

JOURNEES NATIONALES D'ETUDES ET DE FORMATION
DES INFIRMIERS DE SANTE AU TRAVAIL
Toulouse 09 octobre 2019



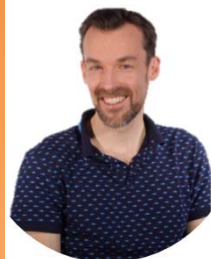
Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

1



JJ ATAIN KOUADIO

Expert d'assistance/ Ergonome
INRS



Jean THEUREL

Chercheur / Physiologiste
INRS



Le concept

Vers un Homme Augmenté ?

Applications médicales



Mobilité



Viteckova et al., 2013

Augmentation



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

Applications militaires



Applications industrielles



TMS



De Looze et al., 2016

Définition

Les exosquelettes sont des robots ?



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



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



Ils offrent une aide au mouvement
« Assistance Physique »

IDÉE REÇUE N°1

**« LES EXOSQUELETTES SONT
TOUS DES ROBOTS. »**

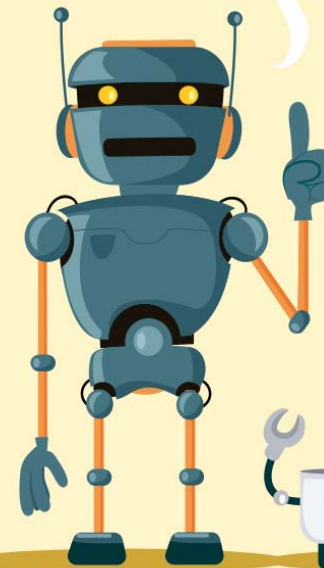


VRAI

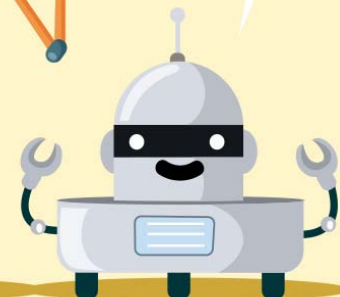


FAUX

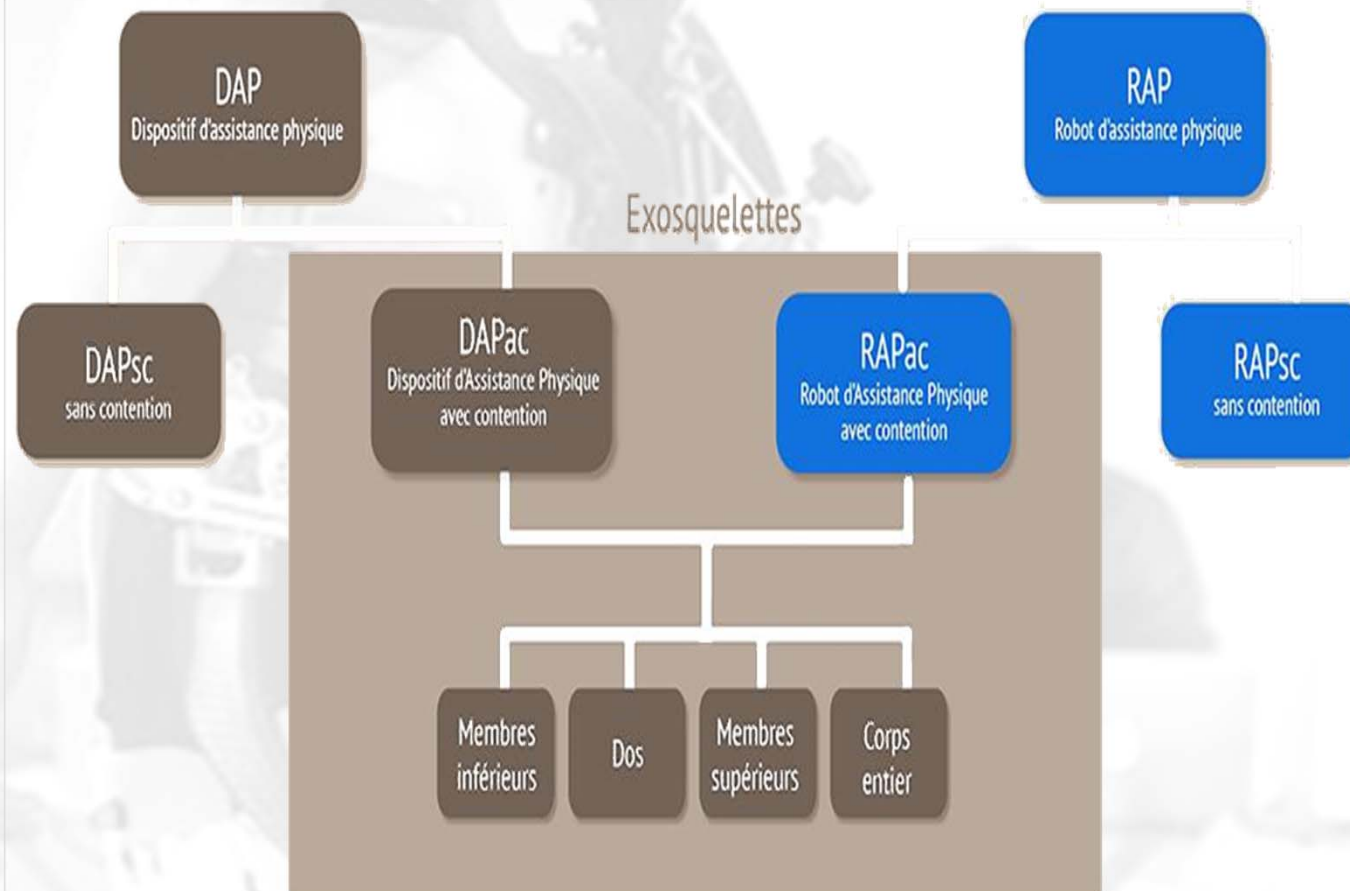
Et inversement, tous les robots
ne sont pas des exosquelettes.



