



**Mercredi 14 Octobre  
2020 à 14h...**

## Programme de la Journée doctorants FEDEV 2020 *Sciences du Mouvement*

**13h55** Accueil

### Session “Interaction sociale et Communication / Mobilité et Activité Physique”

**14h Thomas TREAL & Aurore MEUGNOT**

*Implémenter des oscillations posturales humaines naturelles à un personnage virtuel augmente la réponse empathique des participants envers son expression faciale de douleur (CIAMS)*

**14h20 Adrien CONESSA, Isabelle SIEGLER, & Arnaud BOUTIN**

*Sommeil et apprentissage moteur (CIAMS)*

**14h40 Anne-Laure GUINET, Guillaume BOUYER, Samir OTMANE, & Eric DESAILLY**

*Rééducation de la marche en réalité augmentée pour les enfants atteints de paralysie cérébrale (UNAM, IBISC)*

### Session “Humain Artificiel Bio-inspiré”

**15h Dorian VERDEL, Simon BASTIDE, Nicolas VIGNAIS, Olivier BRUNEAU, & Bastien BERRET**

*Performance index and identification method improving the transparency of a robotic orthosis (LURPA, CIAMS)*

**15h20 Vincent FORTINEAU, Isabelle SIEGLER, Maria MAKAROV, & Pedro RODRIGUEZ-AYERBE**

*Robotique interactive pour l'estimation d'impédance mécanique chez l'humain, lors de tâches rythmiques (L2S, CIAMS)*

**15h40 Benjamin TREUSSART, Franck GEFFARD, Frédéric MARIN, Nicolas VIGNAIS**

*Personnalisation d'un système de contrôle d'exosquelette de membre supérieur basé sur le signal EMG (CEA-LIST, CIAMS, UMR Biomécanique et Bio-ingénierie)*

**16h Jinan CHARAFEDDINE, Sylvain CHEVALLIER, Samer ALFAYAD, Didier PRADON**

*Contributions à l'utilisation des signaux biomécaniques dans la réhabilitation de mouvement à travers des systèmes mécatroniques (LISV, IBISC, END-ICAP)*

**16h20** Discussion générale

**16h30** Pause et délibérations jury en parallèle

**17h** Annonce des résultats du *Prix Demeny-Vaucanson 2020* sur zoom

**17h15** Fin de la journée FEDEV 2020

# Implémenter des oscillations posturales humaines naturelles à un personnage virtuel augmente la réponse empathique des participants envers son expression faciale de douleur

Thomas Treal<sup>1</sup> & Aurore Meugnot<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire "Complexité, Innovation, Activités Motrices et Sportives" (UR CIAMS) Université Paris-Saclay  
[thomas.treal@u-psud.fr](mailto:thomas.treal@u-psud.fr) ; [aurore.meugnot@u-psud.fr](mailto:aurore.meugnot@u-psud.fr)

**Introduction :** Bien que la réalité virtuelle permette de créer des paradigmes de plus en plus écologiques en neurosciences sociales, des progrès restent à faire concernant le réalisme des personnages virtuels avant de pouvoir extrapoler au monde réel les résultats obtenus avec la réalité virtuelle (Pan & Hamilton 2018). Dans cette perspective, une récente étude a montré qu'implémenter mécaniquement des mouvements *idle* (i.e. des mouvements à priori neutres et non communicatifs tels que la respiration, les clignements des yeux) à un personnage virtuel exprimant de la douleur influence la perception et le réalisme de son expression de douleur (Treal et al., 2020). La présente étude vise à étendre ces résultats en utilisant un paradigme plus écologique où l'on ajoute des mouvements *idle* biologiques (ici oscillations posturales propres à l'équilibration humaine dynamique) issus de la capture du mouvement. Deux expériences ont été menées afin d'étudier l'influence de ces mouvements *idle* biologiques sur la réaction empathique des participants (évaluation de l'intensité de l'émotion (*Expérience 1*) et réaction affective (*Expérience 2*) (Coll et al., 2017)) face à l'expression de douleur du personnage virtuel.

