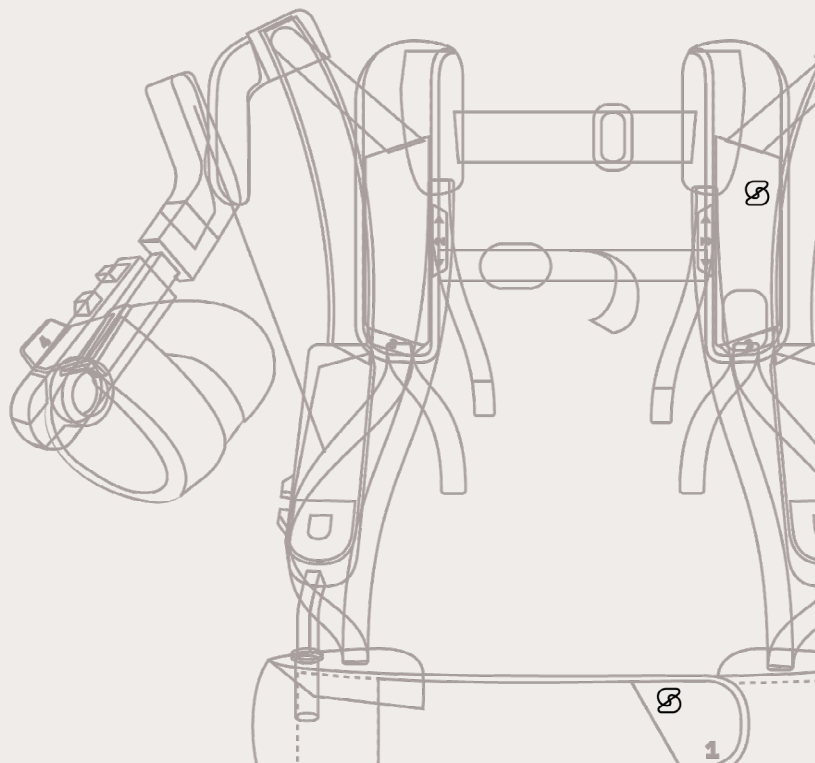


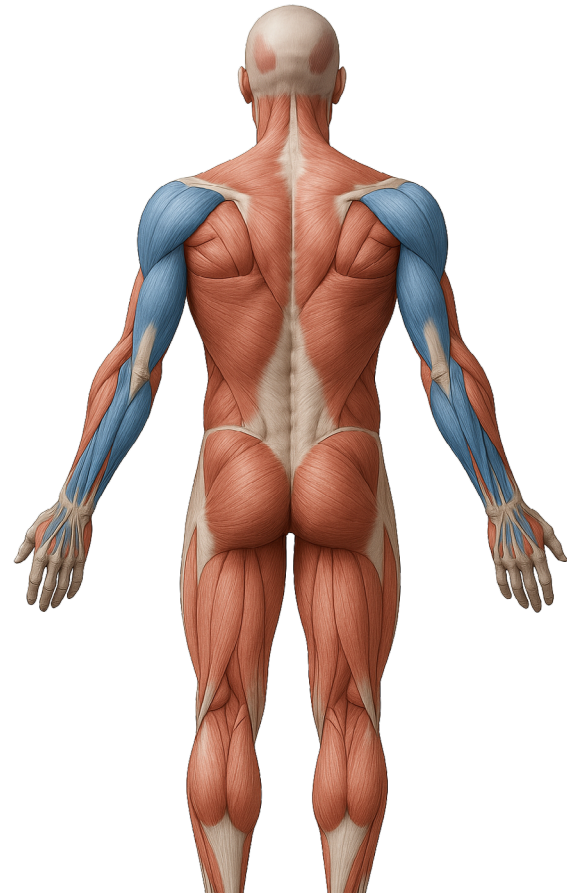
Skelex **360**

La science sur vos épaules



Réductions prouvées de la tension et de la fatigue sur plusieurs tâches

Des centaines d'études ont montré comment les exosquelettes réduisent la contrainte et la fatigue, mais le volume de recherches rend difficile pour les non-experts de discerner l'essentiel. Ce document rassemble les preuves de manière claire et pratique, en se concentrant sur des tâches clés telles que le **soudage, l'étanchéité, l'assemblage en hauteur, le levage, le plâtrage et la construction de plafonds**. Il met également en évidence des indicateurs essentiels comme la fatigue et la précision. Dans tous les cas d'utilisation, les résultats désignent le Skelex 360 comme une solution fiable, validée à la fois dans des études en laboratoire et dans des environnements de travail réels.