Absolument.

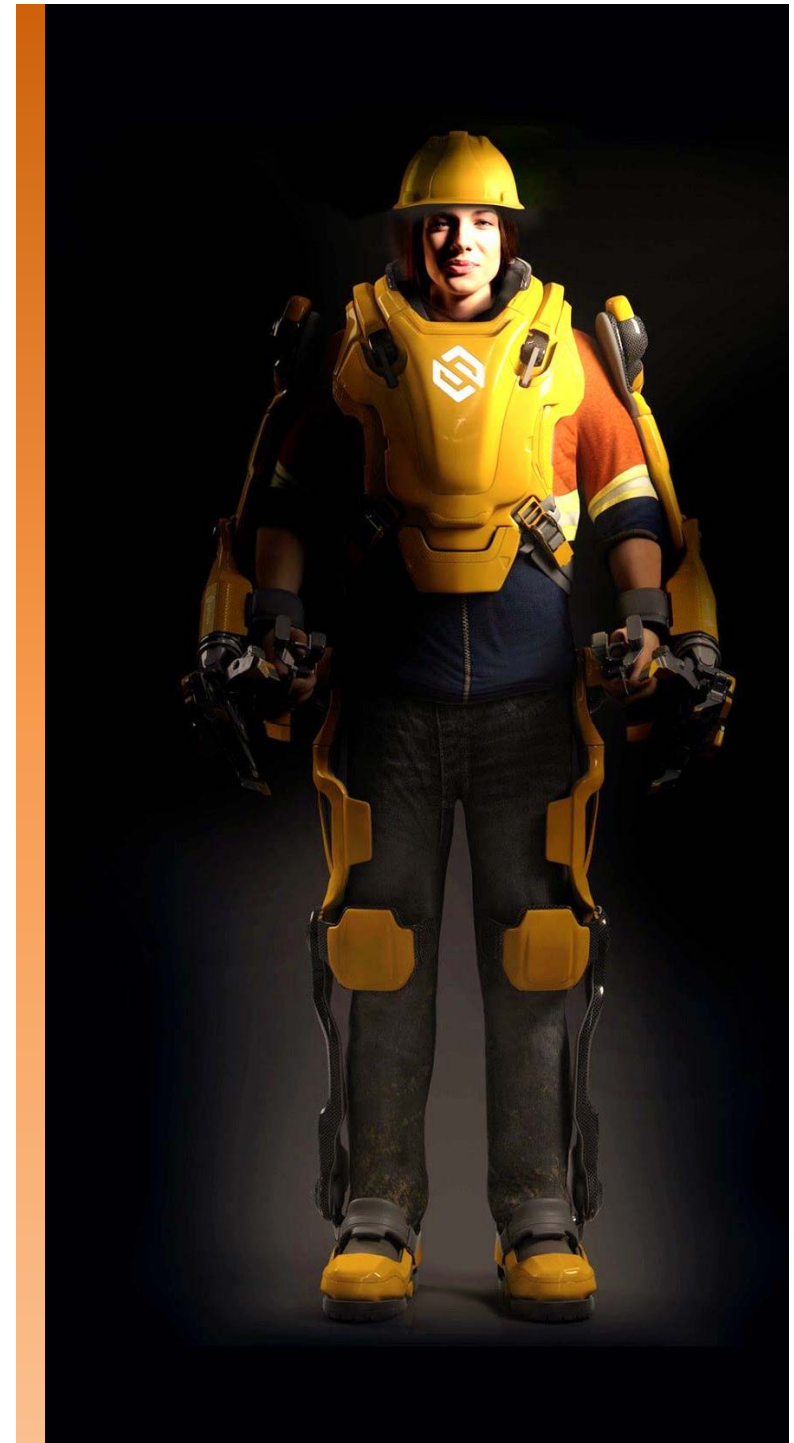
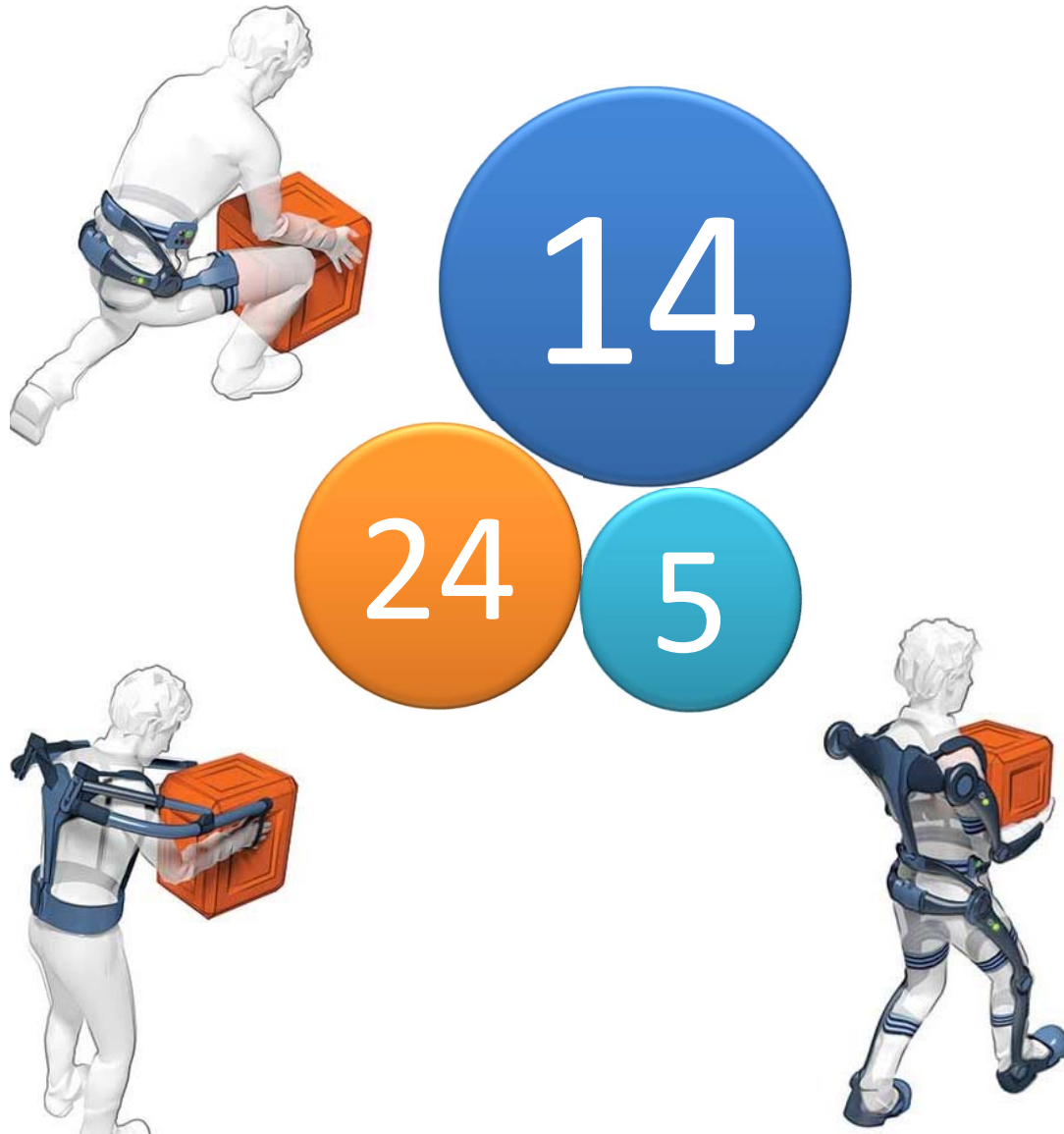


Classification



Veille Technologique

Une famille protéiforme



2



APPLICATIONS PROFESSIONNELLES

Qui ?