**Méthode :** 32 jeunes adultes (16 femmes, âge moyen = 18,31 ans  $\pm$  0,53) (*Expérience 1*) et 34 jeunes adultes (17 femmes, âge moyen = 18,56 ans  $\pm$  1,35) (*Expérience 2*) ont participé à l'étude. Chaque expérience était constituée des mêmes stimuli : une vidéo de 4 secondes d'un avatar (issu de la plateforme *Empathy-Enhancing Virtual Evolving Environment* (EEVEE, Jackson et al. 2015) animé de 5 intensités d'expression faciale de douleur (20%, 40%, 60%, 80%, 100% de contraction des AUs de l'expression de douleur (Prkachin, 1992) x 2 conditions d'animations corporelles (corps figé ou animé avec des mouvements *idle* biologiques). Les mouvements *idle* implémentés ont été enregistré chez un jeune adulte (âge = 20 ans) en stature debout qui avait pour consigne de « se tenir debout naturellement ». Après le visionnage de chaque vidéo les participants devaient juger s'il s'agissait d'une douleur « Très Intense » ou « Peu Intense » (*Expérience 1*) ou reporter s'ils se sentaient « Touché(e) » ou « Pas Touché(e) » par l'expression de douleur (*Expérience 2*). Nous avons réalisé des régressions logistiques sur le % de réponses « Très Intense » et « Touché(e) » afin de récupérer le Point d'Egalisation Subjective (PES) et la Différence Juste Perceptible (DJP) en utilisant la formule :  $y = 1/(1+\exp(-(x-\text{PES})/\text{JND}))$ . Des t-tests ont ensuite été réalisés sur les PES et DJP entre les conditions d'animation corporelle (figé et *idle*).

**Résultats :** Les t-test révèlent un PSE significativement plus faible que ce soit pour le jugement de l'intensité de douleur ( $p=.035$ ) ou pour le sentiment d'être « Touché(e) » ( $p=.040$ ) dans la condition *idle*. Ces résultats indiquent que les participants jugent l'expression de douleur comme « Très Intense » et reportent se sentir « Touché(e) » pour une expression de douleur plus faible dans la condition *idle*. Pour le DJP, les t-tests révèlent un DJP significativement plus faible le jugement de l'intensité de douleur ( $p=.033$ ) mais pas pour le sentiment d'être « Touché(e) » ( $p=.59$ ). Ces résultats indiquent que les participants sont plus précis dans leur catégorisation dans la condition *idle* pour le jugement de l'intensité de l'expression faciale mais pas pour leur sentiment d'être « Touché(e) ».

**Conclusion :** Les mouvements *idle* augmentent la réaction empathique des participants face à l'expression de douleur du personnage virtuel justifiant leur intérêt pour améliorer les plateformes virtuelles. Implémentés sous forme de mouvements biologiques, ils pourraient contribuer à une catégorisation précoce du personnage virtuel comme un être humain par le système perceptif de l'utilisateur, augmentant ainsi la qualité de l'interaction.

## Références

- Coll, M.-P., Viding, E., Rütgen, M., Silani, G., Lamm, C., Catmur, C., & Bird, G. (2017). Are we really measuring empathy? Proposal for a new measurement framework. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 83, 132-139.
- Jackson, P. L., Michon, P.-E., Geslin, E., Carignan, M., & Beaudoin, D. (2015). EEVEE: The Empathy-Enhancing Virtual Evolving Environment. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9.
- Pan, X., & Hamilton, A. F. de C. (2018). Why and how to use virtual reality to study human social interaction: The challenges of exploring a new research landscape. *British Journal of Psychology*, 109(3), 395-417.
- Prkachin, K. M. (1992). The consistency of facial expressions of pain: A comparison across modalities. *Pain*, 51(3), 297-306.
- Treal, T., Jackson, P. L., & Meugnot, A. (2020). Combining trunk movement and facial expression enhances the perceived intensity and believability of an avatar's pain expression. *Computers in Human Behavior*, 112, 106451.

