

Journée d'études Exosquelette 9 juin 2022



# Exosquelettes

Points de repères : de la caractérisation du besoin au déploiement



Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr

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

# UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE

## Construire connaissances et repères dans l'action



2012/2013



**Etude  
Prospective**

2015



**Etat des lieux**  
(Réseau prévention)  
(AFNOR)

2016



**Equipe pluridisciplinaire**



(Recherche, Veille Technologique, Normalisation, Assistance, Communication)

2017



2018



2019



**1<sup>ère</sup> Campagne d'information**

(CARSAT, Entreprises, SST)

2022



2



Hardiman, 1968



**LE CONCEPT D'EXOSQUELETTE**

## Applications médicales



## Mobilité



Viteckova et al., 2013

## Augmentation



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

## Applications militaires



## Applications industrielles



## Assistance physique

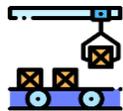


## Définition

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.

Absolument.

## Paysage commercial français

### → Modèles d'exosquelettes disponibles sur le sol français

- les exosquelettes rigides d'assistance du dos
- les exosquelettes textiles d'assistance du dos
- les exosquelettes mécaniques d'assistances des bras
- les exosquelettes mécaniques d'assistance des épaules
- les exosquelettes mécaniques d'assistance des mains
- ...

### → Une diversité d'acteurs

- les concepteurs (cf. liste ci-dessus)
- 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, ...

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 EXOSQUELETTES SONT LA SOLUTION  
CONTRE LES RISQUES DE TROUBLES  
MUSCULOSQUELETTIQUES.»

VRAI

FAUX

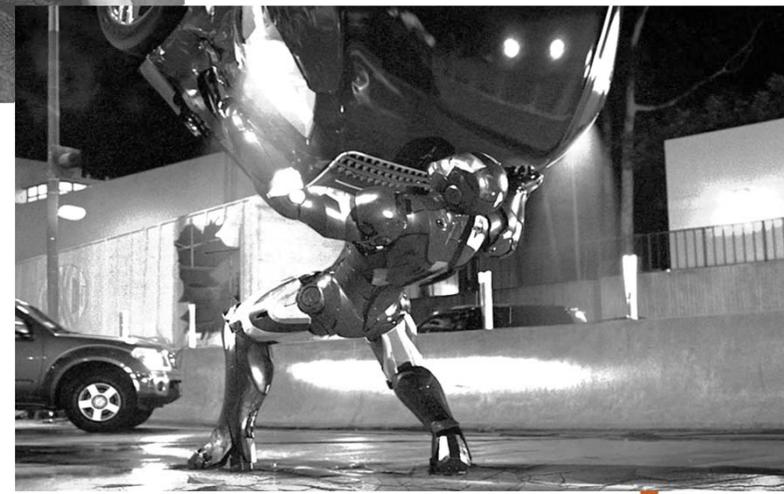
Par contre, il me rend bien des services !





?

?





### 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 "MS"

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



CSA ?



**Impact sur la posture** et conséquences pour les lombalgies?



### Perspectives



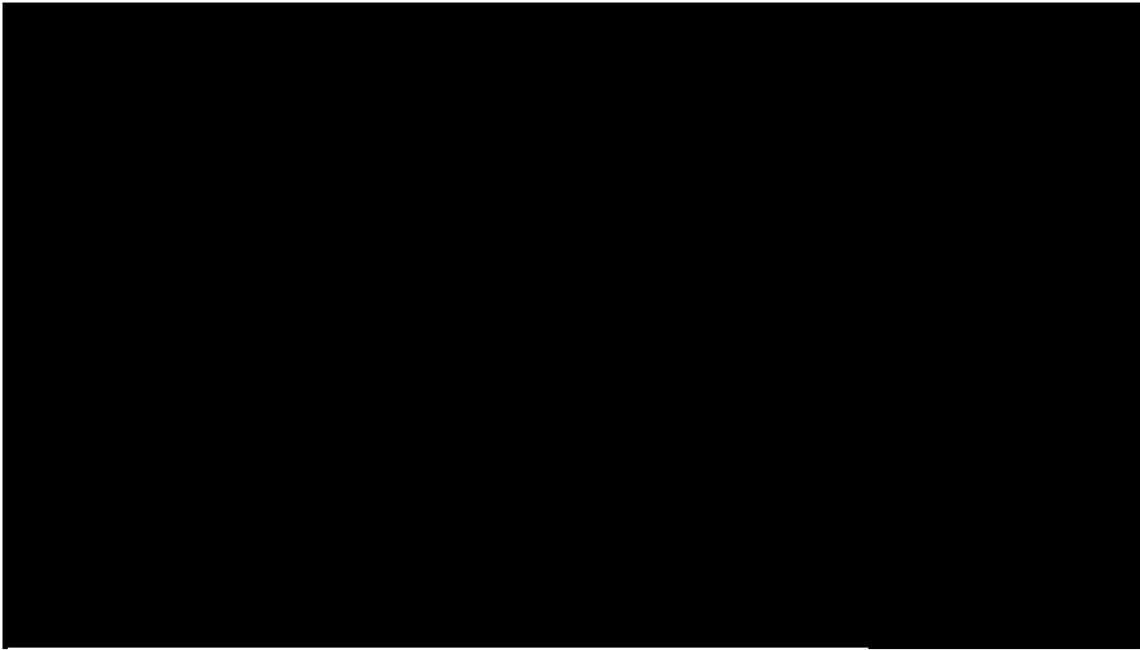
Conséquences posturales?  
Contrôle du mvt ?



Cinématique articulaire ?

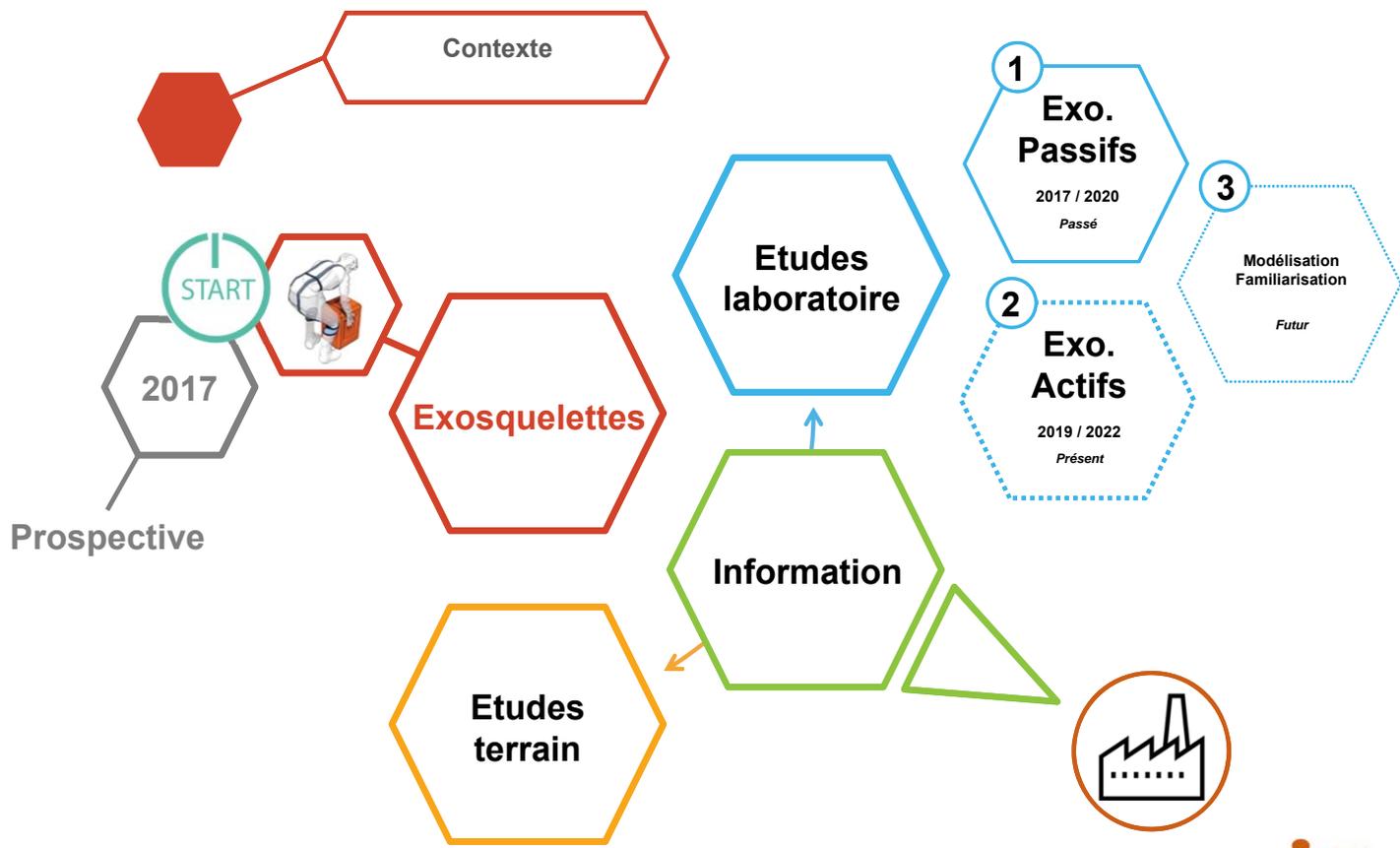
Adaptations chroniques ?



