



Texte original*.

Étude exploratoire sur l'usage des exosquelettes dans le secteur du BTP

Nicolas Froment

Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBTB),
nicolas.froment@oppbtb.fr

Résumé

Cette étude exploratoire sur l'usage des exosquelettes à contention dans le secteur du BTP répond à trois hypothèses : son port provoque-t-il des phénomènes de compensation posturale ? Entraîne-t-il une altération des gestes professionnels acquis ? Réduit-il les efforts des opérateurs dans la réalisation de tâches ?

Elle repose sur l'observation de l'activité de travail de trois situations de travail dans un premier temps dans les conditions habituelles, puis avec le port d'un exosquelette avec l'enregistrement simultanée des angulations des membres supérieurs et du tronc.

Les enseignements indiquent que l'apport des exosquelettes employés est globalement limité à des contextes précis difficilement compatibles avec la polyvalence attendus dans le BTP. L'usage d'un exosquelette apparaît comme déconseillé pour des tâches de manutention où les sollicitations sont amplifiées de manière significative. L'étude conforte que la réduction des sollicitations nécessite en premier lieu de comprendre les exigences de la tâche pour rechercher dans un second temps des solutions adaptées compatibles avec la santé et les savoirs faire acquis des opérateurs.

Mots-clés : Exosquelette, BTP, Équipement supplémentaire

Exploratory study on the use of exoskeletons in the construction sector

Abstract

This exploratory study on the use of restraining exoskeletons in the construction industry responds to three hypotheses: does wearing it lead to postural compensation phenomena? Does it cause an alteration of acquired professional gestures? Does it reduce operators' efforts in carrying out tasks?

It is based on the observation of the work activity of three work situations initially under the usual conditions, then with the wearing of an exoskeleton with the simultaneous recording of the angulations of the upper limbs and the trunk.

The lessons indicate that the contribution of the exoskeletons used is globally limited to specific contexts that are difficult to cope with the versatility expected in the construction industry. The use of an exoskeleton appears as disadvised for handling tasks where the sollicitations are amplified significantly. The study confirms that the reduction of sollicitations requires first of all to understand the requirements of the task to seek in the second time adapted solutions compatible with the health and the acquired know-how of the operators.

Keywords: Exoskeleton, Construction sector, Supplementary equipment

*Ce texte original a été produit dans le cadre du congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française qui s'est tenu à Bordeaux du 3 au 5 octobre 2018. Il est permis d'en faire une copie papier ou digitale pour un usage pédagogique ou universitaire, en citant la source exacte du document, qui est la suivante :

Froment, N. (2018). Étude exploratoire sur l'usage des exosquelettes dans le secteur du BTP. Actes du 53^{ème} Congrès de la SELF, Bordeaux, 3-5 Octobre 2018.

Aucun usage commercial ne peut en être fait sans l'accord des éditeurs ou archiveurs électroniques. Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page.

INTRODUCTION

Depuis une décennie, certains s'accordent que nous sommes rentrés dans une période de « l'Homme Augmenté ».

Elle se traduit notamment par le développement d'équipements de travail, notamment des exosquelettes, dans le but de développer la capacité des opérateurs lors de la réalisation de leurs tâches.

Pour autant ces équipements sont-ils réellement aussi efficaces que le laisse entendre les arguments des concepteurs ?

Cet article rend compte des principaux résultats d'une étude exploratoire portant sur trois usages en situation réelle des exosquelettes dans le secteur du BTP.

L'étude a été initialisée en 2014 à une période où les connaissances scientifiques sur les exosquelettes étaient inexistantes. Le colloque Innovorg en mars 2017, organisé par le PEROSH et l'INRS a permis de faire apparaître les travaux de plusieurs équipes principalement européennes sur cette thématique. Cette étude, qui n'a pas de vocation scientifique, a fait l'objet d'une présentation dans ce cadre.

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Cette étude est consécutive aux interrogations de plusieurs acteurs du BTP:

Le syndicat des entrepreneurs de la construction (SEC) qui désire réduire les efforts développés quotidiennement par les salariés qui assurent des tâches de maçonnerie.

L'OPPBTBTP, dont la mission principale est l'amélioration de la sécurité et des conditions de travail des salariés du BTP, constate l'absence de connaissances scientifiques disponibles sur l'usage des exosquelettes.

Un troisième partenaire rejoint le projet, l'APST BTP de la région parisienne, un des services de santé au travail du BTP, pour ses connaissances de la santé au travail.