# SOMMEIL ET APPRENTISSAGE MOTEUR

Adrien CONESSA<sup>1,2</sup>, Isabelle SIEGLER<sup>1,2</sup>, Arnaud BOUTIN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>CIAMS, Université Paris-Saclay, Orsay

<sup>2</sup>CIAMS, Université d'Orléans, Orléans

adrien.conessa@universite-paris-saclay.fr

## Résumé

**Introduction.** L'acquisition d'une habileté motrice passe par la répétition de sa pratique physique mais d'autres modalités d'apprentissage existent : l'imagerie motrice (IM ; la répétition mentale de la tâche) et l'observation de l'action (OA). Le sommeil joue un rôle majeur dans la consolidation des apprentissages moteurs, marquée au niveau comportemental par des gains spontanés de performance après le sommeil (Walker et al., 2002). Ce processus mnésique est régulé par une activité thalamo-corticale transitoire visible à l'électroencéphalographie (EEG) appelée fuseau du sommeil (FS). Les FS reflètent une réactivation pendant le sommeil lent léger des circuits neuronaux initialement impliqués dans l'acquisition de l'habileté motrice et leur densité (nombre de répétitions par minute) est corrélée aux gains de performance après le sommeil (e.g., Boutin et al., 2018). Récemment, il a été suggéré que la consolidation de la mémoire serait liée à l'apparition des FS au sein de groupes organisés en « trains » (Boutin and Doyon, 2020). À notre connaissance il n'existe aucune étude montrant l'effet spécifique du sommeil, et des FS en particulier, sur la consolidation d'une habileté acquise par IM et par OA. L'objectif de cette étude est de déterminer les effets du sommeil sur la consolidation des apprentissages moteurs suite à une pratique physique (PP), par IM et par OA. **Méthode.** Nous avons enregistré l'activité cérébrale par EEG des participants pendant une sieste de 90 minutes suite à la pratique par PP, IM ou OA d'une tâche motrice séquentielle avec la main non-dominante. Des tests de performance ont été réalisés avant et après la sieste afin d'évaluer au niveau comportemental les effets du sommeil sur la consolidation des apprentissages moteurs en fonction de la modalité de pratique. **Analyses.** Les analyses EEG préliminaires portent sur l'analyse temps-fréquence et la densité des FS. Au niveau comportemental, la performance correspond au temps de réponse moyen pour réaliser les séquences. **Résultats.** Les résultats préliminaires montrent une amélioration des performances lors de la phase d'acquisition, et ce indépendamment de la modalité de pratique. Ces résultats sont en faveur de l'utilisation de l'IM et de l'OA pour l'apprentissage d'une tâche motrice. Cependant, seul le groupe IM semble bénéficier de gains après le sommeil. De plus, les analyses temps-fréquence des FS montrent, pour la première fois, une organisation des FS en « trains » pour les 3 modalités. **Discussion.** Nos résultats suggèrent que le sommeil est d'autant plus bénéfique que la modalité d'apprentissage engage des processus cognitifs, en accord avec les théories actuelles stipulant que le sommeil n'améliorerait pas mais stabiliserait les performances des habiletés purement motrices (Nettersheim et al., 2015). La consolidation des apprentissages semble passer par la réactivation répétée et groupée des FS, quelle que soit la modalité d'acquisition. De plus amples analyses et plus de participants sont nécessaires afin de confirmer ces résultats préliminaires.

