

Les rencontres de l'Institut de Santé au Travail  
Centre-Val de Loire (ISTCVL)  
01/12/2023



# Exosquelettes : actualités, intérêts et limites pour la prévention

**Jean-Jacques ATAIN KOUADIO**



Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr



[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

# Retour vers le futur ?



10h00

## EXOSQUELETTE

Jean-Jacques ATAIN KOUADIO – Expert  
d'Assistance, Ergonome – INRS Vandoeuvre

10h20

Echanges avec la salle

10h40

Pause

11h00

## COBOTIQUE – ROBOTIQUE

Frédéric COLLEDANI – Ingénieur Chercheur –  
CEA – LIST Gif sur Yvette

11h30

## LA ROBOTISATION PARTICIPE T'ELLE A LA QUALITE DE VIE AU TRAVAIL DES ELEVEURS ?

Aline DRONNE – Sociologue – ARACT Metz

12h00

Echanges avec la salle

12h20

Déjeuner



## SYMPOSIUM INMA – IMTVL



VENDREDI

29 SEPTEMBRE 2017

Centre des Congrès Vinci

25 Boulevard Heurteloup

37000 Tours

9h00 – 16h45

### NOUVELLES TECHNOLOGIES - NOUVEAUX RISQUES

LE MONDE DU TRAVAIL EST EN PERPÉTUELLE ÉVOLUTION. DE NOUVELLES TECHNOLOGIES SONT APPARUES POUR SIMPLIFIER LE TRAVAIL DE L'HOMME ET AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ... MAIS CES TECHNOLOGIES PEUVENT AVOIR UN IMPACT NÉGATIF SUR LA SANTÉ PEU PRÉVISIBLE LORS DE LA CONCEPTION.

CE SYMPOSIUM ÉVOQUERA DONC LES NOUVELLES TECHNOLOGIES UTILISÉES DANS LE MONDE AGRICOLE ET INDUSTRIEL.

Nous n'évoquerons pas dans cette journée les nouvelles technologies de communication.

# UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE

## Construire connaissances et repères dans l'action

**2030 RAP**  
Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France

Logos: futuribles, INRAE, CETIM, LIA, CENR, Assurance Maladie

**10 idées reçues sur les exosquelettes**

**Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise**  
Guide pour les préventeurs

AFNOR X35A : Ergonomie

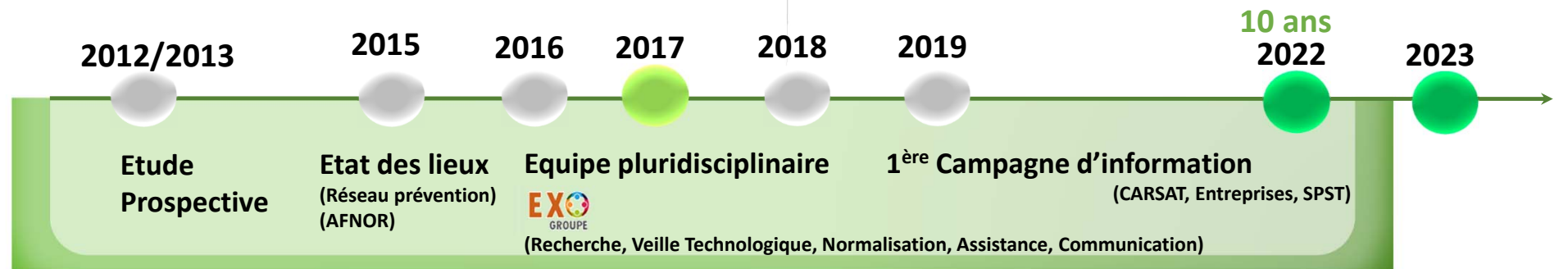
Normalisation française  
Norme française homologuée et publiée par Afnor

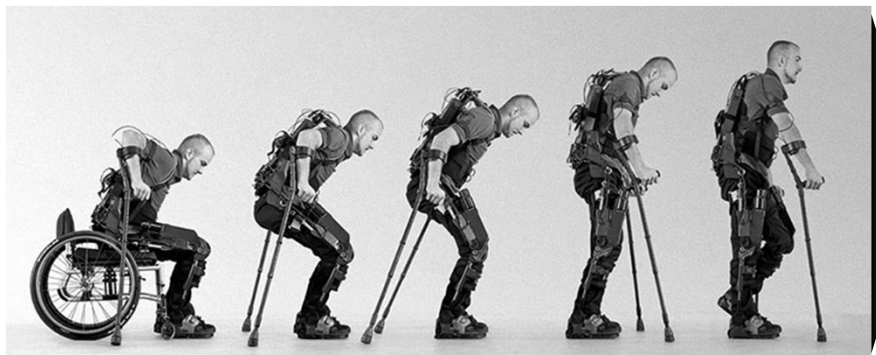
NF X35-800

Ergonomie - Méthode d'intégration des dispositifs et robots d'assistance physique à contenu de type exosquelette - Expression des besoins, sélection, conception, évaluation et déploiement

Date de publication : août 2023

Le cas échéant, toutes les formes verbales **doit** et **doivent** sont utilisées pour exprimer une ou des exigences qui doivent être respectées pour se conformer au présent document. Pour les méthodes d'essai, l'utilisation de l'infinitif correspond à une exigence.  
Des informations complémentaires sont disponibles sur votre espace client AFNOR (Matières avec normes Européennes et Internationales, Index de classement, Descripteurs, Etc.)  
Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) - 11, rue Francis de Pressensac - 93370 La Plaine Saint-Denis Cedex 19 - 01 69 01 80 00 - Fax : 01 69 01 81 99 - [www.afnor.org](http://www.afnor.org)  
© AFNOR - Tous droits réservés





## Mobilitéé



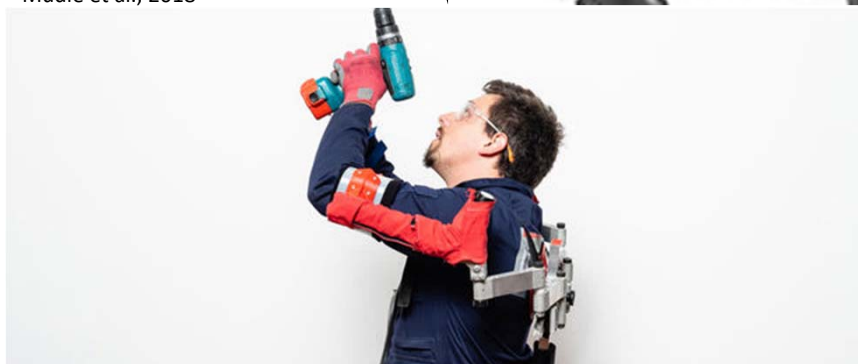
Viteckova et al., 2013



## Applications militaires



Gregorczyk et al., 2010  
Mudie et al., 2018



## TMS



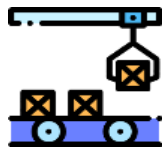
De Looze et al., 2016

# Définition

Un exosquelette, qu'est ce que c'est ?



Ils sont portés par l'utilisateur  
(à contention / « wearable »)



Ils offrent une aide au mouvement  
« Assistance Physique »



DAP: Dispositif d'Assistance Physique  
RAP : Robot d'Assistance Physique

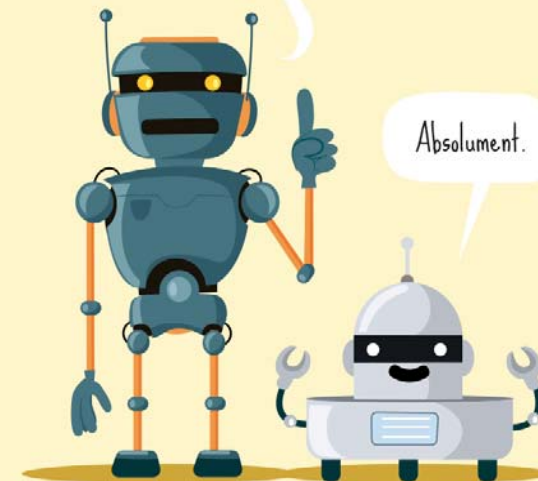
IDÉE REÇUE N°1

«LES EXOSQUELETES SONT  
TOUS DES ROBOTS.»

VRAI

FAUX

Et inversement, tous les robots  
ne sont pas des exosquelettes.



# Veille Technologique

## Exemple de DAPac dos

Exemples non exhaustifs



# Veille Technologique Exemple de DAPac membres supérieurs



Exemples non exhaustifs



# Veille Technologique : Exemple de RAPac



Exemples non exhaustifs



# Veille Technologique Exemple de RAPac avec Data

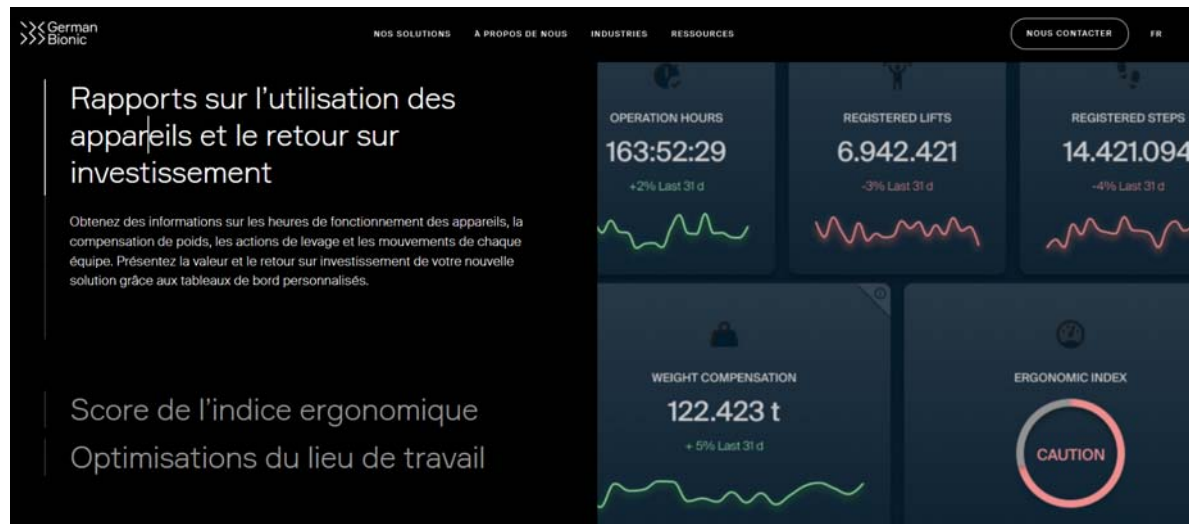
Exemples non exhaustifs



## Fournit des évaluations numériques des risques ergonomiques

Nous avons intégré les méthodes d'évaluation des risques liés aux mains les plus couramment utilisées, **HAL-TLV** et **DUET**, permettant aux ergonomes d'évaluer automatiquement les postes de travail et les tâches, en créant des rapports de risques ergonomiques montrant les niveaux de risque et comment Ironhand peut réduire le risque de microtraumatismes.

Veuillez regarder la vidéo pour en savoir plus sur nos évaluations des risques ergonomiques.



# Veille Technologique Exemple de RAPac avec Data



LA ROBOTIQUE À ÉCHELLE HUMAINE

AGADEXO SHOULDER

Le premier exosquelette basé sur une technologie semi-active avec intelligence artificielle intégrée, capable de reconnaître et d'assister automatiquement l'activité de cueillette.

<https://agade-exoskeletons.com/prodotto/>

Exemples non exhaustifs

# Veille Technologique : Exemple de DAPac avec Data

Exemples non exhaustifs



hapo<sup>®</sup>  
SENSOR

UNE PREUVE SCIENTIFIQUE  
D'EFFICACITÉ

The graphic features a blue and green background. At the top, the 'hapo<sup>®</sup> SENSOR' logo is displayed. Below it, the text 'UNE PREUVE SCIENTIFIQUE D'EFFICACITÉ' is written in white. The central image shows a person wearing a dark safety vest with a sensor attached to the back. A circular inset provides a close-up of the sensor, which is a small, rectangular device with a metal bracket. A white line points from the inset to the sensor on the vest.

<https://ergosante.fr/hapo-sensor-data-feedback/>



ergo  
Santé  
we support people

FOR MORE INFORMATION | [contact@ergosante.fr](mailto:contact@ergosante.fr)  
[WWW.ERGOSANTE.FR](http://WWW.ERGOSANTE.FR)

The graphic shows a smartphone displaying a data dashboard. The dashboard includes a 'Working intensity' line graph, a bar chart, and a 'Active in 30%' indicator. To the right of the phone, a list of features is provided in white text on a green background.

- FACILE À INSTALLER
- INTENSITÉ ET FRÉQUENCE D'UTILISATION DE L'UTILISATEUR
- ANALYSE EN TEMPS RÉEL
- DONNÉES OBJECTIVES
- RAPPORT D'ANALYSE

# Un écosystème en pleine évolution

## → Une diversité d'acteurs

- Les concepteurs
- Les intégrateurs : Fox Innovation Robots ; Europe Technologies / Gobio Robot ; HBR innovation ; Cobo4You ; TDR Groupe ; ...
- Les fournisseurs/distributeurs
- Les loueurs de matériels : Loxam, Solurent Location, Kiloutou, ...
- Les spécialistes de la mesure (Moten Technologies, Moovency, Optimergo, ...)
- De nombreuses thèses universitaires et travaux en lien avec la prévention

Qui ?



Entreprises de toutes tailles, tous secteurs

Pourquoi ?



Charge Physique  
Prévention TMS

de Looze et al., 2016



Pas d'aménagement  
Pas d'automatisation

Fox & Kotbella, 2018

Gibbs, 2016

Pour quelles  
tâches ?

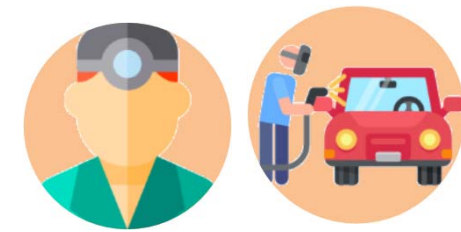


Manutention

e.g.: Graham et al., 2009

Theurel et al., 2018

....



Postures contraignantes

e.g.: Urley & Fathallah 2013

Bosh et al., 2016

...

# TMS

## Les exosquelettes sont ils une solution ?

Theurel & Desbrosses Transaction on Ergonomics and Human Factors, 2019  
Theurel & Claudon ED6311, INRS



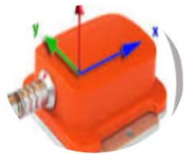
**FORCE**  
Autres facteurs :  
Répétitivité, Posture



Autres  
Conséquences



Autres facteurs de  
risques de TMS  
(RPS, Organisation...)



Coordination motrice, activité  
musculaire, posture, équilibre, ...

### IDÉE REÇUE N°2

«LES EXOSQUELETES SONT LA SOLUTION  
CONTRE LES RISQUES DE TROUBLES  
MUSCULOSQUELETTIQUES.»

VRAI

FAUX

Par contre, il me rend bien des services !



# BILAN DES CONNAISSANCES



## Exosquelette "dos"

Réductions efforts des muscles du dos



Adéquation entre les **demandes de la tâche** (posture et charge) et la **conception de l'exo**



Stratégie et contrôle postural?



## Exosquelette "RAPac dos"

Réductions efforts des muscles du dos



Adaptations neuromusculaires et cinématiques

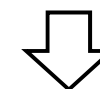


Conséquences cardio-respiratoires



## Exosquelette "MS"

Réduction de l'activité des **muscles fléchisseurs** de l'épaule



CSA ?



Impact sur la posture et conséquences pour les lombalgies?



## Perspectives



Conséquences posturales?  
Contrôle du mvt ?



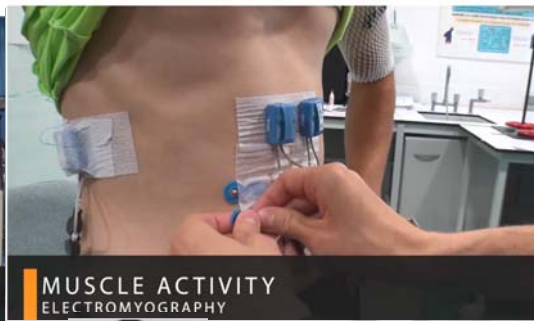
Cinématique articulaire ?

Adaptations chroniques ?