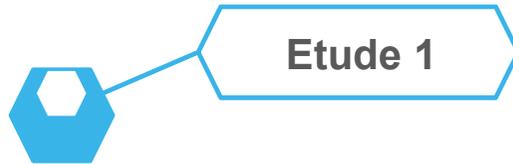


**EXPERIMENTATIONS (INRS 2018-2019)**





Passé  
Présent  
Futur



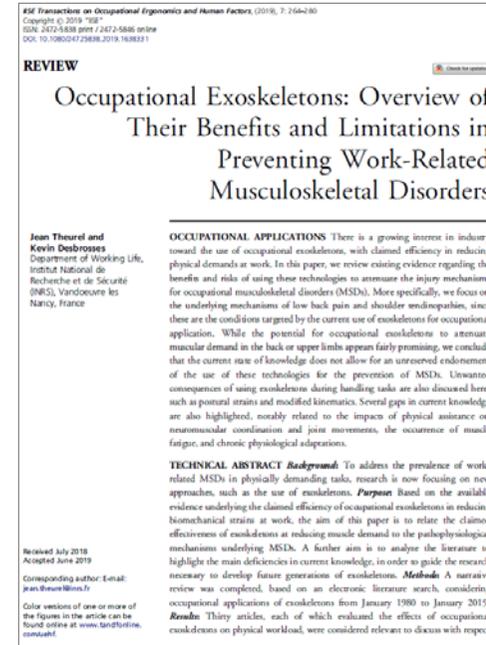
Etat de l'art ?



**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



Theurel & Desbrosses, 2019

Passé  
Présent  
Futur

# Exo. Passifs

Theurel & Desbrosses, 2019

**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), Vandœuvre les Nancy, France

**OCCUPATIONAL APPLICATIONS** There is a growing interest in industry toward the use of occupational exoskeleton, 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 endopathies, 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 appear fairly promising, we conclude that the current state of knowledge does not allow for an unequivocal 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 impact 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 this article can be found online at [www.tandfonline.com/doi/full](http://www.tandfonline.com/doi/full).

## Axe 1 : Adaptations neuromusculaires et cinématiques



Desbrosses & al, 2021

**ORIGINAL ARTICLE**

### Evaluation of two upper-limb exoskeletons during overhead work: influence of exoskeleton design and load on muscular adaptations and balance regulation

K. Desbrosses<sup>1</sup>, M. Schwartz<sup>1</sup>, J. Theurel<sup>1</sup>

Received 10 November 2020; Accepted 12 June 2021  
© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG, 2021

**Abstract** **Purpose:** Overhead work (OHW) is considered as a major risk factor for shoulder musculoskeletal disorders. The use of upper-limb exoskeletons (EXO<sub>UL</sub>) is emerging to address these challenges. This research tested the influence of EXO<sub>UL</sub> design and load on the upper limb and postural muscle activity, and on the balance control during OHW. **Methods:** The study compared two passive EXO<sub>UL</sub>, mainly differing by the level of passive support: a rigid EXO<sub>UL</sub> (EXO<sub>UL</sub><sup>R</sup>) and a soft EXO<sub>UL</sub> (EXO<sub>UL</sub><sup>S</sup>). Twenty nine volunteers performed a static OHW for each condition. **Results:** Rigid EXO<sub>UL</sub> led to smaller muscle activity (18.1% for 1.5 kg and 3.9% for 3.5 kg EXO<sub>UL</sub><sup>R</sup>) compared to soft EXO<sub>UL</sub> (29.1% for 1.5 kg EXO<sub>UL</sub><sup>S</sup> and 30.8% for 3.5 kg EXO<sub>UL</sub><sup>S</sup>) and to a reduction in back muscle activity depending on the exoskeleton design (in 3.8% for 1.5 kg EXO<sub>UL</sub><sup>R</sup>, 22.4% for EXO<sub>UL</sub><sup>S</sup> and 12.5% for 3.5 kg EXO<sub>UL</sub><sup>S</sup> in a neutral posture). Wearing EXO<sub>UL</sub> induced changes in balance regulation, depending on both exoskeleton design and load condition. **Conclusion:** The nature of exoskeleton support was not associated with an increase in EMG<sub>back</sub> performance. However, the maximum design mass, balance and posture control has to be suitable for the load handled during static OHW to optimize the effect of using an EXO<sub>UL</sub> on the postural muscles.

**Keywords:** Musculoskeletal disorders; Workload; Wearable motion device; EMG

<b>Abbreviations</b>	EC	Elbow extensor muscle	
AD	Anterior deltoid muscle	FEI	Wrist extensor
BB	Biceps brachii muscle	MSD	Musculoskeletal disorders
CP	Clavicle of pectoral	OHW	Overhead work
EMG	Electromyography	RMS	Root mean square
ES	Extensor carpi radialis	RMS <sub>ref</sub>	RMS value used as the reference value
EXO <sub>UL</sub>	Upper limb exoskeleton	TA	Trapezius anterior muscle
EXO <sub>UL</sub> <sup>R</sup>	EXO <sub>UL</sub> with rigid support	TB	Trapezius brachii muscle
EXO <sub>UL</sub> <sup>S</sup>	EXO <sub>UL</sub> with soft support	TE	Triceps brachii muscle
EXO <sub>UL</sub> <sup>S</sup>	EXO <sub>UL</sub> with soft support	UL	Upper limb
EXO <sub>UL</sub> <sup>S</sup>	EXO <sub>UL</sub> with soft support	VL	Vastus lateralis muscle

**Introduction**

Shoulder-related musculoskeletal disorders (SRSDs) are an important issue in the modern workplace, and remain prevalent among workers in the manufacturing and industrial sectors (Garcia and Dickenson 2008; Paquet-Bouchard 2009).



Schwartz & al, 2021

**ORIGINAL ARTICLE**

### Effectiveness of Soft versus Rigid Back-Support Exoskeletons during a Lifting Task

Martine Schwartz<sup>1,2</sup>, Jean Theurel<sup>1</sup> and Kevin Desbrosses<sup>1,3</sup>

Received 10 November 2020; Accepted 12 June 2021  
© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG, 2021

**Abstract** This study investigated the influence of passive back-support exoskeletons (EXO<sub>BS</sub>) design, back support inclination (BSI), and posture on the effectiveness of an exoskeleton to limit muscle activity (EMG) activation during a sagittal lifting handling task. Exoskeletons were compared: a rigid EXO<sub>BS</sub> (EXO<sub>BS</sub><sup>R</sup>) and a soft EXO<sub>BS</sub> (EXO<sub>BS</sub><sup>S</sup>). The BSI was analyzed for eight pairs of EXO<sub>BS</sub> each corresponding to 10% of the range of motion during the task. The BSI, the range of EXO<sub>BS</sub> on EMG activity depended on the interaction between exoskeleton design and BSI. High BSI, EXO<sub>BS</sub> with a soft support were associated with the lowest EMG<sub>back</sub> and EMG<sub>trunk</sub> (F<sub>(2, 20)</sub>, p < 0.05) compared to EXO<sub>BS</sub><sup>R</sup> with a rigid support and EXO<sub>BS</sub><sup>S</sup> with a soft support. The effect of other back support exoskeletons on EMG<sub>back</sub> activity. These results point to the need for particular attention on the design of exoskeletons during lifting tasks and to the range of trunk motion when selecting an EXO<sub>BS</sub>. In practice, the design of a passive back support exoskeleton, between rigid and soft design, requires consideration of human exoskeleton interaction and load condition. The effectiveness of trunk kinematics and range of motion appear essential to identify the benefits and the negative effects of this new approach with such exoskeleton design.

**Keywords:** Musculoskeletal disorders; wearable motion device; sagittal overhead back support exoskeleton; EMG; handling task; low back pain

**Introduction**

Occupational exoskeletons are wearable devices generally aimed at supporting users performing their work tasks, by generating appropriate force, torque or one or multiple motion points. These have been increasing interest in coping with tasks for workplace ergonomics, particularly with the aim of reducing physical workload [1] and risk of musculoskeletal disorders (MSDs) in workers [2]. Among these, back support exoskeletons (BSO) have been specifically designed in view of preventing the occurrence of low back pain (LBP). Multiple forms have been reported in the literature, almost all of them of passive BSO, to reduce the loading burden on the lower back during handling operations involving the trunk flexion-extension in the sagittal plane [3–7].

Compared to rigid or soft support, BSO with a soft support are generally considered to be more effective during static overhead back support exoskeletons [8]. However, the effectiveness of BSO with a soft support is still debated. Research on overhead back support exoskeletons has found significant reduction (12–19%) in EMG<sub>back</sub> and EMG<sub>trunk</sub> activity when using a passive EXO<sub>BS</sub> [9]. The recent systematic review on overhead back support exoskeletons [10] concluded significant reduction in the spine muscle activity of 10% during lifting and 10% during static handling for passive EXO<sub>BS</sub>. However, considerably divergent in the protection of passive exoskeletons involving exoskeleton design (e.g., flexible soft-shell and rigid) components, posture adopted [11].