## Références

- Boutin A, Doyon J. A sleep spindle framework for motor memory consolidation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2020;375:20190232.
- Boutin A, Pinsard B, Boré A, Carrier J, Fogel SM, Doyon J. Transient synchronization of hippocampo-striato-thalamo-cortical networks during sleep spindle oscillations induces motor memory consolidation. *NeuroImage* 2018;169:419–30.
- Nettersheim A, Hallschmid M, Born J, Diekelmann S. The Role of Sleep in Motor Sequence Consolidation: Stabilization Rather Than Enhancement. *J Neurosci* 2015;35:6696–702.
- Walker MP, Brakefield T, Morgan A, Hobson JA, Stickgold R. Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron* 2002;35:205–11.

# Rééducation de la marche en réalité augmentée pour les enfants atteints de paralysie cérébrale

AL. Guinet<sup>ab</sup>, G. Bouyer<sup>b</sup>, S. Otmane<sup>b</sup> et E. Desailly<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Fondation Ellen Poidatz, Saint Fargeau Ponthierry; <sup>b</sup>Laboratoire IBISC, Université Evry-Paris Saclay

## 1. Résumé

Le projet ARROW CP est le fruit d'une collaboration entre le laboratoire IBISC et le pôle Recherche & Innovation de la fondation Poidatz. L'objectif global est d'améliorer le schéma de marche, en particulier les paramètres spatio-temporels, des enfants atteints de paralysie cérébrale après chirurgie multisite des membres inférieurs. Pour cela, nous développons en concertation avec des cliniciens, des ingénieurs et des chercheurs, un jeu sérieux en réalité augmentée en se basant sur des précédents cliniques éprouvés (Moreau et al., 2016). Notre approche pluridisciplinaire combine les stratégies de rééducation, le contrôle moteur, les sciences du mouvement, les théories des feedbacks et les sciences de l'informatique. La première étape a consisté en l'exploration de la littérature sur la rééducation après chirurgie multisite chez les enfants atteints de paralysie cérébrale (PC)<sup>1</sup>, la rééducation de la marche, les jeux sérieux et les modalités de feedbacks. Après une revue technique sur les différents outils technologiques à disposition, notre choix s'est porté sur le Microsoft Hololens. Il s'agit d'un casque de réalité augmentée qui permet de marcher dans un environnement réel en ajoutant des hologrammes virtuels et ainsi proposer une « *overground gait rehabilitation* ». Nous avons vérifié la fiabilité des paramètres spatio-temporels calculés par le casque Hololens vs. un système de capture du mouvement Vicon (Guinet et al., 2019). Nous avons développé, testé et validé un algorithme de détection des pas, implémenté dans le casque Hololens<sup>2</sup>, afin d'être en capacité de calculer la longueur des pas, la cadence et la vitesse de marche des enfants sans ajout de capteurs supplémentaires. Nous avons construit un modèle de feedback adapté à la réalité augmentée<sup>3</sup>, en se basant sur la littérature existante (MacIntosh et al., 2018). *Une première étude clinique incluant des enfants atteints de paralysie cérébrale est actuellement en cours.* Nous testons l'impact des différentes modalités de feedback, issues de notre modèle, sur l'atteinte d'une vitesse maximale et d'une vitesse intermédiaire. Les premiers résultats seront présentés à l'ISMAR (Guinet et al., 2020). Nous sommes en cours de développement de l'application finale ARROW CP qui sera testée au cours d'une deuxième étude clinique. Les enfants disposeront de l'application 3 fois par semaine pendant 4 semaines. Le contenu rééducatif du jeu sérieux a été préalablement mis au point à partir de protocoles déjà validés (Zwinkels et al., 2019). Les modalités de feedbacks seront multiples et feront l'objet de questions de recherche précises. L'efficacité clinique du dispositif sera testée sur des paramètres cinématiques en laboratoire de motion capture et des tests de marche en environnement non standardisé (test de marche de 6 minutes, muscle power sprint test).

