

Congrès

EXOSQUELETTES AU TRAVAIL: INTÉRÊTS ET LIMITES POUR LA PRÉVENTION DES TMS?

Paris, France, 26 novembre 2019

Compte-rendu de la journée technique organisée par l'INRS

JEAN
THEUREL
INRS,
département
Homme
au travail*

***Contributions:**
Agnès Aublet-
Cuvelier,
Jean-Jacques
Atain Kouadio,
Laurent
Kerangueven,
Lièn Wioland
(INRS)

Développés pour réduire la charge physique et les troubles musculosquelettiques (TMS), les exosquelettes ont récemment fait naître un espoir légitime d'amélioration des conditions de travail. Revêtus par les opérateurs pour les assister dans l'exécution de leurs mouvements, ils sont conçus pour limiter les efforts musculaires associés à la réalisation d'une tâche professionnelle. L'utilisation de ces nouvelles technologies d'assistance physique pose toutefois des questions relatives à la santé et la sécurité des utilisateurs. L'INRS a organisé une journée technique pour échanger sur ces questions et faire le point sur les limites et les intérêts de ces dispositifs.

EXOSKELETONS AT WORK: BENEFITS AND LIMITS FOR PREVENTION OF MSDS
(Summary of the technical seminar held by INRS on 26 November 2019) – Developed to reduce physical load and musculoskeletal disorders (MSDs), exoskeletons have recently given birth to a legitimate hope of improving working conditions. Worn by operators for motion support, they are designed to limit the muscular efforts associated with performing job tasks. The use of these new physical support technologies however, raises questions about the health and safety of users. INRS held a technical seminar to discuss these matters and review the limits and benefits of these mechanisms.

Le 26 novembre 2019, l'INRS a organisé une journée technique consacrée aux exosquelettes, avec l'objectif d'informer les entreprises sur les bénéfices et les limites associés à l'usage de ces équipements. Dédiée aux préventeurs, services de santé au travail et chefs d'entreprises confrontés à l'émergence rapide des exosquelettes, celle-ci a accueilli plus de 250 personnes. Les concepteurs et intégrateurs qui ne cessent d'innover en proposant des solutions textiles, mécaniques, voire robotiques, visant à répondre aux besoins des entreprises, ont également participé à cet évènement. Au cours de quatre sessions thématiques, afin de mieux cerner les enjeux actuels de santé et de sécu-

rité au travail, des apports théoriques, retours d'expériences et des bonnes pratiques ont été présentés par des experts, des acteurs d'entreprises et des préventeurs impliqués dans des projets d'intégration de ces exosquelettes en milieu professionnel.

Session 1: Les exosquelettes au travail: solution ou illusion?

Sur la base des preuves disponibles quant à l'efficacité des exosquelettes à usage professionnel pour réduire les contraintes biomécaniques au travail, **Jean Theurel** (INRS) a présenté les avantages et les risques potentiels, en termes de troubles musculosquelettiques (TMS), associés à l'utilisation de ces dispositifs. Les principales lacunes dans les connaissances actuelles



© Fabrice Dimier pour l'INRS, 2019

Démonstration des travaux menés sur les conséquences physiologiques de l'usage d'exosquelettes lors de tâches de manutention (assistance des membres supérieurs et du dos).

ont également été discutées en vue d'identifier les points de vigilance à considérer et les recherches nécessaires au développement des futures générations d'exosquelettes, intégrant les questions de santé et sécurité au travail. Bien que le potentiel des exosquelettes pour atténuer localement les tensions musculaires lors d'activités de manutention semble prometteur, l'état actuel des connaissances ne permet pas de préconiser l'utilisation, sans réserve, de ces technologies pour la prévention des TMS. Les bénéfices et les limites des exosquelettes en matière de réduction des facteurs de risque biomécaniques de TMS apparaissent directement dépendants de l'interaction entre leurs caractéristiques de conception et celles de la tâche de travail pour laquelle ils sont utilisés. Les effets des exosquelettes sur le fonctionnement des articulations assistées et sur les contraintes posturales, ainsi que les adaptations physiologiques à long terme restent à être étudiés.