Avantages

En soutenant les épaules et les bras, le Skelex 360 rend le travail au-dessus de la tête plus durable. Des recherches ont montré qu'il :



Réduit l'activité musculaire des épaules de 30 % à 50 %



Réduit la sensation de lourdeur et de fatigue



N'interfère pas avec la précision ni la motricité fine



Maintient la sollicitation cardiaque à un niveau plus faible lors de tâches répétitives



Coût cardiaque

Une étude de l'École Centrale de Nantes (FR) prouve que le Skelex 360 réduit la fatigue sur la base de la mesure du coût cardiaque [1]

Dans cette étude, l'influence du Skelex 360 sur le coût cardiaque a été étudiée pour des tâches répétitives (R) et précises (P). Un total de 36 participants en bonne santé, 18 hommes et 18 femmes, ont pris part à l'étude. La tâche R consistait à utiliser un outil électrique de 6 kg pour serrer des écrous avec les bras levés à hauteur des yeux. La tâche P consistait à tracer des lignes projetées sur un mur à l'aide d'un stylo interactif, comme illustré à la fig. 1a.

Pour les deux tâches, une réduction significative du coût cardiaque a été observée lors du port de l'exosquelette, malgré le poids ajouté et les contraintes physiques. Cela a été confirmé par des questionnaires subjectifs évaluant l'effort perçu global et local, qui ont montré une réduction statistiquement significative tant globale que locale, notamment pour les épaules, les bras et le cou, comme illustré à la fig. 1b. La réduction du coût cardiaque lors de l'utilisation du Skelex 360 indique une fatigue moindre pendant l'exécution d'une tâche – combinée aux études EMG antérieures, elle démontre de manière concluante que l'utilisation du Skelex 360 pour certaines tâches rend les utilisateurs moins fatigués.

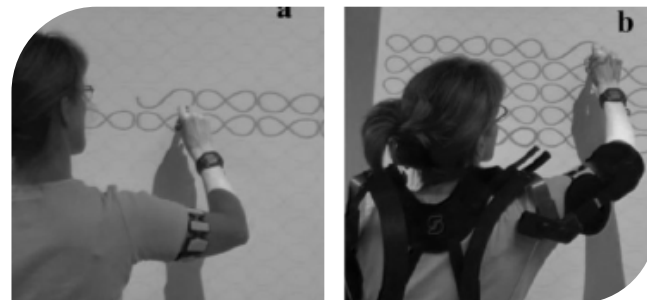


Fig. 1a. Un participant réalisant la tâche de précision P sans exosquelette (a) et avec l'exosquelette (b).

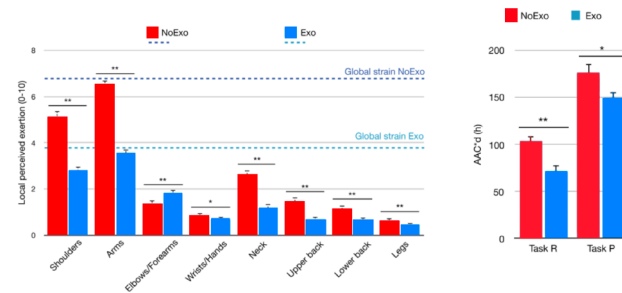


Fig. 1b. Effort perçu global et local pour des parties spécifiques du corps sans exosquelette (NoExo) et avec exosquelette (Exo) pour l'ensemble des tâches ; les lignes pointillées indiquent les moyennes de contrainte globale.

Fig. 1c. Évaluation de ACCd (h) pour la tâche R et la tâche P avec (Exo) et sans (NoExo) exosquelette.