## 2. Références

- Guinet, A.L., et al. 2020. Towards an AR game for walking rehabilitation: Preliminary study of the impact of augmented feedback modalities on walking speed. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality.
- Guinet, A.L., et al. 2019. Reliability of the head tracking measured by Microsoft Hololens during different walking conditions. Comput Methods Biomech Biomed Engin 159–161. <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1714228>
- Guinet AL, Khouri N, Desailly E. Rehabilitation after Single event Multi Level Surgery in children with cerebral palsy. Systematic review. European Journal of Physical Rehabilitation Medicine. 2020 (Submitted)
- Guinet AL, Bouyer G, Otmane S, Desailly E. Real-time detection of gait parameters with an augmented reality headset: Evaluation on children with cerebral palsy. (Article en cours d'écriture)
- Guinet AL, Bouyer G, Otmane S, Desailly E. Model of feedback: from theory to practice. (Article en cours d'écriture)
- MacIntosh, A., et al. 2018. Biofeedback interventions for individuals with cerebral palsy: a systematic review. Disability and Rehabilitation 1–23.
- Moreau, N.G., et al. 2016. Effectiveness of Rehabilitation Interventions to Improve Gait Speed in Children With Cerebral Palsy: Systematic Review and Meta-analysis. Physical Therapy 96, 1938–1954.
- Zwinkels, M., et al. 2019. Effects of High-Intensity Interval Training on Fitness and Health in Youth With Physical Disabilities: Pediatric Physical Therapy 31, 84–93.

# Performance index and identification method improving the transparency of a robotic orthosis

Dorian Verdel<sup>1,2,3\*</sup>; Simon Bastide<sup>2,3\*</sup>; Nicolas Vignais<sup>2,3</sup>; Olivier Bruneau<sup>1</sup> and Bastien Berret<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, LURPA, 94235 Cachan, France

<sup>2</sup> Université Paris-Saclay, CIAMS, 91405 Orsay, France

<sup>3</sup> CIAMS, Université d'Orléans, 45067 Orléans, France

<sup>4</sup> Institut Universitaire de France, Paris, France

[dorian.verdel@ens-paris-saclay.fr](mailto:dorian.verdel@ens-paris-saclay.fr) ; **Thème** : Homme artificiel bio-inspiré

## Résumé

Over the past decade, research on human-robot collaboration has grown exponentially, motivated by appealing applications to improve the daily life of patients in rehabilitation and operators at work [1]. A primary requirement in many applications is to implement highly "transparent" control laws to reduce the robot impact on human movement. Transparent control laws intend to minimize the interaction efforts between the exoskeleton and the user so that the user performs the most natural movements possible [2]. As these laws induced an average 30% movement slowdown [3], the aim of this study was to improve the transparency of an upper-limb exoskeleton. The impact of wearing an exoskeleton can be quantified through relevant motor control indices [4]. The present study focused on elbow flexion/extension movements which are well-known movements in the motor control literature [3,5]. The rationale was to evaluate motor performance within the exoskeleton by taking advantage of robust motor control indices. In the present study, we showed that control laws based on careful identification procedures taking into account movement direction, inspired from [6], improved transparency compared to classical closed-loop position control laws. A new performance index based on the ratio between electromyographic activity and limb acceleration was also introduced to assess the quality of human-exoskeleton interaction.

## Références

- [1] De Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S., and O'Sullivan, L. W. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics* 59, 5 (May 2016), 671–681.
- [2] Proietti, T., Crocher, V., Roby-Brami, A., and Jarrasse, N. Upper-Limb Robotic Exoskeletons for Neurorehabilitation: A Review on Control Strategies. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* 9 (2016), 4–14.
- [3] Jarrassé, N., Tagliabue, M., Robertson, J. V. G., Maiza, A., Crocher, V., Roby-Brami, A., and 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* 18, 4 (Aug. 2010), 389–397.
- [4] Bastide, S., Vignais, N., Geffard, F., and Berret, B. Interacting with a "transparent" upper-limb exoskeleton : a human motor control approach. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (2018)*, 4661–4666.
- [5] Gaveau, J., Berret, B., Demougeot, L., Fadiga, L., Pozzo, T., and Papaxanthis, C. Energy-related optimal control accounts for gravitational load: comparing shoulder, elbow, and wrist rotations. *Journal of Neurophysiology* (2014), 4–16.
- [6] P. Hamon, M. G., and Garrec, P. Dynamic identification of robots with a dry friction model depending on load and velocity. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (Oct. 2010)*, 6187–6193.