Kevin Desbrosses et Mathilde Schwartz (INRS) ont poursuivi avec une présentation des résultats des dernières expérimentations du laboratoire « physiologie-mouvement-travail » de l'INRS sur les exosquelettes. Quatre modèles d'exosquelettes assistant le dos ou les membres supérieurs ont été évalués lors de tâches de manutention statiques et dynamiques. Les angles articulaires, les sollicitations musculaires, l'équilibre postural et la perception de l'effort ont été analysés. Les résultats indiquent que tous ces exosquelettes peuvent induire une réduction du niveau de sollicitation des muscles assistés. Toutefois, cette réduction est dépendante des contraintes posturales générées par la tâche et des caractéristiques de l'exosquelette utilisé

(système textile *versus* système rigide, par exemple). Aussi, les résultats soulignent que l'utilisation de ces dispositifs d'assistance peut générer d'autres conséquences physiologiques (modification de l'équilibre postural, sollicitation de groupes musculaires non assistés...), variables aussi selon la nature de la tâche et le type d'exosquelette. Il est donc nécessaire, pour les entreprises désireuses de s'orienter vers ces nouvelles technologies, de bien définir quelles tâches pourraient faire l'objet d'une assistance, avant de choisir le modèle d'exosquelette qui leur sera le plus adapté.

Bruno Rondet (SOE, Stuc and Staff) et **Claude Gimenez** (Airbus) ont fait part de leurs retours d'expérience sur l'usage d'exosquelettes, respectivement dans les secteurs du BTP et de l'aviation. Pour Bruno Rondet, responsable de l'entreprise, le projet est né du constat d'une forte pénibilité de la tâche de ponçage de plafond, nécessitant de travailler durablement mains au-dessus de la tête, en engageant des efforts soutenus des membres supérieurs. Après l'essai de diverses solutions techniques (chariot porte-ponceuse, perche...), l'entreprise s'est tournée vers un exosquelette d'assistance des membres supérieurs. Après une phase de familiarisation avec le dispositif et quelques adaptations techniques, les compagnons ont intégré l'exosquelette dans leurs tâches de ponçage, ses performances permettant d'alléger les contraintes biomécaniques. De son côté, Claude Gimenez, ingénieur de production, a replacé l'évaluation au centre de la perspective d'intégration des exosquelettes dans le groupe Airbus: « *Dans un contexte industriel complexe, multinational et multiculturel, Airbus doit s'adapter au marché, avec un recours aux nouvelles technologies et*



à l'innovation. Après une étude ergonomique approfondie, les exosquelettes peuvent être une solution de prévention bénéfique, en termes de santé au travail et de réduction de la charge physique de travail ». Ce dernier a mis en place une approche centrée sur l'utilisateur. Pour cela, il a mené une étude comparative des exosquelettes présents sur le marché, réalisée en collaboration avec l'université de Toulouse. Les bénéfices apportés par chacun des exosquelettes en matière d'assistance physique sont spécifiques, les besoins des opérateurs également. Airbus recherche la bonne adéquation entre les deux et met en place des protocoles d'évaluation, au moyen notamment de tests biomécaniques, avec la participation des opérateurs, dans un objectif d'amélioration continue.

Session 2: L'acceptation des exosquelettes

Liën Wioland (INRS) a introduit cette seconde session thématique par un point théorique. Six dimensions ont été identifiées comme structurant l'acceptation des nouvelles technologies. Ces dimensions incluent notamment:

- la démarche mise en place par l'entreprise pour le déploiement de l'exosquelette;
- sa facilité d'utilisation;
- les attentes vis-à-vis de la performance en termes de production, de santé et sécurité;
- l'influence sociale;
- le retentissement sur l'identité professionnelle;
- et les affects des utilisateurs.

L'intervenante a ensuite présenté les principaux résultats de la passation d'un questionnaire INRS sur l'acceptation de ces dispositifs, élaboré autour de ces six dimensions et transmis à des utilisateurs et non utilisateurs d'exosquelettes (181 répondants). Il est apparu que la majorité des non utilisateurs n'ont pas de points bloquants face à ces dispositifs. En revanche, les utilisateurs étaient aussi nombreux à l'accepter qu'à le rejeter. Pour les utilisateurs, quelques points bloquants ont été identifiés, comme la difficulté d'utilisation des exosquelettes ou encore, l'apparition de gêne entravant la productivité par rapport à la situation sans exosquelette. Au final, il en résulte que le processus d'acceptation est complexe, fragile et dynamique et dépend d'un équilibre entre les six dimensions identifiées. Les résultats de cette étude, ainsi que le questionnaire conçu et utilisé dans ce cadre, ont été publiés dans la revue *Références en Santé au Travail* [1, 2].