TRAINING PERIOD



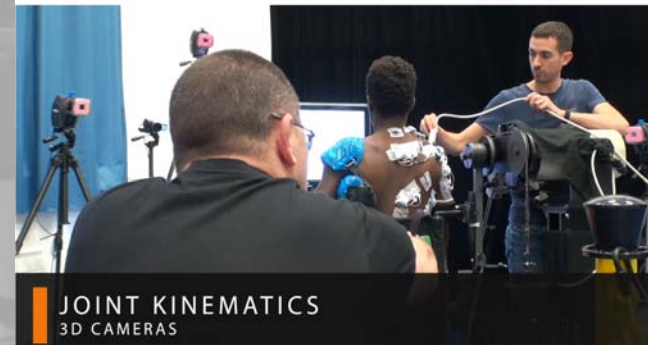
MUSCLE ACTIVITY  
ELECTROMYOGRAPHY



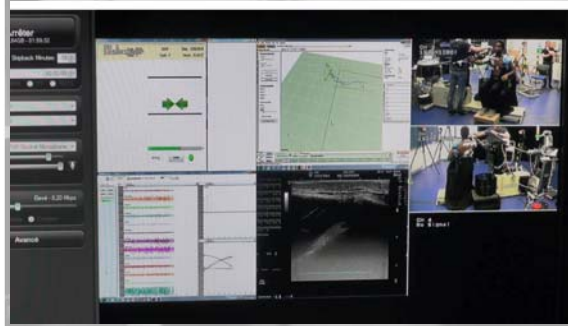
POSTURAL ADAPTATION  
FORCE PLATFORM



TASKS  
DYNAMIC & STATIC



JOINT KINEMATICS  
3D CAMERAS



SUBACROMIAL SPACE  
ECHOGRAPHY



2013  
Etude Prospective

2015  
Etat des lieux (Réseau prévention) (AFNOR)

2016  
Equipe pluridisciplinaire  
**EXO** (Recherche, Veille Technologique, Normalisation, Assistance, Communication)

2018-2019  
1<sup>ère</sup> Campagne d'information (CARSAT, Entreprises, SST)

2022

2023

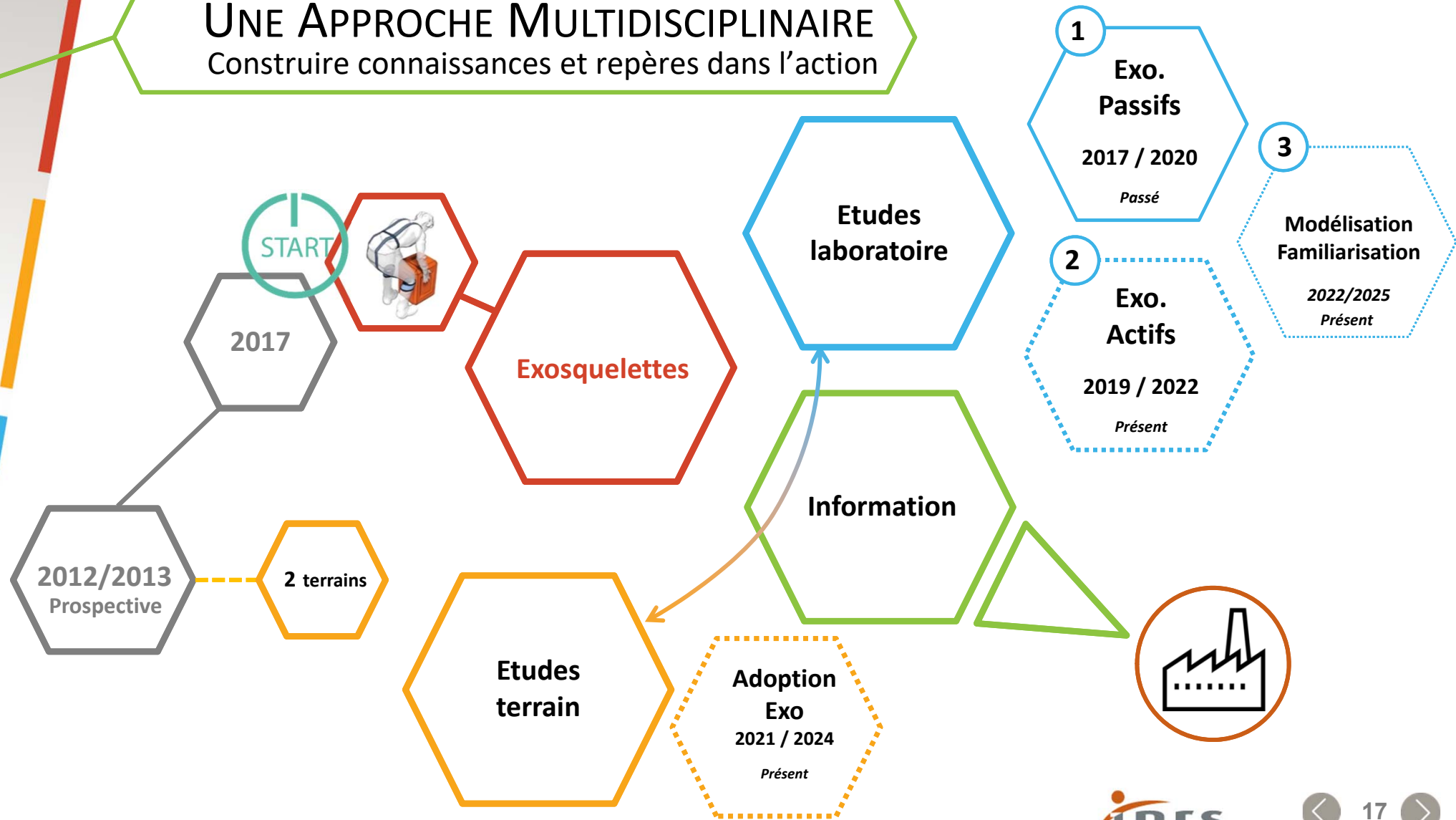
EXPERIMENTATIONS (INRS 2018-2019)





# UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE

Construire connaissances et repères dans l'action



Passé

Présent

Futur

## Etude 1

Etat de l'art ?

**Axe 1** : Adaptations neuromusculaires et cinématiques lors de l'utilisation d'exosquelettes passifs au cours de tâches de manutention



**Axe 2** : Conséquences d'une assistance physique du membre supérieur sur la biomécanique de l'épaule

*IJSE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, (2019), 7: 264-280  
Copyright © 2019 "IJSE"  
ISSN: 2472-5838 print / 2473-5846 online  
DOI: 10.1080/24725838.2019.1638331

REVIEW



## Occupational Exoskeletons: Overview of Their Benefits and Limitations in Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders

Jean Theurel and Kevin Desbrosses  
Department of Working Life,  
Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Vandoeuvre les Nancy, France

**OCCUPATIONAL APPLICATIONS** There is a growing interest in industry toward the use of occupational exoskeletons, with claimed efficiency in reducing physical demands at work. In this paper, we review existing evidence regarding the benefits and risks of using these technologies to attenuate the injury mechanisms for occupational musculoskeletal disorders (MSDs). More specifically, we focus on the underlying mechanisms of low back pain and shoulder tendinopathies, since these are the conditions targeted by the current use of exoskeletons for occupational application. While the potential for occupational exoskeletons to attenuate muscular demand in the back or upper limbs appears fairly promising, we conclude that the current state of knowledge does not allow for an unreserved endorsement of the use of these technologies for the prevention of MSDs. Unwanted consequences of using exoskeletons during handling tasks are also discussed here, such as postural strains and modified kinematics. Several gaps in current knowledge are also highlighted, notably related to the impacts of physical assistance on neuromuscular coordination and joint movements, the occurrence of muscle fatigue, and chronic physiological adaptations.

**TECHNICAL ABSTRACT Background:** To address the prevalence of work-related MSDs in physically demanding tasks, research is now focusing on new approaches, such as the use of exoskeletons. **Purpose:** Based on the available evidence underlying the claimed efficiency of occupational exoskeletons in reducing biomechanical strains at work, the aim of this paper is to relate the claimed effectiveness of exoskeletons at reducing muscle demand to the pathophysiological mechanisms underlying MSDs. A further aim is to analyze the literature to highlight the main deficiencies in current knowledge, in order to guide the research necessary to develop future generations of exoskeletons. **Methods:** A narrative review was completed, based on an electronic literature search, considering occupational applications of exoskeletons from January 1980 to January 2019. **Results:** Thirty articles, each of which evaluated the effects of occupational exoskeletons on physical workload, were considered relevant to discuss with respect

Received July 2018  
Accepted June 2019

Corresponding author: E-mail:  
jean.theurel@inrs.fr

Color versions of one or more of the figures in the article can be found online at [www.tandfonline.com/uehf](http://www.tandfonline.com/uehf).

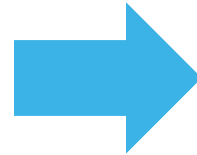
Theurel & Desbrosses, 2019



Passé  
Présent  
Futur

## Exo robotisés

### Evolution des conceptions...



## 4 tâches

Dynamique  
Sagittal

Dynamique  
Rotation

Statique  
Genou

Statique  
Cheville

AXE 1 : Adaptations neuromusculaires et cinématiques

Contrôle

Back X

ExoBack

Cray X

AXE 2 : Conséquences cardio-respiratoires



Passé  
Présent  
Futur

## Etude 2

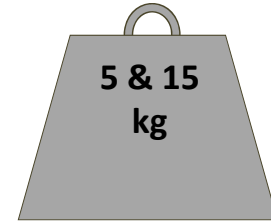
Axe 1 : Adaptations neuromusculaires et cinématiques

4 tâches



5 cycles  
15 cycles/min

5 & 15  
kg



Dynamique  
Sagittal

Dynamique  
Rotation

Statique  
Genou

Statique  
Cheville

Contrôle



Back X



ExoBack



Cray X



Passé

Présent

Futur



# Etude 2

## Points d'appuis et articulations



Members du jury :

Rapporteurs :

- Mme Frédérique HÉVITY Maître de Conférences des Universités - HDR, Université Jean Monnet, Chambéry.
- M. William BERTUCCI Professeur des Universités, Université de Reims Champagne-Méuse, Reims.

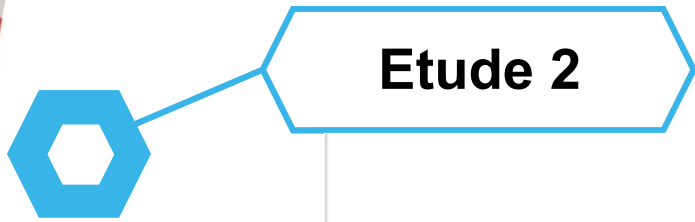
Examinateurs :

- Mme Pauline MAURICE Dr. Chargée de Recherche, Université de Lorraine, Nancy.
- M. Alain BÉLLE Professeur des Universités, Université de Saint-Étienne, Saint-Étienne.
- M. Grégoire GAUCHARD Professeur des Universités, Université de Lorraine, Nancy.
- M. Guillaume MOREUX Maître de Conférences des Universités - HDR, Université de Lorraine, Nancy, Directeur de thèse.

Membre invité :

- M. Kevin DESBROSSES Dr. Responsable d'équipe, Institut National de Recherche et de Sécurité, Nancy, Co-directeur de thèse.

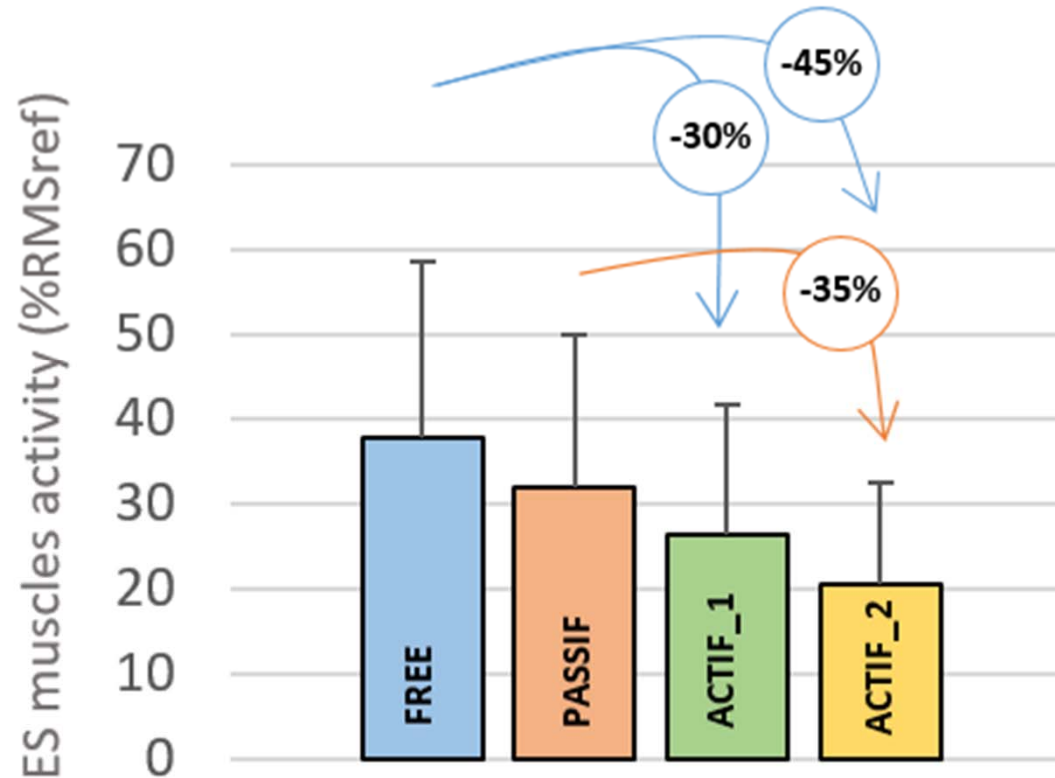
EA 1450 DevAH, Développement, Adaptation et Handicap. Bâtiment C - 1<sup>er</sup> étage, 9 avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy



## Etude 2

## Activité des lombaires

### Static task



Activité des lombaires dans la tâche statique

### Article Biomechanical Consequences of Using Passive and Active Back-Support Exoskeletons during Different Manual Handling Tasks

Mathilde Schwartz <sup>1,\*,</sup> Kevin Desbrosses <sup>1,†</sup>, Jean Theurel <sup>1</sup> and Guillaume Morleux <sup>2,3,†</sup>

<sup>1</sup> Working Life Department, French National Research and Safety Institute for the Prevention of Occupational Accidents and Diseases (INRS), 5800 Vandœuvre les Nancy, France  
<sup>2</sup> Development Adaptation of Handling (DvAHS), Université de Lorraine, 54000 Nancy, France  
<sup>3</sup> Faculty of Sport Sciences, Université de Lorraine, 54000 Nancy, France  
<sup>\*</sup> Correspondence: mathilde.schwartz@inrs.fr; Tel.: +33-36525152

**Abstract:** The aim of this study was to assess, for both men and women, the consequences of using different back-support exoskeletons during various manual material tasks (MMT) on the activity of back muscles and trunk kinematics. Fifteen men and fourteen women performed MMT involving a 15 kg load (a static task, a symmetric lifting task, and an asymmetric lifting task). Four exoskeleton conditions were tested: without equipment (CON) and with three exoskeletons: passive (P-EXO) and active (A-1EXO and A-2EXO). The electromyographic activity of the lower trapezius (TL), latissimus dorsi (LD), erector spinae (ES), gluteus maximus (GM), and hip flexor (HF) muscles was recorded. Trunk kinematics were evaluated to provide average thoracic, lumbar, and hip angles. The use of the P-EXO decreased the activity of LD, GM, and HF from -12 to -27% ( $p < 0.01$ ) compared to CON, mostly during the static task. The A-1EXO and A-2EXO reduced the muscle activity of all studied muscles from -7 to -62% ( $p < 0.01$ ) compared to CON and from -10 to -52% ( $p < 0.005$ ) compared to the P-EXO, independently of the modalities of the experimental tasks. A statistical interaction between the use of exoskeleton was only observed in a low rare conditions. Occupational back-support exoskeletons can reduce trunk extensor muscle activity compared to no-equipment being used. However, these reductions were modulated by the exoskeleton technology (passive vs. active), design (weight and anthropomorphism), and the modalities of the task performed (static vs. dynamic). Our results also showed that the active exoskeletons could modify the trunk kinematics.