\*These authors contributed equally

# Robotique interactive pour l'estimation d'impédance mécanique chez l'humain, lors de tâches rythmiques

Vincent Fortineau<sup>1,2</sup>, Isabelle Siegler<sup>2</sup>, Maria Makarov,<sup>1</sup> Pedro Rodriguez-Ayerbe<sup>1</sup>

1- L2S, 2- CIAMS

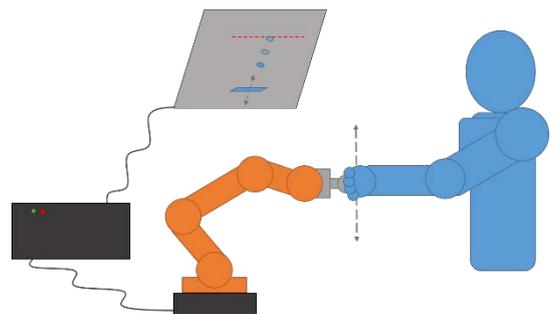
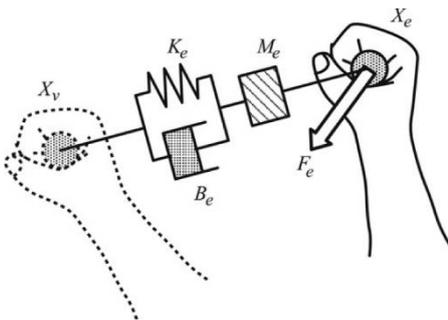
vincent.fortineau@centralesupelec.fr

## Résumé

Avec le développement de la robotique au contact de l'humain ; la robotique interactive - *que ce soit à travers des exosquelettes, des robots chirurgiens, ou des robots industriels collaboratifs* - comprendre et reproduire la robustesse des interactions physiques de l'humain avec son environnement est devenu un sujet important pour la sécurité, la robustesse, et l'efficacité énergétique des robots.

L'étude du contrôle moteur humain sous les prismes de l'automatique et des neurosciences s'inscrit donc dans cette démarche depuis plusieurs décennies [1]. L'étude de l'impédance mécanique, et donc de la biomécanique permet de modéliser des relations entre les forces d'interactions et les variables cinématiques lors de contacts physiques. Toutefois, l'identification des paramètres constitutifs de l'impédance reste laborieuse.

En continuant les travaux s'intéressant la tâche de jonglerie [2] pour y intégrer des problématiques dynamiques, on proposera une méthodologie d'évaluation d'impédance au cours de la tâche rythmique en utilisant un robot articulé [3]. Des résultats préliminaires sont présentés, avec leurs limitations et les solutions envisagées et mises en place pour les résoudre. L'ambition finale est de mesurer le comportement biomécanique humain, d'observer les variations d'impédance et d'évaluer leur intérêt pour la robustesse de la tâche, pour les reproduire en robotique.



## Références

- [1] N. Hogan, "Adaptive control of mechanical impedance by coactivation of antagonist muscles," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 29, no. 8, pp. 681–690, Aug. 1984.
- [2] G. Avrin, I. A. Siegler, M. Makarov, and P. Rodriguez-Ayerbe, "The self-organization of ball bouncing," *Biol Cybern*, vol. 112, no. 6, pp. 509–522, Dec. 2018
- [3] V. Fortineau, M. Makarov, P. Rodriguez-Ayerbe, I. A. Siegler. Interactive robotics for human impedance estimation in a rhythmic task. *2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, Aug 2020.