Dans la seconde intervention, **Samuel Corgne**, dirigeant de la société Ergosanté, a témoigné du partenariat d'innovation réalisé avec la SNCF. Ce partenariat avait pour objectif de concevoir un exosquelette d'assistance des membres supérieurs, notamment dédié aux tâches de maintenance des trains. L'intervenant a expliqué qu'ils avaient engagé une démarche de conception centrée sur l'utilisateur partant des besoins de la SNCF, pour créer un dispositif sur mesure. Cette

démarche s'est fondée sur une logique d'« homme préservé » et non « augmenté ». L'idée sous-jacente était que l'intégration en amont des besoins des opérateurs faciliterait l'acceptation de ce type de technologie.

Lors de la dernière intervention de cette session, **Delphine Baras**, responsable de mission et ergonomiste à l'Association de santé au travail de l'arrondissement de Valenciennes, a présenté les résultats d'une enquête, dont l'objectif était d'améliorer les connaissances des professionnels de santé au travail sur les exosquelettes, afin d'apporter un avis éclairé aux entreprises les sollicitant sur ce sujet. Les dispositifs sélectionnés étaient l'exosquelette textile Corfor V2 (testé par six opérateurs) et le gilet de protection Lyne Pro (testé par huit opérateurs). Delphine Baras a présenté les résultats de l'évaluation subjective organisée en onze points (mise en place facile des dispositifs, gêne au niveau des jambes, épaules, fatigue, gêne du regard des collègues...). Malgré un réel effet d'assistance ressenti par les opérateurs pour les deux dispositifs, seule la moitié des opérateurs, toutes activités confondues, ayant testé le gilet de protection, a souhaité poursuivre les essais, tandis qu'aucun testeur de l'exosquelette textile n'a souhaité poursuivre. Les raisons identifiées étaient liées aux contraintes d'habillement et à la gêne ressentie par les testeurs au niveau des épaules et des genoux. L'intervenante a conclu qu'un seul dispositif ne pouvait pas répondre à l'ensemble des difficultés rencontrées par un opérateur, et qu'il était crucial de passer par une étude de poste de travail, avec la participation des utilisateurs potentiels, pour l'adapter et l'optimiser.

Session 3: De la définition du besoin à l'intégration d'un exosquelette au travail

La troisième session visait à repositionner les concepts développés lors des sessions précédentes dans tout projet visant l'intégration d'un exosquelette en situation réelle de travail. Ainsi, **Laurent Kerangueven** et **Emmanuelle Turpin-Legendre** (INRS) ont présenté une démarche visant à accompagner l'entreprise dans son projet d'acquisition et d'intégration d'un exosquelette. Structurée en trois phases, cette méthodologie d'action de l'INRS [3] permet à l'entreprise d'appréhender les nombreuses questions posées par l'intégration d'un exosquelette, tout en garantissant la prise en compte de la prévention des risques professionnels, dans le respect des principes généraux de prévention. Elle invite notamment l'entreprise à s'inscrire dans une démarche structurée, allant de la définition du besoin d'assistance physique jusqu'à l'intégration en situation réelle de l'exosquelette, s'il s'avère pertinent, avec comme objectif d'aboutir à la meilleure adéquation possible entre l'exosquelette, l'opérateur et les spécificités de la tâche pour laquelle il est envisagé. Une seconde intervention d'**Elodie Dequaire** (Cetim) a montré en quoi l'analyse du besoin d'assistance physique s'avère primordiale, avant toute démarche

d'acquisition d'un exosquelette. En effet, l'évaluation menée dans une entreprise de pneumatiques a mis en évidence que le dispositif retenu n'était pas adapté à l'activité pour laquelle il avait été envisagé initialement, renforçant ainsi les conclusions précédentes sur la nécessité pour l'entreprise de s'inscrire dans une démarche d'évaluation structurée. Dans ce cadre, **Chris Hayot** (Icare Science) a proposé une approche scientifique permettant d'aider l'entreprise à s'orienter vers une solution, exosquelette ou non, correspondant aux besoins identifiés. Les mesures proposées par Icare Sciences avaient également pour enjeu d'évaluer objectivement les apports et les contraintes générés par le système retenu. Enfin, **Marc Bury** (Carsat Nord-Est) a fait un retour sur l'évaluation d'impact de l'intégration d'un exosquelette robotisé sur l'activité de travail dans le secteur des Travaux publics, au cours d'une activité d'épandage de bitume. L'approche présentée a consisté à évaluer, avec la contribution de l'INRS, en quoi l'intégration de cet exosquelette destiné au tireur de râteau (tâche d'épandage du bitume) a pu transformer l'activité réalisée par l'opérateur équipé, mais aussi l'activité du collectif de travail et, plus globalement, l'organisation du travail au sein de l'équipe. Cette dernière intervention montre la nécessité d'accompagner le déploiement de l'exosquelette par une réflexion plus globale sur l'organisation du chantier (typologie, préparation du chantier, ordonnancement et répartition des tâches...), mais aussi sur le rôle de l'encadrement et le fonctionnement de l'équipe, afin d'exploiter au mieux le potentiel d'assistance physique de l'exosquelette.