Passé  
Présent  
Futur

## Exo. Passifs

Theurel & Desbrosses, 2019

ERG Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, (2019), 7, 264-280  
Copyright © 2019, IOS\*

ISSN: 2472-5308 print / 2472-5344 online  
DOI: 10.1080/00472506.2019.1638311

REVIEW

Occupational Ergonomics and Human Factors

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

Jean Theurel  
Kevin Desbrosses  
Department of  
Industrial National  
Research and  
Innovation (INRS), Nancy,  
France



ED 6311

Received July 2019  
Accepted June 2020  
Corresponding author:  
jean.theurel@inrs.fr

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

## Axe 1 : Adaptations neuromusculaires et cinématiques



Desbrosses et al., 2019

European Journal of Applied Physiology  
https://doi.org/10.1007/s00421-019-04711-0

ORIGINAL ARTICLE

Evaluation of two upper-limb exoskeletons during work: influence of exoskeleton design and load on muscle activity and balance regulation

K. Desbrosses<sup>1</sup>, M. Schwartz<sup>1</sup>, J. Theurel<sup>2</sup>

Received: 20 November 2019 / Accepted: 12 June 2020  
© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature GmbH, part of Springer Nature

**Abstract** Purpose Overhead work (OHV) can be classified as a major risk factor for the upper-limb exoskeleton (EXO<sub>UL</sub>) to emerging to address these challenges. This design and load on the upper limb and present several working conditions. The aim of this study was to evaluate the influence of two EXO<sub>UL</sub> designs on muscle activity and balance regulation during OHV. Methods This study compared two passive EXO<sub>UL</sub> designs, namely differing by the location of the upper limb joint (ULJ) and the location of the upper limb joint (ULJ). Results Both EXO<sub>UL</sub> led to similar reduction in shoulder muscle activity (17% and 19% respectively) and in trunk muscle activity (15% and 16% respectively) compared to the control condition. However, EXO<sub>UL</sub> led to a significant increase in trunk muscle activity (15% and 16% respectively) compared to the control condition. Conclusion The reduction of shoulder muscle activity was not associated with an increase in trunk muscle activity. Balance and posture control were not affected by the location of the ULJ and the load on the EXO<sub>UL</sub> on the ground reaction.

**Keywords** Musculoskeletal disorders · Workload · Wearable exoskeleton devices · OHV

**Abbreviations**

AD	Anterior deltoid muscle	EC	Elbow
FB	Biceps brachii muscle	FR	Forearm
BB	Biceps brachii muscle	MSD	Musculoskeletal disorders
CP	Clavicle	OHV	Overhead work
EMG	Electromyography	RMS	Root mean square
ES	Extensor carpi radialis	RMS <sub>avg</sub>	Average root mean square
EXO <sub>UL</sub>	Upper limb exoskeleton	Tk	Trunk
EXO <sub>UL</sub>	EXO <sub>UL</sub> design 1 (EXO <sub>UL</sub> 1)	Tp	Trunk posture
EXO <sub>UL</sub>	EXO <sub>UL</sub> design 2 (EXO <sub>UL</sub> 2)	Ts	Trunk sway
EXO <sub>UL</sub>	EXO <sub>UL</sub> design 3 (EXO <sub>UL</sub> 3)	UL	Upper limb
EXO <sub>UL</sub>	EXO <sub>UL</sub> design 4 (EXO <sub>UL</sub> 4)	VL	Vestibular lock

Communicated by Andrew Chaffin.

**Introduction**

Overhead work (OHV) is a major risk factor for musculoskeletal disorders (MSDs) in the workplace. It is characterized by the combination of high force exertion and awkward postures, leading to a high risk of injury. The aim of this study was to evaluate the influence of two EXO<sub>UL</sub> designs on muscle activity and balance regulation during OHV. This study compared two passive EXO<sub>UL</sub> designs, namely differing by the location of the upper limb joint (ULJ) and the location of the upper limb joint (ULJ). Both EXO<sub>UL</sub> led to similar reduction in shoulder muscle activity (17% and 19% respectively) and in trunk muscle activity (15% and 16% respectively) compared to the control condition. However, EXO<sub>UL</sub> led to a significant increase in trunk muscle activity (15% and 16% respectively) compared to the control condition. Conclusion The reduction of shoulder muscle activity was not associated with an increase in trunk muscle activity. Balance and posture control were not affected by the location of the ULJ and the load on the EXO<sub>UL</sub> on the ground reaction.

ED 6416

Schwartz & al, 2021

ERG Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, (2021), 9, 1-12  
Copyright © 2021, IOS\*

ISSN: 2472-5308 print / 2472-5344 online  
DOI: 10.1080/00472506.2021.1938311

REVIEW

Occupational Ergonomics and Human Factors

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

M. Schwartz  
J. Theurel  
Department of  
Industrial National  
Research and  
Innovation (INRS), Nancy,  
France



ED 6416

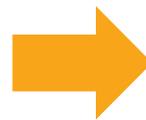
Received July 2021  
Accepted June 2022  
Corresponding author:  
marie.schwartz@inrs.fr

Review was completed based on an electronic literature search, considering occupational applications of exoskeletons from January 1980 to January 2021. Results Thirty articles, each of which evaluated the effects of occupational exoskeletons on physical workload, were considered relevant to discuss with respect

Passé  
Présent  
Futur

## Exo. Robotisés

### Evolution des conceptions...



**Axe 1** : Adaptations neuromusculaires et cinématiques lors de l'utilisation d'exosquelettes robotisés d'assistance du dos