2. MÉTHODOLOGIE

Cette étude exploratoire a pour finalité d'identifier les problématiques liées à l'usage des exosquelettes en vue de les approfondir ultérieurement à l'occasion d'études complémentaires.

Les hypothèses de travail sont centrées sur trois thématiques :

- le port d'un exosquelette, équipement additionnel, pourrait-il provoquer des phénomènes de compensation posturale ?

- Le geste professionnel acquis pourrait-il être altéré ?

- L'usage d'un exosquelette permet-t-il de réduire les efforts des opérateurs dans la réalisation de certaines tâches ?

Pour illustrer ces hypothèses, la méthodologie retenue repose sur l'observation de l'activité réelle de la réalisation d'une même tâche, dans un premier temps, sans le port d'exosquelette, puis, dans un deuxième temps, avec le port d'un exosquelette.

L'observation, filmée, est complétée une métrologie reposant sur la détermination de l'angulation de certains segments corporels (tronc, membres supérieurs) à l'aide de capteurs Motion de la société TEA, ainsi que l'enregistrement simultané de la cardiofréquence. Par la suite, les séquences vidéo et la métrologie sont intégrées dans l'application CAPTIV.

Les situations de travail retenues

Trois situations de travail représentatives ont été retenues dans le cadre de cette étude.

Usage 1 - La manutention de parpaings

Les tâches de manutention de charges sont progressivement assistées dans le BTP par des moyens mécaniques.

Néanmoins, suivant la configuration des chantiers, l'implantation des palettes de parpaings au plus près de la situation de pose n'est pas toujours possible. Il est attendu de démontrer si l'usage d'un exosquelette réduit de manière significative les sollicitations lors de la réalisation de cette tâche.

Usage 2 - L'assistance au port d'équipements de travail

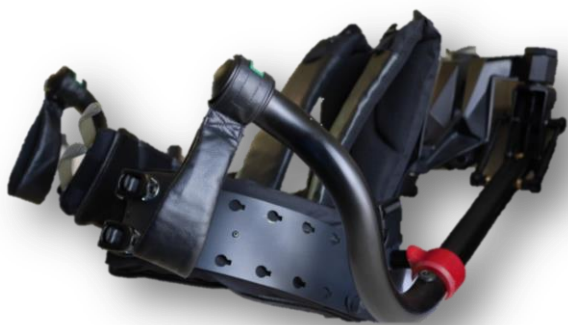
Certaines tâches du BTP conduisent à la manipulation d'équipements de travail dont la masse unitaire peut être supérieure à 10 kg. Dans ces conditions, le port d'un exosquelette peut-il contribuer à soulager les opérateurs d'une partie ou de la totalité du poids de l'équipement de travail utilisé tout en conservant une efficacité identique.

Usage 3 - La reprise de plafonds

Cette tâche est réalisée pendant plusieurs jours consécutifs par les opérateurs avec le maintien d'un équipement de travail d'une masse inférieure à 2 kg au-dessus de la tête. L'usage d'un exosquelette peut-il contribuer à réduire les sollicitations associées à cette tâche tout en obtenant une qualité de finition identique.

Le type des exosquelettes

Les exosquelettes employés pour cette étude rentrent dans la catégorie des dispositifs d'assistance physique à contention des membres supérieurs, non motorisés, constitués d'un harnais principal complété par un ou deux bras mécaniques suivant l'usage étudié. Suivant les concepteurs de ce type d'exosquelette permet de soulager les sollicitations des membres supérieurs avec un report des sollicitations au niveau du bassin quand l'exosquelette est correctement ajusté à la morphologie de l'utilisateur.



3. RÉSULTATS

3.1. Usage 1 - La manutention de parpaings

L'activité de l'opérateur a été observée pendant le montage (prise du parpaing sur une palette, déplacement de la charge sur une distance de 15 mètres, dépose du parpaing en situation d'élévation d'un mur), puis le démontage du mur obtenu. La situation est reconstituée à l'identique des conditions de chantier afin d'assurer de parfaites conditions de sécurité à l'opérateur.

Deux types de parpaings ont fait l'objet d'observation : des parpaing « légers » d'une masse de 12 kg, des parpaing « lourds » d'une masse de 28 kg.

