

Effets du dispositif d'assistance physique au support de bras *Perdelle-Neo* pour des tâches de précision et à répétition de mouvements.

N.DEPARETERE¹, E.VANNOORENBERGHE¹, A.VIDALIE¹, F.FREROT² (2023)

¹Optimergo – 19 Bld Mer Caspienne 73370 Le Bourget du Lac

²Perdelle – 6 rue de la Madeleine 25000 Besançon

*fabrice.frerot@perdelle.com

RÉSUMÉ

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) sont la première cause de maladies professionnelles en France, afin de les prévenir, les exosquelettes sont au cœur des innovations. L'étude décrite vise à évaluer les effets du dispositif d'assistance physique au support de bras *Perdelle-Neo* selon cinq paramètres : activité électromyographique (EMG), échelle de ressenti de la douleur, durée de la tâche, le score Rapid Upper Limb Assessment (RULA) et le temps de récupération physiologique. Un groupe de quatorze participants volontaires a réalisé une série de cinq tâches sans le dispositif (condition SD) et avec le dispositif (condition AD), l'ordre de réalisation sans ou avec était randomisé. L'analyse de l'activité EMG a été réalisée côtés gauche et droit sur les muscles deltoïdes antérieurs, trapèzes supérieurs et trapèzes inférieurs. Les cinq tâches étaient toujours réalisées dans le même ordre : réaliser un exercice de précision avec poids (1), manipuler des objets légers (2), manipuler des objets lourds (3), trier des petites pièces (4) et assembler/monter des pièces (5). Les résultats montrent une réduction significative ($p < 0,05$) de l'activité EMG sur cinq des six muscles analysés et du score RULA. Sur une échelle visuelle analogique (EVA) de 0 à 10, le ressenti de la douleur perçue est divisé de moitié. L'utilisation du dispositif a un faible effet sur la durée de la tâche. Le temps de récupération physiologique post-activité est réduit de 38% avec l'outil *Perdelle-Neo*.

Mots clés : TMS, Exosquelette, Assistance physique, EMG, Analyse posturale, Douleur perçue.

INTRODUCTION

Les troubles musculo-squelettiques (TMS), liés à l'affection des muscles, des nerfs, des ligaments ou encore des tendons, sont à l'origine de 87% des maladies professionnelles. Les postures prolongées, le travail statique et la répétition des gestes sont les principaux facteurs d'apparition de TMS [1]. Depuis 1991 où 2 360 maladies professionnelles ont été recensées, il a été observé une augmentation significative de ces dernières avec 39 742 maladies professionnelles recensées en 2017, dont 36 986 liées à des TMS. L'épaule, le coude et le canal carpien sont respectivement les trois zones les plus touchées par ces derniers [2]. D'après l'INRS, 14 359 maladies

professionnelles seraient la conséquence de douleurs au niveau de l'articulation de l'épaule. En plus d'affecter directement la santé des personnes au travail, les TMS sont également très coûteux aux entreprises. Selon une étude de *Securex* [3], en 2017, le coût total de l'absentéisme au travail pour une entreprise belge de 100 personnes s'élève à plus de 500 000 € par an.

L'attention portée par les acteurs de la prévention des TMS au travail est de plus en plus importante. Depuis peu, les exosquelettes ont trouvé leur place grâce à des innovations techniques de la part des fabricants. Il existe des exosquelettes passifs fonctionnant avec des ressorts et ne nécessitant pas de batterie

électrique pour fonctionner. Mais aussi, des exosquelettes actifs, équipés de moteurs et de batteries. Ceux-ci peuvent agir sur le tronc, le membre inférieur et le membre supérieur.

Andrea B. et al. ont montré qu'un exosquelette actif réduit considérablement l'activité des muscles (triceps, biceps, rhomboïde, grand pectoral) durant une tâche de forage au-dessus de la hauteur de tête [4, 5].

De plus, *Håkan Sporrang et al.* (1998) ont étudié l'impact d'un travail de précision manuel léger sans exosquelette sur l'activité EMG des muscles du membre supérieur. Pour une même position de bras, l'ajout d'un travail de précision manuel léger augmente de 22% l'activité EMG des muscles de l'épaule [6]. Cela démontre alors un besoin très important d'un dispositif pouvant pallier cette activité EMG accrue lors d'une activité de travail exigeant de la précision. C'est pourquoi *Perdelle-Néo* propose un dispositif d'assistance pour les membres supérieurs conçu pour des tâches de précision et/ou à répétition de mouvements (Figure 1).