Précision

L'influence du Skelex 360 sur la motricité fine lors de l'exécution de tâches de précision a été étudiée dans cette recherche [2], qui conclut que l'utilisation du Skelex 360 permet aux travailleurs de maintenir leur précision tout en réduisant l'activité musculaire, même en condition de fatigue.

L'étude menée notamment par l'Université de Hambourg et l'Institut Universitaire de France [2] a examiné l'impact du Skelex 360 en présence ou non de fatigue musculaire, lors de la réalisation de tâches industrielles simples (ST) et doubles (DT) comprenant des exercices de vitesse et de précision. Dans les deux cas, N = 10 participants (5 hommes / 5 femmes) ont effectué une tâche de précision en hauteur consistant à utiliser un pistolet à clous pour viser avec précision des zones spécifiques sur trois surfaces de tailles différentes, selon le paradigme de la loi de Fitts (tâche de compromis vitesse-précision), avec et sans le Skelex 360 (Fig. 2a). Une réduction importante de l'activité musculaire a été observée dans le muscle deltoïde : ST - 26 % avant fatigue, 32 % après fatigue ; DT - 53 % avant fatigue, 40 % après fatigue ; ces résultats sont cohérents avec d'autres études EMG menées avec le Skelex 360, comme illustré à la Fig. 2b. Les conclusions principales étaient : i) les jeunes participants en bonne santé s'adaptent facilement à l'utilisation du Skelex 360 pour exécuter une tâche rapide et précise, et ii) le port du Skelex 360 ne modifie pas la capacité à gérer le compromis entre vitesse et précision.



Fig. 2a. (de gauche à droite) Utilisation du pistolet à clous sans exosquelette. Utilisation du pistolet à clous avec exosquelette, protocole de fatigue.

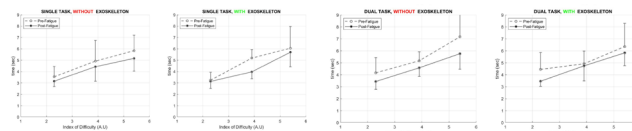


Fig. 2b. La loi de Fitts a été préservée dans toutes les conditions (exo/sans exo, fatigue/sans fatigue, ST/DT). La pente est restée inchangée, ce qui suggère que les participants ont adapté leurs stratégies motrices pour maintenir le contrôle. En portant un exosquelette, les utilisateurs ont pu continuer à effectuer des mouvements précis et synchronisés de manière fiable.

Étanchéité

La fabrication aérospatiale comprend plusieurs tâches nécessitant une élévation des bras ; la recherche de la Wichita State University (États-Unis) [3] montre que le Skelex 360 est l'une des meilleures solutions pour soutenir les artisans effectuant ce type de tâches

La fabrication aéronautique comprend une opération appelée étanchéité, au cours de laquelle les joints du fuselage sont scellés à l'aide d'un produit d'étanchéité et d'un outil de lissage, nécessitant des mouvements des bras de l'ouvrier allant de sous le coude jusqu'au-dessus de la tête (Fig. 3a). Les participants à cette étude comprenaient 16 employés expérimentés de l'aéronautique (8 hommes, 8 femmes).

Les recherches évaluant les exosquelettes passifs du bras supérieur lors de tâches d'étanchéité aéronautique ont montré une réduction importante (30–40 %) de l'activation du muscle trapèze (Fig. 3b). L'étude a mis en évidence le Skelex 360 comme l'appareil le plus confortable parmi ceux testés, améliorant significativement à la fois le confort de l'utilisateur et la précision lors des opérations d'étanchéité en hauteur (Fig. 3c).



Fig. 3a. Tâches d'étanchéité horizontales et postures de départ (de gauche à droite) a) étanchéité debout le long du raidisseur supérieur b) étanchéité debout le long du raidisseur inférieur c) étanchéité assise le long du raidisseur supérieur d) étanchéité assise le long du raidisseur inférieur.

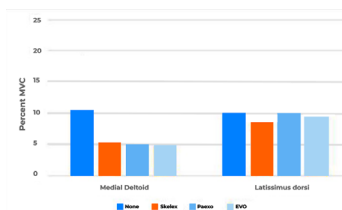


Fig. 3b. Pourcentage moyen de MVC pour les muscles du côté préféré significativement affectés par les exosquelettes lors de l'étanchéité horizontale en position debout.