**Axe 2** : Conséquences cardio-respiratoires liées à l'utilisation d'exosquelettes robotisés d'assistance du dos

Passé  
Présent  
Futur

## Exo. Robotisés

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



Exo. Robotisés

Résultats  
préliminaires

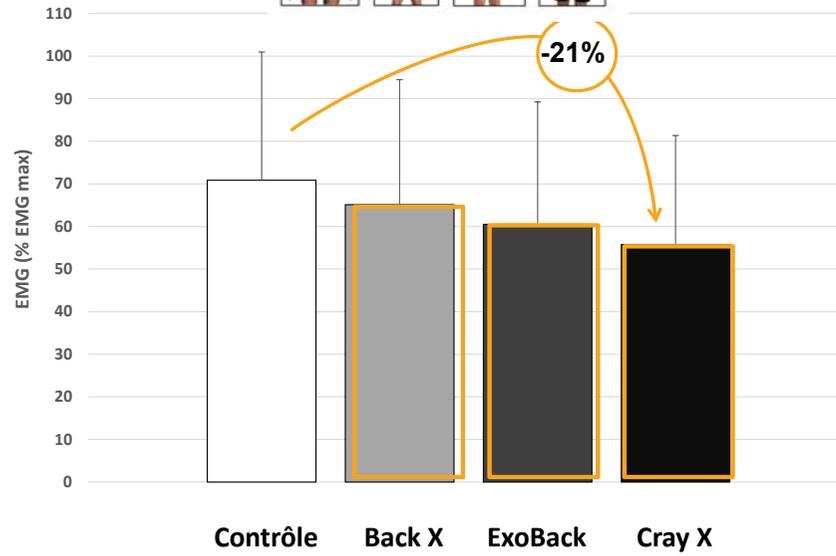
Dynamique  
Sagittal



15 kg



### Adaptations neuromusculaires et cinématiques



Passé  
Présent  
Futur



**Exo. Robotisés**

Conséquences cardio-respiratoires

**1 tâche répétitive**



**5 min**



**10 kg**

**Dynamique  
Sagittal**

**Contrôle**



**Back X**



**ExoBack**



**Cray X**



Passé  
Présent  
Futur

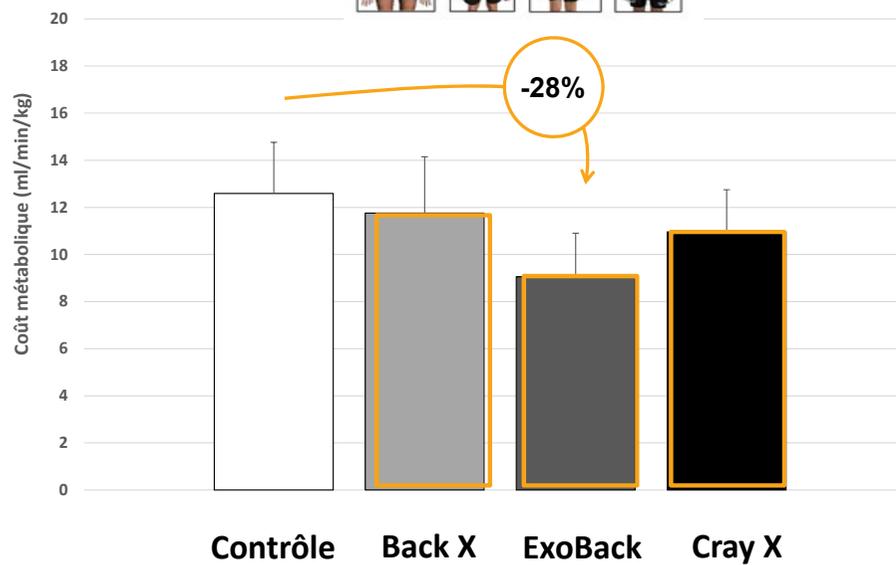


## Exo. Robotisés

Résultats  
préliminaires

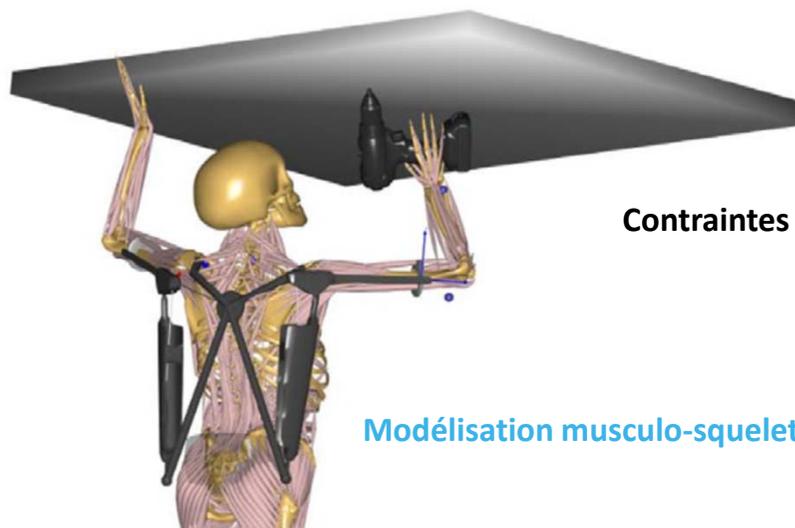


## Conséquences cardio-respiratoires



Passé  
Présent  
Futur

# Modélisation

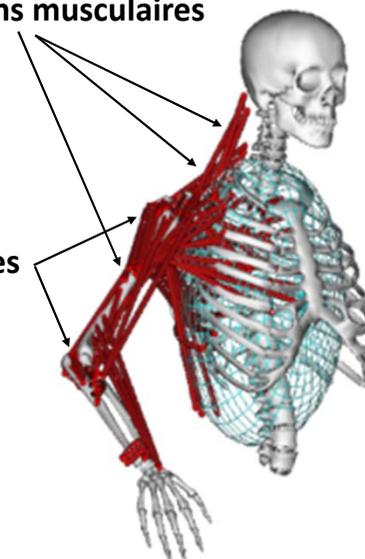


Fritzsche et al. (2021)

Modélisation musculo-squelettique

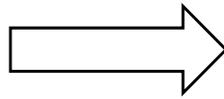
Activations musculaires

Contraintes articulaires



# En pratiques

Assistance très spécifique!



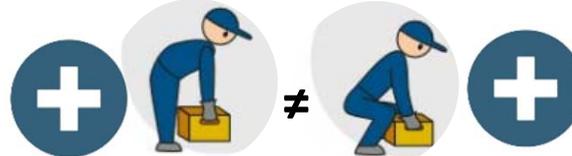
Evaluation de l'interaction :  
"exosquelette – humain – tâche"



Evaluation du besoin d'assistance physique (**Entreprises**)

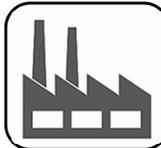
## Cinématique

Dans l'environnement de travail



Evaluation des effets de l'exosquelette (**Concepteurs et Vendeurs**)

Situation de travail dans laquelle le besoin d'un exosquelette est identifié



Performances des exosquelettes



Passé  
Présent  
Futur



Aide à la décision

Evaluation de l'IHE

Continuité d'usage

1

2

3

Acquisition et intégration  
d'un exosquelette  
professionnel



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

ED 6315

inrs

inrs



Passé  
Présent  
Futur



### Aide à la décision



Analyse de la charge physique  
Description des tâches  
Exosquelette ? Lequel ?

Choix d'un  
exosquelette  
adapté



### Evaluation de l'IHE



Intégration de  
l'exosquelette  
adapté



### Continuité d'usage



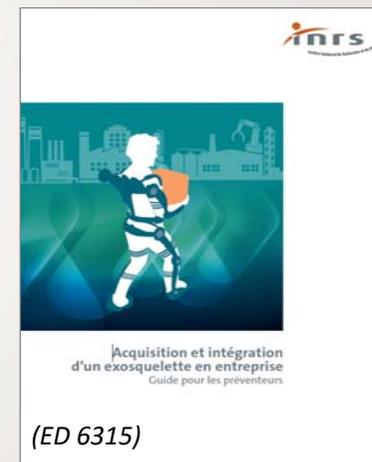


## Acquisition d'un exosquelette en entreprise. Pourquoi ? Comment ?

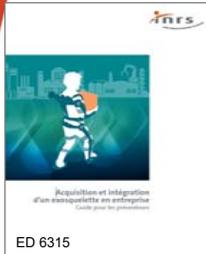
-

### Guide pour les préventeurs

Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr



# 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

PHASE 1 Aide à la décision	
étape 1	<p>► Analyse de la charge physique de travail et recherche de pistes de prévention</p> <p>Attendus : – Identifier les situations de travail qui peuvent bénéficier de solutions de prévention collectives et organisationnelles – Identifier les tâches qui peuvent bénéficier d'une assistance physique spécifique</p>
étape 2	<p>► Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique</p> <p>Attendus : – Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</p>
étape 3	<p>► Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette</p> <p>Attendus : – Lister des critères objectifs à intégrer au cahier des charges – S'accorder sur l'exosquelette le plus adapté</p>
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
PHASE 2 Évaluation de l'interaction homme – exosquelette	
étape 1	<p>► Introduction des critères et des outils d'évaluation</p> <p>Attendus : – Comprendre les critères d'évaluation – Sélectionner des outils d'évaluation</p>
étape 2	<p>► Élaboration du protocole d'évaluation</p> <p>Attendus : – S'inscrire dans un protocole structuré</p>
étape 3	<p>► Apprentissage hors situation réelle de travail</p> <p>Attendus : – Se familiariser avec l'exosquelette et faire l'apprentissage de la tâche et de son environnement – Décider de la poursuite de l'évaluation en situation réelle de travail</p>
étape 4	<p>► Mise en œuvre en situation réelle de travail</p> <p>Attendus : – Faire l'apprentissage approfondi de l'usage de l'exosquelette – Décider de l'intégration définitive, ou non, de l'exosquelette en fonction des résultats de l'évaluation</p>
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
PHASE 3 Retour d'expérience	
<p>Attendus : – 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</p>	

### 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



JJ Atain Kouadio  
Expert d'assistance



L Kerangueven  
Expert d'assistance



E Turpin-Legendre  
Physiologiste

# 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 : Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</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>
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
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 : S'inscrire dans un protocole structuré</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>
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
PHASE 3 Retour d'expérience	
Attendus : 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	

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 : Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</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>
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
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 : S'inscrire dans un protocole structuré</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>
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
PHASE 3 Retour d'expérience	
Attendus : 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	

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 : Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</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>
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
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 : S'inscrire dans un protocole structuré</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>
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
PHASE 3 Retour d'expérience	
Attendus : 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	

## 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



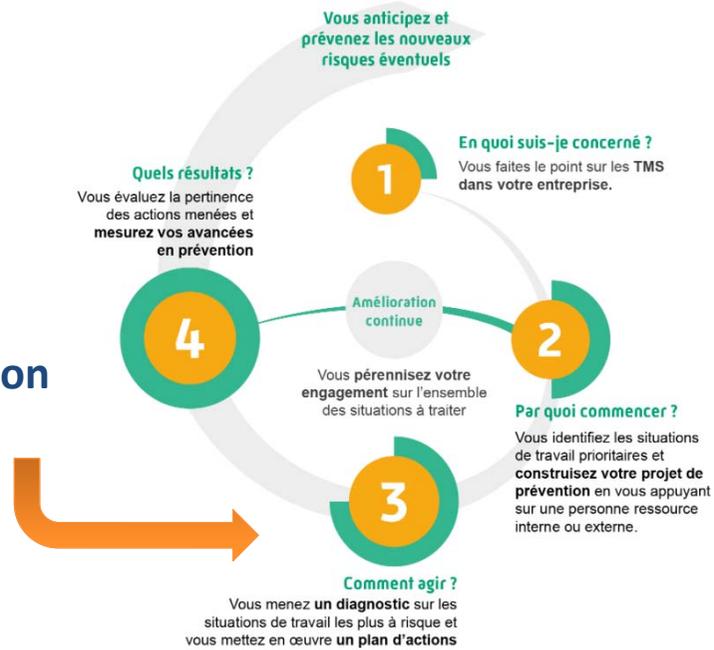
- Compréhension fine de l'activité des salariés
- Identification des facteurs de risques et des déterminants de l'activité
- Recherche de pistes de prévention



Identifier les tâches nécessitant une assistance physique spécifique

# S'inscrire dans une démarche de prévention

Projet d'acquisition



[www.ameli.fr/entreprise](http://www.ameli.fr/entreprise)

# Caractérisation du besoin d'assistance

## Analyse de l'activité

**IDÉE REÇUE N°7**

«LES EXOSQUELETTES 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 ?



