Master thesis supervisors

References

- [1] G. Moucheboeuf, R. Griffier, D. Gasq, B. Glize, L. Bouyer, P. Dehail, and H. Cassoudeulle, "Effects of robotic gait training after stroke: A meta-analysis," *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, vol. 63, no. 6, pp. 518–534, 2020. doi: 10.1016/j.rehab.2020.02.008.
- [2] G. Courtois., J. Chevrie., A. Dequidt., X. Bonnet., and P. Pudlo., "Design of a rehabilitation exoskeleton with impedance control: First experiments," in *Proceedings of the 18th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics - ICINCO*, pp. 469–476, INSTICC, SciTePress, 2021. doi: 10.5220/0010580004690476.
- [3] G. Courtois, A. Dequidt, J. Chevrie, X. Bonnet, and P. Pudlo, "Gait-oriented post-stroke rehabilitation tasks online trajectory generation for 1-dof hip lower-limb exoskeleton," in *2023 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pp. 1–6, 2023. doi: 10.1109/ICORR58425.2023.10304696.
- [4] G. Courtois, *Actionnement et commande d'un exosquelette de membre inférieur pour la rééducation à la marche du patient hémiplégique sévère*. thèse de doctorat, July 2024. HAL Id: tel-05088593.
- [5] A. Rossi, S. Lepreux, G. Courtois, and C. Kolski, "Vers l'acceptation d'une interface utilisateur pour manipuler un exosquelette en rééducation à la marche post-AVC," in *IHM'24 - 35e Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine*, vol. IHM'24 : Actes étendus de la 35ème conférence Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, (Paris, France), AFIHM and Sorbonne Université, Mar. 2024. HAL Id: hal-04487273 .
- [6] M. Thieffry, A. Dequidt, L. Vermeiren, and P. Pudlo, "Stability analysis of variable impedance control for rehabilitation exoskeletons: quasi-lpv models and lmi conditions," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 59, no. 18, pp. 73–78, 2025. 14th IFAC Symposium on Robotics ROBOTICS 2025. doi: 10.1016/j.ifacol.2025.10.199.