

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse¹ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR :

Nom : GROSPRETRE

Prénom : Sidney

Section CNU : 74

Grade : MCF-HDR

HDR : Date de soutenance : 01 octobre 2021 Discipline : STAPS neurosciences

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) :

Sidney Grosprêtre

Laboratoire C3S

UFR STAPS

31, rue de l'Épitaphe

25000 Besançon

Tél. : 03 81 66 67 98

Courriel : sidney.grospretre@univ-fcomte.fr

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) :

C3S Culture, Sport, Santé, Société

Unité de Recherche (UR) 4660

Directeur : Prof. Christian VIVIER

Co-directeur de thèse éventuel :

Nom : DURY

Prénom : Jeanne

Section CNU : 74

Grade : MCF

HDR : non ; oui

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) :

Jeanne DURY

Laboratoire C3S

UFR STAPS

31, rue de l'Épitaphe

25000 Besançon

Tél. :

Courriel : jeanne.dury@univ-fcomte.fr

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) :

C3S Culture, Sport, Santé, Société

Unité de Recherche (UR) 4660

Directeur : Prof. Christian VIVIER

2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :

Nom de l'unité de recherche : Laboratoire C3S Culture, Sport, Santé, Société, EA4660

¹ ATTENTION : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

Adresse : Université de Franche-Comté, UFR STAPS
Campus de La Bouloie, 31, rue de l'Épitaphe, 25000 Besançon

Nom du directeur de thèse HDR : Sidney GROSPRETRE

Nom du co-directeur : Jeanne DURY

Contact scientifique : Dr Sidney Grosprêtre, sidney.grospretre@univ-fcomte.fr

Titre du projet : Impacts cognitifs et déterminants neurophysiologiques du port d'exosquelettes

Description du projet :

Les troubles musculosquelettiques (TMS) regroupent des atteintes du système musculaire, vasculaire, tendineux ou nerveux, souvent liées à des conditions de travail contraignantes (1). Ils constituent aujourd'hui un enjeu de santé publique majeur en Europe. D'après un rapport de l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (2), trois travailleurs sur cinq déclarent souffrir de douleurs ou d'incapacités liées à leur activité professionnelle. Ces troubles affectent principalement les membres supérieurs et le dos (3) et résultent de tâches physiques répétitives, du maintien prolongé de postures statiques ou d'efforts intenses (4). Les TMS touchent aussi bien les travailleurs du secteur secondaire tel que les professionnels de l'industrie automobile (3) que ceux du secteur tertiaire, notamment les professionnels de santé (5). Les TMS ont des conséquences importantes puisqu'elles affectent à la fois la qualité de vie des employés (6) et génèrent un coût économique significatif (7). Celui-ci découle non seulement des frais liés à leur prise en charge directe, mais aussi des conséquences indirectes telles que l'absentéisme, la diminution de la productivité et les perturbations dans l'organisation du travail (7). Dans ce contexte à la fois humain et économique, des actions sont mises en place pour prévenir les TMS, notamment à travers des exercices physiques destinés à préparer le corps aux contraintes (8), par l'aménagement des postes de travail et par l'utilisation d'équipements tels que les exosquelettes pour réduire les contraintes liées à l'activité professionnelle (9,10).

Les exosquelettes représentent une réponse innovante et prometteuse face aux besoins urgents en matière de prévention des TMS. En effet, de nombreuses études montrent l'efficacité du port d'un exosquelette pour diminuer l'activité musculaire, en particulier celle des muscles des membres supérieurs ce qui entraîne une diminution de la contrainte appliquée au système musculosquelettique (11). De manière générale, les exosquelettes permettent de limiter la perception de fatigue des utilisateurs et semblent également atténuer les effets négatifs associés à la fatigue physique induite par la pratique professionnelle (12, 13). Néanmoins, les mécanismes et déterminants neurophysiologiques inhérents à la réduction de la fatigue physique et de l'activité électromyographique avec le port d'exosquelette ne sont pas connus. **Ainsi, l'un des premiers objectifs de ce travail de thèse sera d'identifier les mécanismes nerveux permettant de mieux comprendre les réponses individuelles et les effets chroniques potentiels du port d'exosquelettes**, éléments indispensables à la généralisation de l'utilisation de ces systèmes. Pour ce faire, une première expérimentation portera sur l'impact d'un exosquelette passif d'épaule sur la fatigue neuromusculaire après un exercice physique. Des mesures d'électromyographie (EMG) et de force musculaire seront effectuées avant, pendant et après l'exercice pour évaluer la fatigue. Des analyses plus poussées des mécanismes nerveux seront également rendues possibles grâce à l'ajout de mesures électroencéphalographiques (EEG) et de potentiels évoqués moteurs. Ces outils permettront une analyse complète des mécanismes nerveux mis en jeu, des zones cérébrales au muscle, en passant par les réseaux de neurones médullaires.