Session 4: Exosquelettes: des usages et pratiques de terrain à la normalisation

La dernière session de la journée visait à démontrer comment l'évaluation de l'usage des exosquelettes a fait évoluer les pratiques de prévention des entreprises, jusqu'à impulser l'élaboration d'une norme de recommandations ergonomiques.

Jean-Jacques Atain Kouadio (INRS) s'est appuyé sur les thèmes précédemment développés pour illustrer l'évolution des pratiques de prévention des entreprises, à savoir: 1°) l'évaluation; 2°) l'acceptation; et 3°) l'intégration et le déploiement des technologies. L'évaluation intervient à différentes étapes du projet d'intégration d'un exosquelette. Les premières données à collecter sont en lien avec la caractérisation du besoin d'assistance physique et l'identification des exosquelettes les plus adaptés à la situation de travail. Puis, lors d'une période de familiarisation où les opérateurs sont confrontés à l'usage de ces technologies, les évaluations sont centrées sur l'interaction humaine - exosquelette et ce, jusqu'à l'intégration en situation réelle de production. Enfin, un suivi à court, moyen et long termes permet d'étudier l'évolution de cette interaction, en limitant tout nouveau risque lié à l'usage de l'exosquelette, ou à l'évolution de la



© Fabrice Dimier pour l'INRS, 2019

Ouverture de la journée par Renaud Buronfosse, président du Conseil d'administration de l'INRS: « *Le recours aux exosquelettes soulève des questions en matière d'efficacité et de risques associés à leur utilisation. Aujourd'hui il s'agira de mieux cerner les avantages ou les limites de ces nouvelles technologies d'assistance physique, en termes d'enjeux de prévention pour préserver la santé et sécurité, en termes de bénéfices pour la performance de l'entreprise également, alors même que nous assistons à une émergence sans précédent dans le monde du travail.* »

situation de travail (environnement, organisation). Il s'agit pour les entreprises d'articuler ces différentes phases d'évaluation et ainsi, d'acquiescer et de consolider une méthodologie d'évaluation spécifique aux exosquelettes.

L'acceptation des exosquelettes par les opérateurs constitue un enjeu majeur pour les entreprises. En effet, il est nécessaire que l'entreprise intègre les différentes dimensions structurant l'acceptation des nouvelles technologies dans ses pratiques de prévention. La seule satisfaction des opérateurs n'est pas suffisante pour s'assurer de l'acceptation future des exosquelettes. Il est indispensable de créer les conditions favorables à leur intégration au niveau individuel comme au niveau collectif, et d'impliquer l'encadrement et tous les acteurs concernés dans cet accompagnement du changement.

Les acteurs du changement dans l'entreprise doivent comprendre la nécessité de consacrer du temps à



l'intégration et au déploiement des exosquelettes dans l'activité, pour que ces technologies permettent effectivement d'améliorer les conditions de travail et soient acceptées par les opérateurs équipés, mais également au sein du collectif. Ils doivent élaborer, avec les différents acteurs concernés, un programme de déploiement des exosquelettes en cohérence avec la prévention des risques professionnels.

POUR EN SAVOIR +

- Webinaire - Exosquelettes au travail : quels bénéfices ? Quelles limites ? (28 avril 2020). Accessible sur la chaîne Youtube de l'INRS : <https://www.youtube.com/watch?v=7k1EnCohnrl>
- Offre d'informations sur les exosquelettes de l'INRS. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/essentiels/exosquelettes.html
- Les rendez-vous de *Travail et Sécurité* n° 3 (novembre 2019) : Les exosquelettes. Accessible sur la chaîne Youtube de l'INRS : <https://youtu.be/4g4nFF9Cpvk>
- Actes de la Journée technique. Accessibles sur : www.inrs.fr/footer/actes-evenements/journee-technique-exosquelettes-travail.html

