

Evaluation scientifique de l'exosquelette HAPO CS pour des tâches de flexion du tronc

Emmanuel GILLET^a, Simon BASTIDE^a, Bérenger LE TELLIER^{a*}

ErgoSanté – 28 ZA de Labahou, Anduze, France

b.letellier@hapo.eu

RESUME

La lombalgie désigne communément des douleurs dans le bas du dos. Elle touche des millions de travailleurs à travers le monde (infirmières, logisticiens, artisans...). Ces douleurs sont souvent le symptôme de pathologies musculosquelettiques sous-jacentes, généralement causées par des contraintes excessives sur les tissus et les articulations. Une des approches visant à réduire les contraintes consiste à utiliser des exosquelettes non-motorisés, en particulier dans des situations qui impliquent des flexions du tronc. Au cours de la présente étude, 15 participants (8 femmes, 7 hommes) ont réalisé deux tâches, avec et sans exosquelette. La première tâche consistait en une flexion maintenue du tronc à 40° par rapport à la verticale, et la deuxième en du levé de charge répété 10 fois. Les résultats ont montré une réduction jusqu'à 14% des muscles du dos ainsi qu'une réduction de l'inconfort perçu, en particulier dans la zone dorso-lombaire. L'analyse cinématique n'a pas montré de changement sur les angles de flexion du tronc et des genoux, par conséquent, les bénéfices observés sur l'activité musculaire peuvent être uniquement attribués au port de l'exosquelette. *In fine*, les résultats tendent à confirmer l'intérêt du HAPO CS pour réduire le risque d'apparition de lombalgie au travail.

Mots-clés : Lombalgie, Exosquelette, Assistance du dos, Adaptabilité aux hommes et femmes

1. INTRODUCTION

Les troubles musculosquelettiques (TMS) constituent un ensemble de pathologies affectant les articulations, les muscles et les tendons, représentant un enjeu majeur de santé publique et de performance au travail. Un rapport de l'agence européenne de la santé et la sécurité au travail a mis en évidence que 3 travailleurs sur 5 sont concernés par les TMS.[1] En France, ces affections sont la première cause de maladies professionnelles reconnues, représentant 88 % des cas en 2019, soit 44 492 cas. Une étude réalisée sur la population active française a ainsi montré une forte proportion des TMS du dos, et cela aussi bien chez les femmes (48 %) que chez les hommes (42 %).[2] Cette étude a également mis en avant une prévalence de ce fléau dans deux secteurs d'activité principaux : l'industrie manufacturière pour les hommes et le secteur de la santé humaine et de l'action sociale pour les femmes. Rien qu'aux Etats-Unis, ce sont 56 360 cas de TMS qui ont été recensés en 2018 dans le domaine de la santé.[3]

Les causes des TMS sont multiples, mais la manutention de charges, notamment des

patients, est une cause majeure. A titre d'exemple, des travaux publiés en 2008 ont mis en évidence que 79 % des aides-soignantes manipulent quotidiennement des patients lourds (plus de 100 kg), avec une moyenne de 11 patients manutentionnés par jour.[4] Cette problématique entraîne des répercussions significatives sur les employés, qui subissent des douleurs chroniques et des incapacités, et sur les établissements de santé, confrontés à une augmentation de l'absentéisme et une baisse de productivité. Face à cette situation, des solutions préventives émergent, parmi lesquelles l'utilisation d'exosquelettes non-motorisés, une technologie qui a déjà fait ses preuves dans de nombreux domaines tels que l'industrie et le milieu de la santé.[5][6]

Les exosquelettes non-motorisés sont des dispositifs biomécaniques fonctionnant par redistribution d'efforts à l'aide de ressorts ou d'élastiques, pour soulager certaines parties du corps. La littérature scientifique a montré que ces équipements permettent de réduire l'effort musculaire, de diminuer la fatigue et d'améliorer l'endurance des travailleurs, contribuant ainsi à la prévention des TMS.[7]

Aussi, il a été montré par l'INRS que l'utilisation et le déploiement d'exosquelettes dans le milieu professionnel sont conditionnés par leur acceptation de la part des travailleurs.[8] Or, il avait été rappelé par Pr de Looze en introduction de la conférence WearRacon Europe 2021 qu'un des principaux freins à l'implémentation des exosquelettes était leur acceptabilité limitée.[9] Cependant, la majorité des exosquelettes disponibles sur le marché sont conçus pour des morphologies masculines, rendant leur utilisation parfois inadaptée ou inconfortable pour les femmes, notamment au niveau de la poitrine. Pour pallier cette problématique, un nouvel exosquelette, le HAPO CS a été spécifiquement développé en collaboration avec des professionnels de santé, afin de s'adapter parfaitement aux morphologies féminines [10].