Les effets bénéfiques du port d'un exosquelette sur la réduction de la fatigue, rapportés dans la littérature, pourraient également contribuer au maintien des performances cognitives, un élément clé dans l'exécution de nombreuses activités professionnelles. En effet, il est aujourd'hui admis que la fatigue physique influence les ressources attentionnelles. Par exemple, en situation de fatigue physique le temps de réaction augmente, ainsi que le nombre d'erreurs effectuées sur une tâche cognitive donnée (14). Une augmentation des ressources cognitives et attentionnelles nécessaires à

la réalisation de la tâche motrice est également observée en situation de fatigue physique (15). Ainsi, dans un contexte professionnel où la mobilisation de ressources cognitives et motrices est simultanée, il apparaît indispensable, dans un second objectif, **d'évaluer l'influence du port d'exosquelette sur cette interaction cognitivo-motrice**. Les effets positifs observés au niveau moteur avec le port d'exosquelette pourraient, ainsi, permettre de limiter le coût cognitif global (cumul des deux tâches) et ainsi limiter la détérioration des performances cognitives. Des expérimentations seront menées afin d'analyser le contrôle moteur fin, où les participants effectueront des tâches de précision (par exemple, manipulation d'objets légers) avec et sans exosquelette. L'utilisation de capteurs de mouvement 3D permettra d'évaluer la précision et la stabilité des mouvements. Les participants exécuteront des tâches cognitives (par exemple, tests de mémoire ou d'attention) tout en réalisant des exercices répétés avec ou sans exosquelette. Les variations posturales et les performances cognitives seront mesurées pour examiner les effets du dispositif sur la coordination cognitivo-motrice.

Enfin, bien que l'utilisation des exosquelettes ait démontré des effets majoritairement positifs, certaines études nuancent ces conclusions. Ces disparités peuvent s'expliquer par le fait qu'il existe différents types d'exosquelettes : les exosquelettes dits « passifs » équipés de structures élastiques ou mécaniques et les exosquelettes dits « actifs » intégrant des technologies robotisées visant à amplifier les mouvements ou à en générer de nouveaux. L'adaptation à ces systèmes robotisés impliquerait une demande attentionnelle accrue qui pourrait contrebalancer ses avantages biomécaniques (16). **Ainsi, le troisième objectif du projet sera de comparer les conséquences biomécaniques et les mécanismes neurophysiologiques sous-jacent à ces deux types d'exosquelettes**. Une troisième expérimentation comparera les performances et les adaptations entre un exosquelette passif et un exosquelette actif (robotisé). Les participants effectueront des tâches identiques avec chaque type d'exosquelette, et les paramètres neuromusculaires (EMG, force musculaire), cognitifs (temps de réaction) et subjectifs (confort perçu) seront comparés. Cette dernière phase sera réalisée **en collaboration avec un laboratoire Belge, BruBotics, spécialisé dans la conception d'exosquelettes robotisés**. Le directeur de thèse collabore déjà actuellement avec ce laboratoire.

Enfin, ce projet de thèse, prévu sur 36 mois (2025-2028), est structuré en quatre phases : planification, expérimentations, analyse des données et diffusion des résultats. Après une première étape d'acquisition des équipements et de mise en place des protocoles, les expérimentations s'étaleront sur 18 mois pour évaluer les effets des exosquelettes sur différentes fonctions motrices. Enfin, l'analyse des données et la valorisation des résultats aboutiront à la rédaction d'articles scientifiques, à la soutenance d'une thèse et à des recommandations pour les partenaires industriels. Les résultats seront présentés dans différents congrès internationaux, tels que celui de l'European College of Sport Science (ECSS).