**Keywords:** EMG; kinematics; handling tasks; wearable assistive devices; musculoskeletal disorders; low back pain

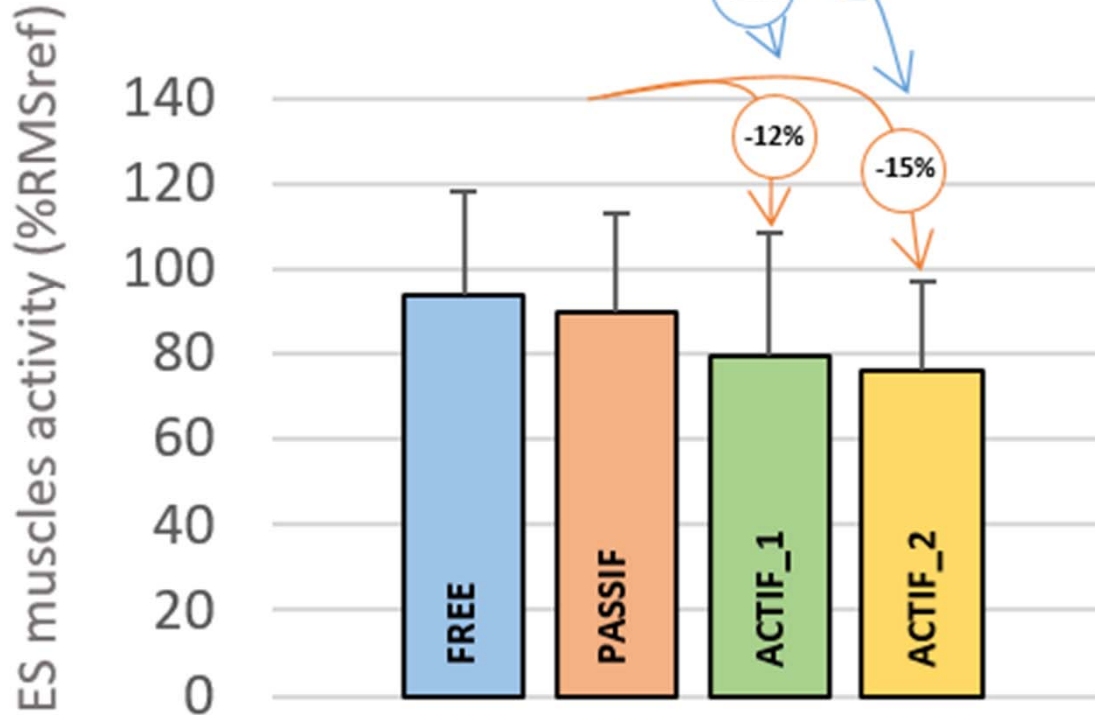
#### 1. Introduction

Musculoskeletal disorders, such as low back pain (LBP), have negative effects on workers by decreasing their quality of life, but also on employers by disorganizing the work activity, eventually leading to a decrease in performance (productivity and quality) involving increased absenteeism and turnover [1,2]. In this context, and to guarantee the health and safety of workers, companies are turning toward physical assistance devices, such as occupational exoskeletons, when collective preventive measures cannot be applied. While passive systems (assistance provided by deformable materials storing energy) were first deployed in companies, technological development has led to active systems (using robotic motors) now being available on the market.

Previous studies observed that the use of occupational back-support exoskeletons can decrease the activity of back muscles during handling tasks, but also led to kinematic alterations [3–6]. However, the magnitude of these effects seems to depend on the characteristics of the exoskeleton, such as its technology (passive versus active) [4,7] or even its design (too-tight versus rigid, for example) [8], as well as the characteristics of the tasks

# Etude 2

## Activité des lombaires



Activité des lombaires dans la tâche dynamique

### Biomechanical Consequences of Using Passive and Active Back-Support Exoskeletons during Different Manual Handling Tasks

Mathilde Schwartz <sup>1,2</sup>, Kevin Desbrosses <sup>1,3</sup>, Jean Theurel <sup>1</sup> and Guillaume Moriniaux <sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Working Life Department, French National Research and Safety Institute for the Prevention of Occupational Accidents and Diseases (INRS), 5800 Vandœuvre les Nancy, France  
<sup>2</sup> Development Adaptation of Handling (DvAH), Université de Lorraine, 54000 Nancy, France  
<sup>3</sup> Faculty of Sport Sciences, Université de Lorraine, 54000 Nancy, France  
<sup>4</sup> Correspondence: mathilde.schwartz@univ-lorraine.fr; +33-385107152

**Abstract:** The aim of this study was to assess, for both men and women, the consequences of using different back-support exoskeletons during various manual material tasks (MMT) on the activity of back muscles and trunk kinematics. Fifteen men and fourteen women performed MMT involving a 15 kg load (a static task, a symmetric lifting task, and an asymmetric lifting task). Four exoskeleton conditions were tested: without equipment (CON) and with three exoskeletons: passive (P-EXO), and active (A-EXO1 and A-EXO2). The electromyographic activity of the lower trapezius (TL), latissimus dorsi (LD), erector spinae (ES), gluteus maximus (GM), and hip flexor (HF) muscles was recorded. Trunk kinematics were evaluated to provide average thoracic, lumbar, and hip angles. The use of the P-EXO decreased the activity of LD, GM, and HF from -12 to -27% ( $p < 0.01$ ) compared to CON, mostly during the static task. The A-EXO1 and A-EXO2 reduced the muscle activity of all studied muscles from -7 to -62% ( $p < 0.01$ ) compared to CON and from -10 to -52% ( $p < 0.005$ ) compared to the P-EXO, independently of the modalities of the experimental tasks. A statistical interaction between the use of exoskeleton was only observed in a low rare conditions. Occupational back-support exoskeletons can reduce trunk extensor muscle activity compared to no-equipment being used. However, these reductions were modulated by the exoskeleton technology (passive vs. active), design (weight and anthropomorphism), and the modalities of the task performed (static vs. dynamic). Our results also showed that the active exoskeletons could modify the trunk kinematics.

**Keywords:** EMG; kinematics; handling tasks; wearable assistive devices; musculoskeletal disorders; low back pain

#### 1. Introduction

Musculoskeletal disorders, such as low back pain (LBP), have negative effects on workers by decreasing their quality of life, but also on employers by disorganizing the work activity, eventually leading to a decrease in performance (productivity and quality) involving increased absenteeism and turnover [1,2]. In this context, and to guarantee the health and safety of workers, companies are turning toward physical assistance devices, such as occupational exoskeletons, when collective preventive measures cannot be applied. While passive systems (assistance provided by deformable materials storing energy) were first deployed in companies, technological development has led to active systems (using robotic motors) now being available on the market.

Previous studies observed that the use of occupational back-support exoskeletons can decrease the activity of back muscles during handling tasks, but also led to kinematic alterations [3–6]. However, the magnitude of these effects seems to depend on the characteristics of the exoskeleton, such as its technology (passive versus active) [4,7] or even its design (too-tile versus rigid, for example) [8], as well as the characteristics of the tasks



# Exo. Robotisés

European Journal of Applied Physiology (2022) 122:2575–2583  
https://doi.org/10.1007/s00421-022-05034-x

ORIGINAL ARTICLE

## Using passive or active back-support exoskeletons during a repetitive lifting task: influence on cardiorespiratory parameters

M. Schwartz<sup>1,2</sup> · K. Desbrosses<sup>1</sup> · J. Theurel<sup>1</sup> · G. Mornieux<sup>2,3</sup>

Received: 20 May 2022 / Accepted: 26 August 2022 / Published online: 8 September 2022  
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2022

### Abstract

The objective of this laboratory study was to assess the cardiorespiratory consequences related to the use of different back-support exoskeletons during a repetitive lifting task. Fourteen women and thirteen men performed a dynamic stoop lifting task involving full flexion/extension of the trunk in the sagittal plane. This task was repeated for 5 min with a 10 kg load to handle. Four conditions were tested: with a passive exoskeleton (P-EXO), with two active exoskeletons (A-EXO1 and A-EXO2), as well as without exoskeleton (FREE). The oxygen consumption rate and cardiac costs were measured continuously. Results showed a significantly lower ( $p < 0.05$ ) oxygen consumption rate for all exoskeletons as compared to FREE ( $12.6 \pm 2.2$  ml/kg/min). The values were also significantly lower ( $p < 0.001$ ) for A-EXO1 ( $9.1 \pm 1.8$  ml/kg/min) compared to A-EXO2 ( $11.0 \pm 1.8$  ml/kg/min) and P-EXO ( $11.8 \pm 2.4$  ml/kg/min). Compared to FREE ( $59.7 \pm 12.9$  bpm), the cardiac cost was significantly reduced ( $p < 0.001$ ) only for A-EXO1 ( $45.1 \pm 11.5$  bpm). Several factors can explain these differences on the cardiorespiratory parameters observed between exoskeletons: the technology used (passive vs active), the torque provided by the assistive device, the weight of the system, but also the level of anthropomorphism (related to the number of joints used by the exoskeleton). Our results also highlighted the lack of interaction between the exoskeleton and sex. Thereby, the three back-support exoskeletons tested appeared to reduce the overall physical workload associated with a repetitive lifting task both for men and women.

**Keywords** Heart rate · Oxygen consumption · Sex · Workload · Wearable assistive devices

### Introduction

Manual handling tasks are generally associated with a high physical workload (Mehta et al. 2014). For example, lifting tasks are known to induce exaggerated biomechanical strains on the back and cardiovascular demand. Many workers involved in this kind of task thus remain exposed to risks of development of low-back pain (Brandt et al. 2018) and

cardiovascular diseases (Hollermann et al. 2021). New technologies, such as occupational back-support exoskeletons, have been specifically designed to reduce the workload of the task performed by workers (de Looze et al. 2016; Theurel and Desbrosses 2019; Kermavnar et al. 2021). Such systems provide an assistance to the movement, using deformable materials storing energy like springs or elastic textiles (i.e. passive exoskeletons), or using robotic motors (i.e. active exoskeletons).

Several studies have shown that back-support exoskeletons can reduce stress on the lower back muscles during handling tasks (de Looze et al. 2016; Theurel and Desbrosses 2019; Kermavnar et al. 2021). In a recent review, Kermavnar et al. (2021) reported average decreases in lower back muscle activity during dynamic handling tasks of 18 and 25%, for passive and active exoskeletons, respectively. The relative decreases observed in muscle activity were nevertheless strongly variable (from 6 to 48%), notably depending on the exoskeleton design: for example, the assistive technologies used (passive versus active) (Madinei et al. 2020; Yin et al.

Communicated by I. Mark Orlert.

✉ M. Schwartz  
mathilde.schwartz@inrs.fr

<sup>1</sup> Working Life Department, French National Research and Safety Institute for the Prevention of Occupational Accidents and Diseases (INRS), 1 Rue du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

<sup>2</sup> Université de Lorraine, DevAH, 54000 Nancy, France

<sup>3</sup> Faculty of Sport Sciences, Université de Lorraine, Nancy, France



Ecole Doctorale BioSE (Biologie-Santé-Environnement)

### Thèse

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de  
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Mention : « Sciences de la Vie et de la Santé »

par Mathilde SCHWARTZ

## Conséquences biomécaniques et physiologiques de l'usage d'exosquelettes robotisés lors de tâches de manutention manuelle.

Le 15 décembre 2022

### Membres du jury :

#### Rapporteurs :

Mme Frédérique HINTZY Maître de Conférences des Universités - HDR, Université Savoie Mont-Blanc, Chambéry.

M. William BERTUCCI Professeur des Universités, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims.

#### Examineurs :

Mme Pauline MAURICE Dr., Chargée de Recherche, Université de Lorraine, Nancy.

M. Alain BELLI Professeur des Universités, Université de Saint-Etienne, Saint-Etienne.

M. Jérôme GAUCHARD Professeur des Universités, Université de Lorraine, Nancy.

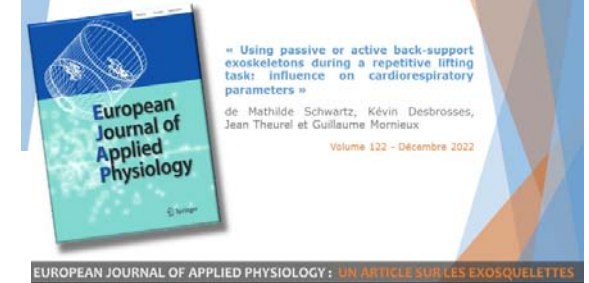
M. Guillaume MORNEUX Maître de Conférences des Universités - HDR, Université de Lorraine, Nancy, Directeur de thèse.

#### Membre invité :

M. Kevin DESBROSSES Dr., Responsable d'études, Institut National de Recherche et de Sécurité, Nancy, Co-directeur de thèse.

EA 3450 DevAH, Développement, Adaptation et Handicap. Bâtiment C – 1<sup>er</sup> étage.  
9 avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy

### Actualité - Homme au travail

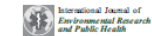


« Using passive or active back-support exoskeletons during a repetitive lifting task: influence on cardiorespiratory parameters »

de Mathilde Schwartz, Kevin Desbrosses, Jean Theurel et Guillaume Mornieux

Volume 122 - Décembre 2022

EUROPEAN JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY : UN ARTICLE SUR LES EXOSQUELÈTES



## Biomechanical Consequences of Using Passive and Active Back-Support Exoskeletons during Different Manual Handling Tasks

Mathilde Schwartz<sup>1,2</sup>, Kevin Desbrosses<sup>1,3</sup>, Jean Theurel<sup>1</sup> and Guillaume Mornieux<sup>2,4,5</sup>

<sup>1</sup> Working Life Department, French National Research and Safety Institute for the Prevention of Occupational Accidents and Diseases (INRS), 54000 Vandœuvre-lès-Nancy, France  
<sup>2</sup> Développement Adaptation et Handicap (DevAH), Université de Lorraine, 54000 Nancy, France  
<sup>3</sup> Faculty of Sport Sciences, Université de Lorraine, 54000 Nancy, France  
<sup>4</sup> Correspondence: mathilde.schwartz@inrs.fr; (e-mail: mschwartz@inrs.fr)

**Abstract:** The aim of this study was to assess, for both men and women, the consequences of using different back-support exoskeletons during various manual material tasks (MMT) on the activity of back muscles and trunk kinematics. Fifteen men and fourteen women performed MMT involving a 15 kg load (a static task, a symmetric lifting task, and an asymmetric lifting task). Four exoskeleton conditions were tested: without equipment (CON) and with three exoskeletons: passive (P-EXO), and active (A-EXO1 and A-EXO2). The electromyographic activity of the lower trapezius (TL), latissimus dorsi (LD), erector spinae (ES), gluteus maximus (GM), and biceps femoris (BF) muscles was recorded. Trunk kinematics were also used to provide average thoracic, lumbar, and hip angles. The use of the P-EXO decreased the activity of L12 GM and BF from  $-12$  to  $-27%$  ( $p < 0.01$ ) compared to CON, mostly during the static task. The A-EXO1 and A-EXO2 reduced the muscle activity of all studied muscles from  $-7$  to  $-62%$  ( $p < 0.01$ ) compared to CON and from  $-10$  to  $-52%$  ( $p < 0.005$ ) compared to the P-EXO, independently of the modalities of the experimental tasks. A statistical interaction between the sex and exoskeleton was only observed in a few rare conditions. Occupational back-support exoskeletons can reduce trunk extensor muscle activity compared to no equipment being used. However, these reductions were modulated by the exoskeleton technology (passive vs. active), design (weight and anthropomorphism), and the modalities of the task performed (static vs. dynamic). Our results also showed that the active exoskeletons could modify the trunk kinematics.