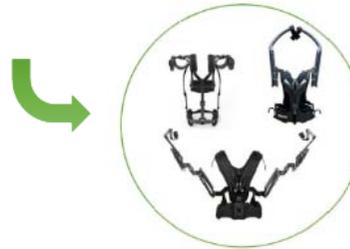
Impliquer l'utilisateur final !

## 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. Keranguren, 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



# 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                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
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                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élaboration du protocole d'évaluation                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>S'inscrire dans un protocole structuré</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apprentissage hors situation réelle de travail                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre en situation réelle de travail                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
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                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
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                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élaboration du protocole d'évaluation                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>S'inscrire dans un protocole structuré</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apprentissage hors situation réelle de travail                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre en situation réelle de travail                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
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                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Choix d'un exosquelette potentiellement adapté	
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                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élaboration du protocole d'évaluation                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Attendus :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>S'inscrire dans un protocole structuré</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apprentissage hors situation réelle de travail                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre en situation réelle de travail                             <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> </ul>
Intégration d'un exosquelette effectivement adapté	
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>	

## 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

## 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 INCONTROLÉS.**

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 musculo-squelettiques (TMS).

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

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

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

## 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

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 entièrement automatisés par exemple, en milieu urbain, dans le cas des trottoirs ou en cas de sites particuliers. Dans ces situations, les enrobés sont amenés par des camions benne sur le chantier. Les enrobés sont ensuite généralement approvisionnés du camion au lieu d'applications à l'aide de brouettes ou de chargeuses. Les enrobés sont versés sous forme de « tas » plus ou moins importants qu'il faut charger/décharger. Les enrobés sont ensuite répandus et nivelés manuellement à l'aide de pelles (pelleteurs) et tractées par les « tireurs de rebau-régulateurs d'enrobé ». Ces derniers regardent les enrobés en respectant les quantités à employer, évitent l'excès, complètent les vides, et effectuent manuellement le nivellement de la surface à l'aide de la racleuse en bois ou en aluminium enroulant à l'arrière des caisses. Ces opérations constituent des « réglages ». Dans ces conditions, les régulateurs d'enrobés sont soumis à des contraintes physiques importantes de l'ensemble de leur corps. Pour tenter de les préserver, une entreprise française de travaux publics, avec l'aide d'une entreprise spécialisée dans la robotique collaborative, a commandé, puis déployé à l'échelle du territoire et dans certaines régions à l'international, un « exosquelette robotisé » destiné à assister physiquement les régulateurs d'enrobé pour l'activité de réglage au sein de ses équipes.

naire 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 les collègues. Au cours des trois chantiers observés, l'utilisation de l'exosquelette conduisit à des observations, 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 mesure a été cadre et adapté avec l'équipe projet et la hiérarchie de l'entreprise : responsable d'agence, conducteurs de travaux et chefs chantiers. Un groupe de six régulateurs a également été créé. Il rassemblait divers acteurs clés, internes et externes : les chercheurs de l'INRS, un ingénieur-conseil de la Carat Nord Est, le maître d'œuvre du chantier, un représentant du constructeur de l'exosquelette robotisé, pour permettre de centraliser les informations et d'ajuster la démarche sur rapport aux objectifs. Cette démarche d'intervention comprenait quatre méthodologies : observations de tâches, mesures physiologiques (cardiofréquence, métrics, entretiens individuels et collectifs) (confrontation collective).

Les observations de tâches 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 cibler les outils de recueil des données adaptées. Ces pré-observations ont également permis d'identifier le guide d'entretien individuel et de définir les séquences filmées à utiliser lors de la confrontation collective. Plusieurs équipes de chantier futuristes 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 (1/3)

Catégories d'analyse de contenu  
utilisées pour traiter les  
entretiens individuels.

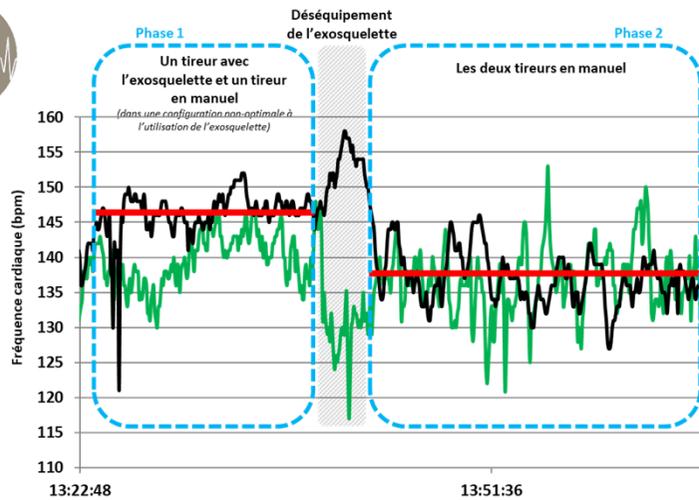
CATÉGORIES	EXPLICATIONS DES CATÉGORIES
Sensations physiques	1.1 Efforts
	1.2 Douleurs
	1.3 Postures
	1.4 Fatigue ressentie
Autonomie et mobilité	2.1 Poids de l'exosquelette
	2.2 Risque de collision
	2.3 Gabarit
	2.4 Facilité de mouvement
Efficacité dans le travail	3.1 Finition
	3.2 Précision
	3.3 Productivité
	3.4 Satisfaction du travail réalisé
	3.5 Qualité
	3.6 Puissance de l'exosquelette robotisé
Climat social	4.1 Ambiance
	4.2 Cohésion sociale
	4.3 Collaboration
	4.4 Esprit d'équipe
	4.5 Coopération
Charge cognitive et émotionnelle	5.1 Stress/anxiété ressentie
	5.2 Regard des autres
	5.3 Appréhension
Répartition des rôles/tâches	6.4 Redéfinition des rôles
	6.2 Tâches plus floues
	6.3 Répartition des efforts



La questions du rôle et d'un  
certain flou dans les taches  
resort des entretiens individuels

# Résultats (2/3)

Premiers impacts sur le plan physiologique enregistrés sur le collectif



Des soupçons d'un report de charge sur le deuxième tireur non équipé.

- Tireur utilisant l'exosquelette
- Second tireur, en manuel
- Fréquence cardiaque moyenne du second tireur, en manuel



## Résultats (3/3)

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 réapprentissage 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.



# Recommandation pour l'entreprise

stratégie de travail



 L'utilisation de l'exosquelette conduit les membres de l'équipe et la hiérarchie à réajuster globalement l'ensemble de la stratégie de travail

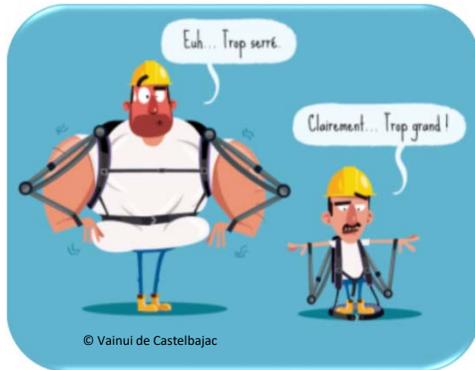
 Type de chantier

 Rôle du chef de chantier

 Mise à dispo  
Autonomie

 Accompagnement  
« systémique » des  
nouveaux usages

## Familiarisation et apprentissage(s)



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

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



## 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	
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>

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	
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>



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	
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>

# 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, turn-over, ...)
- À l'activité (changements techniques, humains et organisationnels, ...)