# Personalizing the control law of an upper-limb exoskeleton using EMG signal

Treussart Benjamin<sup>1</sup>, Geffard Franck<sup>1</sup>, Marin Frédéric<sup>2</sup>, Vignais Nicolas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CEA-List, Saclay, France, [benjamin.treussart@cea.fr](mailto:benjamin.treussart@cea.fr) [franck.geffard@cea.fr](mailto:franck.geffard@cea.fr) <sup>2</sup>Biomécanique et Bio-ingénierie UMR CNRS 7338, Université de Technologie de Compiègne, Compiègne, France, [frederic.marin@utc.fr](mailto:frederic.marin@utc.fr) <sup>3</sup>CIAMS, Univ. Paris-Saclay, Orsay, France and CIAMS, Univ. d'Orléans, Orléans, France, [nicolas.vignais@universite-paris-saclay.fr](mailto:nicolas.vignais@universite-paris-saclay.fr)

## Résumé

Industrial workers are performing repetitive physical tasks, which expose them to musculoskeletal disorders (MSD) [1]. MSD is a major public health issue, with an impact on workers' integrity and business economy. Indeed, MSD are causing both losses in productivity and high healthcare costs. According to a recent report, MSD have led to the loss of 10 million work days in France in 2012, with an average cost of 21 k€ per case of MSD [2]. A way to prevent MSDs is to assist workers during forceful exertions, e.g. load carrying tasks, thus relieving the strain they endure.

In this context, exoskeletons may become a promising solution for industrial load carrying. In a previous study, we implemented an EMG-based control law for an upper-limb exoskeleton dedicated to the carrying of unknown load [3]. The control was based on an integral corrector and the gain was the same for each participant. In the present study, we investigated the impact of the personalization of this gain, i.e. based on the user's response time. Ten participants took part in an experiment that was designed to compare the effect of a generic gain vs. a personalized one. Each participant performed a lifting task fifty times with both type of assistance conditions in a randomized order. Precision and muscle activity were evaluated as objective criteria and a questionnaire was employed to assess the user's feeling toward the assistance.

A significant reduction in muscle activity for the anterior deltoid between the beginning and the end of each situation was observed, results ranged from  $24.9 \pm 8.5\%$  of Relative Maximal Contraction (RMC) to  $18.0 \pm 6.8\%$  for the personalized gain condition. Both conditions yielded similar muscle activities on average but when focusing on first repetitions, the personalized gain condition showed a reduced activity compared to the generic condition ( $29.0 \pm 8.0\%$  RMC and  $37.4 \pm 9.5\%$  RMC respectively). The subjective evaluation showed that both conditions were felt acceptable by participants. The subjective comparison however highlighted the fact that the personalized gain was easier to learn and required less attention.

## Références

[1] Vignais, N., Miezal, M., Bleser, G., Mura, K., Gorecky, D. and Marin, F., 2013. Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Applied ergonomics*, 44(4), pp.566-574.

[2] INRS, 2015. Troubles musculo-squelettiques - Statistiques. <http://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques/statistiques.html>

[3] Treussart, B., Geffard, F., Vignais, N., & Marin, F. (2020, May). Controlling an upper-limb exoskeleton by EMG signal while carrying unknown load. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 9107-9113). IEEE.

# Contributions à l'utilisation des signaux biomécaniques dans la réhabilitation de mouvement à travers des systèmes mécatroniques

Jinan Charafeddine<sup>1,3</sup>, Sylvain Chevallier<sup>1</sup>, Samer Alfayad<sup>2</sup>, Didier Pradon<sup>3</sup>  
1-LISV, 2- IBISC 3- END-ICAP

jinan.charafeddine@gmail.com, sylvain.chevallier@uvsq.fr, samer.alfayad@univ-evry.fr, didier.pradon@protonmail.com

## Résumé

Les activités quotidiennes sont une source de stress et de fatigue pour les personnes atteintes de spasticité des membres inférieurs. Une assistance doit être fournie tout en permettant une réhabilitation réussie. Les exosquelettes médicaux sont une des solutions très adaptés pour cet objectif. Cependant, ces exosquelettes rencontrent encore des problèmes au niveau du contrôle. Les méthodes existantes imposent une trajectoire prédéterminée au patient. Elles ne prennent pas compte l'intentionnalité du mouvement ni la capacité musculaire à le supporter. Ces facteurs sont générateurs de douleurs qui entravent par la suite le processus de réhabilitation.