Si l'intégration d'un exosquelette comme le Hapo CS représente une avancée prometteuse pour réduire les risques de TMS et améliorer les conditions de travail dans le secteur de la santé, il reste néanmoins primordial de mener une étude approfondie pour garantir son efficacité et son acceptation par les utilisateurs.

2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

a. Participants

Quinze participants adultes et en bonne santé ont pris part à l'étude après avoir signé une notice de consentement éclairé. Ce panel était constitué de 8 femmes (168 ± 4 cm, 72 ± 8 kg, 30 ± 9 ans) et de 7 hommes (179 ± 8 cm, 73 ± 13 kg, 31 ± 12 ans).

b. Exosquelette

Le HAPO CS (ErgoSanté, Anduze, France) est un exosquelette léger (0.850 kg) et non-motorisé conçu pour soutenir le dos, en particulier les muscles de la région lombaire. Ce modèle est

spécifiquement adapté aux tâches impliquant des flexions partielles ou totales du tronc, avec ou sans manipulation de charges. Cet exosquelette a été développé pour s'adapter spécifiquement à la morphologie féminine (tout en restant adapté pour les hommes). Une description des différentes parties de l'exosquelette est donnée en Figure 1.

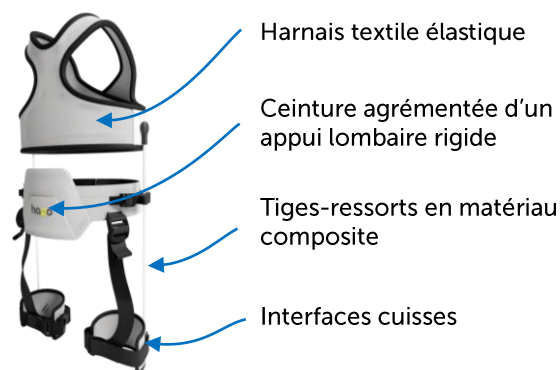


Figure 1 - Exosquelette HAPO CS

c. Procédure

Après un court échauffement, il a été demandé aux participants de réaliser deux tâches impliquant une flexion du tronc : une tâche statique et une tâche dynamique. Chaque tâche a été réalisée dans deux conditions – Sans et Avec exosquelette – selon un ordre aléatoire pour chacun des participants.

Tâche statique : flexion de tronc à 40° pendant deux fois 1 minute. Cette tâche a été sélectionnée pour être représentative de situations professionnelles, à l'image de la toilette au lit pour les aides-soignantes (Figure 2 (a)).

Tâche dynamique : port de charge (6kg) répété 10 fois. Cette tâche vise à représenter des situations de travail contraignantes rencontrées aussi bien dans le milieu de la santé, l'industrie, l'agriculture et d'autres domaines d'activités (Figure 2 (b)).



Figure 2 - Illustration des tâches : (a) Tâche statique de flexion du tronc ; (b) Tâche dynamique de port de charge

d. Acquisition des données

Pour chacun des essais, l'activité électromyographique (EMG) de 8 muscles a été enregistrée sur le côté droit du corps (Figure 3), selon les recommandations SENIAM [11]. Les signaux EMG ont été enregistrés à une fréquence d'échantillonnage de 2 148 Hz. Un filtre passe-bande (butterworth, 20 - 450 Hz, ordre 4), puis une rectification et centrage du signal a été appliqué. Pour la tâche dynamique, les mouvements ont été segmentés automatiquement à partir du profil de vitesse de l'angle du tronc. Pour chaque participant, la valeur maximale de la RMS sur l'ensemble de la tâche a été extraite et utilisée comme valeur de référence. Les RMS normalisées ont été moyennées sur l'ensemble des participants (n = 15), lors de la phase de relevage avec charge, pour chaque condition expérimentale.

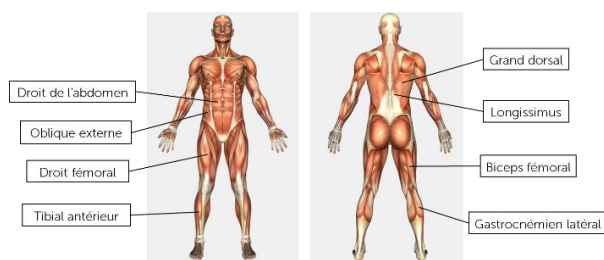


Figure 3 - Placement des capteurs EMG

L'analyse cinématique, obtenue à partir des 17 centrales inertielles placées sur le corps entier, a été réalisée avec un logiciel de capture du mouvement (MVN, Movella, The Netherlands).