Entreprises de toutes taille, 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

...

**Jean THEUREL**

Chercheur / Physiologiste
INRS

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 !



EXOSQUELETES ET TMS?

Réduction de l'activité musculaire:

10 % – 80%

De Looze et al., 2016



Amplitude des bénéfices ?

Posture Abdoli et al., 2006; Bosh et al., 2016

Muscles posturaux

Rasheidi et al., 2014

Wetson et al., 2018

Muscles antagonistes

Theurel et al., 2018

Tâches fonctionnelles

Balstrusch et al., 2018



Effets non-désirés ?



Tendinopathies épaule :

Conflit sous-acromial

Herbert et al., 2002

Bey et al., 2007



Lombalgie:

Fatigue musculaire Hoogendoorn et al., 2002

Stabilité et contraintes vertébrales

Burdorf & Sorock, 1997

Cholwicki & Mc Gill, 1996

Douleur Reenen et al., 2008



Origines physio-pathologiques ?



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



« Occupational »
« Work »



« Exoskeleton »
« Assistive Devices »



Jean THEUREL

Chercheur / Physiologiste
INRS



Kevin Desbrosses

Chercheur / Physiologiste
INRS

Overview of their Benefits and Limits for the Prevention of Work-Related Musculoskeletal Disorders
J.Theurel & K.Desbrosses, IISE Transaction on Ergonomics and Human Factors, 2019

REVUE DE LITTERATURE



22

études



20



2



5



8

études



8



0



1



Lombalgie

Facteurs de risque



Effort des muscles du dos

Burock & Sorock, 1997
Dreistatdt et al., 2016



Fatigue musculaire

Hoogendoorn et al., 2002



Contraintes vertébrales

Burock & Sorock, 1997
Cholewicki & Mc Gil, 1996



Effort perçu

Reenen et al., 2008
Clarke & Harris, 2004

Exosquelette “dos”

Bénéfices et limites

- 10-44 % pour tâches de soulèvement De looze et al., 2016
- 57 % pour les postures maintenues Koopman et al., 2019

Quels bénéfices ?

Consensus



Masse ?

Abdoli & Stevenson 2006



Conception / raideur?

Frost et al., 2019



Tâche / Posture ?

Koopman et al., 2019

Pas de Consensus



Laboratoire

Bosch et al., 2016
Lotz et al., 2009
Godwin et al., 2009



Terrain

Dewi & Komatsuzaki, 2018

----- Tâches < 2h00 ! -----

Consensus

Reduction of internal compressives force

Abdoli et al., 2006 - Graham et al., 2009 -
Urley & Fattallah, 2013

→ - trunk rotation & lateral flexion

Graham et al., 2011 – Abdoli & Stevenson 2018



Consensus



Passive
Active



Stat.
Dynam.

Balstruch et al., 2018
Bosh et al., 2016
Hyusamen et al., 2018
...

Tendinopathies de l'épaule

Facteurs de risque



Efforts musculaires

Cote & Bennet, 2010
Marras et al., 2006
Stauber, 2004



Efforts ressentis



Coordination & Cinématique CSA ?

Bey et al., 2007
Hebert et al., 2002

Lombalgies

Facteurs de risque



Effort des muscles du dos

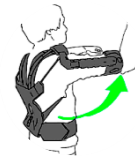
Burock & Sorock, 1997
Dreistadt et al., 2016

Exosquelettes (Mb Sup)

Bénéfices et limites

- ✓ Activité du muscle Deltoide Anterieur
- ✓ Perception de l'effort local

Consensus



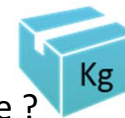
OHW

Hysusamen et al., 2018
Rasheidi et al, 2014
Kim et al., 2018
...



Soulèvement

Theurel et al., 2018



Masse ?

Rasheidi et al, 2014



Conception ?

Alabadulkarim & Nussbaum, 2019

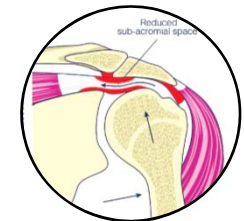
Questions ?