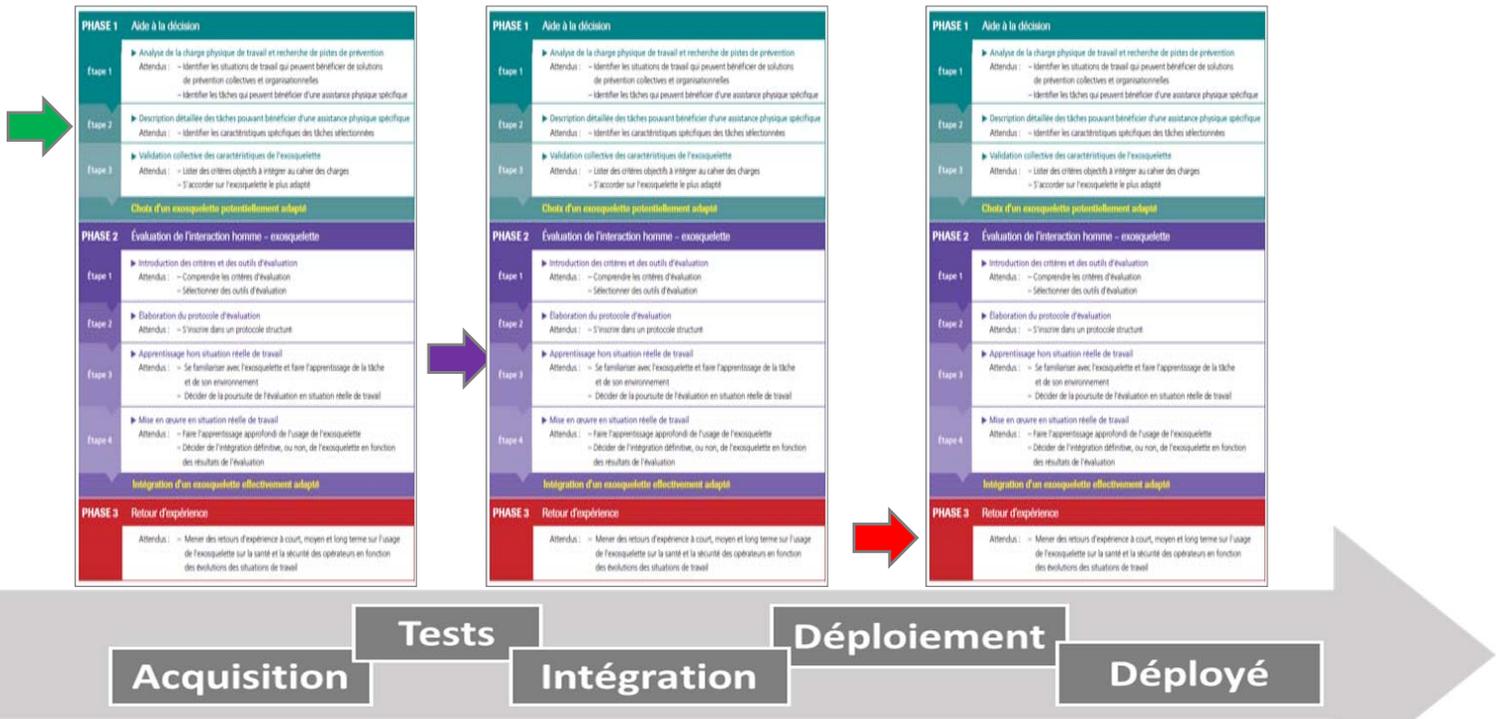
maintien ? modification ? abandon ?



déploiement à d'autres situations de travail ?



# Quels repères pour un projet exosquelette ?





# 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 acceptation et du rejet de la nouvelle technologie



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

# Repères

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

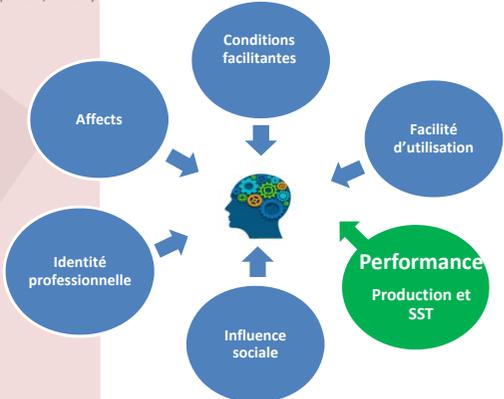
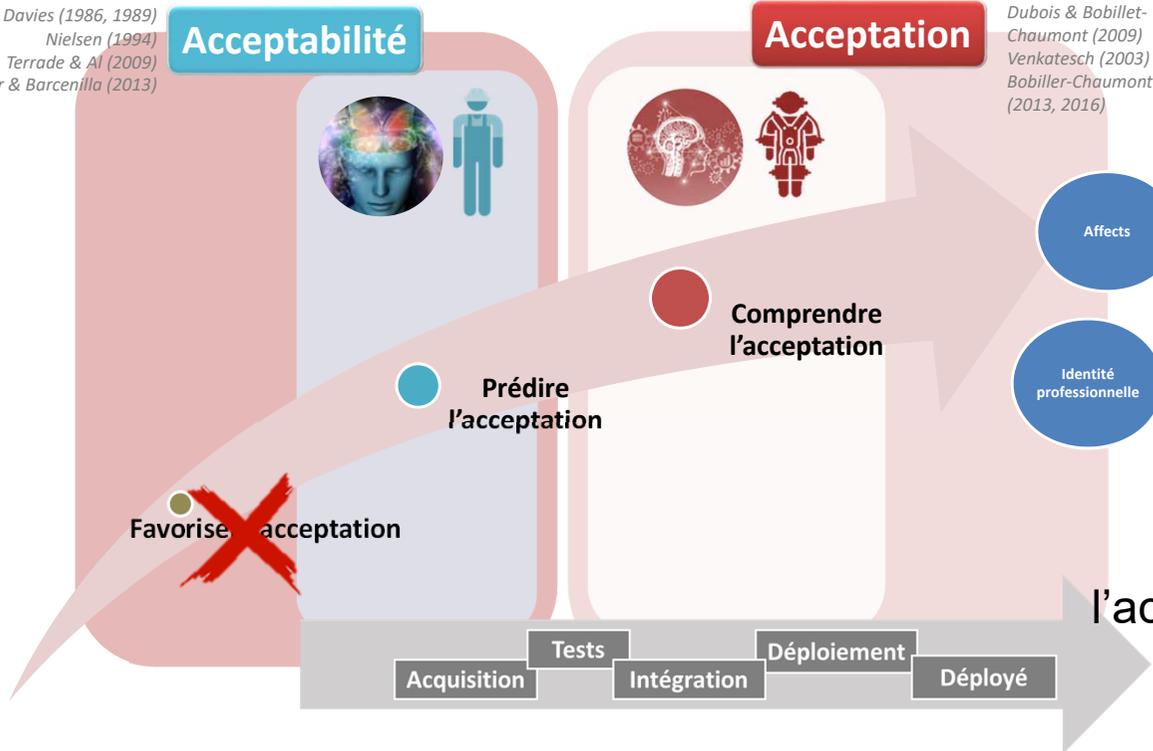
## Acceptabilité



## Acceptation

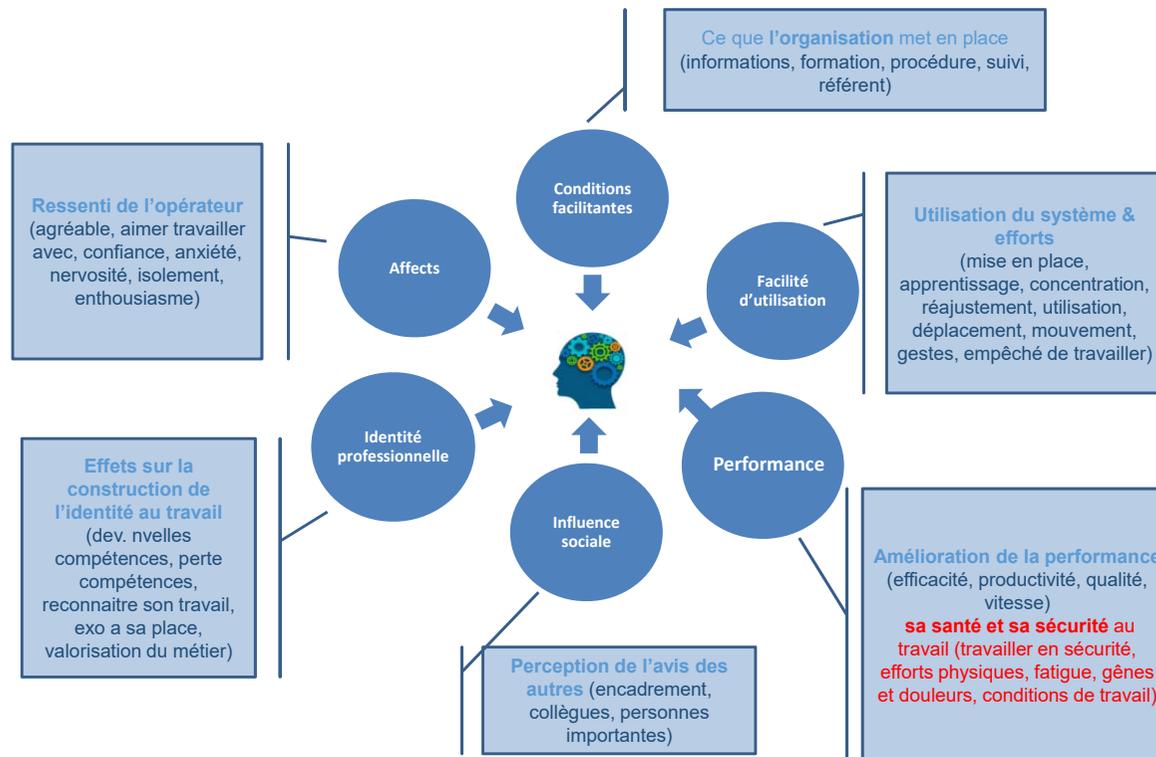


Dubois & Bobillet-Chaumont (2009)  
Venkatesch (2003)  
Bobiller-Chaumont (2013, 2016)



Modèle de l'acceptation (INRS)

# Modèle INRS de l'acceptation



## Etude terrain



6 dimensions  
45 items  
20 min

## Outil INRS

The image shows a research article titled "Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes : évaluation par questionnaire" and a corresponding questionnaire form titled "Questionnaire pour les utilisateurs ou ex-utilisateurs".