1. Yves Roquelaure. (2020, November 05). Musculoskeletal disorders and psychosocial factors at work. In ETUI, The European Trade Union Institute. Retrieved 16:53, February 10, 2025, from <https://www.etui.org/publications/reports/musculoskeletal-disorders-and-psychosocial-factors-at-work>
2. European Agency for Safety and Health at Work. Work-related MSDs: prevalence, costs and demographics in the EU. 2019.
3. Govaerts R, Tassignon B, Ghillebert J, Serrien B, De Bock S, Ampe T, et al. Prevalence and incidence of work-related musculoskeletal disorders in secondary industries of 21st century Europe: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 31 août 2021;22:751.
4. Forde MS, Punnett L, Wegman DH. Pathomechanisms of work-related musculoskeletal disorders: conceptual issues. *Ergonomics*. 1 juill 2002;45(9):619-30.
5. Jacquier-Bret J, Gorce P. Prevalence of Body Area Work-Related Musculoskeletal Disorders among Healthcare Professionals: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2 janv 2023;20(1):841.
6. Roux CH, Guillemin F, Boini S, Longuetaud F, Arnault N, Herberg S, et al. Impact of musculoskeletal disorders on quality of life: an inception cohort study. *Ann Rheum Dis*. 1 avr 2005;64(4):606-11.
7. Bevan S. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 1 juin 2015;29(3):356-73.
8. Van Eerd D, Munhall C, Irvin E, Rempel D, Brewer S, van der Beek AJ, et al. Effectiveness of workplace interventions in the prevention of upper extremity musculoskeletal disorders and symptoms: an update of the evidence. *Occup Environ Med*. janv 2016;73(1):62-70.

9. Guittienne M, Forestier N. Differential effect of three types of exoskeletons and handling height on muscular activity, postural control and perceived effort during simulated bedside mobilization task. *Appl Ergon.* 22 janv 2025;125:104467.
10. Robertson MM, Ciriello VM, Garabet AM. Office ergonomics training and a sit-stand workstation: effects on musculoskeletal and visual symptoms and performance of office workers. *Appl Ergon.* janv 2013;44(1):73-85.
11. Arnoux B, Farr A, Boccara V, Vignais N. Evaluation of a Passive Upper Limb Exoskeleton in Healthcare Workers during a Surgical Instrument Cleaning Task. *Int J Environ Res Public Health.* janv 2023;20(4):3153.
12. De Bock S, Ampe T, Rossini M, Tassignon B, Lefeber D, Rodriguez-Guerrero C, et al. Passive shoulder exoskeleton support partially mitigates fatigue-induced effects in overhead work. *Appl Ergon.* 1 janv 2023;106:103903.
13. Liu S, Hemming D, Luo RB, Reynolds J, Delong JC, Sandler BJ, et al. Solving the surgeon ergonomic crisis with surgical exosuit. *Surg Endosc.* janv 2018;32(1):236-44.
14. Lorist MM, Kernell D, Meijman TF, Zijdwind I. Motor fatigue and cognitive task performance in humans. *J Physiol.* 15 nov 2002;545(1):313-9.
15. Terrier R, Forestier N. Cognitive cost of motor reorganizations associated with muscular fatigue during a repetitive pointing task. *J Electromyogr Kinesiol.* 1 déc 2009;19(6):e487-93.
16. Zhu Y, Weston EB, Mehta RK, Marras WS. Neural and biomechanical tradeoffs associated with human-exoskeleton interactions. *Appl Ergon.* oct 2021;96:103494.

Financement – Partie recherche

Le porteur de projet (S. Grosprêtre) bénéficie, suite à sa nomination à l'Institut Universitaire de France (IUF), d'un financement de 15000 euros par an jusqu'en octobre 2027. Cela assure la capacité de l'encadrement de thèse de subvenir aux besoins primaires du doctorant (achat d'un ordinateur personnel notamment). Durant la période de la thèse, plusieurs demandes de financement seront déposées, au niveau local (Chrysallide), régional (projet amorçage ou envergure), national (ANR) et européen (ERC).

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un partenariat avec un laboratoire belge, Brubotics (<https://www.brubotics.eu/>), de l'université flamande (Vrije University Brussels, VUB), spécialisé dans la conception de robots et d'exosquelettes. Ce laboratoire pourra prêter des modèles d'exosquelettes nécessaires à la réalisation des différentes expérimentations. L'achat d'au moins deux exosquelettes est également prévu sur les financements du futur directeur de thèse, S. Grosprêtre (sur fonds IUF notamment). Le coût d'un exosquelette est de 1000 à 3000 euros. Enfin, tout le matériel nécessaire aux différentes évaluations cognitives et neurophysiologiques est déjà à disposition au sein du laboratoire.

