

# Exosquelettes : un atout contre la pénibilité ?

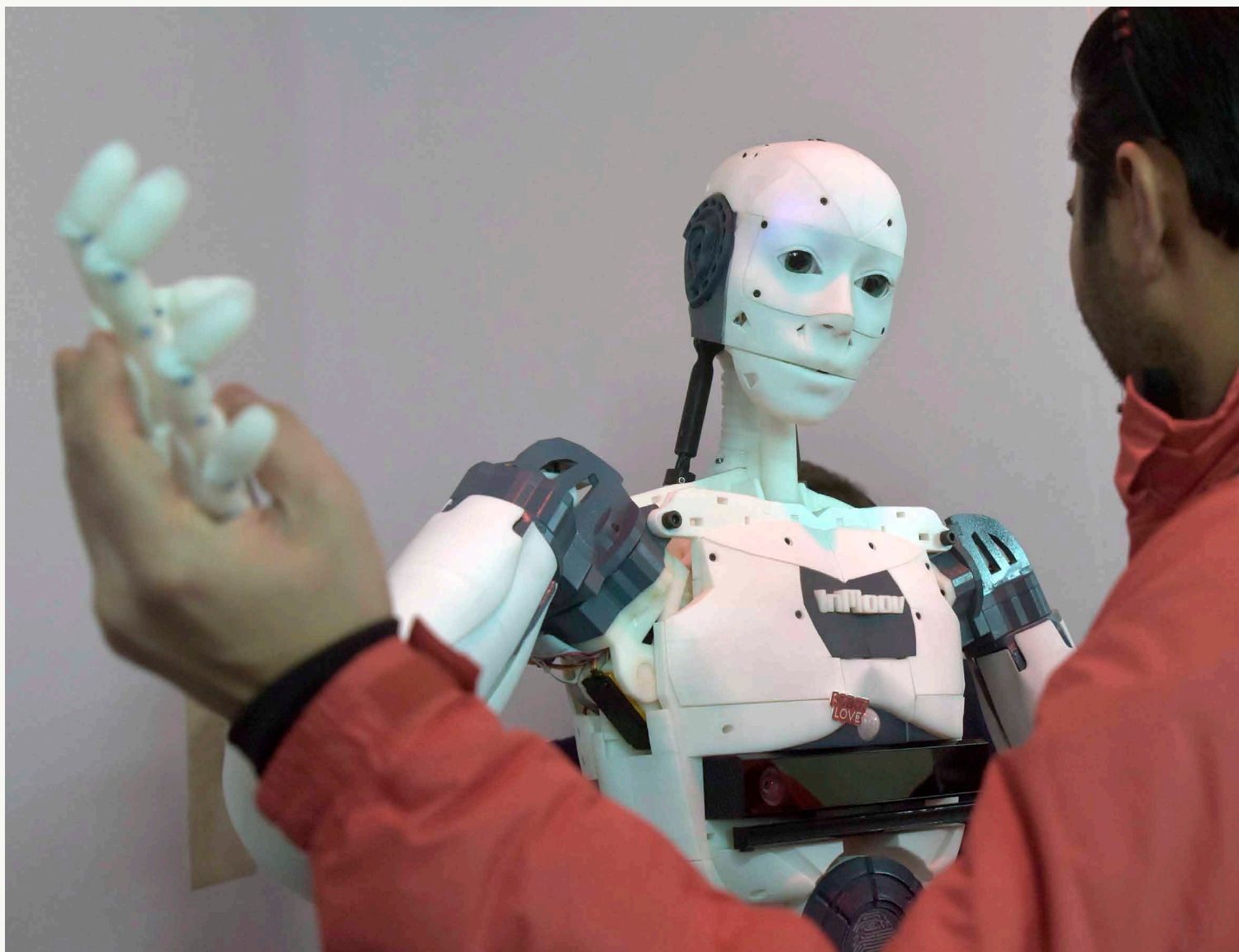
Parce qu'ils ont un petit côté futuriste, les exosquelettes rencontrent un certain succès auprès des médias. Sur le papier, ces dispositifs d'assistance sont censés soulager leurs utilisateurs lors de tâches pénibles ou répétitives. Mais est-ce vraiment le cas ? Leur usage ne s'accompagne-t-il pas d'effets secondaires ? Le point sur ces outils d'un nouveau genre.