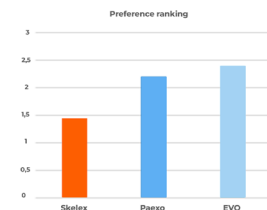


Fig. 3c. Classement moyen de préférence des exosquelettes pour les tâches d'étanchéité (1=le plus préféré à 3=le moins préféré).

Soudage

Des recherches menées par le Fraunhofer IPA (DE) [4] ont montré des améliorations des performances de soudage avec le Skelex 360

Le soudage est un procédé de fabrication courant, avec plus d'un million de soudeurs actifs dans le monde dans les secteurs de la construction navale, des infrastructures et d'autres industries. Une étude menée par le Fraunhofer IPA avec 15 participants ayant de l'expérience en soudage a impliqué un flux de travail d'une heure simulant des tâches de soudage et de meulage à l'aide d'un simulateur de soudage, en se concentrant sur la position PF (soudage vertical devant le corps) et la position PE (soudage en hauteur) (Fig. 4a). Le simulateur de soudage a évalué la "vitesse de déplacement" — un facteur clé de la qualité du soudage — sur une échelle de 0 à 100. La position PF (soudage vertical devant le corps) a montré une amélioration de +5,8 % avec l'utilisation du Skelex 360. Pour la position PE (soudage en hauteur), l'amélioration a été de +28,8 % (Fig. 4b). Le score du paramètre de soudage « vitesse de déplacement », essentiel pour la qualité et la conformité du cordon, montre une augmentation statistiquement significative lors de l'utilisation du Skelex 360.

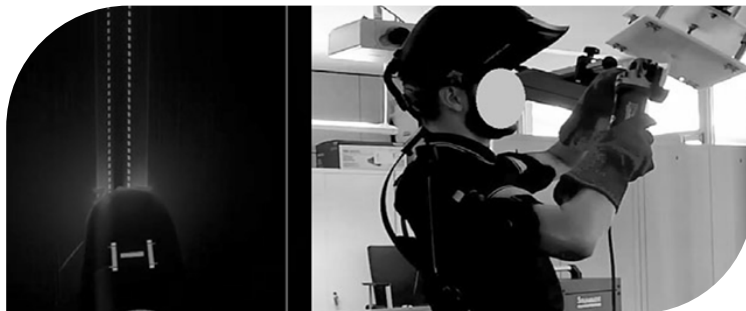


Fig. 4a (gauche) Vue à la première personne du participant en position PF pendant la séquence de soudage ; (droite) Illustration exemplaire de la position PE pendant la séquence de meulage.

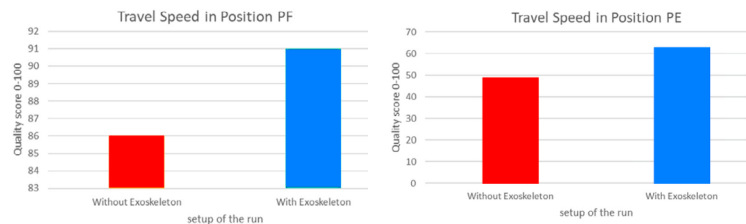


Fig. 4b. Résultats de l'analyse statistique du paramètre vitesse de déplacement pour l'ensemble de la population.

Plâtrage

Une réduction de l'activité musculaire des épaules a été observée dans une étude d'application du TNO (NL) [5] lors de tâches de plâtrage avec le Skelex 360

Le plâtrage des plafonds implique de longues séquences de mouvements complexes au-dessus de la tête avec des outils de plâtrage lourds, ce qui entraîne rapidement une fatigue des épaules, des bras et du haut du dos. Dans cette étude, 11 plâtriers expérimentés ont réalisé des tâches typiques de plâtrage, telles que l'application et la finition de plâtre sur les murs et les plafonds dans une configuration expérimentale spéciale (Fig. 5a). L'activité musculaire avec et sans le Skelex 360 a été mesurée à l'aide de capteurs EMG. Des réductions significatives de l'activité musculaire ont été observées pour certains muscles de l'épaule lors de l'utilisation de l'exosquelette, tandis qu'aucun des muscles étudiés n'a montré d'augmentation significative d'activité dans aucune des tâches (Fig. 5b). Cette étude unique confirme davantage l'efficacité du Skelex 360 pour les tâches difficiles au-dessus de la tête grâce à des mesures objectives dans un scénario réel.