Connaissances et compétences requises

Le candidat devra posséder des connaissances approfondies dans le domaine de la neurophysiologie humaine, de la biomécanique et de l'ergonomie. Une maîtrise des techniques de mesure de l'activité musculaire (électromyographie) est attendue. Une expérience dans la stimulation nerveuse percutanée et des techniques de stimulation magnétique transcrânienne, ainsi que dans l'analyse du mouvement en 3D (via des caméras infrarouge) sera également un plus.

Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)

Français

Les troubles musculosquelettiques (TMS) constituent un enjeu majeur de santé au travail, touchant de nombreux secteurs professionnels. Ils résultent principalement de gestes répétitifs, de postures prolongées ou d'efforts intenses, entraînant douleurs et incapacités. Leur impact est à la fois humain, avec une altération de la qualité de vie des travailleurs, et économique, en raison des coûts liés à l'absentéisme et à la baisse de productivité. Pour prévenir ces troubles, différentes solutions sont explorées, dont l'utilisation des exosquelettes. Ces dispositifs portables, passifs ou actifs, sont conçus pour assister le mouvement, réduire la fatigue musculaire et limiter la contrainte exercée sur le système musculosquelettique. Ce projet de thèse, prévu sur 36 mois (2025-2028), vise à analyser les

effets des exosquelettes sur la fatigue neuromusculaire, la coordination cognitivo-motrice et à comparer les performances des modèles passifs et actifs. Trois expérimentations seront menées. La première évaluera l'impact d'un exosquelette passif d'épaule sur la fatigue musculaire à l'aide de mesures d'électromyographie (EMG), d'électroencéphalographie (EEG) et de potentiels évoqués moteurs. La deuxième portera sur le contrôle moteur fin et la charge cognitive en situation de double tâche, afin de mesurer l'influence des exosquelettes sur la précision gestuelle et les performances cognitives. Enfin, une troisième expérimentation comparera les effets biomécaniques et neurophysiologiques des exosquelettes passifs et actifs. Cette dernière étude sera réalisée en collaboration avec le laboratoire BruBotics à Bruxelles, spécialisé dans la robotique portable et les technologies d'assistance au mouvement. Les résultats obtenus permettront d'optimiser l'utilisation des exosquelettes dans un cadre professionnel et de proposer des recommandations aux industriels. Ils seront valorisés à travers des publications scientifiques, des conférences internationales et la rédaction d'un rapport synthétique destiné aux acteurs du secteur.

Anglais

Musculoskeletal disorders are a major occupational health issue, affecting numerous professional sectors. They are primarily caused by repetitive movements, prolonged postures, or intense physical efforts, leading to pain and disabilities. Their impact is both human, by reducing workers' quality of life, and economic, due to absenteeism and decreased productivity. To prevent these disorders, various solutions are being explored, including the use of exoskeletons. These wearable devices, either passive or active, are designed to assist movement, reduce muscle fatigue, and limit strain on the musculoskeletal system. This 36-month PhD project (2025–2028) aims to analyze the effects of exoskeletons on neuromuscular fatigue, cognitive-motor coordination, and to compare the performance of passive and active models. Three experiments will be conducted. The first will assess the impact of a passive shoulder exoskeleton on muscle fatigue using electromyography (EMG), electroencephalography (EEG), and motor-evoked potentials. The second will focus on fine motor control and cognitive load during dual-task situations to measure how exoskeletons influence movement precision and cognitive performance. Finally, a third experiment will compare the biomechanical and neurophysiological effects of passive and active exoskeletons. This final study will be carried out in collaboration with the BruBotics laboratory in Brussels, which specializes in wearable robotics and movement assistance technologies. The results obtained will help optimize the use of exoskeletons in professional settings and provide recommendations for industry stakeholders. Findings will be disseminated through scientific publications, international conferences, and a comprehensive report for key sector actors.

Domaine de compétence :

Psychologie, neurosciences

Santé, médecine humaine, vétérinaire

Mots clés :

- Fatigue neuromusculaire
- Contrôle moteur
- Exosquelette
- Electromyographie
- Fonctions cognitives