**Denis Baudier**

*Journaliste*

**Les robots collaboratifs (cobots), exosquelettes et autres technologies d'assistance physique permettront-ils d'endiguer la "pandémie" de troubles musculosquelettiques ?**

Image: © Belga



Dans le hall d'entrée de ce bel immeuble haussmannien du Champ-de-Mars, à Paris, Aurélien Grilla, compagnon au sein de la société SOE Stuc&Staff, s'apprête à grimper sur un petit échafaudage pour poncer le plafond. Dans les métiers du bâtiment, cette tâche est peu appréciée des professionnels, car elle oblige à tenir les bras en l'air pendant de longues durées. "L'outil pèse entre deux et trois kilos, mais à la fin de la journée, croyez-moi, il en pèse beaucoup plus !", confie Aurélien Grilla.

"Changer une ampoule au plafond est fatigant pour la plupart des gens, mais cela ne dure que quelques minutes. Là, il s'agit de tenir les bras en l'air des journées entières", souligne Bruno Rondet, le dirigeant de cette société, spécialisée dans les habillages muraux à base de plâtre. Pourtant, Aurélien Grilla ne semble pas trop appréhender cet après-midi de travail. Il est vrai qu'il dispose désormais d'un équipement innovant, conçu spécialement pour alléger la pénibilité de cette opération : un exosquelette, sorte de combinaison dotée "d'accoudoirs" mobiles, qui évoquent les étriers des salles d'accouchement. Posée sur un trépied, cette drôle de combinaison est hissée sur l'échafaudage : il ne lui reste plus qu'à l'enfiler, un peu à la manière d'un sac à dos. L'opération ne prend que quelques minutes, sachant que l'exosquelette a été préalablement adapté à sa morphologie.

Aurélien Grilla se saisit de sa ponceuse et commence à travailler. "Ce sont des repose-bras, avec l'avantage que le poids est réparti sur l'ensemble du corps", explique le compagnon, qui a déjà utilisé l'exosquelette sur de grandes surfaces, comme celles des plafonds de l'hôtel Peninsula, à Paris. Sensibilisé aux questions de santé au travail pour s'être lui-même usé le dos quand il était jeune chez des patrons peu scrupuleux, Bruno Rondet estime que "la pénibilité du ponçage de plafond a été réduite de 80%". L'introduction de cet outil a également changé l'image du ponçage au sein de l'entreprise.

"Auparavant, c'était un peu considéré comme une corvée, que l'on confiait soit aux plus jeunes, soit aux plus costauds, mais pas forcément aux plus compétents pour cette tâche, qui reste importante dans notre activité. Désormais, on peut la confier aux compagnons les plus expérimentés, sans que ce soit mal vécu", poursuit Bruno Rondet.

### "L'homme augmenté"

Le ponçage au plafond n'est que l'une des nombreuses applications possibles des exosquelettes, qui suscitent un buzz croissant

## "On n'achète pas un exosquelette comme un tournevis ou une scie circulaire."

Jean Theurel (INRS)



Images : © Gil Lefauconnier (p. 28, 29)

dans le milieu de la santé et de la sécurité au travail (SST) depuis quelque temps. Le principe n'est pas nouveau. Les premières tentatives dans ce domaine remontent aux années 1950/1960, mais elles n'ont pas abouti, faute d'une maturité technologique suffisante (cf. encadré, p. 30). Mais depuis quelques années, la miniaturisation des composants électroniques et des batteries, notamment, a réouvert la voie à ces dispositifs d'assistance au look futuriste. Certains sont, par exemple, capables de multiplier la force d'un salarié, lui donnant la capacité de porter un colis de 10 kilos comme s'il n'en pesait qu'un.

