

ED SMAER
Sujet de thèses 2013

Laboratoire : **Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique : ISIR**

Etablissement de rattachement : **UPMC-CNRS : UMR7222**

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : **Agnès Roby-Brami, DR Inserm, CSS8.**

Codirection et section CNU et CNRS : **Nathanael Jarrassé, CR CNRS**

Titre de la thèse :

« Interactions physiques homme-exosquelette pour la rééducation : partage de contrôle au niveau articulaire et renforcement sensorimoteur ».

Collaborations dans le cadre de la thèse : **Pascale Pradat-Diehl (PU-PH, Hôpital de la Salpêtrière),**

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : **OUI NON**

Ce projet de thèse consiste à développer, mettre en place et évaluer des modes de commandes destinés à la rééducation du membre supérieur chez le patient hémiparétique. Il est basé sur la plateforme exosquelette ABLE (CEA-LIST) et sur un principe innovant de commande en dimension articulaire développé au laboratoire dans le cadre du projet ANR-PSIROB BRAHMA [1-3].

Le but principal est de développer un ensemble de lois de commandes permettant l'application par un exosquelette de différents types de contraintes indépendamment applicables dans l'espace articulaire ou dans l'espace de l'effecteur. Un nouveau mode de commande visant à imposer un schéma de coordination articulaire (synergie) choisi a été précédemment développé [2]. Il exploitait à la fois la redondance de l'exosquelette 4 axes dans une tâche simple de pointage à 3 degrés de libertés et l'utilisation de champs visqueux. Le but de la thèse est de travailler à l'amélioration de ce mode de contrôle innovant, un des seuls à ce jour tirant réellement parti de la structure de l'exosquelette comparée aux modes assistifs et perturbateurs classiquement employés sur des structures ayant un point unique d'attache.

Il s'agit donc principalement :

- D'évaluer les possibilités d'utilisation de champs de forces perturbateurs dans l'espace articulaire du bras humain. Jusqu'ici seule l'application de champs perturbateurs (généralement plans) sur l'effecteur terminal a été concrètement évaluée dans un cadre de l'adaptation sensorimotrice et de la rééducation robotisée. Il serait donc intéressant de vérifier si les résultats obtenus par un certains nombres d'équipes peuvent être généralisés au niveau articulaire (comme par exemple l'utilisation du post-effet généré par des champs perturbateurs pour corriger une mauvaise coordination articulaire). On comparera l'effet des champs visqueux et des champs dits élastiques pour l'imposition de synergies choisies. L'effet immédiat sera analysé de façon quantitative [1] ainsi que les possibilités d'adaptation pendant la répétition des exercices (réduction de l'effet des champs) et/ou de rebond à l'arrêt (post-effet). Ce mode de commande sera étendu à des tâches de préhension d'objet (tâche de 4 degrés de libertés et plus).

- De développer un ensemble d'outils d'analyse permettant une quantification des caractéristiques du mouvement réalisé par un sujet lors d'une interaction avec un exosquelette. Les exosquelettes étant encore des objets de laboratoires plutôt que des outils cliniques, il n'existe pas de méthodes permettant de réaliser une évaluation quantitative des effets au niveau articulaire d'un mode de commande sur un mouvement humain. Nous souhaiterions donc développer la méthode initialement présentée dans [1] afin de la rendre plus précise sur l'évaluation des altérations des coordinations articulaires. Après validation, les indices et protocoles d'évaluation ainsi définis pourraient par la suite être directement utilisés pour de futurs essais cliniques. De même, un certains nombre de ces indices de qualité du mouvement pourraient être intégrés à terme à une version clinique du contrôleur de l'exosquelette afin de renseigner le thérapeute sur la qualité des mouvements, les performances, voire l'évolution de ses capacités motrices, et ce en temps réel (ou régulièrement durant la session pour certains indices).

- D'étudier les conséquences sensorimotrices des interactions homme-exosquelette lors de gestes simples dans un environnement virtuel. Les interfaces haptiques habituelles agissent au niveau du point de travail (l'extrémité) du robot pour générer des forces et couples de contact. À notre connaissance, la pertinence d'une structure de type exosquelette pour générer une interaction haptique n'a encore jamais été étudiée. Lors d'un contact de l'extrémité de l'exosquelette avec un obstacle virtuel (objet, paroi...) les couples et forces du retour d'effort doivent être répartis sur les actionneurs généralement redondants de l'exosquelette, qui agissent eux mêmes au travers des différents points d'attache répartis sur le bras humain. Nous nous proposons d'étudier ce type de situation dans deux buts. D'abord pour préciser les conditions théoriques de l'interaction homme-exosquelette qui provoquent des illusions de contact extérieur. Ensuite,

dans un but clinique, car les sensations produites par l'action de l'exosquelette sur le patient sont un élément important de la rééducation. On développera à cet effet des modes de commande susceptibles de provoquer des sensations de perturbations de la coordination épaule-coude, en espérant qu'elles inciteront les patients à corriger leur trajectoire. Les interactions haptiques homme-exosquelette pourront également être couplées à d'autres dispositifs de feedback (visuel, tactile, sonore développés dans le cadre d'autres projets de l'équipe) pour enrichir l'environnement de rééducation et informer le patient de la qualité et de la réussite de ses mouvements.

De manière générale, l'objectif de cette thèse sera de développer des modes de commande soit assistifs (consistant à guider la coordination), soit perturbant (consistant à provoquer des sensations pour obtenir une correction active par la personne) et les méthodologies d'évaluation associées. Ces modes seront étudiés expérimentalement chez des sujets valides, et la preuve de concept testée chez des patients. A terme, le but est de préparer une comparaison et évaluation de ces deux types de modes de commande en milieu clinique.

- [1] Jarrassé N., Tagliabue M., Robertson J., Maiza A., Crocher V., Roby-Brami A., Morel G. A methodology to quantify alterations in human upper limb movement during co-manipulation with an exoskeleton. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2010, 18(4):389-97.
- [2] Crocher V, Sahbani A, Robertson J, Jarrasse N, Roby-Brami A, Morel G, Constraining upper-limb synergies of hemiparetic patients using a robotic exoskeleton in the perspective of neurorehabilitation. Submitted to IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.
- [3] Jarrassé, N. and Morel, G. (2011). Connecting a Human Limb to an Exoskeleton..IEEE Transactions on Robotics. to appear.