Avec le port d'un exosquelette, l'opérateur est amené à modifier la position qu'il adopte habituellement pour le port de charge. Alors qu'habituellement la charge est plaquée contre le tronc, au niveau du bassin, pour que son centre de gravité soit le moins possible altéré, la charge se retrouve avec le port d'un exosquelette éloignée du corps en raison de la longueur des bras non réglable de l'exosquelette. L'opérateur compense ce déplacement de son centre de gravité par une position en extension. Ce changement s'accompagne également par une augmentation de la fréquence cardiaque de l'opérateur plus ou moins importante suivant le poids du parpaing. A l'issue des observations, l'opérateur déclare qu'avec le port de l'exosquelette il développe plus d'efforts que sans et que dans ces conditions il ne pourrait assurer cette tâche pendant une journée complète.

Lorsque l'opérateur désire adopter une position aussi près de sa position « naturelle », il se retrouve à développer des efforts supplémentaires en raison de la résistance des bras de l'exosquelette.

Parmi les autres transformations constatées, la préhension des parpaings est modifiée lors du port de l'exosquelette à tous les stades de l'activité (prise du parpaing sur la palette, maintien pendant le

déplacement, positionnement du parpaing) l'opérateur étant amené à rechercher de nouvelles prises sans atteindre pour autant une efficacité identique.

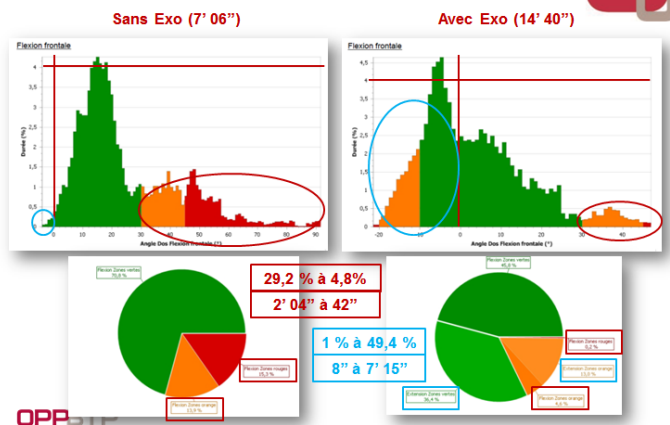
De même, les stratégies de récupération de l'opérateur sont modifiées lors de ses déplacements sans parpaings notamment pour compenser la position inconfortable de ses bras. En effet, le réglage du bras de l'exosquelette avec une charge conduit l'opérateur à avoir ses bras au niveau de son torse. Dès lors que la charge est déposée, les bras de l'exosquelette obligent l'opérateur à avoir ses bras au hauteur de son cou. Pour compenser cette position, l'opérateur préfère bloquer les bras de l'exosquelette dans deux crochets situés sur la ceinture de l'exosquelette ce qui le conduit à voir les bras au niveau de son torse, plus proche de sa position de récupération habituelle. Néanmoins, le positionnement des bras de l'exosquelette dans ces crochets s'accompagne d'un mouvement latéral des bras de l'opérateur de forte amplitude.

L'analyse des observations indique que le temps d'exécution avec exosquelette est plus important que sans exosquelette.

Pour les parpaings « légers » cette différence de temps représente le double, l'opérateur ne pouvant porter qu'un seul parpaing à la fois avec l'exosquelette alors qu'il en saisit le plus souvent deux sans exosquelette. Avec les parpaings « lourds », la différence de temps augmente jusqu'à 2,4 fois en raison de l'ensemble des difficultés que l'opérateur rencontre pour réaliser la tâche.

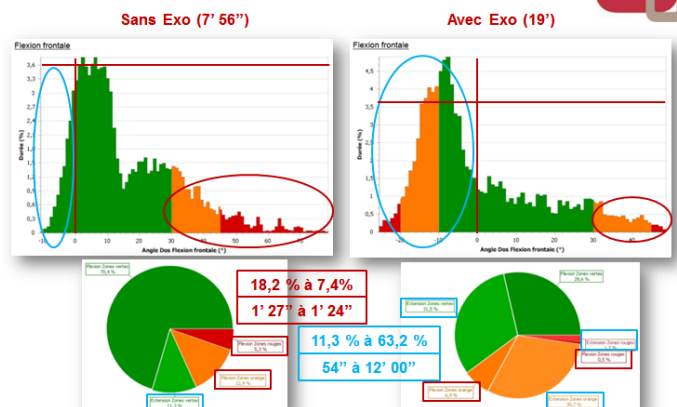
Sur le plan de la compensation posturale liée au port de l'exosquelette on remarque effectivement une différence significative sur le plan de la flexion ou de l'extension du tronc. Pour les parpaings « légers », sans exosquelette les flexions supérieures à 30° passent sensiblement de 30 % à 5 %. Dans le même temps, l'extension évolue d'environ 1 % à près de 50 %.