Ce renouveau est aussi alimenté par toutes les réflexions sur l'industrie 4.0 et l'usine du futur, qui pourrait se peupler "d'hommes augmentés", et par des facteurs démographiques, comme le vieillissement de la population. Un certain nombre d'entreprises ont déjà franchi le pas, ou s'y intéressent. Leader mondial de la construction de routes, Colas a développé avec la société RB3D un modèle destiné à faciliter la tâche de ses tireurs au râteau. "Chargés d'étaler le bitume encore chaud à la sortie du camion, ces derniers exercent sur leur outil une force

pouvant grimper jusqu'à 70 kilos", explique Serge Grygorowicz, le président de RB3D. Le modèle mis au point par la PME française, après pas mal d'essais et de tâtonnements, permet de répartir des efforts sur les jambes, de manière à soulager le dos, très sollicité.

Plusieurs banques japonaises mettent déjà à la disposition de leurs salariés un exosquelette pour les aider à porter des charges lourdes, comme des liasses de billet, en réduisant de 40% leur poids ressenti. DHL, de son côté, étudie la possibilité de doter les salariés de ses centres de tri d'un exosquelette qui les aidera à prendre et reposer des objets de 25 kilos maximum, en limitant les efforts (lire également l'article p. 22). Bref, les exosquelettes sont à nouveau sous le feu des projecteurs. Il est vrai qu'ils représentent un espoir dans la prévention des troubles musculosquelettiques (TMS), qui ont vu leur nombre augmenter de 60% en dix ans et "sont à l'origine en France de 87% des maladies professionnelles", rappelle Jean-Jacques Atain-Kouadio, ergonomiste à l'INRS, un organisme public français spécialisé dans la SST.

Selon la Work Foundation Alliance, dans la seule Union européenne, 44 millions de travailleurs souffrent de TMS. Dans certains secteurs, les ouvriers soulèvent autour de 10 tonnes par jour. Or, "quand un exosquelette est spécifiquement conçu et pensé, une réduction de l'activité musculaire est constatée, c'est-à-dire que ces dispositifs soulagent les muscles sollicités", estime Jean-Jacques Atain-Kouadio. "La sollicitation peut être réduite de 10% à 40% pour certaines tâches, réduisant la fatigue, ou limitant les forces de compression vertébrale", ajoute Jean Theurel, responsable d'études au laboratoire Physiologie et mouvement au travail de l'INRS.

Ces données sont encourageantes, mais il ne faudrait pas voir pour autant dans ces dispositifs une réponse simple et universelle aux problématiques de posture ou de manutention. Un exosquelette n'est pas un outil comme les autres, ni même un simple outil d'ailleurs : c'est un dispositif d'assistance physique, porté par son utilisateur, dont l'élaboration et la mise au point demandent beaucoup d'attention et de précautions. De nombreuses interrogations subsistent à leur sujet. L'un des risques principaux serait de déplacer



les efforts et les contraintes d'une partie du corps vers une autre, sans que cela ne se ressente tout de suite. Les données manquent encore sur le sujet.

"La réduction des efforts locaux pourrait entraîner un report de force ou générer un mouvement inhabituel chez l'utilisateur. On peut également craindre un risque de fonte musculaire ou une désadaptation neuromotrice, par exemple", explique Jean Theurel.

Bruno Rondet reste prudent sur le sujet: "Nous manquons encore de recul, notre système est jeune. Comme pour les médicaments, il faut du temps avant de s'assurer qu'ils ne provoquent pas d'effets secondaires."

"Dans le domaine des exosquelettes, la modestie est de mise: il y a encore beaucoup de choses que l'on ne sait pas, et peu de travaux scientifiques ont été menés sur l'assistance au mouvement. On ne sait pas encore précisément comment les efforts se redistribuent dans l'organisme global, si, en soulageant un muscle ou une articulation, on ne va pas sur-solliciter un autre muscle ou une autre articulation ailleurs dans l'organisme", ajoute Jean-Jacques Atain-Kouadio.