Cette étude a pour objectif d'évaluer le dispositif *Perdelle-Néo* en s'appuyant notamment sur des données objectives (activité EMG, angulation du membre supérieur, durée de réalisation de la tâche) et subjectives (échelle EVA de ressenti de l'effort).

MÉTHODOLOGIE

Participants. 14 sujets volontaire adultes ont participé à cette étude : 9 femmes (28 ± 6 ans ; 166 ± 9 cm ; $63,9 \pm 12,8$ kg ; 9 droitiers) et 5 hommes (28 ± 9 ans ; 189 ± 6 cm ; $76,4 \pm 8,4$ kg 1 gaucher et 4 droitiers).

Dispositif d'assistance. *Perdelle-Néo* est un dispositif de soutien des membres supérieurs sur les postes de travail (Figure 1). Composé de deux arcs métalliques reliés à un support grâce à un serre-joint. Il permet de soutenir les

avant-bras de l'utilisateur à l'aide de brassières reliées aux arcs via des élastiques en tension.

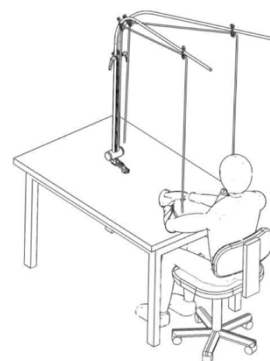


Figure 1 : Illustration du dispositif d'assistance physique au support de bras *Perdelle-Neo*

Protocole. Les participants ont réalisé cinq tâches dans deux conditions différentes ; avec dispositif d'aide (AD) et sans dispositif d'aide (SD). L'ordre des tâches et des conditions variait entre les sujets mais l'ordre des tâches durant les deux conditions AD et SD d'un même sujet ne changeait pas. Il a été accordé quinze minutes de repos entre les deux conditions. À la fin de chaque condition, il était demandé aux sujets de remplir une échelle EVA (figure 2) concernant leur perception de douleur musculaire à l'issue des cinq tâches. Les sujets réalisaient les tâches 2, 3 et 4 dans une position assise et les tâches 1 et 5 dans une position debout.

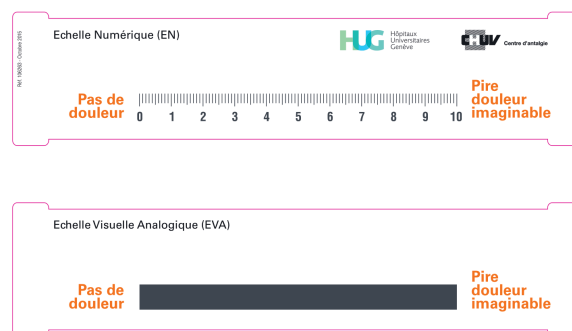


Figure 2 : Échelle EVA

Tâche 1 : Réaliser un exercice de précision avec poids.

Comme cité précédemment, *Håkan Sporrang et al.* [6] ont montré qu'un travail de précision manuel léger affectait les muscles de l'épaule. Le travail en question consistait à faire progresser un pointeur dans un labyrinthe dessiné. En sachant que cette tâche affectait

l'activité EMG des muscles de l'épaule, il a été demandé aux sujets de suivre le tracé de quatre labyrinthes. Pour cela un tableau sur lequel a été dessiné des labyrinthes était placé devant les participants. Les labyrinthes étaient les mêmes pour tous les sujets et ils devaient les pointer dans le même ordre.

Tâche 2 : Manipuler des objets légers.

J.P. De Groot [7] a montré que déposer de manière répétitive des objets légers tels que des lettres dans des casiers, provoquait de fortes contraintes aux trapèzes, deltoïdes antérieurs et latéraux. Les casiers situés à hauteur supérieure ou égale à celle de la vision provoquent le plus de contraintes musculaires. Dans ce sens, il a été demandé aux sujets de poser des petites pièces légères de trois tailles différentes sur un support en hauteur. Ils devaient former trois piles sur ce support en hauteur afin de trier les pièces selon leur taille.