L'inconfort perçu des membres inférieurs, du torse et de la zone dorso-lombaire a été évalué grâce à une échelle de Borg (Figure 4) pour

chaque sujet, dans les deux conditions (sans/avec exosquelette).

CR10 scale[®]
(Categorical Rating 10)

0	Rien
0,5	Très très faible
1	Très faible
2	Faible
3	Modéré
4	
5	Élevé
6	
7	Très élevé
8	
9	
10	Très très élevé
•	Maximal

Figure 4 - Echelle CR10

3. RESULTATS

a. Activité musculaire

Les résultats des enregistrements EMG de la tâche statique de flexion de tronc présenté en Figure 5 montrent un effet de l'exosquelette sur l'ensemble des muscles, et en particulier sur les muscles du dos : une réduction de 14% sur le grand dorsal ($p = 0,006$) et 8% sur le longissimus.

Lors de la tâche dynamique de port de charge (Figure 6), une réduction significative de 13% du grand dorsal ($p = 0,02$), de 14% du biceps fémoral ($p = 0,01$) et de 9% du gastrocnémien ($p = 0,03$) ont été observés lors de la phase de relevé avec charge.

L'analyse cinématique n'ayant révélé aucune différence dans les angles de flexion du tronc et du genou entre les deux conditions, il est donc possible d'en déduire que la réduction de l'activité musculaire est uniquement attribuée au port de l'exosquelette.

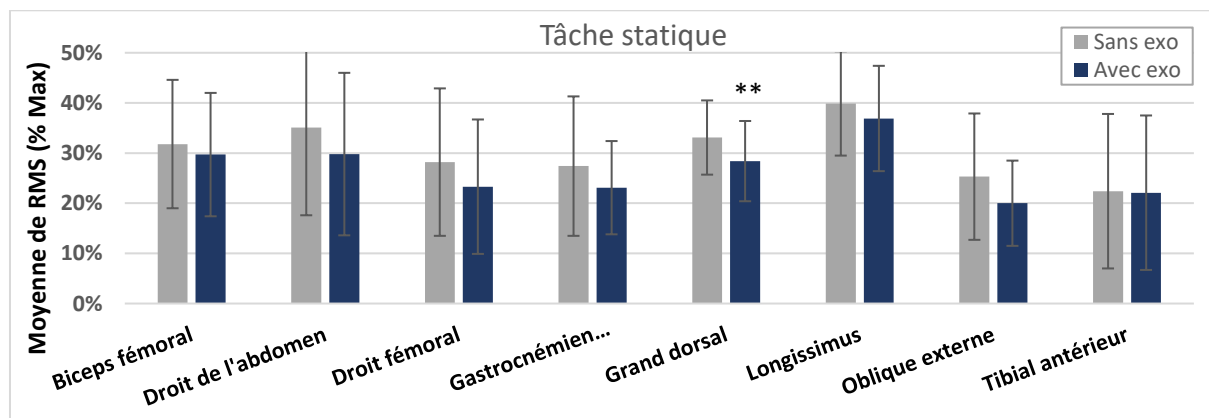


Figure 5 - Valeurs EMG moyennes normalisées, avec et sans exosquelette pour la tâche statique de flexion du tronc

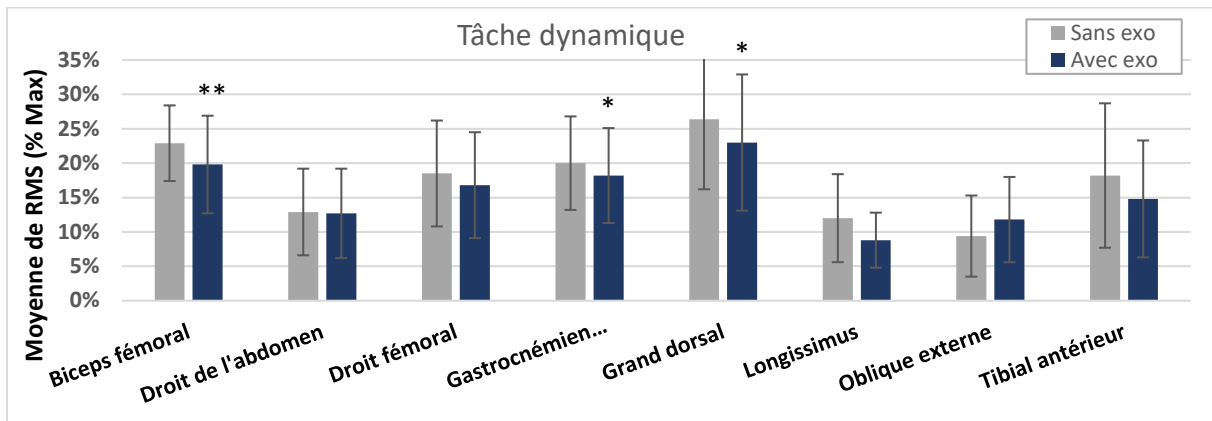


Figure 6 - Valeurs EMG moyennes normalisées, avec et sans exosquelette pour la tâche dynamique de port de charge

b. Mesure subjective

Les résultats subjectifs lors de la tâche statique de flexion du tronc présentés sur la Figure 7 montrent une réduction du score d'inconfort perçu sur les membres inférieurs (de 1,9 à 1,3/10) et sur la zone dorso-lombaire (3,2 à 0,7/10).