Cette contribution vise à développer une nouvelle méthode de contrôle pour les exosquelettes médicaux. Nous avons introduit des mesures biomécaniques du patient tels que l'EMG et l'angle articulaire, avec la priorité d'un contrôle au cours de la marche. Cette méthode est réalisée en utilisant le minimum de capteurs tout en assurant le minimum d'erreurs. L'objectif est de produire un angle articulaire de marche corrigé selon la capacité musculaire et l'intention du patient. Ce travail préparatoire vise une application sur l'exosquelette de réhabilitation « SOL », dont la première version développée au LISV dispose de deux degrés de liberté actives sur la hanche et le genou. SOL est maintenant développé dans une deuxième version au laboratoire IBISC. Les résultats de l'application s'appuient sur les données enregistrées dans le laboratoire END-ICAP à l'aide de capteurs de marche pour des personnes en bonne santé, des personnes atteintes de paralysie cérébrale ou ayant connu un accident vasculaire cérébral.

La méthode proposée introduit une nouvelle stratégie de contrôle bio-cinématique à l'aide d'un indice nommé indice neuro-moteur (INM). L'INM est déterminé à partir des deux capteurs posés sur des paires de muscles agoniste/antagoniste pour déterminer les activités EMG communes pour la hanche et le genou. L'INM relie deux indices de co-contraction musculaire, reformulé à partir de l'état de l'art, par une régression non linéaire. Le choix des indices constituant l'INM est guidé par leur continuité par rapport à un cycle de marche complet. L'INM a ajouté une spécificité articulaire à ces indices. La corrélation entre l'INM et l'angle articulaire a montré une relation quasi-linéaire pour les sujets sains pour trois vitesses (lente, normale et rapide). Dans une boucle de contrôle haut-niveau, l'application d'une analyse canonique des corrélations CCA sur l'INM pour chaque articulation d'un patient et l'angle de référence pour la marche, permet d'estimer un nouvel angle articulaire en éliminant tout mouvement indésirable par rapport à l'angle de référence. Cet angle résultant est quasi normal selon l'expertise du patient et sa capacité musculaire. Il est utilisé comme entrée d'une boucle bas niveau pour contrôler l'exosquelette. L'INM est un indice robuste qui peut être utilisé pour les applications cliniques en dehors des exosquelettes. La méthode utilisée pour déterminer l'INM est une nouvelle méthode qui vise à trouver une spécificité pour les indices qui manquent de précision.

## Références

- Charafeddine, J., Chevallier, S., Khalil, M., Pradon, D. and Alfayad, S., 2019, October. *Neuromotor Strategy of Gait Rehabilitation for Lower-Limb Spasticity. Fifth IEEE International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME)*
- Charafeddine, J., Chevallier, S., Khalil, M., Pradon, D. and Alfayad, S., 2019, July. *Neuro-motor index: designing an EMG control scheme robust to lower-limb disorder. 41st IEEE International Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC)*.
- Charafeddine, J., Pradon, D., Chevallier, S., Alfayad, S., Khalil, M., 2019, October. *Toward bio-kinematic for secure use of rehabilitation exoskeleton. 44ème Congrès de la Société de Biomécanique (CMBBE)*.
- Charafeddine, J., Chevallier, S., Alfayad, S., Khalil, M. and Pradon, D., 2019. *Biokinematic Control Strategy for Rehabilitation Exoskeleton Based on User Intention. International Journal of Modeling and Optimization*, 9(6), pp.322-328.