- ✗ activité des muscles antagonistes

Theurel et al., 2018

- ≠ contribution des fléchisseurs de l'épaule

Rasheidi et al., 2014



Activité des muscles de la coiffe ? – Cinématique articulaire ?

Pas de Consensus

- ✗ Muscles posturaux

Weston et al., 2018
Rasheidi et al., 2014
Theurel et al., 2018

- ⊖ Pas d'effet

Hysusamen et al., 2018

- ✗ Contraintes vertébrales

Kim et al., 2018

Dynamic vs. Stat. ?

Bouisset et al., 2000

Conception ?

Masse & équilibre

Alabadulkarim & Nussbaum, 2019





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 ?

BILAN DES CONNAISSANCES

6



Jean THEUREL

Chercheur / Physiologiste
INRS



Kevin Desbrosses

Chercheur / Physiologiste
INRS



Mathilde Schwartz

Doctorante / Biomécanique
INRS

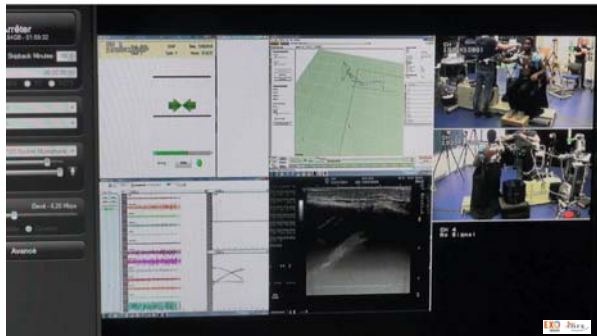
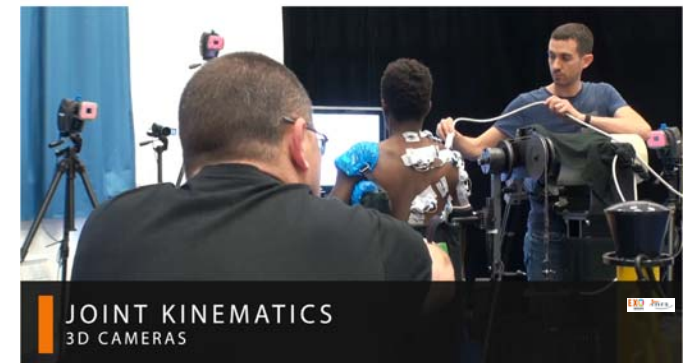
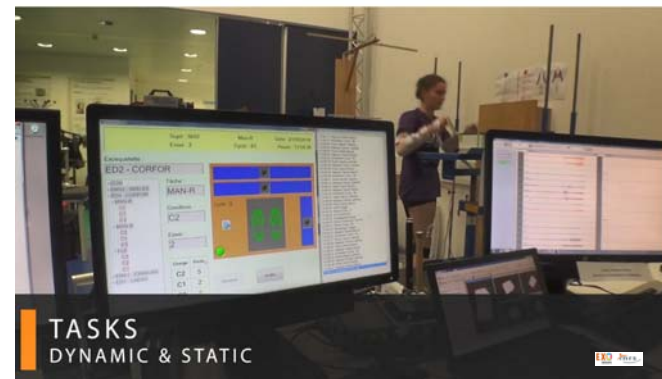
Expérimentations

Essai de 4 exosquelettes

Expérimentations

Laboratoire de biomécanique et physiologie / INRS

EXPERIMENTATIONS (INRS 2018-2019)



QUESTIONS INTERMÉDIAIRES : QUELS EXOSQUELETES POUR QUELLES TÂCHES ?



INTERETS



LIMITES

Position de travail
Plage angulaire

Conception de l'EXO
Point de contact
Masse
Raideur
Equilibre antéro-postérieur

Charge manipulée

IDÉE REÇUE N°8

«LES EXOSQUELETES SONT IMMÉDIATEMENT
UTILISABLES EN SITUATION DE TRAVAIL.»

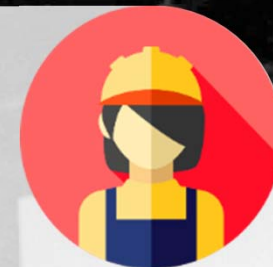
☒ VRAI

☒ FAUX

Euh... Envoyez la sécurité, Régis est
resté coincé avec son exosquelette.