**Keywords:** IMC; kinematics; handling tasks; wearable assistive devices; musculoskeletal disorders; low back pain

### 1. Introduction

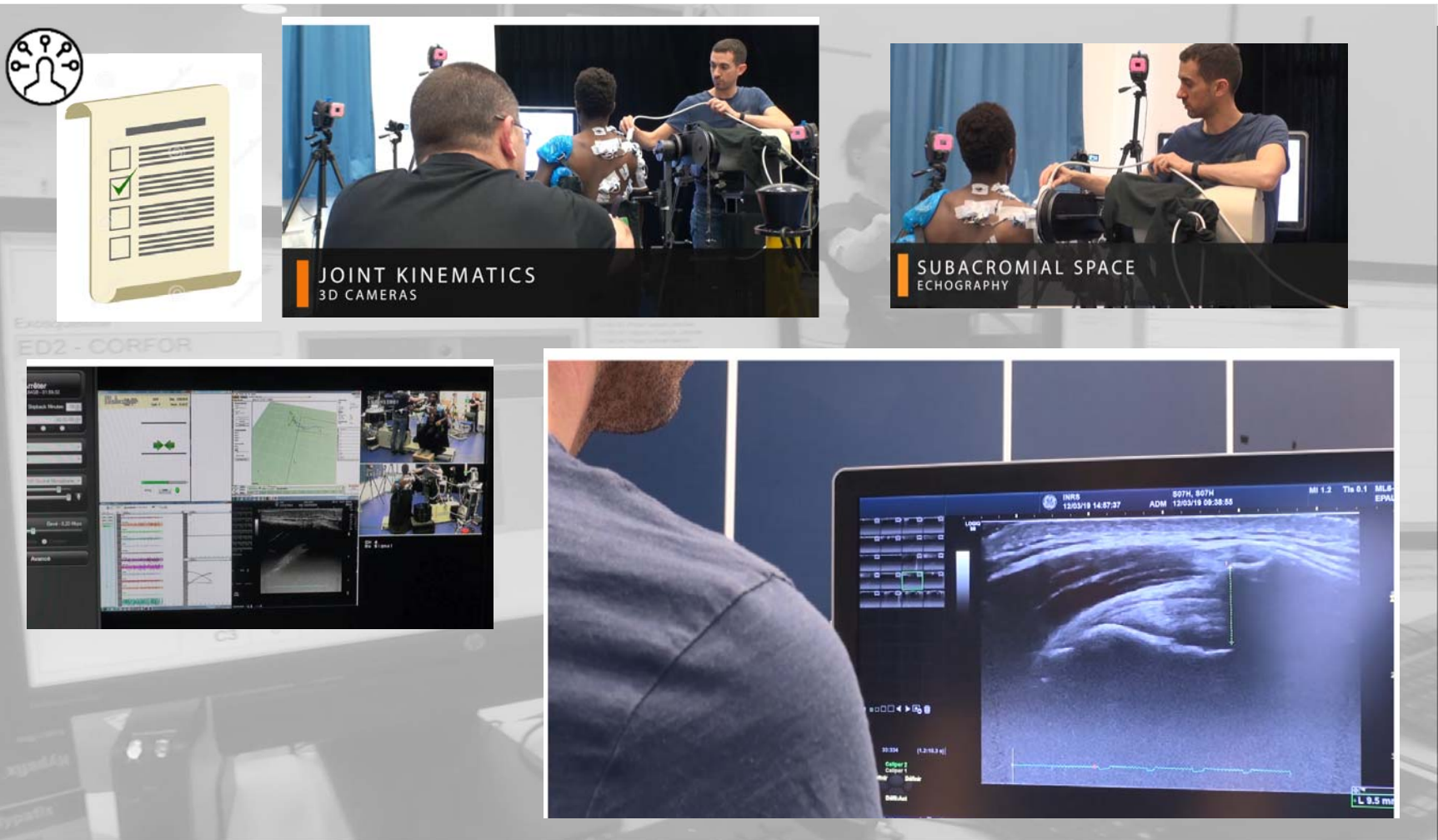
Musculoskeletal disorders, such as low back pain (LBP), have negative effects on workers by decreasing their quality of life, but also on employers by disorganizing the work activity, eventually leading to a decrease in performance (productivity and quality) involving increased absenteeism and turnover [1,2]. In this context, and to guarantee the health and safety of workers, companies are turning toward physical assistance devices, such as occupational exoskeletons, when collective preventive measures cannot be applied.

While passive systems (assistance provided by deformable materials storing energy) were first deployed in companies, technological development has led to active systems (using robotic motors) now being available on the market. Previous studies observed that the use of occupational back-support exoskeletons can decrease the activity of back muscles during handling tasks, but also led to kinematic alterations [3–6]. However, the magnitude of these effects seems to depend on the characteristics of the exoskeleton, such as its technology (passive versus active) [4,7] or even its design (static versus rigid, for example) [8], as well as the characteristics of the tasks

Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 20, 4646; https://doi.org/10.3390/ijerph2022094646

https://www.mdpi.com/journal/ijerph

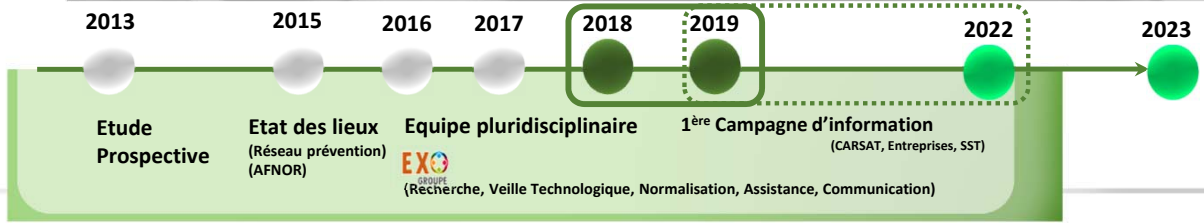




**JOINT KINEMATICS**  
3D CAMERAS

**SUBACROMIAL SPACE**  
ECHOGRAPHY

**EXPERIMENTATIONS (INRS 2018-2019)**

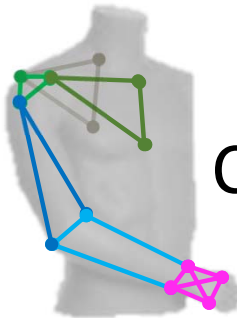


Passé  
Présent  
Futur

# Questionnement



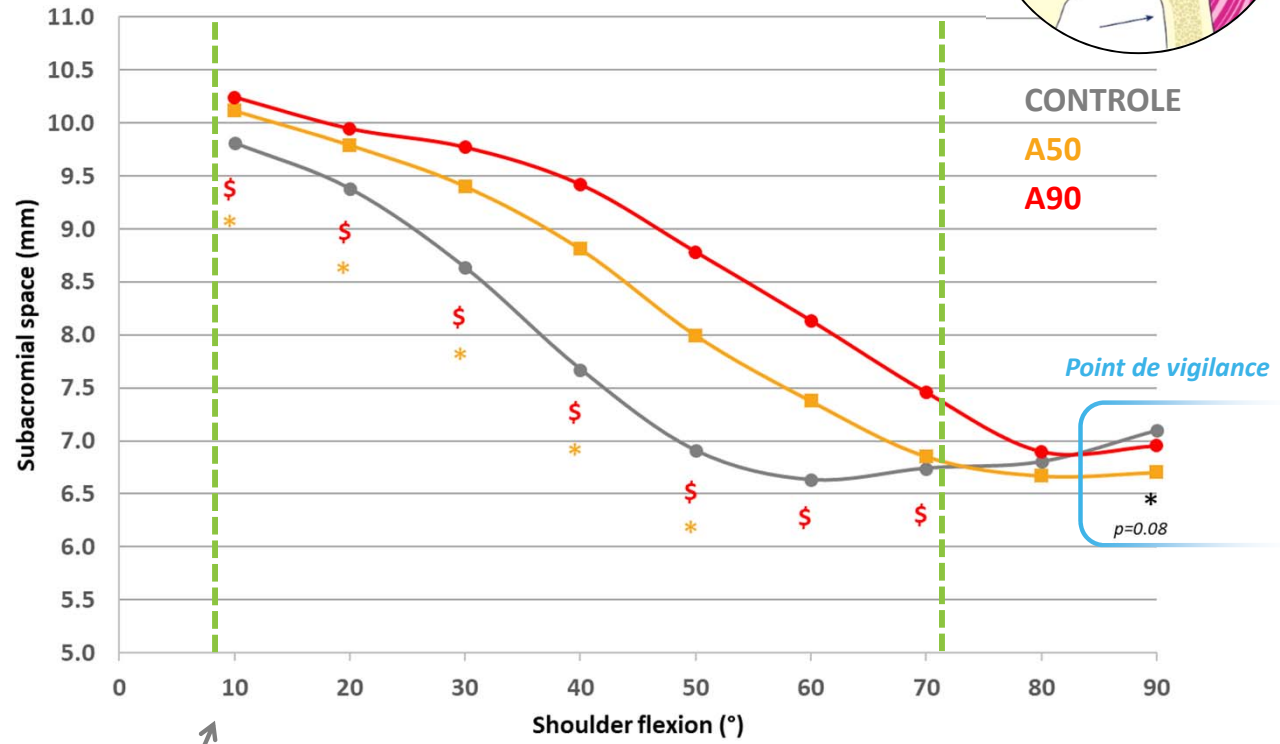
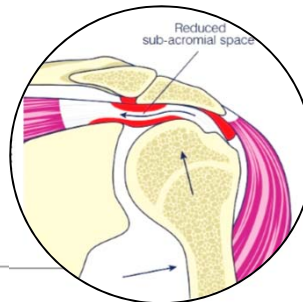
## Electromyogramme (agoniste / antagoniste)



## Cinématique (rythme scapulo-huméral)

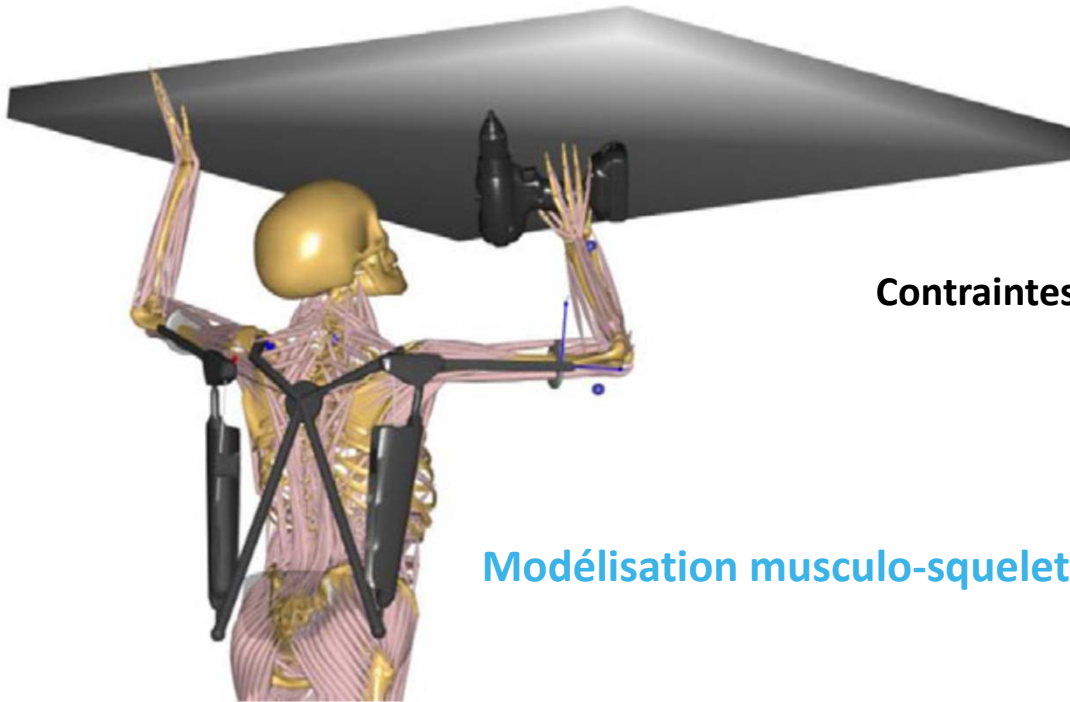


## Espace sous-acromial (conflit sous-acromial)



\* : CONTROLE ≠ A50  
\$ : CONTROLE ≠ A90

# Modélisation

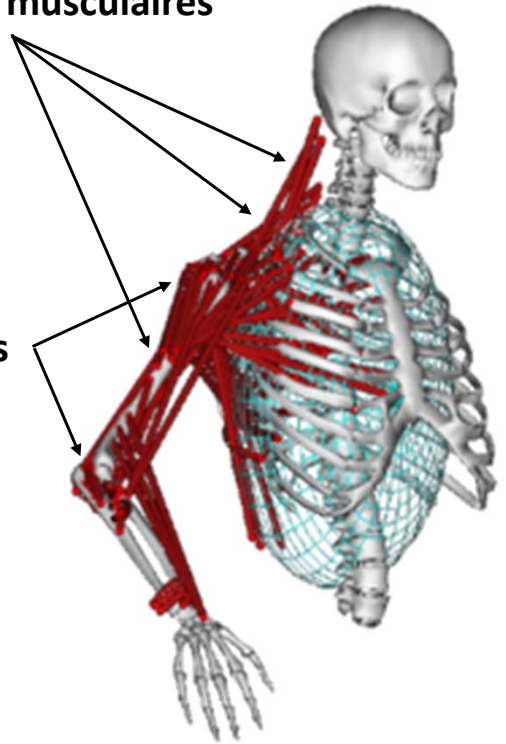


Fritzsche et al. (2021)

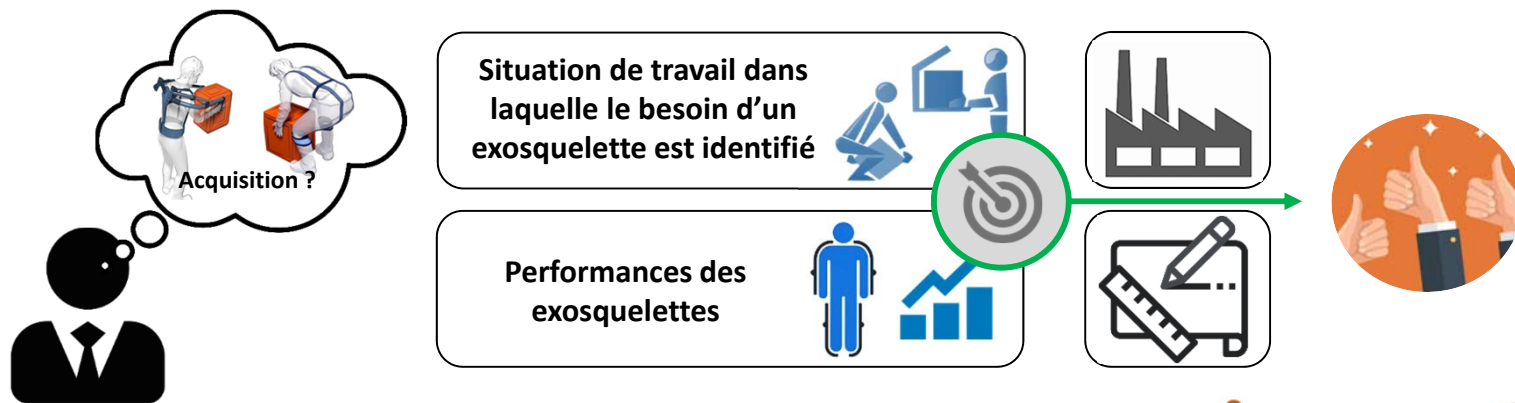
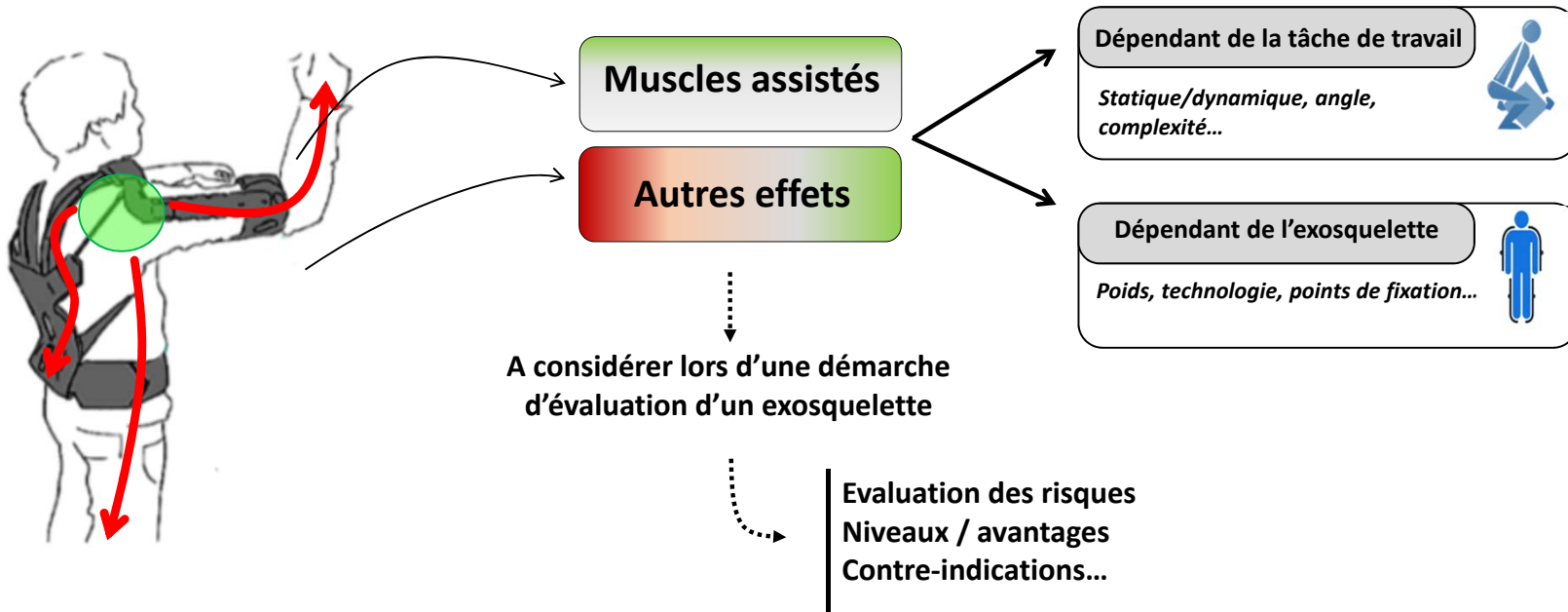
Modélisation musculo-squelettique

Activations musculaires

Contraintes articulaires



Passé  
Présent  
Futur





Un besoin

Aide à la décision

Evaluation de l'IHE et évaluation de la qualité de l'IHE

Continuité d'usage



Choix d'un exosquelette adapté



Intégration de l'exosquelette adapté



Analyse de la charge physique

Description des tâches

Exosquelette ? Lequel ?