Parpaings « légers » : Tâche de montage/démontage



Pour les parpaings « lourds », les phénomènes sont amplifiés avec des flexions qui passent de 18 % à 7,5 %. Néanmoins le temps d'exécution étant largement supérieur avec le port d'un exosquelette, le temps de flexion supérieur à 30° reste sensiblement identique. Par compte, l'extension augmente de manière significative en passant de 11 % à plus de 63 % et un temps d'exposition de 54 secondes à 12 minutes.

Parpaings « lourds » : Tâche de montage/démontage



Indépendamment du phénomène compensatoire de la charge, la conception de la ceinture de l'exosquelette influence ce phénomène puisque l'opérateur éprouve une forte gêne dès lors qu'il fléchit son tronc de plus de 30°. Cette gêne se manifeste lors de la prise ou de la dépose de parpaings dès que la hauteur est inférieure à 70 cm.

De ce fait, dans l'état actuel de la conception de cette première génération d'exosquelettes n'apparaît pas comme suffisamment adaptée aux tâches de manutention avec déplacement avec charge.

3.2. Usage 2 - L'assistance au port d'équipements de travail

Nous présentons les principaux enseignements obtenus lors de l'observation de l'activité au cours de la réalisation d'une réserve dans un mur à l'aide d'une disqueuse par un maçon expérimenté à l'occasion d'un chantier de réhabilitation d'un immeuble.

Avec le port de l'exosquelette, la position et la posture de l'opérateur évolue en raison des caractéristiques du bras de l'exosquelette dont sa longueur non réglable oblige l'opérateur à s'éloigner de la tâche. De même, sa stratégie de préhension de la disqueuse évolue également en raison d'un sentiment de moindre effort ainsi que de la gêne occasionnée par les contacts prolongés entre son avant-bras et le bras de l'exosquelette consécutif à la forme du bras de l'exosquelette.

Par ailleurs, les opérateurs ont modifié le système reliant l'équipement de travail au bras de l'exosquelette, le système proposé par le fabricant ne leur permettant plus une saisie « à pleine main ».

Les opérateurs signalent qu'ils développent moins d'efforts lors du port de l'exosquelette seulement quand ils travaillent à hauteur d'homme soit entre 90 cm et 1,20 m. Dès lors qu'ils désirent travailler à une hauteur de travail différente ils sont obligés de développer des efforts supplémentaires en raison de la résistance du bras de l'exosquelette. Pour modifier la hauteur de travail sans effort, ils doivent retirer l'exosquelette pour effectuer un nouveau réglage du bras de l'exosquelette, ce qui représente un temps d'immobilisation non compatible avec le temps alloué par leur hiérarchie à la réalisation de la tâche.

Sur le plan de la sécurité, deux opérateurs utilisateurs, appartenant à des entreprises différentes, signalent une transformation conséquente des « règles de prudence » partagées sur le chantier. Ils relatent que le sentiment « d'être attaché » à l'exosquelette ne leur permet plus d'avoir la parfaite maîtrise de leur geste professionnel à tout instant. En particulier lorsque l'équipement de travail rencontre un « point dur » dans le mur, l'opérateur expérimenté sait « désaccélérer » progressivement son déplacement consécutif ce qui permet de garantir la sécurité des autres opérateurs présents à proximité. Avec le port de l'exosquelette, ils considèrent qu'ils n'ont aucune certitude quant à la trajectoire de l'équipement de travail ce qui entraîne un sentiment d'insécurité partagé. Il apparaît par conséquent nécessaire qu'un temps d'appropriation, voir qu'une formation spécifique, puisse être garanti en dehors du temps de production.

En guise de synthèse, il serait souhaitable que la conception des exosquelettes puisse faciliter l'activité future en fonction de l'équipement de travail à utiliser et de la morphologie de chacun des utilisateurs. Hormis les tâches répétitives à hauteur d'homme, la génération actuelle d'exosquelettes ne correspond pas encore à la forte variabilité des conditions de réalisation des tâches du secteur du BTP.