Tâche 3 : Manipuler des objets lourds.

Dans la continuité de la tâche 2, il a été demandé aux participants de monter et descendre des objets lourds ($1 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$) sur le même support que celui utilisé dans la tâche 2. Trois objets du même format étaient posés sur la table devant eux. Les participants devaient manipuler l'objet de gauche à l'aide de leur main gauche, inversement pour l'objet de droite tandis que l'objet du milieu devait être manipulé à l'aide des deux mains. Monter et descendre les objets sur le support correspondait à une répétition. Les sujets ont effectué quinze répétitions.

Tâche 4 : Trier des petites pièces.

Dans l'industrie, le tri de petits objets est une tâche fréquente. C'est pourquoi, il a été demandé aux sujets de trier des pièces de couleurs, tailles et formes différentes. Pour cela les sujets devaient déposer les pièces dans huit boîtes, correspondant chacune à une couleur. Ces dernières étaient placées sur la table de façon à former un arc de cercle autour du participant. Les deux boîtes les plus au

centre étaient surélevées à l'aide d'une caisse. Les sujets avaient le droit d'adopter leur propre stratégie à l'exception de saisir plusieurs pièces simultanément car ils devaient les poser une à une.

Tâche 5 : Assembler/monter des pièces.

Les sujets devaient empiler les pièces pour construire une tour en forme d'hélice. Ils utilisaient les pièces de grandes tailles et essayaient de réaliser la tour la plus haute possible dans un temps limité à deux minutes. S'ils faisaient tomber la tour, ils devaient la recommencer jusqu'à la fin du temps imparti.

Mesure EMG.

Les deltoïdes antérieurs, trapèzes supérieurs et inférieurs gauche et droit étaient les muscles analysés durant cette étude. Les électrodes étaient placées selon les recommandations de SENIAM [8]. L'application mobile et les capteurs E.M.I.L de la société Optimergo ont été utilisés pour la collecte des données. Les signaux EMG ont été mesurés à une fréquence de 1 000 Hz et filtrés avec un passe-haut de 6 Hz et un passe-bas de 240 Hz. Pour l'ensemble des données, la valeur RMS a été calculée pour chaque sujet dans les deux conditions. Celle-ci a été normalisée (nRMS) via une contraction maximale volontaire (CMV) relative correspondant à la valeur RMS maximale du sujet sur l'ensemble des acquisitions. Puis les valeurs EMG (nRMS) des quatorze sujets ont été moyennées pour chaque condition.

Capture vidéo.

Deux caméras ont été utilisées afin de filmer la posture des sujets durant l'étude. L'une des caméras était placée à gauche des sujets de sorte à les voir de profil, l'autre permettait de voir les sujets de face en vue plongeante.

Analyse des données.

L'analyse temporelle sur la durée de chacune des tâches intra-sujet et l'analyse de l'échelle EVA ont été effectuées avec Excel. L'analyse des

données EMG et du temps de récupération ont été réalisés sur le logiciel Matlab. Le traitement d'analyse posturale pour obtenir le score RULA a été réalisé sur le logiciel Python.

Analyses statistiques.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel JASP. Pour les tests de ressenti de l'effort, comme les échantillons suivaient la normalité, un test t de Student sur échantillons appariés a été réalisé. Le seuil de significativité était fixé à 5% ($p < 0,05$).

RÉSULTATS

Activité musculaire - EMG.

L'activité musculaire des muscles analysés est systématiquement inférieure avec le dispositif. La diminution avec le dispositif est respectivement de -21,3% sur le deltoïde antérieur gauche, -28,2% sur le deltoïde antérieur droit, -11,6% sur le trapèze inférieur gauche, -21,7% sur le trapèze inférieur droit, -13,6% sur le trapèze supérieur gauche et -13,8% sur le trapèze supérieur droit. Les résultats (figure 3) sont significatifs ($p < 0,05$) pour tous les muscles analysés hormis pour le trapèze supérieur droit.