Entraînement

**Familiarisation à l'usage de l'exosquelette**

Evaluation hors et en situation de travail



# Acquisition d'un exosquelette en entreprise. Pourquoi ? Comment ?

-

## Guide pour les préventeurs

Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr



[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

# Structure de la méthode

Phase 1  
Aide à la décision

*Choix d'un exosquelette potentiellement adapté*

Phase 2  
Evaluation de l'interaction Homme-Exosquelette

*Intégration d'un exosquelette effectivement adapté*

Phase 3  
Retour d'expérience

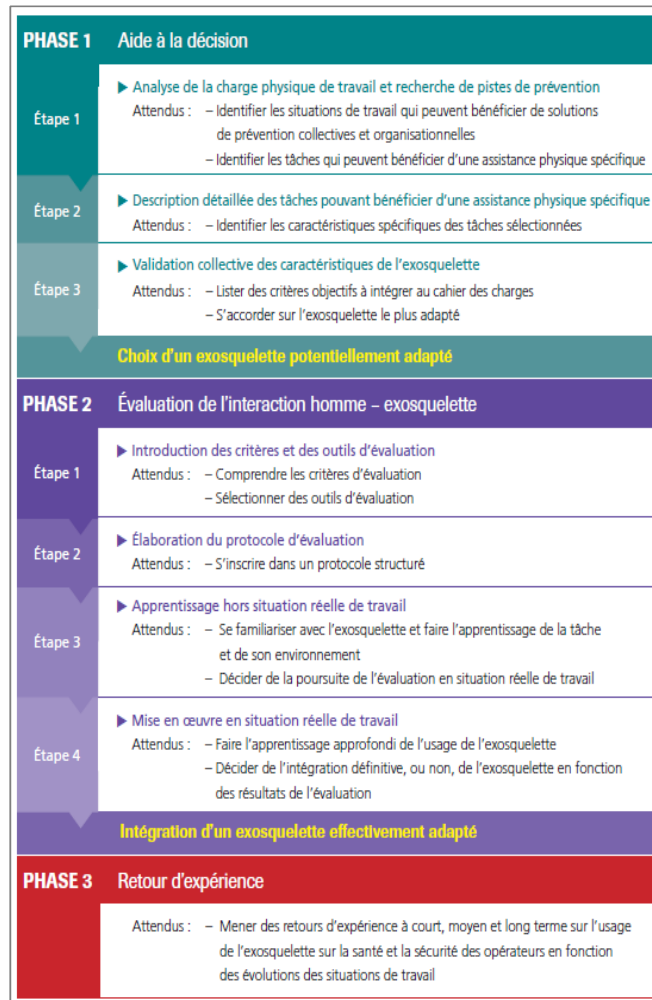
*Effets à court, moyen et long terme*

A  
C  
C  
E  
P  
T  
A  
T  
I  
O  
N



# Une approche spécifique

## Proposition d'une méthodologie d'action



### Triple objectifs :

- Accompagner l'entreprise dans sa prise de décision d'acquisition d'un exosquelette
- Procéder à toutes les étapes d'évaluation nécessaires à l'identification des apports et des limites que pourraient générer l'intégration d'un exosquelette
- Créer les conditions permettant l'intégration optimale de l'exosquelette dans la situation de travail et l'usage de la technologie par les opérateurs

# Les questions préalables à se poser



Quelle est la problématique de l'entreprise ?



Peut-on éliminer les problèmes à la source ?



Dispose t-on de moyens de prévention collective ?



Les technologies d'assistance physique peuvent elles convenir comme moyen de prévention individuelle ?

# Analyse de l'activité des salariés



- Compréhension fine de l'activité des salariés
- Identification des facteurs de risques et des déterminants de l'activité
- Recherche de pistes de prévention



Identifier les tâches nécessitant une assistance physique spécifique

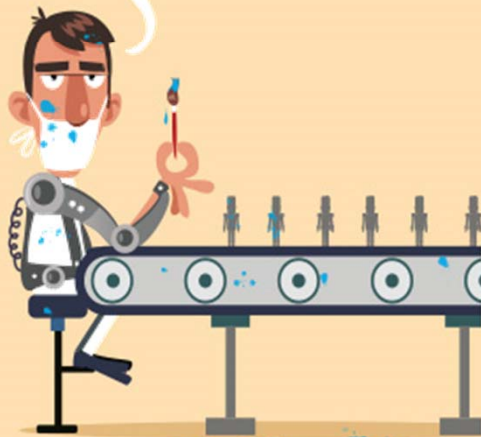
# Caractérisation du besoin d'assistance

## Analyse de l'activité

### IDÉE REÇUE N°7

«LES EXOSQUELETES SONT ADAPTÉS À  
TOUTES LES SITUATIONS DE TRAVAIL.»

Ah non, par exemple, pour peindre  
les détails... C'est un carnage !



© Vainui de Castebajac pour l'INRS

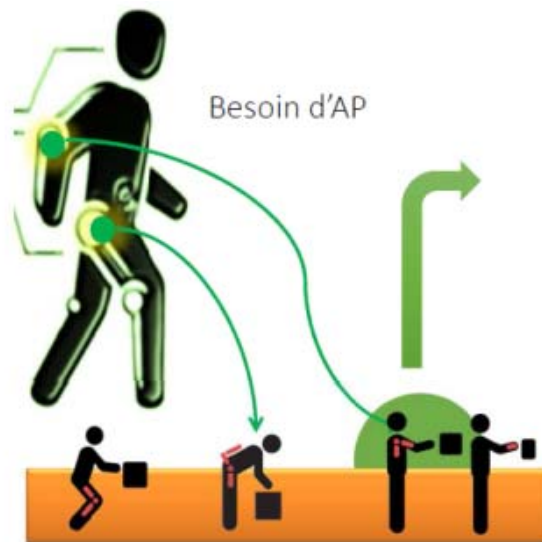
- Spécificités de la tâche de travail ?
- Quels risques potentiels ?



Impliquer l'utilisateur final !

# Caractérisation des fonctions de l'exosquelette

Intégrer des critères objectifs dans le cahier des charges



- Apports et limites de la solution Exo
- Zones corporelles nécessitant une assistance
- Fonctions d'assistance souhaitées
- Conditions de réalisation de la tâche
- Besoins de réglages spécifiques



Modèle  
d'exosquelette

# Caractérisation des fonctions de l'exosquelette

Intégrer des critères objectifs dans le cahier des charges



Brochure INRS élaborée par K. Desbrosses, L. Kerangueven, M. Schwartz et J. Theurel, en collaboration avec C. Duval.

Apports et limites de la solution Exo

Zones corporelles nécessitant une assistance

Fonctions d'assistance souhaitées

Conditions de réalisation de la tâche

Besoins de réglages spécifiques



Modèle  
d'exosquelette



## Proposition de critères d'évaluation

- **L'appropriation** : fluidité du mouvement, durée de réalisation de la tâche, acceptation sociale, ...
- **L'utilité** : tenue du temps de cycle, respect de la qualité de l'opération, durée d'assistance active pendant la tâche, ...
- **L'utilisabilité** : facile à mettre en œuvre (mise en place, retrait, réglages), à utiliser, gênes, ...
- **L'impact** : effets sur l'opérateur, effets sur le collectif de travail, intégration à l'environnement, ...
- **La sécurité** : évaluation des risques pour l'opérateur, les collègues et l'environnement

# Prendre en compte les nouveaux risques

Intégrer un exosquelette, c'est aussi introduire de nouveaux risques

**Exosquelettes au travail : 6 points de vigilance**  
Les exosquelettes peuvent soulager les opérateurs mais... leur usage n'est pas sans risque.



1 Les frottements et les pressions répétés de l'exosquelette sur certaines parties du corps peuvent être à l'origine d'**INCONFORT ET/OU D'IRRITATIONS DE LA PEAU**.

2 Certaines activités réalisées à l'aide d'exosquelettes exigent une attention accrue qui peut s'accompagner d'une **AUGMENTATION DU STRESS**.

3 Les exosquelettes, de par leur encombrement et leur structure, présentent des **RISQUES DE COLLISION** avec une tierce personne ou des éléments de l'environnement.

4 Les exosquelettes sont susceptibles de modifier la perception des efforts et d'entraver les gestes, ce qui peut se traduire par un **DÉSÉQUILIBRE ET/OU DES MOUVEMENTS INCONTRÔLÉS**.

5 L'usage des exosquelettes modifie la répartition des efforts et peut ainsi contribuer à l'apparition de **NOUVELLES CONTRAINTES BIOMÉCANIQUES**, facteurs de risque de troubles musculosquelettiques (TMS).

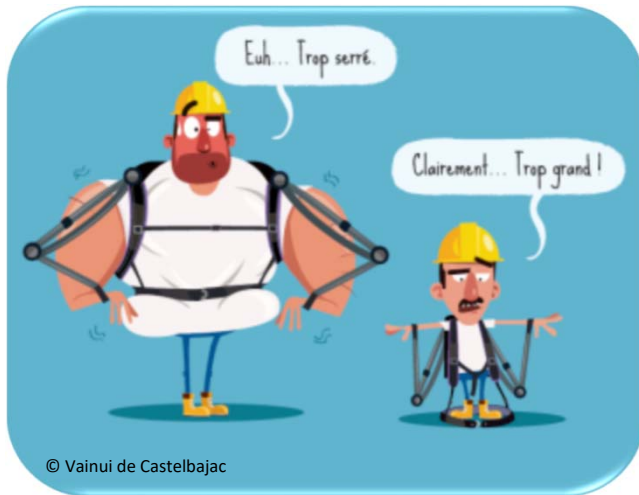
6 Le poids des exosquelettes et la gêne associée lors de la réalisation de certains mouvements peuvent conduire à une **AUGMENTATION DES SOLlicitATIONS CARDIOVASCULAIRES**.

Pour en savoir plus : [www.inrs.fr/exosquelettes](http://www.inrs.fr/exosquelettes)

**inrs**  
Institut National de Recherche et de Sécurité



# Familiarisation et apprentissage(s)

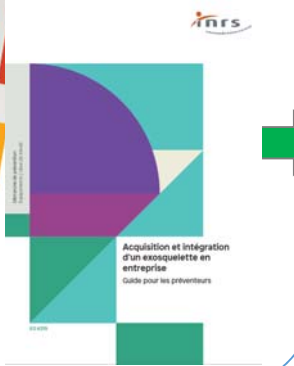


- Découverte progressive de l'exosquelette
- Nouveaux repères (fluidité des mouvements, réglages, ressenti, ...)
- Identification des moments où les phases d'assistance physique sont actives

- Apprentissage (Exo – tâche – environnement)
- Reconfiguration de la situation de travail
- Décision d'intégration définitive (ou non) de l'exosquelette



# Quels repères pour un projet exosquelette ?



PHASE 1 Aide à la décision	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse de la charge physique de travail et recherche de pistes de prévention</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les situations de travail qui peuvent bénéficier de solutions de prévention collectives et organisationnelles</li> <li>Identifier les tâches qui peuvent bénéficier d'une assistance physique spécifique</li> </ul> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Lister des critères objectifs à intégrer au cahier des charges</li> <li>S'accorder sur l'exosquelette le plus adapté</li> </ul> </li> </ul>
<b>Choix d'un exosquelette potentiellement adapté</b>	
PHASE 2 Évaluation de l'interaction homme - exosquelette	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction des critères et des outils d'évaluation</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Comprendre les critères d'évaluation</li> <li>Sélectionner des outils d'évaluation</li> </ul> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élaboration du protocole d'évaluation</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>S'inscrire dans un protocole structuré</li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apprentissage hors situation réelle de travail</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Se familiariser avec l'exosquelette et faire l'apprentissage de la tâche et de son environnement</li> <li>Décider de la poursuite de l'évaluation en situation réelle de travail</li> </ul> </li> </ul>
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre en situation réelle de travail</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Faire l'apprentissage approfondi de l'usage de l'exosquelette</li> <li>Décider de l'intégration définitive, ou non, de l'exosquelette en fonction des résultats de l'évaluation</li> </ul> </li> </ul>
<b>Intégration d'un exosquelette effectivement adapté</b>	
PHASE 3 Retour d'expérience	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Mener des retours d'expérience à court, moyen et long terme sur l'usage de l'exosquelette sur la santé et la sécurité des opérateurs en fonction des évolutions des situations de travail</li> </ul> </li> </ul>	



PHASE 1 Aide à la décision	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse de la charge physique de travail et recherche de pistes de prévention</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les situations de travail qui peuvent bénéficier de solutions de prévention collectives et organisationnelles</li> <li>Identifier les tâches qui peuvent bénéficier d'une assistance physique spécifique</li> </ul> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Lister des critères objectifs à intégrer au cahier des charges</li> <li>S'accorder sur l'exosquelette le plus adapté</li> </ul> </li> </ul>
<b>Choix d'un exosquelette potentiellement adapté</b>	
PHASE 2 Évaluation de l'interaction homme - exosquelette	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction des critères et des outils d'évaluation</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Comprendre les critères d'évaluation</li> <li>Sélectionner des outils d'évaluation</li> </ul> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élaboration du protocole d'évaluation</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>S'inscrire dans un protocole structuré</li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apprentissage hors situation réelle de travail</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Se familiariser avec l'exosquelette et faire l'apprentissage de la tâche et de son environnement</li> <li>Décider de la poursuite de l'évaluation en situation réelle de travail</li> </ul> </li> </ul>
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre en situation réelle de travail</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Faire l'apprentissage approfondi de l'usage de l'exosquelette</li> <li>Décider de l'intégration définitive, ou non, de l'exosquelette en fonction des résultats de l'évaluation</li> </ul> </li> </ul>
<b>Intégration d'un exosquelette effectivement adapté</b>	
PHASE 3 Retour d'expérience	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Mener des retours d'expérience à court, moyen et long terme sur l'usage de l'exosquelette sur la santé et la sécurité des opérateurs en fonction des évolutions des situations de travail</li> </ul> </li> </ul>	



PHASE 1 Aide à la décision	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse de la charge physique de travail et recherche de pistes de prévention</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les situations de travail qui peuvent bénéficier de solutions de prévention collectives et organisationnelles</li> <li>Identifier les tâches qui peuvent bénéficier d'une assistance physique spécifique</li> </ul> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Lister des critères objectifs à intégrer au cahier des charges</li> <li>S'accorder sur l'exosquelette le plus adapté</li> </ul> </li> </ul>
<b>Choix d'un exosquelette potentiellement adapté</b>	
PHASE 2 Évaluation de l'interaction homme - exosquelette	
Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction des critères et des outils d'évaluation</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Comprendre les critères d'évaluation</li> <li>Sélectionner des outils d'évaluation</li> </ul> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élaboration du protocole d'évaluation</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>S'inscrire dans un protocole structuré</li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apprentissage hors situation réelle de travail</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Se familiariser avec l'exosquelette et faire l'apprentissage de la tâche et de son environnement</li> <li>Décider de la poursuite de l'évaluation en situation réelle de travail</li> </ul> </li> </ul>
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre en situation réelle de travail</li> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Faire l'apprentissage approfondi de l'usage de l'exosquelette</li> <li>Décider de l'intégration définitive, ou non, de l'exosquelette en fonction des résultats de l'évaluation</li> </ul> </li> </ul>
<b>Intégration d'un exosquelette effectivement adapté</b>	
PHASE 3 Retour d'expérience	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Mener des retours d'expérience à court, moyen et long terme sur l'usage de l'exosquelette sur la santé et la sécurité des opérateurs en fonction des évolutions des situations de travail</li> </ul> </li> </ul>	



Étude de cas

## ACTIVITÉS INDIVIDUELLE ET COLLECTIVE DE TIREURS D'ENROBÉ : CONSÉQUENCES DE L'USAGE D'UN EXOSQUELETTE ROBOTISÉ

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** Dans certaines conditions, les chantiers d'épandage d'enrobé ne peuvent pas être intégralement mécanisés : par exemple, en milieu urbain, dans le cas des trottoirs ou encore des allées piétonnes. Dans ces situations, les enrobés sont amenés par des camions benneux sur le chantier. Les enrobés sont ensuite généralement approvisionnés du camion au lieu d'application à l'aide de brouettes ou de chargeuses. Les enrobés sont versés sous forme de « tas » plus ou moins importants qu'il faut d'abord dégraisser. Les enrobés sont ensuite répartis et étalés manuellement à l'aide de pelles (pelleyeurs) et racleuses par les « tireurs de râteau » (régisseurs d'enrobé). Ces derniers répandent les enrobés en respectant les quantités à employer, enlèvent l'excès, complètent les vides, et effectuent manuellement le nivellement de la surface à l'aide de la racleuse (en bois ou en aluminium) en veillant à l'uniformité des couches. Ces opérations constituent des réglages « fins ». Dans ces conditions, les régisseurs d'enrobés sont soumis à des contraintes physiques importantes de l'ensemble de leur corps. Pour tenter de les prévenir, une entreprise française de travaux publics, avec l'aide d'une entreprise spécialisée dans la robotique collaborative, a co-conçu, puis déployé à l'international, un exosquelette robotisé<sup>1</sup> destiné à assister physiquement les régisseurs d'enrobé pour l'activité de ratisage et réglage au sein de ses équipes.