Par ailleurs, le fait d'endosser une panoplie peut entraîner de l'inconfort, voire une gêne. Sur l'exosquelette dédié au ponçage, par exemple, la "colonne vertébrale" métallique du premier modèle finissait par faire mal au dos des compagnons. A la demande de ces derniers, le fabricant a donc intégré une petite poche gonflable le long de cette tige, que le salarié peut gonfler à l'aide d'une poire, aisément accessible à l'arrière de la combinaison. Autre

## Questions à Bruno Rondet, dirigeant de la société SOE Stuc&Staff

**Comment votre entreprise en est-elle venue à acquérir un exosquelette pour le ponçage des plafonds ?**

Tous les ans, nous nous fixons un challenge pour améliorer les conditions de travail. Un seul, mais que l'on mène au bout. En 2012, nous avons décidé de nous attaquer au ponçage, l'idée étant de soulager le compagnon qui doit tenir l'outil à bout de bras. Nous avons regardé ce qui existait dans le commerce, notamment

pour les peintres, et acheté un dispositif associant une girafe – une grande tige –, que l'on a posé sur un châssis à roulette. Las, on s'est vite rendu compte qu'au démarrage, comme l'opérateur ne maintenait pas l'outil fermement, ce dernier provoquait des auréoles disgracieuses sur les plafonds, incompatibles avec notre recherche de qualité. Exit donc, la girafe et son chariot.

**Qu'avez-vous fait alors ?**

On s'est tournés vers un fabricant d'accessoires de cinéma, qui produit notamment des steadicam, ces systèmes qui permettent de porter et de manœuvrer une caméra avec une certaine fluidité. On leur a demandé d'adapter leur système pour qu'il permette

de porter une ponceuse. Nouvel échec, pour des raisons similaires: placée au bout de son bras, la ponceuse provoquait à nouveau des auréoles au démarrage. Nous n'avons pas abandonné pour autant, et en regardant le catalogue de ce fabricant, nous sommes tombés sur un exosquelette qui permet de garder les mains en l'air sans fatigue. On l'a essayé sur un de nos chantiers, expérience qui s'est révélée encourageante. Pour autant, il a fallu procéder encore à quelques modifications, pour laisser davantage de liberté de mouvement à l'utilisateur et améliorer son confort global. Au bout du compte, plus de deux ans auront été nécessaires pour aboutir à un exosquelette opérationnel, qui donne aujourd'hui pleinement satisfaction aux opérateurs et à l'entreprise.

## L'exosquelette modifie les repères physiques et ergonomiques habituels : il peut être plus facile de soulever une charge, mais plus difficile d'accomplir des gestes simples.

### Hardiman, ancêtre des exosquelettes

La première tentative sérieuse pour réaliser un exosquelette remonte aux années 1960. On la doit à General Electric qui souhaitait à l'époque développer un modèle capable d'aider un humain à porter des charges lourdes, sans efforts. Les premières applications visées étaient militaires : il s'agissait notamment de permettre à quelqu'un de soulever des bombes dans un porte-avion, ou encore de manipuler des charges dans des secteurs comme la construction sous-marine, les centrales nucléaires ou l'espace. Baptisé Hardiman, le prototype devait démultiplier la force de son opérateur pour lui permettre de lever des charges de 680 kilos. Las, le projet se heurta rapidement à des obstacles techniques rétrogrades : l'engin lui-même pesait trois quart de tonne, et souffrait de mouvements incontrôlables quand on le mettait en route. Il a fallu attendre les années 2010 pour que, la miniaturisation des composants aidant, les exosquelettes recommencent à faire parler d'eux...

effet indésirable potentiel : un effet "camisole"; l'exosquelette cohabitait avec le corps, l'utilisateur peut se sentir entravé dans sa liberté de mouvement, avec un effet de contention susceptible d'être mal vécu à la longue.

D'une certaine façon, l'exosquelette modifie les repères physiques et ergonomiques habituels : il peut être plus facile de soulever une charge, mais plus difficile d'accomplir des gestes simples, comme de baisser les bras. Le port d'un tel "harnachement" peut également accroître les risques d'accident, pour de multiples raisons : collision avec un autre opérateur ou un tiers, lésions articulaires (dues au dépassement des limites physiologiques

humaines), frottement ou abrasion, défaillance du système... Sur le premier prototype de la SOE Stuc&Staff, le compagnon avait les deux mains liées, comme s'il était menotté.