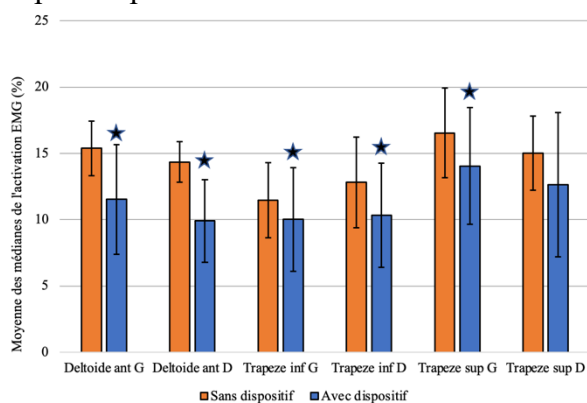


Figure 3 : Moyenne sur l'ensemble des sujets des valeurs EMG médianes normalisées par la CMV relative, sans et avec le dispositif. L'étoile indique une différence significative ($p < 0,05$) par rapport à la condition de référence (SD).

Ressenti de la douleur.

Les résultats (figure 4) montrent en moyenne un score de 2,85 sur une échelle EVA de 0 à 10 à la suite des cinq tâches effectuées sans le

dispositif. Après avoir effectué les cinq mêmes tâches à l'aide du dispositif, les sujets ont en moyenne donné un score subjectif de 1,60.

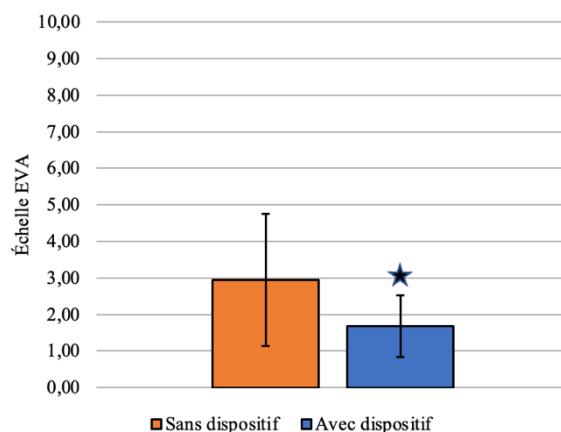


Figure 4 : Score EVA moyen à la fin des conditions avec et sans dispositif. L'étoile indique une différence significative ($p < 0,05$) par rapport à la condition de référence (SD).

Durée des tâches.

Pour effectuer l'ensemble des cinq tâches, les sujets ont mis en moyenne 741,71 sec ($\pm 90,43$) avec le dispositif contre 713,43 sec ($\pm 61,95$) sans (figure 5) ; soit une augmentation de 3,8% dans la condition avec dispositif.

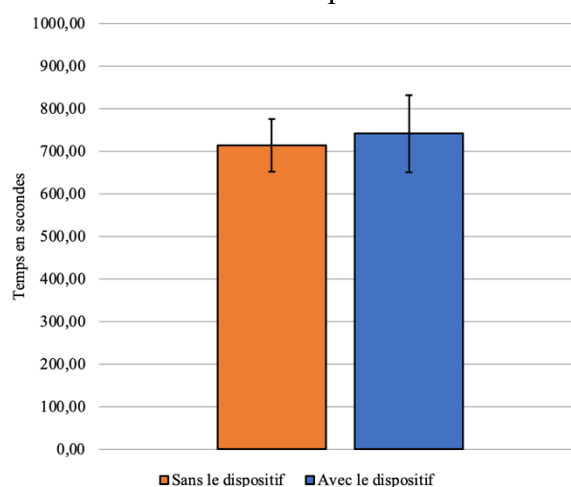


Figure 5 : Durée totale des tâches réalisées dans chaque condition.

Score RULA.

La cotation obtenue pour chaque tâche réalisée est significativement inférieure ($p < 0,05$) hormis pour la tâche n°5 (figure 6). La diminution du score est respectivement de -19,2% pour la tâche 1, -13,2% pour la tâche 2, -14,2% pour la tâche 3, -6% pour la tâche 4 et -2,7% pour la tâche 5.