À la suite d'une première phase de déploiement, l'entreprise souhaitait analyser sous un angle scientifique l'apport de cet outil dans son environnement de travail. C'est dans ce cadre que l'INRS a été sollicité par la Carsat Nord-Est pour étudier l'usage de cet outil au sein des équipes de chantiers. Une étude sur les conséquences de l'usage de cette technologie sur l'activité individuelle et collective des tireurs d'enrobé a été conduite par une équipe pluridisciplinaire de l'INRS (psychologues du travail, physiologiste et expert d'assistance).

L'hypothèse principale était que l'usage de cette technologie, dans une équipe de travail engendrait des modifications, non seulement pour l'utilisateur mais aussi pour ses coéquipiers. Au cours des trois chantiers observés, l'utilisation de l'exosquelette robotisé a été discontinuée : certaines phases d'activités ont été réalisées en tirage manuel et d'autres avec l'exosquelette.

→ **LA RÉPONSE DE L'INRS :**  
**Méthodologie**

Le protocole de l'étude a été cadré et discuté avec l'équipe projet et la hiérarchie de l'entreprise (responsable d'agence, conducteurs de travaux et chefs d'équipe). Un groupe de pilotage plurimétiers a également été créé. Il rassemblait divers acteurs clés, internes et externes (les chercheurs de l'INRS, un ingénieur-conseil de la Carsat Nord-Est, le médecin du travail, des représentants du concepteur de l'exosquelette robotisé), pour permettre de centraliser les informations et d'ajuster la démarche par rapport aux objectifs. Cette démarche d'intervention combinait quatre méthodologies : observations de l'activité, mesures physiologiques (cardiofréquence-métrie), entretiens individuels et collectifs (confrontation collective).

**Les observations de l'activité**

Des pré-observations ont été réalisées pour comprendre le caractère dynamique des situations de travail et identifier, au préalable, les différentes typologies de chantiers et leurs configurations, pour définir les outils de recueil des données adaptés. Ces pré-observations ont également permis d'établir le guide d'entretien individuel et de définir les séquences filmées à utiliser lors de la confrontation collective. Plusieurs équipes de chantier (utilisant ou

# L'introduction de nouveaux dispositifs conduit l'individu et le collectif à « reconfigurer le travail »

Bobillier-Chaumon et Dubois (2009)



Modifications dans le travail, pour l'utilisateur mais aussi pour ses coéquipiers.

Réajustement des stratégies de travail.

# UN EXOSQUELETTE ? QUEL IMPACT SUR LE COLLECTIF

# Résultats

Un réajustement important des stratégies de travail pour l'ensemble de l'équipe

- Nouveaux gestes et usages à apprendre
- Un glissement des tâches à effectuer (pour tous)
- Une modification des espaces de travail
- Modification des règles préétablies (RAC)
- Développement de nouvelles stratégies
- Des réapprentissages ou des compétences nouvelles à développer

Et cela dans un environnement de travail dynamique



# Conclusion

Lors de l'introduction d'une telle technologie, il est important de considérer conjointement :

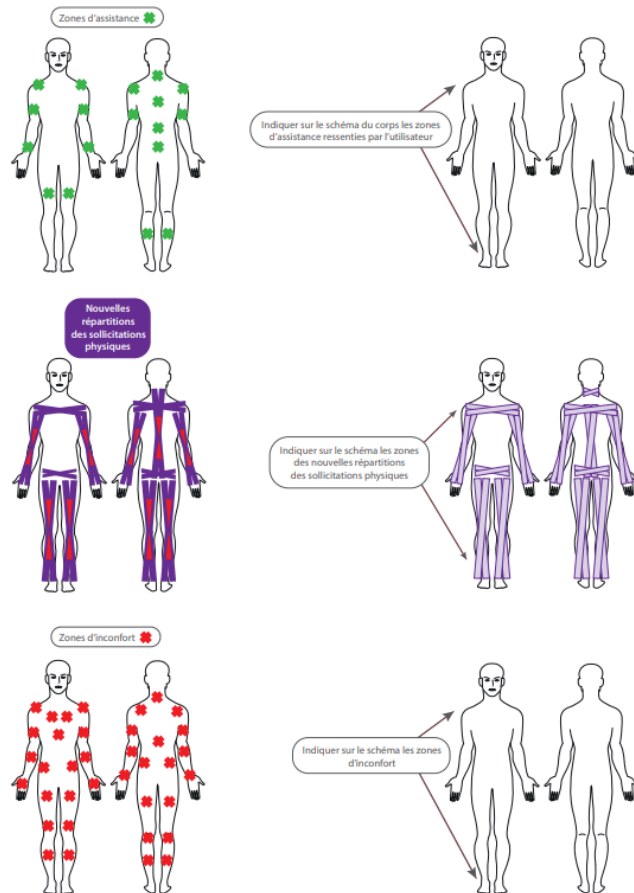
- l'opérateur équipé,
- le collectif
- l'encadrement

en rapport avec les modifications relatives aux modes opératoires, aux stratégies individuelles, collectives et organisationnelles.



# Retour d'expérience et suivi dans le temps

## Remettre en question les apports du système



L'évaluation doit interroger différentes dimensions liées :

- Aux opérateurs (santé, plaintes, satisfactions, ...)
- À la structure (AT, absentéisme, turnover, ...)
- À l'activité (changements techniques, humains et organisationnels, ...)

maintien ? modification ? abandon ?

déploiement à d'autres situations de travail ?

# Retour d'expérience et suivi dans le temps

Remettre en question les apports du système



ANNÉE 2020

N°337

**Exosquelettes professionnels : Rôle et besoins des services de santé au travail pour leur intégration en entreprise**

Etude qualitative

THESE D'EXERCICE EN MEDECINE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1  
Et soutenue publiquement le 12 octobre 2020  
En vue d'obtenir le titre de Docteur en Médecine par

**Agnès Gallet**  
Née le 08 avril 1992  
À Cholet (49)

Sous la direction du Docteur Agnès Aublet-Cuvelier

L'évaluation doit interroger différentes dimensions liées :

- Aux opérateurs (santé, plaintes, satisfactions, ...)
- À la structure (AT, absentéisme, turnover, ...)
- À l'activité (changements techniques, humains et organisationnels, ...)

# Enquête pour thèse MT

Agnès Gallet

Exosquelettes professionnels : Rôle et besoins des services de santé au travail pour leur intégration en entreprise

Etude qualitative



## RETOUR D'EXPERIENCE

- Implication en amont ou en cours
- Divers rôles

« Je vais faire un questionnaire, utiliser l'échelle de Borg. »

« On voyait les salariés avant les phases d'essai d'équipement pour s'assurer qu'il n'y ait pas de contre-indications. »

- Enseignements

« Aujourd'hui j'apprends cela comme une chose pour laquelle on n'a pas assez de recul. »

« J'ai eu l'impression que les salariés devaient utiliser en autonomie un équipement qu'ils ne connaissaient pas ou peu, ça n'a pas aidé à persévérer. »

- Une sollicitation imprécise : identification du besoin ?



# Positionnement des MT

Agnès Gallet

Exosquelettes professionnels : Rôle et besoins des services de santé au travail pour leur intégration en entreprise

Etude qualitative

- MT et IDEST prêts à s'investir
- **Article L 4622-2 Code du travail**
- Expertise médicale et veille sanitaire
- Travailler en collaboration
- Le suivi : étape essentielle et spécifique

« Au-delà de notre œil pour évaluer les risques (...), on a des informations des pathologies (...) on est les seuls à les obtenir, donc on peut alerter. »

« On a un rôle de coordination, si on n'est pas dans la démarche je ne vois pas comment on peut remplir ce rôle. »

« C'est le cœur de notre travail de faire le suivi, vérifier que ça n'aggrave pas l'état de santé du salarié. »

49

# Les exosquelettes pour prévenir les TMS et rôle des SPST

GRAND ANGLE

TC 175



## Les exosquelettes pour prévenir les troubles musculosquelettiques et rôle des services de santé au travail

### AUTEURS :

J. Theurel, J.J. Atain Kouadio, L. Kerangueven  
1. Département Homme au travail, INRS  
2. Département Expertise et conseil technique, INRS

### EN RÉSUMÉ

Les exosquelettes, déployés dans de nombreux secteurs d'activité, suscitent un espoir légitime en termes de prévention des troubles musculosquelettiques (TMS) mais aussi d'amélioration des conditions de travail. Leur usage soulève toutefois encore de nombreuses questions de santé et de sécurité. De l'analyse de la situation de travail au déploiement des exosquelettes en entreprise, une démarche continue, structurée et collective, paraît indispensable. Le rôle des services de santé au travail (SST) est ainsi primordial. Cet article traite des avantages et des limites de l'usage d'exosquelettes professionnels pour la prévention des TMS. Abordant des aspects théoriques, pratiques et opérationnels, son objectif est d'aider les SST à accompagner efficacement les entreprises dans leur démarche d'acquisition et d'intégration d'un exosquelette.

**MOTS CLÉS**  
Exosquelette /  
Trouble musculo-  
squelettique /  
MS / Conditions  
de travail /  
Ergonomie /  
Pathologie  
articulaire



© Louis Malinvaux pour l'INRS

# L'

impact des activités de travail dans la survenue des troubles musculosquelettiques (TMS) fait l'objet d'un large consensus depuis de nombreuses années. Si l'industrie et la construction concentraient jusque récemment la majorité des cas de TMS, d'autres secteurs, comme celui des soins et aide à la personne, sont désormais particulièrement concernés par ces problématiques. En 2019, les TMS représentaient plus de 87 % des maladies professionnelles reconnues [1]. Parmi les TMS recon-

nus, plus de 90 % concernent les membres supérieurs (notamment tendinopathie de la coiffe des rotateurs, épicondylite latérale, syndrome du canal carpien). Par ailleurs, les lombalgies représentent également 20 % des accidents du travail [2]. L'ensemble de ces atteintes de l'appareil locomoteur se manifeste généralement par des raideurs, des douleurs musculo-articulaires ou des pertes de fonctions (force, mobilité) pouvant compromettre le maintien au travail et plus large-

### POINTS À RETENIR

- Il est indispensable d'avoir étudié préalablement l'ensemble des pistes susceptibles de réduire la charge physique de travail avant d'envisager l'usage d'un exosquelette comme solution de prévention.
- Les exosquelettes d'assistance du dos permettent de limiter les contraintes musculaires lombaires lors de tâches mobilisant le tronc en flexion/extension.
- Les exosquelettes d'assistance du membre supérieur permettent de limiter les contraintes musculaires au niveau des épaules lors de tâches impliquant le maintien des bras en hauteur.
- L'usage d'exosquelettes peut avoir des conséquences non-désirées au niveau des muscles antagonistes, des muscles posturaux, et du contrôle du mouvement.
- Les effets non désirés associés à l'usage d'un exosquelette sont à considérer lors de l'évaluation des risques professionnels et du suivi de santé au travail.
- Les bénéfices et les limites des exosquelettes dépendent d'une interaction forte entre sa conception, les caractéristiques individuelles et le type de tâche.
- Une démarche structurée est essentielle, allant de la caractérisation des besoins jusqu'à l'intégration de l'exosquelette en situation de travail, puis suivant les effets à court, moyen et long terme.
- L'entreprise doit mettre en place les conditions permettant l'évaluation des usages de l'exosquelette et l'accompagnement de son acceptation par les opérateurs.
- L'équipe pluridisciplinaire du service de santé au travail a un rôle à jouer dans l'accompagnement de l'entreprise à chacune des étapes de la démarche.
- Le SST doit également être impliqué dans le suivi du déploiement de la technologie à d'autres situations de travail.

TC 175

JUIN 2021 — RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL — N° 166

17



50



# Quels repères pour un projet exosquelette ?



## Analyse de l'activité des salariés

**IDÉE REÇUE N°7**  
«LES EXOSQUELLETES SONT ADAPTÉS À TOUTES LES SITUATIONS DE TRAVAIL.»

«Ah non, par exemple, pour pointer les détails... C'est un carnage!»

**Caractérisation du besoin d'assistance**

**Repères méthodologiques pour la sélection d'un exosquelette professionnel**

ED 6416

## Familiarisation et apprentissage(s)

**IDÉE REÇUE N°8**  
«LES EXOSQUELLETES SONT IMMÉDIATEMENT UTILISABLES EN SITUATION DE TRAVAIL.»

VRAI  FAUX

«Euh... Empeux la sécurité, Régis est resté coincé avec son exosquelette.»

## Validation de la capacité d'intégrer

**IDÉE REÇUE N°9**  
«LES EXOSQUELLETES AMÉLIORENT LA PRODUCTIVITÉ.»

VRAI  FAUX

«Ouh, bon... J'ai suis sûr que même, Eric Man a dû causer quelques trucs avant de s'habituer, non?»

- Rex
- Suivi
- Remettre en question les apports du système



# Activité en normalisation

Normalisation française  
AC Z 68-800  
Index de classement : Z 68-800  
ICS :

T1 Dispositifs d'assistance physique à contention de type exosquelettes robotisés ou non

**T2 Outils et repères méthodologiques pour l'évaluation de l'interaction humain-dispositif**

T3

E :

Accord publié par AFNOR.

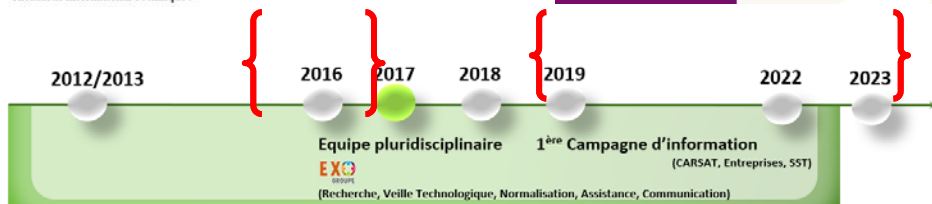
Correspondance

A la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux de normalisation internationaux ou européens traitant du même sujet.

Résumé

Descripteurs

Thésaurus International Technique :



NF X35-800

AOÛT 2023

ISSN 0335-3931

AFNOR X35A : Ergonomie

## Normalisation française Norme française homologuée et publiée par Afnor

NF X35-800

Ergonomie - Méthode d'intégration des dispositifs et robots d'assistance physique à contention de type exosquelette - Expression des besoins, sélection, conception, évaluation et déploiement

Date de publication : août 2023



Le cas échéant, seules les formes verbales **doit** et **doivent** sont utilisées pour exprimer une ou des exigences qui doivent être respectées pour se conformer au présent document. Pour les méthodes d'essai, l'utilisation de l'infinitif correspond à une exigence.

Des informations complémentaires sont disponibles sur votre espace client AFNOR (relations avec normes Européennes et internationales, Index de classement, descripteurs, Etc.)