Adèle Dumay (Afnor) a présenté l'ensemble des activités menées par l'association française de normalisation sur le thème des exosquelettes. Elle a rappelé dans un premier temps la publication en mars 2017 de l'accord AC Z 68-800 [4], résultat d'une collaboration entre chercheurs, préventeurs, industriels et concepteurs. À la suite de ces premiers travaux, les participants ont décidé de mettre à l'épreuve du terrain les préconisations de l'accord, afin de valider leur caractère opérationnel. Ils confrontent ainsi régulièrement, *via* une plateforme d'expérimentations, leurs pratiques d'évaluation de l'interaction humain – exosquelette, avec les problèmes rencontrés en situation réelle de travail et capitalisent collectivement, à partir de leurs retours d'expérience, pour faire évoluer les pratiques d'évaluation au bénéfice de la prévention. Plus récemment, un groupe de travail a été constitué au sein de la commission Afnor/X35A « Ergonomie », pour rédiger une norme sur les recommandations ergonomiques pour les dispositifs et robots d'assistance physique à contention (conception, évaluation de leur usage) [5] qui devrait voir le jour en 2021. Pour conclure, l'intervenante a indiqué que la plateforme d'expérimentations travaillait sur une proposition à porter au plan européen.

Conclusion

Séverine Brunet, directrice des applications et **Agnès Aublet-Cuvelier**, chef du département Homme au travail (INRS) ont clôturé cette journée en rappelant le chemin parcouru par l'INRS sur la problématique des exosquelettes en milieu professionnel, depuis le lancement de l'action de prospective sur les robots d'assistance physique en 2013. La richesse et la diversité des résultats de la recherche, des retours d'expérience

ainsi que la mutualisation des acquis, permettent de répondre aux principales attentes des préventeurs et des entreprises, sur la base d'une offre de service structurée (Cf. *Pour en savoir plus*). Les actions de normalisation permettent aussi d'intégrer les préoccupations de santé et sécurité au travail dans les processus de conception et d'intégration des exosquelettes en entreprise. À partir de la démarche d'intégration des exosquelettes, les entreprises peuvent évaluer leurs besoins, envisager les pistes de prévention collectives et organisationnelles à mettre en place avant de s'orienter, le cas échéant, vers l'acquisition d'un exosquelette. Les différentes étapes de son intégration aboutiront, avec la participation des salariés, à optimiser le choix des dispositifs et à accompagner leur introduction dans l'activité de travail, en veillant à préserver la santé et la sécurité des utilisateurs et du collectif de travail. Les exosquelettes ne constituent pas la solution miracle de lutte contre les TMS. Pour autant, sous certaines conditions, ils peuvent être envisagés comme un moyen de prévention. Les études, la mutualisation et la capitalisation des retours d'expérience vont se poursuivre en même temps que se développent de nouveaux exosquelettes, plus légers, plus adaptés à la morphologie, aux tâches... Les acquis sont à partager plus largement, au niveau international. L'investissement dans la normalisation notamment, ainsi que le développement en cours d'un réseau de chercheurs au plan international, figurent parmi les moyens d'accroissement des connaissances et de diffusion des acquis en prévention. Ces connaissances seront intégrées progressivement dans la démarche de prévention, au fil du développement technologique des exosquelettes et des expériences conduites. ●

BIBLIOGRAPHIE

[1] **WIOLAND L., DEBAY L., ATAIN KOUADIO J.J.** – Acceptation des exosquelettes par les opérateurs : étude exploratoire. *Références en Santé au Travail*, 2019, 157, Vu du terrain, TF 264, pp. 45-61. Accessible sur : www.rst-sante-travail.fr

[2] **WIOLAND L., DEBAY L., ATAIN KOUADIO J.J.** – Processus d'acceptabilité et acceptation des exosquelettes : évaluation par questionnaire. *Références en Santé au Travail*, 2019, 160, Vu du terrain, TF 274, pp.49-76. Accessible sur : www.rst-sante-travail.fr

[3] **ED 6315** – *Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise*. INRS, 2018. Accessible sur : www.inrs.fr

[4] **Accord AC Z 68-800** – Dispositifs d'assistance physique à contention de types exosquelettes. Outils et repères méthodologiques pour l'évaluation de l'interaction humain – dispositif. Afnor, mars 2017. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (*site payant*).

[5] **Projet de norme pr NF X 35-800** – Recommandations ergonomiques pour les dispositifs et robots d'assistance physique à contention. Conception, évaluation de leur usage. Afnor, (*à paraître*).