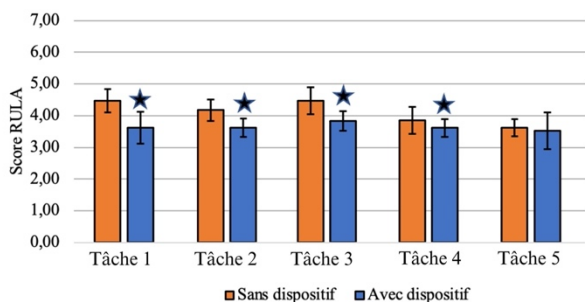


Figure 6 : Score RULA des postures pour chaque tâche réalisée sans et avec le dispositif. L'étoile indique une différence significative ($p < 0,05$) par rapport à la condition de référence (SD).

Temps de récupération physiologique.

Les résultats obtenus (figure 7) illustrent une diminution de l'ensemble des temps de récupération physiologique nécessaires après les tâches réalisées. La réduction du temps est respectivement de -55,2% sur le deltoïde antérieur gauche, -69,5% sur le deltoïde antérieur droit, -23,1% sur le trapèze inférieur gauche, -25,4% sur le trapèze inférieur droit, -27,3% sur le trapèze supérieur gauche et -27,2% sur le trapèze supérieur droit. Ces données sont significatives ($p < 0,05$) sur le deltoïde antérieur gauche et le trapèze inférieur droit.

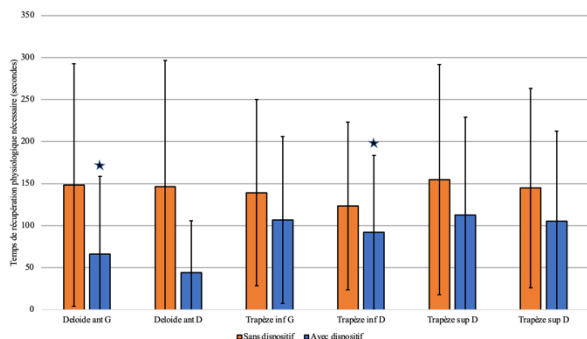


Figure 7 : Temps de récupération physiologique nécessaire après chaque condition. L'étoile indique une différence significative ($p < 0,05$) par rapport à la condition de référence (SD).

DISCUSSION

L'objectif de l'étude était d'évaluer les effets du dispositif d'assistance physique au support de bras *Perdelle-Neo* sur l'activité EMG, le ressenti de la douleur, la durée de la tâche, la posture et le temps de récupération physiologique.

Concernant l'activité musculaire mesurée par EMG, les résultats montrent une diminution significative ($p < 0,05$) lors de l'utilisation du dispositif *Perdelle-Neo*. Cependant, le protocole n'inclue pas de phase d'entraînement pouvant influencer la réalisation des tâches avec le dispositif. En effet, une étude identique réalisée avec un groupe de sujets déjà habitué à utiliser le dispositif apporterait des résultats plus significatifs. De plus, les tâches du protocole ont été réalisées dans un lieu tiers non représentatif des enjeux et contraintes d'une entreprise. Une étude dans un environnement adéquat pourrait permettre de montrer des écarts plus élevés.

Au sujet du ressenti de la douleur perçue mesuré à l'aide d'une échelle universelle, les résultats montrent une réduction de moitié lors de l'utilisation du dispositif. Les résultats significatifs donnés par l'échelle EVA permettent de confirmer le ressenti des sujets.

Les résultats de l'analyse du temps total des tâches montrent qu'avec le dispositif il y aurait une légère augmentation de 3,8%. Cette donnée n'étant pas significative, il serait intéressant de réaliser une nouvelle étude auprès d'un groupe de sujets qui utilise le dispositif quotidiennement comme dit précédemment.

En effet, le phénomène d'habitude permettrait de réduire cet écart de durée voir même de réduire la durée totale de réalisation des tâches grâce au dispositif. Le ressenti de la douleur et l'activité musculaire étant moins élevée avec le dispositif, la durée pourrait être un indicateur de productivité lié au confort du poste.

Le score RULA est en moyenne diminué de 11,1% avec l'utilisation du dispositif *Perdelle-Neo*. Le soutien des bras étant pris en compte dans la grille de cotation RULA, cette réduction est la résultante du calcul du score selon les différents critères [10].

L'amélioration de la posture ressentie par les opérateurs se confirme par cette statistique.