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) - 11, rue Francis de Pressensé - 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex Tél. : + 33 (0)1 41 62 80 00 - Fax : + 33 (0)1 49 17 90 00 - [www.afnor.org](http://www.afnor.org)



# Exosquelettes

## Point sur l'acceptation



Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr

# Nouvelles technologies ... ruptures technologiques

Environ la moitié des nouvelles technologies ne parvient pas à trouver sa place

*(Lucas (1978) ; Compeau et al., (1991) ; Paré et al., (1995), Dickie (2002) ....)*



Acceptation



# La question d'acceptation



Processus psychologiques déterminant l'adoption d'une nouvelle technologie



Identifier les déterminants de l'acceptation et du rejet de la nouvelle technologie



Prévention → **qualité de l'interaction Homme Exosquelette**

# Repères

Davies (1986, 1989)  
Nielsen (1994)  
Terrade & Al (2009)  
Bongier & Barcenilla (2013)

## Acceptabilité



## Acceptation



Dubois & Bobillet-Chaumont (2009)  
Venkatesch (2003)  
Bobiller-Chaumont (2013, 2016)

~~Favoriser l'acceptation~~

Prédire l'acceptation

Comprendre l'acceptation

*Processus d'adoption des exosquelettes : de l'acceptabilité à la continuité d'usage (2021-2024)*

Comprendre et formaliser le processus d'adoption des exosquelettes  
Liên Wioland, Jean-Jacques Atain Kouadio, Isabelle Urmès

Thèse M. Dufraisse – 1<sup>er</sup> trim. 2025

Acquisition

Tests

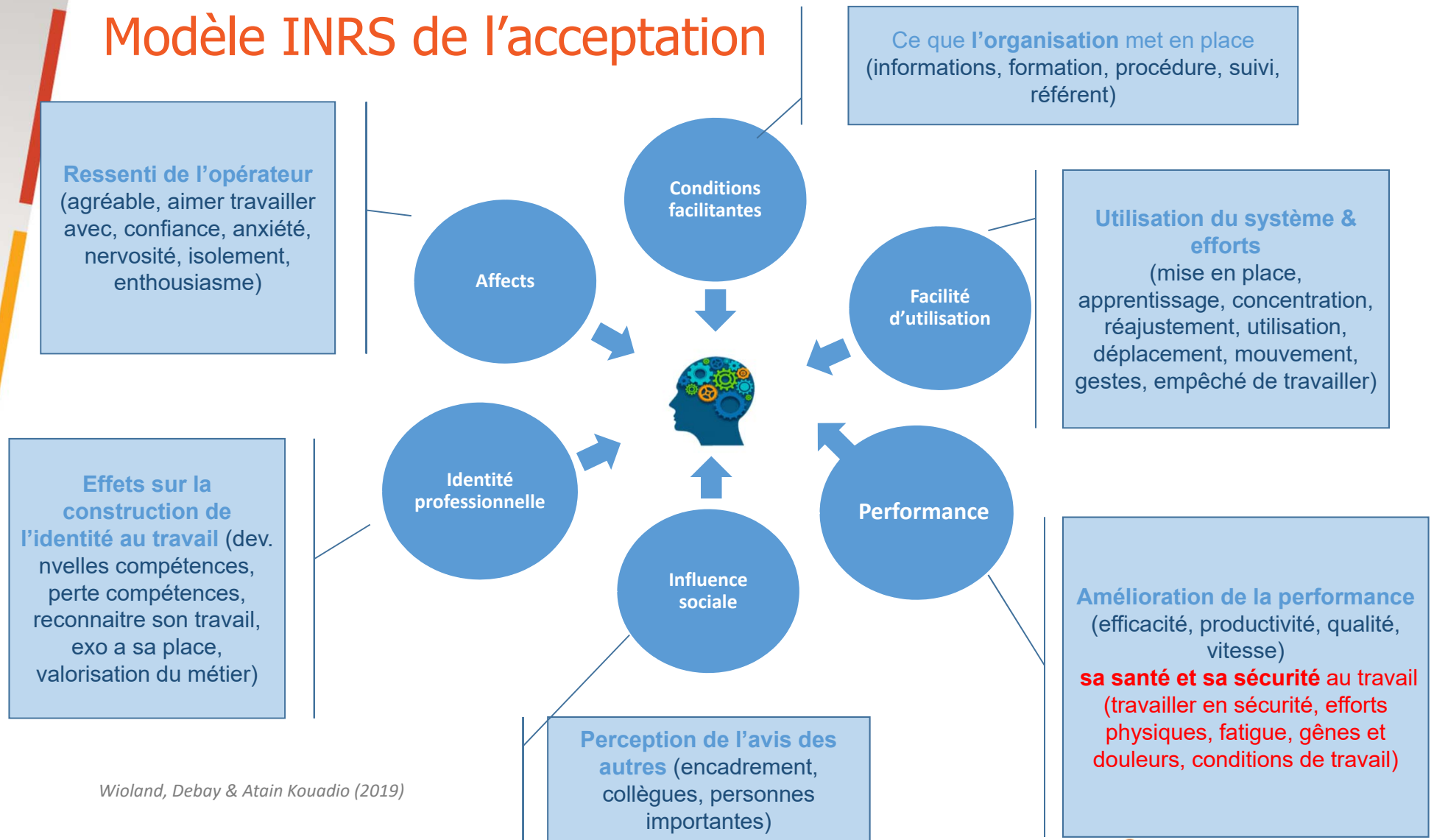
Intégration

Déploiement

Déployé



# Modèle INRS de l'acceptation



Wioland, Debay & Atain Kouadio (2019)

# Etude terrain

# Phase de **déploiement** la question d'acceptation (qualité de l'interaction)

VU DU TERRAIN

## Déploiement d'un exosquelette robotisé : retour d'expérience par l'entreprise Colas

AUTEURS :  
A. Gay, J. Goineau, M.C. Houilliez, M. Bury, L. Wioland, JJ. Atain Kouadio, H. Bréard

**RESUMÉ**

Les tâches exigeantes physiquement qui ne peuvent être ni mécanisées ni automatisées sont confiées pour exposer les travailleurs à des contraintes biomécaniques importantes. Ces dernières constituent des facteurs de risque de survenue des troubles musculo-squelettiques (TMS). Pour y faire face, les entreprises expérimentent souvent trois de nouvelles approches de prévention complémentaires à celles existantes et ayant fait la preuve de leur efficacité. C'est dans cette logique que l'entreprise Colas a engagé une démarche de déploiement d'exosquelette robotisé, à l'aide d'un comité de pilotage pluridisciplinaire. Cet article présente leur retour d'expérience.

**CONTEXTE**

**LES EXOSQUELLETES : GÉNÉRALITÉS**

Depuis quelques années, le développement de nouvelles technologies d'assistance physique, et plus particulièrement des exosquelettes, accablent les entreprises très équipées de plus en plus. Les exosquelettes sont conçus pour assister physiquement les opérateurs dans la réalisation d'une tâche afin de réduire leur exposition aux contraintes physiques [1]. Les entreprises les perçoivent comme des dispositifs pouvant contribuer à améliorer les conditions de travail, en permettant en particulier de réduire l'exposition des opérateurs aux fatigues de fatigue biomécanique de tâches manuelles répétitives (TMR). Un exosquelette peut être « actif » lorsqu'il est actionné par un système robotisé et « passif » lorsqu'il fonctionne par restitution d'énergie mécanique grâce, entre autres, à des matériaux particuliers des systèmes à ressorts ou des élastiques [2].

**COLAS ET LES EXOSQUELLETES : HISTORIQUE**

Implanté dans une cinquantaine de pays, le groupe Colas est le leader mondial de la construction, de l'entretien et de la maintenance des infrastructures de transport. En 2009, l'entreprise a débuté une recherche de nouvelles solutions techniques suite à une demande de l'Agence Colas de Genève qui souhaitait améliorer les conditions de travail des travailleurs manuels et en particulier celles des régions d'enclos. En 2010, l'entreprise a collaboré avec un ergonomiste afin de réfléchir sur un dispositif technologique et l'année suivante, Colas s'est mis en relation avec Elyg, entreprise spécialisée dans la robotique collaborative, afin de concevoir un exosquelette d'assistance à l'effort. Cet exosquelette était initialement destiné aux opérateurs (appelés compagnons) chargés de la mise en œuvre manuelle des enrobés sur la chaussée Elyg a alors réalisé les premières études de caractérisation les des régions d'enclos.

ANNEXE 2 Questionnaire pour les utilisateurs des exosquelettes

Commentaire et/ou remarques des utilisateurs :

1. L'exosquelette est-il facile à utiliser ?

2. L'exosquelette est-il confortable ?

3. L'exosquelette est-il efficace ?

4. L'exosquelette est-il sûr ?

5. L'exosquelette est-il fiable ?

6. L'exosquelette est-il robuste ?

7. L'exosquelette est-il adapté à votre travail ?

8. L'exosquelette est-il adapté à votre environnement ?

9. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de compétence ?

10. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de formation ?

11. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de connaissance ?

12. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de motivation ?

13. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance ?

14. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en soi ?

15. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre équipe ?

16. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre supérieur ?

17. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre entreprise ?

18. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre pays ?

19. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre culture ?

20. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre religion ?

21. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre société ?

22. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre communauté ?

23. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre famille ?

24. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre amis ?

25. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre voisins ?

26. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre collègues ?

27. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre clients ?

28. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre fournisseurs ?

29. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre concurrents ?

30. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre partenaires ?

31. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre investisseurs ?

32. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre médias ?

33. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre gouvernement ?

34. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre législateurs ?

35. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre juges ?

36. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre citoyens ?

37. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre monde ?

38. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre univers ?

39. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre Dieu ?

40. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre destin ?

41. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre avenir ?

42. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre espoirs ?

43. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre rêves ?

44. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre rêves ?

45. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre rêves ?

46. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre rêves ?

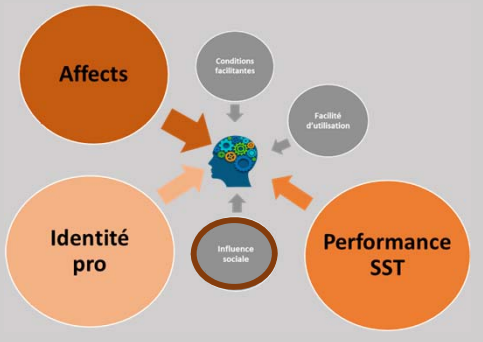
47. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre rêves ?

48. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre rêves ?

49. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre rêves ?

50. L'exosquelette est-il adapté à votre niveau de confiance en votre rêves ?

N=78



Confirmation et précisions des points bloquants  
 Familiarisation  
 Légitimité de l'exosquelette  
 Transformation du système de valeur et des représentations

A. Gay, J. Goineau, M.C. Houilliez,  
 M. Bury, L. Wioland, JJ. Atain Kouadio,  
 H. Bréard

## A retenir : démarche



Etude terrain

Chaque nouvelle technologie constitue une rupture majeure (individuel, collectif et organisationnel)



- Valider le **choix** de l'assistance
- Valider que l'opérateur **bénéficie** du potentiel d'assistance physique de l'exosquelette/NT
- Valider l'usage d'un exosquelette/NT en situation de production **durant une période suffisante sans dégrader** les conditions de travail

- **Accompagner** les équipes pour leur permettre de construire de nouveaux repères (individuel, collectif et organisationnel)
- Poursuivre **l'évaluation de l'interaction** Homme-exosquelette/NT (acceptation)

Suivre l'ensemble du processus d'acquisition au déploiement

# Applications

## Nos actions



EXO  
GROUPE

2023



Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr



2015



Exosquelettes

Etudes terrain

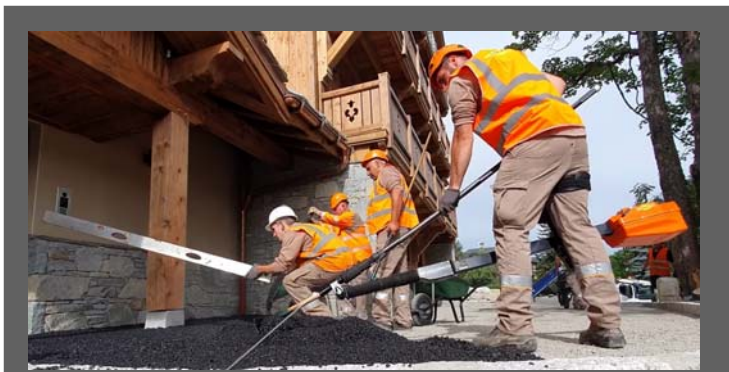
Etudes  
laboratoire

Offre de  
services

# Assistances, conseils

Méthodes / Suivi / Recherche

BTP



Validité opérationnelle

INDUSTRIE



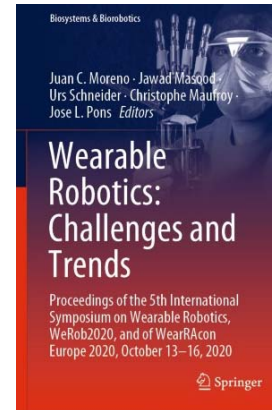
SANITAIRE ET SOCIAL

IDÉOS

Innovation Un exosquelette pour aider les soignants

19/20 Lorraine

# Complémentarités des méthodes et des outils



Acceptance of Exoskeletons: Questionnaire Survey  
Wioland & al, 2019

**ANNEXE 2** Questionnaire pour les utilisateurs ou ex-utilisateurs

Concernant l'utilisation de l'exosquelette (une seule réponse possible),

- Vous en utilisez en dans votre travail actuellement
- Vous en avez déjà utilisé un dans votre travail mais vous avez décidé de ne plus l'utiliser (direction, changement de poste, ...)
- Autre (préciser la raison) : \_\_\_\_\_

Dans tous les cas, pouvez-vous nous indiquer les éléments suivants :

- La marque de l'exosquelette utilisé :
- Le type de l'exosquelette utilisé (une seule réponse possible) :
  - Exosquelette des membres supérieurs (travaux)
  - Exosquelette de l'ensemble du corps
  - Exosquelette des lombaires
- Depuis combien de temps l'utilisez-vous dans votre travail ou combien de temps l'avez-vous utilisé (en jour, semaines, mois ou années) ?  
 \_\_\_\_\_ jour(s) ou \_\_\_\_\_ semaine(s) ou \_\_\_\_\_ mois ou \_\_\_\_\_ année(s)
- Combien de temps en moyenne l'utilisez-vous ou l'avez-vous utilisé par jour (en minutes ou en heures) ?  
 \_\_\_\_\_ minutes/jour ou \_\_\_\_\_ heures/jour
- Généralement sur une journée de travail, vous portez (portez) l'exosquelette :  
 En continu  En séquences (préciser le nombre) : \_\_\_\_\_
- Le nombre de jour(s) d'utilisation sur une semaine :  
 \_\_\_\_\_ jour(s)

Dans la suite du questionnaire, vous trouverez une suite d'affirmations concernant votre expérience avec l'exosquelette. Pour chaque affirmation qui suit, veuillez indiquer votre avis en cochant la case correspondante sur une échelle de réponses en cinq points (de « Pas du tout d'accord » à « Plus qu'à l'accord ») :  
 « Pas du tout d'accord » = 1 « Pas d'accord » = 2 « Moyennement d'accord » = 3 « Plus qu'à l'accord » = 4 « Plus qu'à l'accord » = 5

**LA MISE EN PLACE ET LES RÉGIMES DE L'EXOQUELETTE**

46. Je trouve que l'exosquelette se facile à mettre en place.  
 Pas du tout d'accord  Plus qu'à l'accord  Moyennement d'accord  Plus qu'à l'accord  Tout à fait d'accord

49. Durant ma journée de travail, je dois relâcher les réglages de l'exosquelette.  
 Pas du tout d'accord  Plus qu'à l'accord  Moyennement d'accord  Plus qu'à l'accord  Tout à fait d'accord