Fig. 5a. Vue d'ensemble de la configuration et des activités au plafond. Lissage (à gauche) et finition avec une spatule à plâtre (à droite).

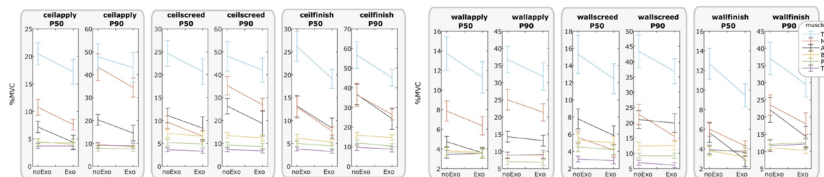


Fig. 5b. Activation musculaire dans les conditions Exo et NoExo pour différentes tâches de plâtrage. Chaque panneau représente une tâche de plâtrage, la rangée supérieure montre le travail sur le mur et la rangée inférieure montre le travail au plafond.

Assemblage en hauteur

Une étude de l'Université d'Aalborg (DK) [6] a montré que le Skelex 360 réduit l'activité musculaire dans les bras dominant et non dominant lors de tâches d'assemblage en hauteur

L'assemblage en hauteur nécessite qu'un bras tienne ou stabilise pendant que l'autre exécute l'action principale, ce qui entraîne une fatigue rapide des deux bras. Le bras de soutien, non dominant, subit souvent la plus forte contrainte. Dans cette étude, l'impact du Skelex 360 sur l'activité musculaire a été étudié expérimentalement lors d'une tâche d'assemblage en hauteur.

Dix-huit hommes en bonne santé ont participé à l'étude. La tâche consistait à saisir une vis avec la main non dominante et à la visser avec la main dominante, pour un total de 10 vis par sujet (voir Fig. 6a).

Les résultats ont montré une réduction de l'activation musculaire dans tous les muscles (Fig. 6b). Une observation intéressante est que la réduction de l'activité musculaire était nettement plus importante pour la main non dominante. Cela contribue à la sensation globale de fatigue, même pour des tâches simples nécessitant les deux mains – très fréquentes dans de nombreuses industries.

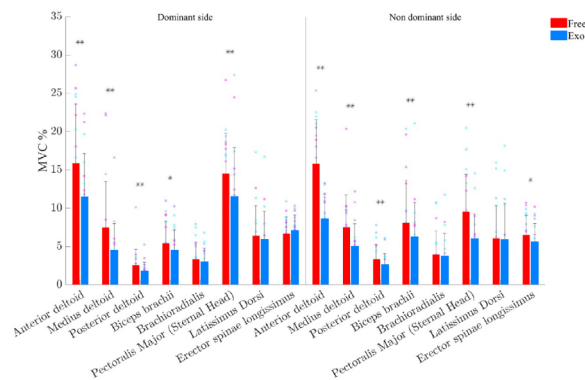
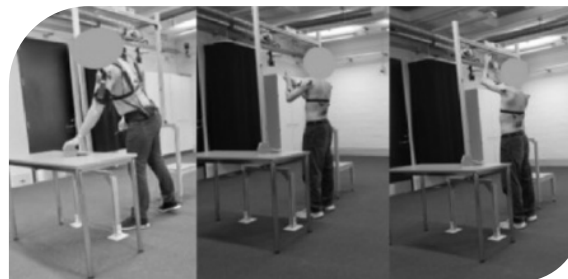


Fig. 6a (au-dessus). Configuration de la tâche d'assemblage en hauteur Fig. 6b (au-dessous). Comparaison de l'activation musculaire moyenne entre les participants dans les deux conditions, Libre (gris) et Exo (orange), lors de la tâche d'assemblage en hauteur

Levage

Une étude de l'Université d'Aalborg (DK) [6] a observé une réduction de l'activité musculaire des épaules lors de tâches de levage répétées avec le Skelex 360.