3.3 Usage 3 - La reprise de plafonds

Les observations ont porté sur la réalisation de reprises de plafond à l'aide d'une ponceuse équipée d'une captation à la source. Il est attendu que le port de l'exosquelette permet une réduction significative des efforts tout en maintenant une qualité du travail au moins identique.

L'exosquelette employé permet de soutenir les bras des opérateurs au-dessus de la tête.

Nous constatons des changements significatifs des modes opératoires de

l'opérateur. Sans exosquelette, ce dernier est contraint de plaquer la ponceuse avec un bras porteur pendant que le second la guide. Avec le port de l'exosquelette, la fréquence d'alternance des bras porteurs est moins importante en même temps que les séquences de travail par bras porteur s'allongent.

Par contre, le temps consacré au changement des disques de la ponceuse devient plus long en raison des mouvements supplémentaires que l'opérateur est obligé de réaliser pour retirer son bras de l'exosquelette.

L'opérateur signale que le port de l'exosquelette réduit d'une manière significative ses efforts, il évoque un ordre de grandeur d'environ 60 %. Le temps de réalisation d'un plafond d'environ 800 m² est réduit en passant de cinq jours à deux jours de travail tout en conservant une qualité résultante identique.

Le recours à des exosquelettes dans cette entreprise correspond un projet partagé entre la direction et les salariés à partir du constat partagé d'un poste extrêmement sollicitant. Les acteurs du projet ont recherché des solutions adaptées avant d'aboutir à un consensus autour de ce type d'exosquelette qu'ils ont perfectionné par la suite en relation avec le fabricant.

4. EN GUISE DE CONCLUSION

Les enseignements de cette première étude nous conduisent à penser que cette première génération d'exosquelettes n'apporte pas encore d'avantages significatifs pour la réalisation d'une majorité de tâches spécifique au BTP.

Avant d'envisager l'usage d'exosquelettes, les entreprises peuvent s'orienter vers des solutions d'un autre type comme les équipements d'assistance, comme les bras « zéro G » qui permettent aux opérateurs de conserver leur geste professionnel acquis sans l'altérer. Ces solutions sont déjà opérationnelles et employées avec satisfaction dans le BTP. Ces dispositifs nécessitent néanmoins de

les attacher à des points fixes, ce qui n'est pas envisageable en toute circonstance sur les chantiers du BTP. Resterait à les adapter sur des consoles mobiles compatibles avec l'environnement exigeant des chantiers.

A partir des constats et des enseignements de cette première étude, l'OPPBTB propose une réflexion aux entreprises du BTP qui envisagent de l'acquisition d'exosquelettes. Elle repose sur la connaissance des tâches à réaliser pour, en premier lieu, développer l'efficacité des process par des solutions organisationnelles, techniques, sociales adaptées, ce qui permet de réduire de manière conséquente les sollicitations des opérateurs et, en second lieu, seulement si cela est nécessaire, de déterminer les caractéristiques des exosquelettes qui seraient adaptés aux conditions de réalisation des tâches comme à la conservation de la santé des opérateurs.

Néanmoins, puisque les exosquelettes sont amenés à se développer les prochaines générations devraient intégrer à minima les perfectionnements suivant :

- une reprise de la charge vers le sol grâce à des jambes mécaniques ce qui soulagerait, à priori, les opérateurs du poids cumulé de l'exosquelette et de la charge manipulée,
- des bras « débrayables » qui permettent d'être soulagé en permanence de la charge quel que soit la hauteur de travail,
- des bras d'exosquelette réglable en fonction de la morphologie des opérateurs et des caractéristiques des équipements ou matériaux employés,
- des systèmes d'attaches des équipements de travail qui permette de les saisir sans que l'opérateur soit gêné dans son activité ou de systèmes de saisie d'objets sans que l'opérateur ait à les manipuler avec ses mains.

Indépendamment de perfectionnements techniques reste maintenant à produire des connaissances sur l'acceptation sociale de ces nouveaux équipements de travail.

BIBLIOGRAPHIE

Froment N.. 2017, mars. First studies of exoskeleton use in construction industry. Communication présentée à Innovorg, organisé par le Perosh et l'INRS, Nancy.

Richard P., Froment N., DT Info 48. Emergence des exosquelettes sur les chantiers du BTP. Repéré à <https://www.preventionbtp.fr/Media/Files/PDF-Publications/DT-Info-N-48>