Les résultats d'inconfort perçu pour la tâche dynamique de port de charge (Figure 8) montrent des tendances similaires, et en particulier pour le dos (note de 3,0 à 0,9/10).

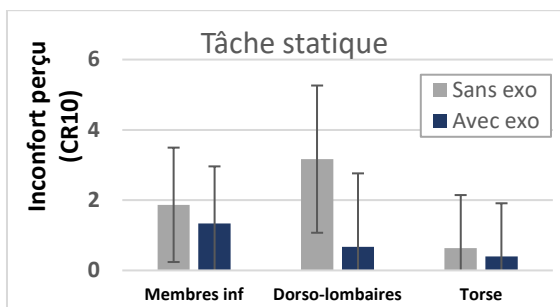


Figure 7 - Résultats subjectifs avec et sans exosquelette pour la tâche statique de flexion du tronc

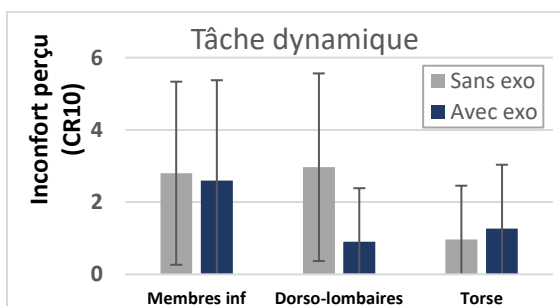


Figure 8 - Résultats subjectifs avec et sans exosquelette pour la tâche dynamique de port de charge

4. CONCLUSION

Les réductions de l'amplitude du signal EMG observées sur les érecteurs du rachis, ainsi que les réductions de l'inconfort perçu de la zone dorso-lombaire montrent que le HAPO CS

réduit les contraintes biomécaniques. Ces résultats mettent en évidence l'intérêt de l'exosquelette comme une stratégie efficace pour réduire les risques d'apparition de lombalgie lors d'un travail de flexion du tronc, aussi bien en statique qu'en dynamique.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs sont affiliés à la société qui fabrique et distribue l'exosquelette testé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] EU-OSHA. (2019). Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU
- [2] Santé publique France. (2024). Troubles musculo-squelettiques en France : où en est-on ?
- [3] US Bureau of labor statistics. (2020). Occupational injuries and illnesses resulting in musculoskeletal disorders (MSDs)
- [4] Bonnetterre, V., Elhinger, V., Balducci, F., Caroly, S., Jolivet, A., Sobaszek, A., ... & Lang, T. (2009). Measuring organisational constraints among hospital workers. Validation of an extended version of the Revised Nursing Work Index-Organisation: the RNWI-F. Occupational and Environmental Medicine.
- [5] Pentenga, H. M., Coenen, P., Huysmans, M. A., & Speklé, E. M. (2024). The effects of working with a passive arm-support exoskeleton on objective and self-reported measures during field tasks—a randomised cross-over study. *Ergonomics*, 1-17.
- [6] Arnoux, B., Farr, A., Boccara, V., & Vignais, N. (2023). Evaluation of a passive upper limb exoskeleton in healthcare workers during a surgical instrument cleaning task. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3153.
- [7] J. Theurel, J.J. Atain Kouadio, L. Kerangeven. (2021). Les exosquelettes pour prévenir les troubles musculo-squelettiques et rôle des services de santé au travail
- [8] J. Theurel, K. Desbrosses. (2019). Occupational exoskeletons: Overview of their benefits and limitations in preventing work-related musculoskeletal disorders
- [9] M. de Looze. (2021). Reducing the barriers for implementation of exoskeletons in practice. Keynote speech, WearRAcon Europe.
- [10] LNA Santé. (2024). « HAPO pour les Soignants » : un exosquelette innovant entièrement conçu pour et par des soignants
- [11] Hermens, H., & Freriks, B. (1997). The state of the art on sensors and sensor placement procedures for surface electromyography: a proposal for sensor placement procedures. Enschede, The Netherlands: Roessingh Research and Development.