Le déplacement ou le levage d'objets est une tâche courante mais connue pour provoquer des TMS. Dans cette étude, l'influence d'un exosquelette sur l'activité musculaire a été étudiée expérimentalement lors d'une tâche de levage. Dix-huit hommes en bonne santé ont participé à l'étude. La tâche consistait à soulever une boîte (W = 10 kg) du sol jusqu'au sommet d'une table tout en effectuant une rotation du corps de 90 degrés (voir Fig. 7a). Un rythme de 15 répétitions par minute a été imposé à l'aide d'un métronome. Les participants ont effectué six levages consécutifs et répété l'ensemble de la tâche trois fois pour chaque condition, avec et sans le Skelex 360.

Les résultats montrent que l'activation du deltoïde antérieur (AD) et du deltoïde médian (MD) a été significativement réduite des deux côtés lors de l'utilisation du Skelex 360 (Fig. 7b). Fait intéressant, certains groupes musculaires ont montré une augmentation de l'activation, ce qui pourrait être dû à une légère contrainte du dos par la structure. Ainsi, pour des tâches très dynamiques comme le levage, même avec un dispositif aussi flexible et confortable que le Skelex 360, certains utilisateurs peuvent ressentir une certaine restriction de mouvement.

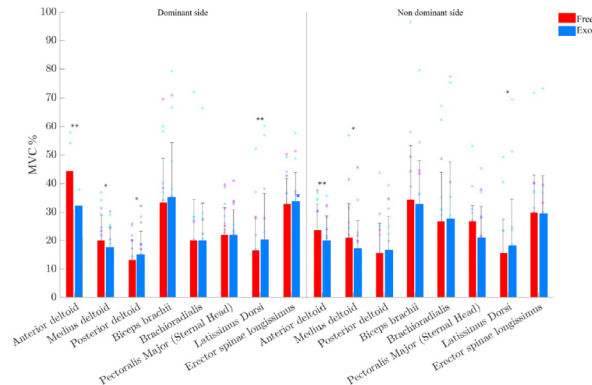
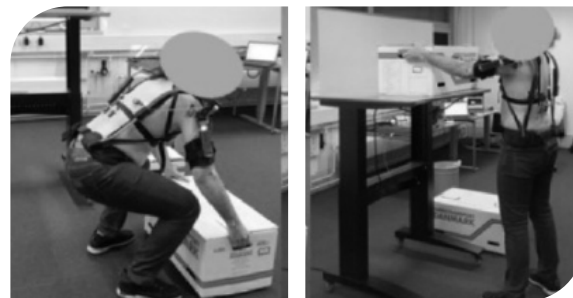


Fig. 7a (au-dessus). Configuration de la tâche d'assemblage en hauteur Fig. 7b (au-dessous). Comparaison de l'activation musculaire moyenne entre les participants dans les deux conditions, Libre (gris) et Exo (orange), lors de la tâche de levage.

Construction de plafonds

Le TNO (NL) [7] a observé des réductions significatives de l'activité musculaire des épaules et de l'effort perçu lors de tâches de construction de plafonds avec le Skelex 360

La construction de plafonds implique une élévation continue des bras, ce qui constitue un facteur de risque de TMS. Cette étude du TNO approfondit l'utilisation du Skelex 360 dans le domaine de la construction. 11 monteurs de plafonds expérimentés ont réalisé 9 tâches différentes liées à la construction d'un plafond, avec et sans le Skelex 360 (voir Fig. 8a). Chaque participant avait la liberté d'exécuter les tâches selon sa préférence, chaque tâche durant entre 3 et 4 minutes. Une évaluation objective (EMG) et subjective (taux d'effort perçu – RPE) a été effectuée dans un environnement simulé mais réaliste.

Les résultats EMG montrent une réduction importante de l'activité musculaire, en accord avec les recherches précédentes. Le RPE était plus faible pour toutes les tâches, comme illustré à la Fig. 8a, mais une préférence marquée a été observée pour l'utilisation du Skelex 360 lors du ponçage mécanique, du ponçage manuel et du remplissage des joints, qui sont les tâches les plus exigeantes. 10 des 11 participants ont préféré utiliser l'exosquelette pour ces tâches (voir Fig. 8b). Ces résultats confirment que, pour les tâches appropriées – même complexes –, le Skelex 360 offre à la fois flexibilité et soutien.