The article snippet includes the following text:

**Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes : évaluation par questionnaire**

**D**ans le cadre de la recherche en ergonomie, l'acceptabilité et l'acceptation sont des concepts clés pour comprendre les raisons de l'usage ou non d'une technologie. L'acceptabilité se réfère à la perception que l'usage d'une technologie est conforme à des normes éthiques, sociales ou professionnelles. L'acceptation, quant à elle, se réfère à la croyance que l'usage d'une technologie sera bénéfique et facile. Ces deux concepts sont étroitement liés et influencent mutuellement l'usage d'une technologie.

The questionnaire form includes the following questions:

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

Comment l'utilisation de l'exosquelette que vous avez portée vous a-t-elle aidée à accomplir votre tâche ?

1. Le poids de l'exosquelette est-il :

- a. Un poids raisonnable (à l'échelle de 1 à 5)
- b. Un poids excessif (à l'échelle de 1 à 5)

2. Le confort de l'exosquelette est-il :

- a. Un confort raisonnable (à l'échelle de 1 à 5)
- b. Un confort excessif (à l'échelle de 1 à 5)

3. Le bruit de l'exosquelette est-il :

- a. Un bruit raisonnable (à l'échelle de 1 à 5)
- b. Un bruit excessif (à l'échelle de 1 à 5)

4. Le poids de l'exosquelette est-il :

- a. Un poids raisonnable (à l'échelle de 1 à 5)
- b. Un poids excessif (à l'échelle de 1 à 5)

5. Le confort de l'exosquelette est-il :

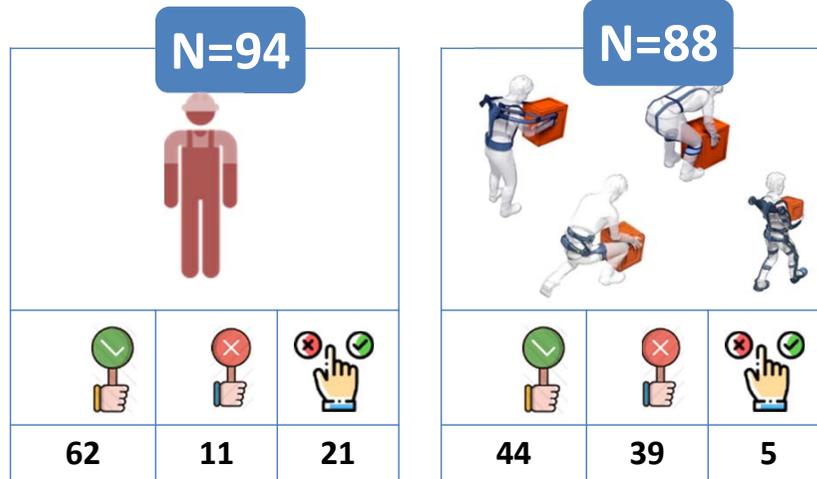
- a. Un confort raisonnable (à l'échelle de 1 à 5)
- b. Un confort excessif (à l'échelle de 1 à 5)

6. Le bruit de l'exosquelette est-il :

- a. Un bruit raisonnable (à l'échelle de 1 à 5)
- b. Un bruit excessif (à l'échelle de 1 à 5)

## Etude terrain

## Enquête INRS



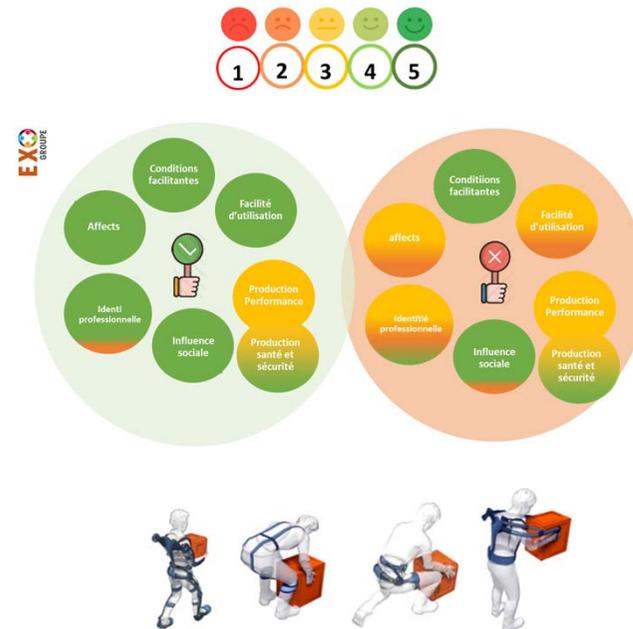
# Etude terrain

## Type d'analyse : descriptive

Items	Non-utilisateurs		Utilisateurs'ex-utilisateurs	
	Favorables	Défavorables	Favorables	Défavorables
Informations avant déploiement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Information nécessaires	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Formation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Procédure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Suivi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Référent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Soutien des collègues	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mise en place de l'exosquelette	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rapidité d'apprentissage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pas de concentration supplémentaire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Actions de prévention et de corrections

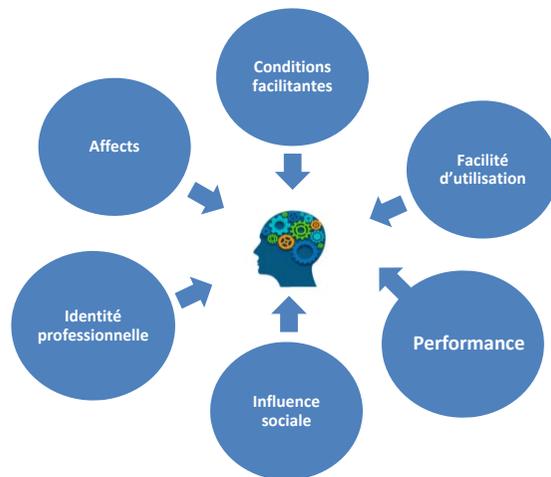


## Etude terrain

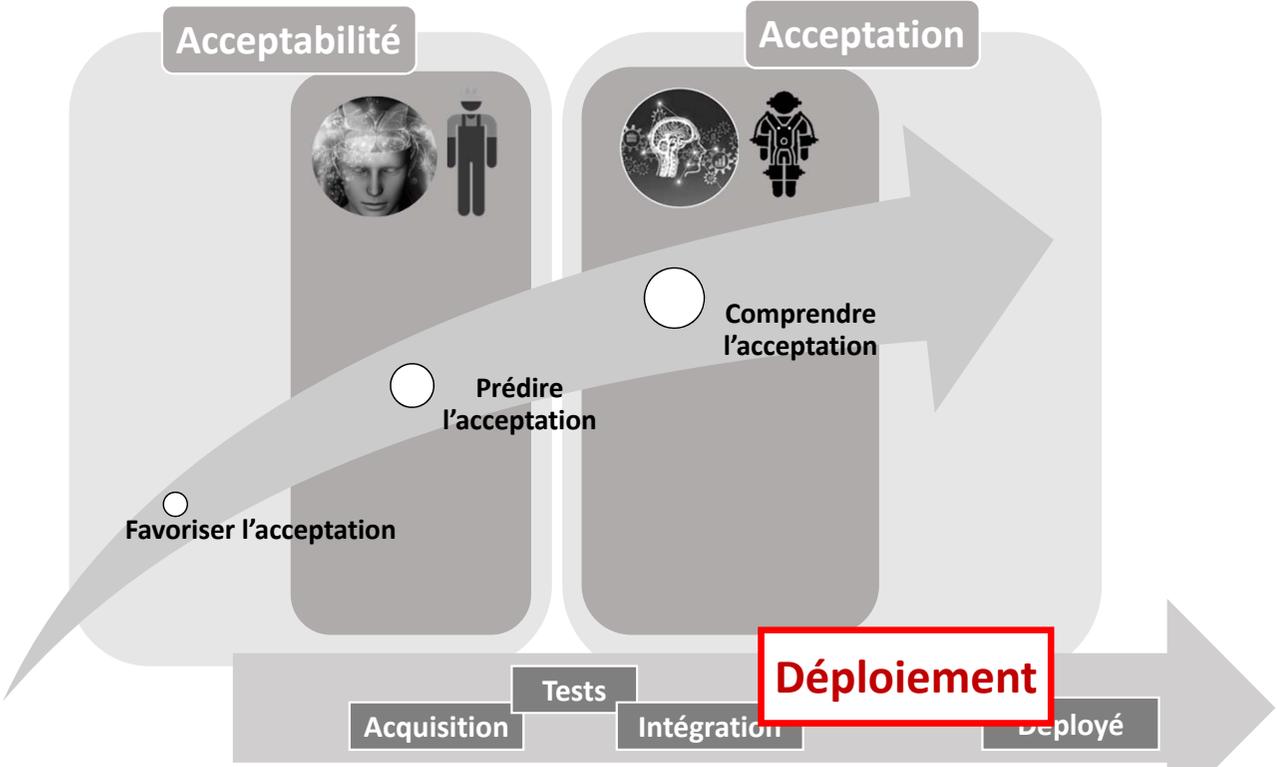
## Type d'analyse : statistique

*Path modeling*

Cette méthode représente les relations causales..