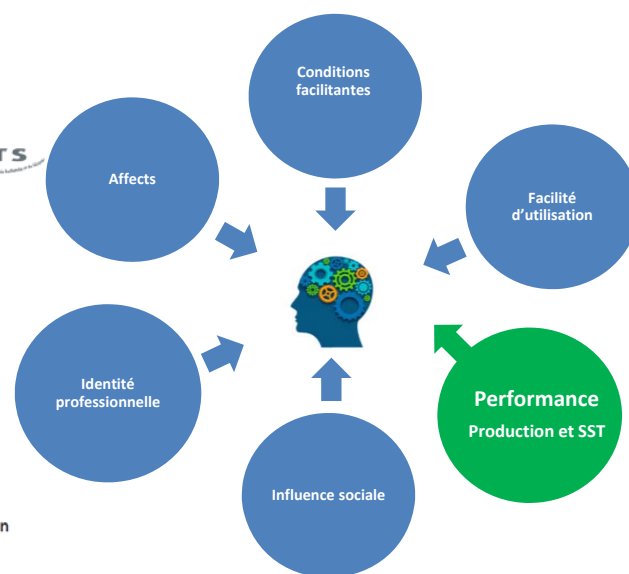
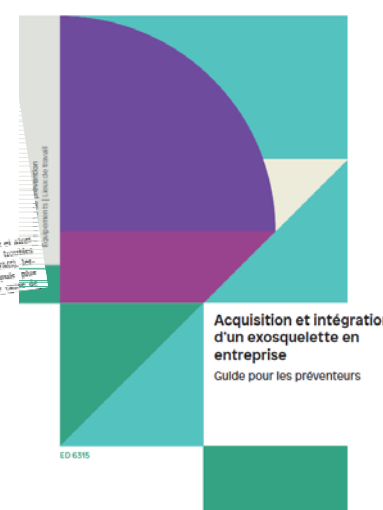
**L'UTILISATION DE L'EXOQUELETTE**

50. Globalement, je trouve que l'exosquelette est facile à utiliser.  
 Pas du tout d'accord  Plus qu'à l'accord  Moyennement d'accord  Plus qu'à l'accord  Tout à fait d'accord

51. Je trouve que l'effectuer mes mouvements facilement avec l'exosquelette.  
 Pas du tout d'accord  Plus qu'à l'accord  Moyennement d'accord  Plus qu'à l'accord  Tout à fait d'accord

N°140 - RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL - DÉCEMBRE 2019

## Acceptation des exosquelettes par les opérateurs : étude exploratoire



Modèle de l'acceptation (INRS)

Acceptabilité

Acceptation



# Une offre d'information complète

## → S'informer en amont

Décrypter les idées reçues

Approfondir ses connaissances

Identifier les risques



10 idées reçues sur les exosquelettes

ED 6295



Exosquelettes au travail : Impact sur la santé et la sécurité des opérateurs État des connaissances

ED 6311



ÉTUDES & SOLUTIONS

### Notes techniques

#### USAGE D'UN EXOSQUELETTE D'ASSISTANCE DES BRAS : BÉNÉFICES ET CONTRAINTES LORS DE TÂCHES DE MANUTENTION

Une étude a été menée par l'INRS dans le but d'étudier les conséquences physiologiques de l'utilisation d'un exosquelette d'assistance du membre supérieur lors de tâches de manutention manuelle. Elle s'inscrit dans l'accompagnement méthodologique et métrologique d'une entreprise ayant initié un projet d'évaluation de cette technologie, acquise afin de prévenir les risques de troubles musculo-squelettiques (TMS) chez ses salariés. Les résultats, présentés dans cet article, mettent en lumière les avantages et les limites de l'usage d'un exosquelette en fonction de la situation de travail.

JEAN-FRANÇOIS LEBLANC, CHIRURGE DES MEMBRES SUPÉRIEURS, DÉPARTEMENT MÉDECINE DU TRAVAIL

En parallèle du développement de l'automatisation et de la mécanisation, certaines tâches de manutention manuelle restent aujourd'hui durablement ancrées dans de nombreuses situations de travail. Or, elles se sont accrues pour répondre aux besoins croissants à des contraintes biomécaniques importantes, facteurs de risque de survenue de troubles musculo-squelettiques (TMS) [1]. Afin de limiter la gravité de ces TMS, les entreprises expérimentent aujourd'hui de nouvelles approches préventives, comme l'usage d'exosquelettes [2]. Appliqués à un usage professionnel, ces nouveaux équipements peuvent être définis comme des structures externes, réglables par l'utilisateur, conçues pour apporter une assistance physique dans la réalisation d'une tâche. Du fait de la diversité des besoins applicatifs, ces nouvelles technologies d'assistance physique se sont développées sous des formes extrêmement variées. Les exosquelettes peuvent être classifiés :

- + soit comme des robots d'assistance physique (RAP), lorsque l'assistance provient de moteurs électromécaniques ou de systèmes hydrauliques connectés à la direction des mouvements du corps ;
- + soit comme des dispositifs d'assistance physique (DAP), lorsque l'assistance provient d'une restitution de l'énergie mécanique stockée par des systèmes à ressorts ou élastiques [3].

Certains modèles d'exosquelettes ont été conçus sur les caractéristiques du corps humain, alors que

d'autres sont pourvus d'une architecture fonctionnelle robotique [4]. Le nombre d'articulations mécaniques, ainsi que le nombre de degrés de liberté par articulation, sont également très variables selon les systèmes. Les exosquelettes se différencient également en fonction de la partie du corps qu'ils visent à assister : membres supérieurs, dos, membres inférieurs ou corps entier [2].

Dans ce contexte, l'évaluation d'un exosquelette susceptible d'apporter une réponse adaptée aux contraintes physiques spécifiques auxquelles les salariés sont exposés dans chaque situation de travail requiert l'évaluation préalable de la situation de travail et de l'intégration homme-exosquelette [5].

Exemple d'une entreprise soumise de réaliser une entreprise à envisager, en 2016, l'acquisition d'un exosquelette afin de vérifier si cette solution pouvait être appropriée pour réduire physiquement certains manutentionnements. Confrontés à la nécessité d'installer et de maintenir des chariots manuels pour la maintenance des différents sites de production de leur entreprise, les cadres dirigeants ont en effet effectué de nombreuses manipulations de charges à court de solutions de prévention pour améliorer l'efficacité cet environnement de travail (organisation, situation, aménagement collectif...). Fortement à leur tour le choix d'acquiescer un exosquelette de la marque Xelios, conçu pour réduire la charge physique

62 | Hygiène et sécurité au travail - n° 211 - juin 2019

### Exosquelettes au travail : 6 points de vigilance

Les exosquelettes peuvent soulager les opérateurs mais... leur usage n'est pas sans risque.



Pour en savoir plus : [www.inrs.fr/exosquelettes](http://www.inrs.fr/exosquelettes)



Infographie



# Une offre d'information complète

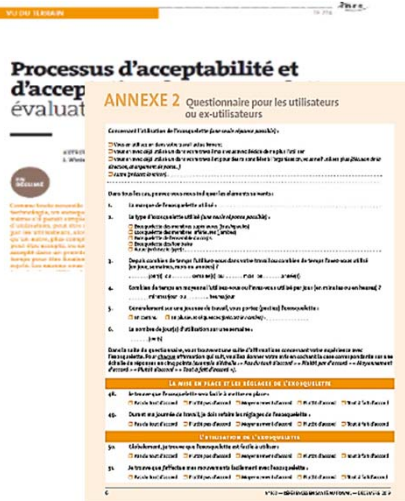
## → Agir en entreprise

Structurer sa démarche d'acquisition et d'intégration



ED 6315

Evaluer l'acceptabilité / Accompagner l'acceptation



TF 274

Rôle des services de santé



TC 175

L'essentiel à retenir avant l'acquisition d'un exosquelette



Vidéo dessinée



ED 6416 | Juillet 2021

Moyens de prévention Équipements | Outils de travail  
**Repères méthodologiques pour la sélection d'un exosquelette professionnel**

Brochure INRS élaborée par K. Desbrosses, L. Keranguéven, M. Schwarz et J. Theureau, en collaboration avec C. Duval.

ED 6416





# Une offre d'information complète



## Bénéficiaire de retour d'expérience



Diaporama sonore

### Journée technique

**AGENCIA & SERVICES**

**Congrès**  
**EXOSQUELLETES 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

**EXOSQUELETS 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 gained berth as a legitimate tool of improving working conditions. While by operators for motion support, they are designed to limit the muscular effort to 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 receive the latest state of the art of these mechanisms.

**LE 26 NOVEMBRE 2019, l'INRS a organisé une journée technique consacrée aux exosquelettes. Sous l'impulsion de l'association des entreprises de la région parisienne, les participants ont pu bénéficier de la présence de spécialistes de la santé au travail, de chercheurs et de professionnels du secteur. L'objectif de cette journée était de permettre aux participants de bénéficier de l'expertise de ces différents acteurs de la prévention des TMS, de discuter des enjeux actuels de la recherche et de partager les bonnes pratiques de mise en œuvre de ces dispositifs.**

**EN ENTREPRISES**  
 Réajustement de locaux, Un projet d'entreprise construit avec tous

**RETOUR SUR**  
 La reconnaissance des métiers professionnels

CC32

### Reportages en entreprise

**travail sécurité**  
 LE MAGAZINE DE L'INRS POUR LA PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

**DOSSIER**  
**Les exosquelettes**

**UNE JOURNÉE AVEC**  
 Une infirmière du travail et ergonomie

**EN IMAGES**  
 Salongo, Le fabricant de la mécanique de la mécanique

**EN ENTREPRISES**  
 Réajustement de locaux, Un projet d'entreprise construit avec tous

**RETOUR SUR**  
 La reconnaissance des métiers professionnels

TS n°810, novembre 2019

**EN ENTREPRISE**

**EXOSQUELLETES**  
**Tester, se tromper... et réussir**

Chez Bridor, la prévention des risques professionnels passe par une réflexion globale qui peut aboutir à envisager l'usage d'exosquelettes. Certains seront retenus, d'autres non. Quelle que soit la décision, elle sera prise avec les salariés qui auront testé les nouveaux équipements.

**POSSIBLE DE RETOUR**  
 Les exosquelettes sont conçus pour réduire la charge physique et les troubles musculo-squelettiques (TMS) des opérateurs de machines-outils. 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 à la sécurité des utilisateurs. L'INRS a organisé une journée technique pour débattre sur ces questions et faire le point sur les bénéfices et les limites de ces dispositifs.

**LE 26 NOVEMBRE 2019, l'INRS a organisé une journée technique consacrée aux exosquelettes. Sous l'impulsion de l'association des entreprises de la région parisienne, les participants ont pu bénéficier de la présence de spécialistes de la santé au travail, de chercheurs et de professionnels du secteur. L'objectif de cette journée était de permettre aux participants de bénéficier de l'expertise de ces différents acteurs de la prévention des TMS, de discuter des enjeux actuels de la recherche et de partager les bonnes pratiques de mise en œuvre de ces dispositifs.**

**L'essentiel**  
 Chez Bridor, la prévention des risques professionnels passe par une réflexion globale qui peut aboutir à envisager l'usage d'exosquelettes. Certains seront retenus, d'autres non. Quelle que soit la décision, elle sera prise avec les salariés qui auront testé les nouveaux équipements.

TS n°829, septembre 2020

**EN ENTREPRISE**

**AGROALIMENTAIRE**  
**Des exosquelettes pour soigner les commandes**

Leader français sur le marché des salades traitées, le groupe Martinet affiche des chiffres impressionnants. Chaque jour, en saison, 60 000 à 80 000 colis quittent le site de Saint-Quentin-Fallavier, en Isère. Une activité intense qui sollicite les préparateurs de commandes. Pour les soulager, une démarche globale de prévention des risques professionnels a été initiée dans ce secteur, et des exosquelettes ont été testés.

**POUR SOULAGER**  
 Les préparateurs de commandes de Martinet ont testé des exosquelettes pour réduire leur charge physique et prévenir les troubles musculo-squelettiques (TMS). Cette démarche est le fruit d'une réflexion globale de prévention des risques professionnels initiée par le groupe.

**L'essentiel**  
 Chez Martinet, les préparateurs de commandes ont testé des exosquelettes pour réduire leur charge physique et prévenir les troubles musculo-squelettiques (TMS). Cette démarche est le fruit d'une réflexion globale de prévention des risques professionnels initiée par le groupe.

TS n°846, mars 2023

# Une offre d'information complète

➔ Des témoignages audios et vidéos

 **Rendez-vous  
Travail & Sécurité**



Le XX novembre 2019

**Les Rendez-vous**

travail sécurité

Table ronde télévisée

**LES EXOSQUELETES**

Quels sont les intérêts et les limites des exosquelettes pour la prévention des TMS ?  
Comment bien préparer leur arrivée dans l'entreprise ?

Travail & Sécurité propose une nouvelle table ronde en ligne. Des experts en prévention et des entreprises répondront à vos questions sur cette problématique.

 POSEZ VOS QUESTIONS DÈS À PRÉSENT  
SUIVEZ L'ÉMISSION EN DIRECT  
OU EN REPLAY

Inscription sur : [inrs-rendezvous-ts.fr](http://inrs-rendezvous-ts.fr)

TablReplay disponible sur  
Youtube



**Essais d'exosquelettes  
chez Bridor,  
Servon-sur-Vilaine**

Un reportage de **travail sécurité**

Diaporama sonore - Travail &  
Sécurité



Sur le terrain - Exosquelettes : étudier et évaluer avant d'intégrer

**travail sécurité**

**#Sur le terrain**

**Exosquelettes : étudier et évaluer  
avant d'intégrer**

Regarder sur  Youtube

Sur le terrain – Travail & Sécurité

# Une offre d'information complète

## Dossier documentaire n° 29

### Exosquelettes



Décembre  
2021

## Dossier Exosquelettes - Décembre 2021.pdf

<i>Introduction</i> .....	4
<i>Documents INRS</i> .....	5
Articles .....	5
Dossier Web – Brochures – Rapport .....	12
Anim – Webinaire – Bulletin .....	14
<i>Documents de référence</i> .....	17
<i>Références bibliographiques</i> .....	19
Documents en français.....	19
Documents en anglais .....	24
<i>Liens utiles</i> .....	47

# Une offre d'information complète

→ Une FAQ : <https://www.inrs.fr/risques/exosquelettes/faq.html>

## Acquisition d'un exosquelette

- + 1. Combien coûte un exosquelette ?
- + 2. Quel est le poids d'un exosquelette ?
- + 3. Quelle est la durée de vie d'un exosquelette et quels sont les besoins de maintenance ?
- + 4. Combien d'exosquelettes sont actuellement disponibles sur le marché? L'offre évolue-t-elle ?
- + 5. Existe-t-il des systèmes de location longue durée d'exosquelettes ?

## Performance

- + 15. Le recours aux exosquelettes ne risque-t-il pas d'entraîner une hausse de la durée d'activité ?
- + 16. Dans l'état actuel des connaissances, quels sont les gestes pour lesquels un exosquelette apporte le plus de bénéfices ?

## Port de charges

- + 17. Avec le recours aux exosquelettes, peut-on envisager d'augmenter le poids des charges manipulées ?
- + 18. Les exosquelettes peuvent-ils aider à porter des objets lourds (supérieurs à 15 kg) ?

## Statut des exosquelettes

- + 7. Les exosquelettes sont-ils des équipements de protection individuelle ?
- + 8. Les exosquelettes sont-ils des machines ?
- + 9. Des travaux de normalisation visant à encadrer la conception et l'utilisation d'exosquelettes sont-ils en cours ?

## Risques et effets sur la santé

- + 10. Quels sont les principaux points de vigilance à prendre en considération lors de l'utilisation d'un exosquelette ?
- + 11. Porter un exosquelette a-t-il

## Accompagnement et formation

- + 25. Comment favoriser l'acceptation ?
- + 26. Combien de temps faut-il pour
- + 27. Une formation spécifique sur elle nécessaire pour les Sauveteurs ou proposera-t-il des formations :

## Organisation

- + 28. L'intégration d'un exosquelette collectifs de travail ?
- + 29. Un exosquelette mis au point pour un salarié est-il utilisable par d'autres salariés ?

## Environnement et situations de travail

- + 19. Des exemples d'intégrations réussies d'exosquelettes ont-ils été observés ?
- + 20. L'exosquelette est-il adapté au travail en zone Atex (atmosphère explosible) ?
- + 21. Les exosquelettes ont-ils un intérêt dans le cadre du maintien dans l'emploi ? Y-a-t-il des contre-indications au port d'un exosquelette vis-à-vis d'une pathologie ou d'un handicap ?
- + 22. Existe-t-il des exosquelettes dédiés aux aides-soignants ? En particulier, ces dispositifs qui semblent pouvoir soulager les salariés exposés aux manutentions de charges sont-ils adaptés à la mobilisation des personnes ?
- + 23. A-t-on des retours d'expérience sur l'intégration d'exosquelette dans le secteur du BTP ?
- + 24. Du point de vue de l'hygiène alimentaire, les exosquelettes sont-ils adaptés au secteur de l'agro-alimentaire ?



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Merci de votre attention



[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

YouTube



in