"En cas de chute, cela devenait dangereux, le compagnon ne pouvait se rattraper à rien, surtout dans un environnement de chantier, soumis à de nombreux imprévus. Nous avons donc demandé au fabricant de modifier l'équipement pour que le compagnon retrouve une certaine liberté avec ses mains, afin que le confort ne se fasse pas au détriment de la sécurité", ajoute Bruno Rondet. Sans parler de l'acceptation sociale de l'exosquelette, qui peut changer le regard des collègues sur celui qui le porte, ou même modifier la place de l'opérateur par rapport à sa tâche : il pourrait se sentir dévalorisé ou supplanté par la "machine". Des risques susceptibles d'entraîner des blocages chez certains utilisateurs.

Les entreprises peuvent également être tentées, une tâche devenant moins pénible, de demander une augmentation de la productivité au salarié. L'amélioration de la productivité pourrait aussi conduire à des réductions de postes, un même salarié pouvant réaliser les tâches dévolues à plusieurs.

### Un exosquelette "couteau suisse"

"On n'achète pas un exosquelette comme un tournevis ou une scie circulaire. Il faut au préalable se demander à quoi il doit servir et à quel besoin il répond. Sans quoi le risque est grand qu'il s'avère inadapté et donc rapidement abandonné ou, pire, qu'il provoque des effets secondaires qui augmenteraient les risques de TMS à long terme au lieu de la soulager", résume Jean Theurel.

"Ce que l'on constate, c'est que ces dispositifs apportent une assistance spécifique, pour une tâche donnée; or, dans le travail, bien peu de tâches sont spécifiques, on fait souvent plusieurs choses à la fois. Il est donc essentiel de mener une démarche permettant

d'évaluer l'apport réel de l'exosquelette, et de s'assurer qu'il répond bien aux attentes", ajoute Jean-Jacques Atain-Kouadio.

Très intéressée par le potentiel des exosquelettes, la direction du Matériel SNCF Mobilités a justement engagé une démarche de ce type afin de développer un modèle adapté à ses besoins spécifiques. En effet, au quotidien, ses agents de maintenance sont confrontés à des situations de travail très variées, que ce soit dans les rames, sur les plafonds, ou encore dans les fosses, où la manipulation de pièces lourdes, comme les semelles de frein, est chose courante.

"Aussi souhaitons-nous développer un exosquelette de type 'couteau suisse', capable de s'adapter aux différents cas de figure. Nous avons conscience de la complexité d'une telle démarche. C'est pourquoi deux éléments majeurs ont été enclenchés simultanément : d'une part la mise en place d'un groupe de projet transversal, associant ergonomes, ingénieurs Méthodes, spécialistes des facteurs organisationnels et humains, représentants des établissements de maintenance et organisations syndicales et d'autre part la gestion de ce projet dans le cadre d'un nouveau type de marché public dénommé 'partenariat d'innovation' conclu avec le fabricant", précise Yonnel Giovanelli, responsable du Pôle ergonomie et facteurs organisationnels et humains à la direction du Matériel SNCF Mobilités.

Consciente de la nécessité de bien mûrir et réfléchir l'achat d'un exosquelette, l'AFNOR (Association française de normalisation) a publié récemment un accord relatif à ces dispositifs d'assistance<sup>1</sup>. Il s'agit d'une sorte de mode d'emploi destiné à aider les entreprises qui souhaitent en acquérir à se poser les bonnes questions et à faire les bons choix. On y trouve des outils et des aides méthodologiques pour évaluer l'usage de ce dispositif et son interaction avec l'homme. Moyennant quoi un exosquelette bien pensé et adapté à son usage, peut contribuer à améliorer les conditions de travail. ●

1. AC Z68-800, Dispositifs d'assistance physique à contention de type exosquelettes robotisés ou non – Outils et repères méthodologiques pour l'évaluation de l'interaction humain-dispositif, mars 2017.