# Repères

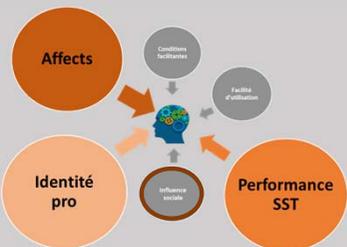


# Etude terrain

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



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

Etude terrain

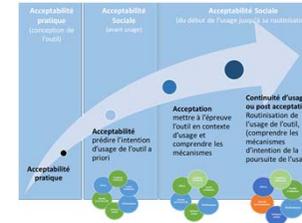
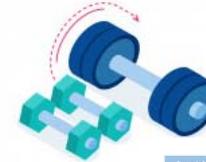
A retenir : acceptance

De l'acquisition au déploiement

2



3



4



5





Etude terrain

**A retenir : démarche**  
Chaque nouvelle technologie constitue une rupture majeure (individuel, collectif et organisationnel)



Acquisition

Tests

Intégration

Déploiement

Déployé

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

2015



Exosquelettes

Etudes terrain

Etudes  
laboratoire

Offre de  
services



EXO  
GROUPE

2022



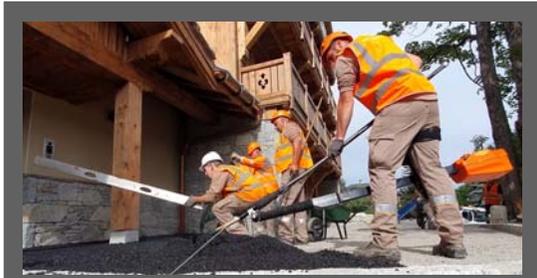
Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr



# Assistances, conseils

Méthodes / Suivi / Recherche

BTP



Validité opérationnelle

INDUSTRIE

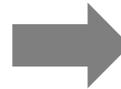


SANITAIRE ET SOCIAL

## Méthode



ED 6315



<b>PHASE 1</b> 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 : – 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>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une assistance physique spécifique</li> <li>Attendus : – Identifier les caractéristiques spécifiques des tâches sélectionnées</li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette</li> <li>Attendus : – Lister des critères objectifs à intégrer au cahier des charges</li> <li>– S'accorder sur l'exosquelette le plus adapté</li> </ul>
<b>Choix d'un exosquelette potentiellement adapté</b>	
<b>PHASE 2</b> 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 : – Comprendre les critères d'évaluation</li> <li>– Sélectionner des outils d'évaluation</li> </ul>
Étape 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Élaboration du protocole d'évaluation</li> <li>Attendus : – S'inscrire dans un protocole structuré</li> </ul>
Étape 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Apprentissage hors situation réelle de travail</li> <li>Attendus : – 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>
Étape 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Mise en œuvre en situation réelle de travail</li> <li>Attendus : – 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>
<b>Intégration d'un exosquelette effectivement adapté</b>	
<b>PHASE 3</b> Retour d'expérience	
Attendus : – 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	

# Complémentarités des méthodes



ED 6315



ED 6416

**Exemples de tâches de travail**

**Tâches impliquant le maintien statique ou quasi-statique des bras en hauteur**

Il peut s'agir, par exemple, de tâches de montage dans les secteurs de la logistique, de BTP, de l'agriculture ou de l'industrie. Les principaux contrastes musculaires associés concernent généralement les muscles abducteurs des bras et ceux des épaules, dans des conditions de maintien (faible amplitude de mouvement).

**Tâches impliquant le maintien statique (ou quasi-statique) du tronc en position inclinée vers l'avant**

Ces tâches consistent à déplacer ou stabiliser des charges lourdes en position basse. Elles demandent également une certaine stabilité statique dans les espaces de travail restreints. Ces tâches sont caractéristiques de nombreux secteurs de l'industrie, de la logistique ou du BTP, mais également dans l'agriculture, de l'entretien des infrastructures, de l'entretien des véhicules, de la maintenance. Les principaux contrastes musculaires concernent généralement les muscles des dos, imprimés de renforcement du bassin, dans des conditions statiques ou quasi-statiques (faible amplitude de mouvement) (voir figure 2).

**Tâches dynamiques de manutention manuelle d'une charge**

Ces tâches se traduisent le plus souvent par le déplacement latéral ou vertical d'une charge. Cette catégorie de tâches est fréquemment rencontrée dans les secteurs de BTP, ou de la logistique, par exemple. Sur un chariot élévateur (1).

**Figure 1 - Caractériser le type de tâche**

**PHASE 1 - Acte de la décision**

Phase 1	Analyse de la charge (placement de travail et recherche de points de préhension alternatifs) - identifier les caractéristiques de travail qui peuvent bénéficier de solutions de préhension collectives et organisationnelles - identifier les tâches qui peuvent bénéficier d'un exosquelette spécifique
Phase 2	Description détaillée des tâches pouvant bénéficier d'une solution physique spécifique Alternatives - identifier les caractéristiques spécifiques des tâches affectées
Phase 3	Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette Alternatives - évaluer des critères objectifs et subjectifs des charges - s'accorder sur l'opportunité de leur allégement

**Choix d'un exosquelette personnalisable adapté**

**Figure 2 - Les caractéristiques des tâches de l'exosquelette**

Les tâches impliquant le maintien statique ou quasi-statique du tronc en position inclinée vers l'avant, et les tâches dynamiques de manutention manuelle de charge impliquent une flexion-extension du tronc (voir figure 3).

**Exosquelettes souples**

Cette catégorie d'exosquelette propose une assistance à la flexion du dos pour répondre aux besoins spécifiques dans des tâches impliquant une préhension de tronc. L'exosquelette repose sur deux matériaux élastiques souples de type textile. Caractéristiques des tâches impliquant le maintien statique ou quasi-statique du tronc en position inclinée vers l'avant. Les résultats sont présentés pour deux tâches illustrées :

- Tâches impliquant le maintien statique ou quasi-statique du tronc en position inclinée vers l'avant (Figure 3) : ce type d'exosquelette textile réduit significativement la charge musculaire dans les zones de préhension de la charge (voir figure 4).
- Tâches dynamiques de manutention impliquant une flexion-extension du tronc (Figure 5) : les bénéfices de ce type d'exosquelette sur les muscles lombaires sont observés dans des cas où une charge est soulevée à 30°.

L'efficacité des bénéfices varie de 5 à 15% en fonction de l'angle d'inclinaison du tronc.

Lors de la tâche dynamique impliquant une préhension de tronc, l'exosquelette d'assistance basé sur des matériaux élastiques a permis de réduire significativement les contrastes de muscle des muscles lombaires de 40%. Le graphique illustre les opérations dans un scénario dynamique (Figure 6).

**Exosquelettes rigides**

Tout comme le précédent, cette catégorie d'exosquelette propose une assistance dans des tâches impliquant une flexion du tronc. Toutefois, les matériaux utilisés de son fonctionnement sont également très rigides et solides. Les résultats sont présentés pour deux tâches illustrées :

- Tâches impliquant le maintien statique ou quasi-statique du tronc en position inclinée vers l'avant : cette catégorie d'exosquelette rigide d'assistance de tronc (Figure 7) permet de réduire la charge musculaire dans les zones de préhension de la charge. En effet, pour de

**Figure 3 - Exosquelette souple**

**Figure 4 - Exosquelette rigide**





# ➔ S'informer en amont

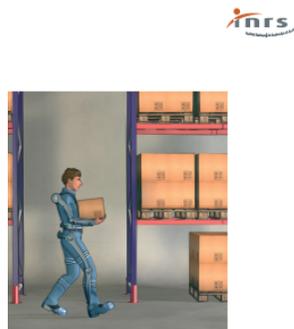
Décrypter les idées reçues



10 idées reçues sur les exosquelettes

ED 6295

Approfondir ses connaissances



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

ED 6311



NT 62

Identifier les risques



Infographie



# Agir en entreprise

Structurer sa démarche d'acquisition et d'intégration



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

ED 6315

Evaluer l'acceptabilité / Accompagner l'acceptation



TF 274

Rôle des services de santé

GRAND ANGLES

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



TC 175

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



Vidéo dessinée



ED 6416  
Juillet 2021

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

Brochure INRS élaborée par K. Desbrosses, L. Korngarven, M. Schwartz et J. Theuret, en collaboration avec C. Daval.

ED 6416



# 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

## Environnement et situations de travail

## Accompagnement et formation

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

## Organisation

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

- + 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 ?

# UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE

Construire connaissances et repères dans l'action



2013

Etude  
Prospective

2015

Etat des lieux  
(Réseau prévention)  
(AFNOR)

2016

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

2017

2018

2019

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

2022

2023



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Merci de votre attention



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

YouTube



in.