L'activation permanente du muscle provoque une ischémie et une incapacité à éliminer les déchets, qui augmente la contraction et la douleur, provoquant un cercle vicieux qui entraîne l'auto-allumage [9]. L'activité musculaire étant moins élevée avec le dispositif, les muscles ont donc un besoin de temps de repos consécutif à l'activité moins important. Les fibres musculaires étant régénérées lorsqu'elles sont relâchées, il est donc important de respecter le repos physiologique afin d'éviter l'apparition des douleurs dues à l'usure de celles-ci. Dans cette étude, le temps de récupération physiologique nécessaire est en moyenne réduit de 38% avec le dispositif, correspondant à 55 secondes.

LIMITES

L'étude a duré environ une heure par sujet, certains inconforts pouvant se révéler sur des périodes d'utilisation plus longues, l'effet de l'exosquelette lors d'une utilisation à long terme nécessiterait une étude plus approfondie dans un environnement réel.

Une seconde limite de l'étude est liée principalement à l'échantillon ; quatorze participants (jeune et en bonne santé) ne représentent peut-être pas l'ensemble de la population de travailleurs que l'on retrouve dans la vie active (plus ou moins âgés et blessés). Par conséquent les résultats sont à lire avec prudence avant de les généraliser.

CONCLUSION

La diminution moyenne d'environ 18,4 % de l'activité EMG observée sur les deltoïdes antérieurs, trapèzes supérieurs et inférieurs montre que le dispositif *Perdelle-Neo* participe à soulager les efforts au niveau du membre supérieur. L'utilisation du système semble être une aide à la prévention des TMS sur l'aspect biomécanique.

Dans cette étude, le ressenti de la douleur perçue est divisé par deux lorsque le dispositif est utilisé ce qui souligne sa contribution à l'amélioration du confort et des conditions de travail. La durée de réalisation des tâches avec le dispositif varie peu ce qui permet de conserver un poste de travail équipé du dispositif dans une logique de cadence imposée. Le score RULA est amélioré par le support de bras, permettant une meilleure cotation d'un poste équipé du dispositif. Enfin, le temps de récupération nécessaire après la réalisation des tâches est diminué avec le dispositif ce qui permet de confirmer l'intérêt de son utilisation régulière

CONFLIT D'INTERET

L'étude a été réalisée par une société tierce qui n'est pas liée à la société *Perdelle* qui fabrique et vend le dispositif. Il n'y a pas de conflit d'intérêt.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Article AMELI (2022)
<https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/tms/comprendre-troubles-musculosquelettiques>
- [2] Données statistiques de l'INRS (2020)
<https://www.inrs.fr/publications/bdd/mp/tableau.html?refINRS=RG%2057§ion=donnees-statistiques>
- [3] Heidi Verlinden, rapport SECUREX (2018). L'absentéisme en 2017, Petites et grandes entreprises : problématique différente, approche différente.
- [4] Andrea Blanco, José M. Catalán, Jorge A. Díez, José V. García, Emilio Lobato et Nicolás García-Aracil (2019). Electromyography assessment of the assistance provided by an upper-limb exoskeleton in maintenance tasks.
<https://doi.org/10.3390/s19153391>
- [5] Andrea Blanco, José M. Catalán, Jorge A. Díez, José V. García, Luis D. Lledó, Emilio Lobato et Nicolás García-Aracil (2019). Advantages of the incorporation of an active upper-limb exoskeleton in industrial tasks.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-36150-1_39
- [6] Håkan Sporrang, Gunnar Palmerud, Roland Kedefors, Peter Herberts (1998)
The effect of light manual precision work on shoulder muscles – an EMG analysis
[https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(97\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(97)00032-1)
- [7] J.P De Groot (1987). Electromyographic analysis of a postal sorting task
<https://doi.org/10.1080/00140138708965997>
- [8] Recommandations du positionnement d'électrode selon <http://www.seniam.org/>
- [9] Johanson H. Windhorst U. Djupsjöbacka M. Passadore M. eds. (2003). Chronic workrelated Myalgia, neuromuscular mechanisms behind work-related chronic muscle pain syndromes.
<https://doi.org/10.1080/10582450802162265>
- [10] Chowdury M. L. Rahman (2014). Study and analysis of work postures of workers working in a ceramic industry through rapid upper limb assessment (RULA).