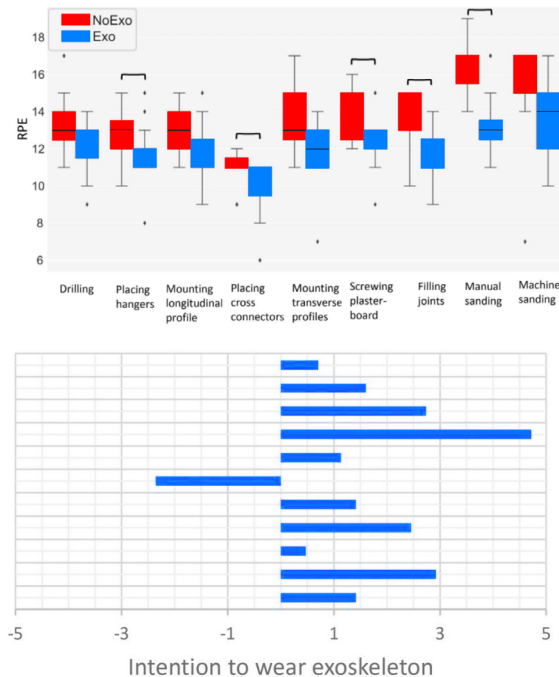


Fig. 8a (au-dessus). Boîtes à moustaches du taux d'effort perçu (RPE) dans le bras dominant Fig. 8b (au-dessous). Intention des participants de porter le Skelex 360 en évaluant les avantages et les inconvénients. Plus la valeur est élevée, plus l'intention est forte ; plus la valeur est faible, plus l'intention est faible. Chaque ligne horizontale représente la réponse d'un participant.

Références

Ce document présente les résultats de recherches indépendantes menées en collaboration avec des universités et des instituts. Toutes les conclusions sont basées sur des mesures EMG, des données RPE et des tests de performance réalisés dans de véritables tâches industrielles

- [1] Moyon, A., Petiot, J.-F., & Poirson, E. (2019). [Investigating the effects of passive exoskeletons and familiarization protocols on arms-elevated tasks. In D. de Waard et al. \(Eds.\), Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2018 Annual Conference. Human Factors and Ergonomics Society – Europe Chapter.](#)
- [2] Gräf, J., Grospretre, S., Argubi-Wollesen, A., & Wollesen, B. (2024). [Impact of a passive upper-body exoskeleton on muscular activity and precision in overhead single and dual tasks: An explorative randomized crossover study. Frontiers in Neurology, 15, 1405473.](#)
- [3] Jørgensen, M. J., Hakansson, N. A., & Desai, J. (2022). [The impact of passive shoulder exoskeletons during simulated aircraft manufacturing sealing tasks.](#)
- [4] Schalk, M., Schalk, I., Bauernhansl, T., Siegert, J., Esin, A., & Schneider, U. (2022). [Influence of exoskeleton use on welding quality during a simulated welding task. Wearable Technologies, 3, e17.](#)
- [5] De Vries, A. W., Krause, F., & de Looze, M. P. (2021). [The effectivity of a passive arm support exoskeleton in reducing muscle activation and perceived exertion during plastering activities. Ergonomics. Advance online publication.](#)
- [6] Musso, M., Oliveira, A. S., & Bai, S. (2024). [Influence of an upper limb exoskeleton on muscle activity during various construction and manufacturing tasks. Applied Ergonomics, 114, 104158.](#)
- [7] Baltrusch, S. J., Krause, F., de Vries, A. W., & de Looze, M. P. (2024). [Arm-support exoskeleton reduces shoulder muscle activity in ceiling construction. Ergonomics, 67⑥, 1051–1063.](#)



Skelex **360**

Un poids en moins sur vos épaules



Scannez le QR code pour
plus d'informations sur le
Skelex 360.



Skelex BV
Saturnusstraat 95
2516 AG La Haye
Pays-Bas

info@skelex.com
+31 (0) 85 073 5790

Visitez notre site web : www.skelex.com