En termes pratiques



Assistance très spécifique! ➡ Evaluation de l'interaction :
“exosquelette – humain – tâche”



Cinématique

Dans l'environnement de travail

Evaluation du
besoin d'assistance
physique
(Entreprises)



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

POINTS DE REPÈRES



JJ ATAIN KOUADIO

Expert d'assistance/ Ergonome
INRS



Laurent KERANGUEVEN

Expert d'assistance / Ergonome
INRS



Emmanuelle TURPIN-LEGENDRE

Chercheure/ Physiologiste
INRS

Sur le terrain...

Comment agir?

L'intégration en résumé

Vidéo Animation



<https://youtu.be/AoNkk02XiA4>

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Proposition d'une méthodologie d'action?



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

- Aider les préventeurs à 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'acceptation de la technologie par les utilisateurs

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Mise en œuvre de la méthode?



- Démarche participative qui mobilise la direction et l'ensemble des acteurs concernés
- Elaboration d'un “groupe pluridisciplinaire” : direction, production, qualité, instances représentatives du personnel, service de santé au travail, préventeurs, opérateurs, etc.

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Les missions du groupe?

- S'assurer que les **principes généraux de prévention** sont respectés ;
- Elaborer un **cahier des charges** ;
- S'assurer que l'exosquelette correspond aux **besoins identifiés** ;
- Garantir les **conditions de réussite de l'intégration** de l'exosquelette ;
- **Evaluer les risques** liés à l'usage de l'exosquelette ;
- Evaluer **régulièrement les conditions d'usage** de l'exosquelette.

Intégration

Une méthode en trois phases

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



Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Phase 1



Aide à la décision

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Les questions préalables à se poser



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 ?

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Caractérisation du besoin d'assistance?

Analyse de l'activité



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

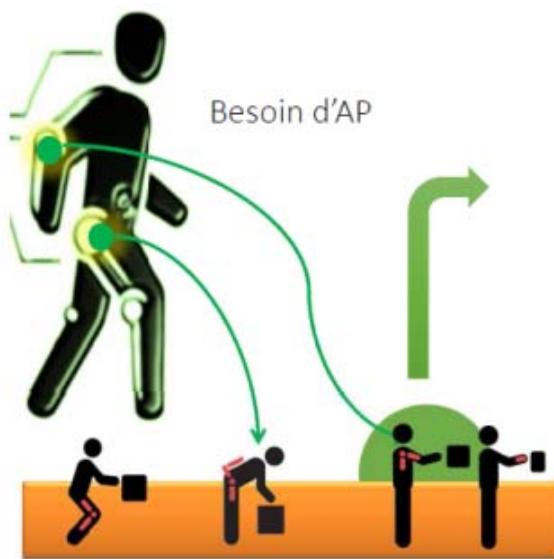


Impliquer l'utilisateur final !

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

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

Phase 2



Evaluation de l'interaction homme/exosquelette

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

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

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Prendre en compte les nouveaux risques?

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



Comment agir

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

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





L. Wioland
Psycho-ergonome



JJ Atain Kouadio
Expert d'assistance

VU DU TERRAIN

17 202



Acceptation des exosquelettes par les opérateurs : étude exploratoire

AUTEURS :

L. Wioland, L. Deby, JJ. Atain-Kouadio, Département Homme au Travail, INRS

EN RÉSUMÉ

L'introduction des exosquelettes, comme toute nouvelle technologie, suscite un changement au niveau de l'organisation et de l'activité des opérateurs. C'est dans ce cadre qu'est abordée la question spécifique de l'acceptabilité et de l'acceptation de ces dispositifs par les opérateurs. Pour cela, un questionnaire a été élaboré et administré à des utilisateurs, anciens utilisateurs et non-utilisateurs d'exosquelettes. En termes de santé et sécurité, les résultats préliminaires permettent de recueillir des informations sur la qualité de l'introduction opérateur-exosquelette, d'identifier des points bloquants et des facilitateurs de l'usage de ces dispositifs et d'analyser certains facteurs de risques psychosociaux, physiques et accidentels chez les utilisateurs.

MOTS-CLÉS :
Exosquelette /
Technologie
assistée /
Santé musculo-
squelettique /
MSA / Pathologie
articulaire



Figure 1. Exosquelette actif

CONTEXTE ET OBJECTIF

Les exosquelettes et autres dispositifs d'assistance physique, développés d'abord pour le secteur médical, émergent de plus en plus au sein des entreprises. Ils sont présentés comme des systèmes permettant de soulager les efforts et d'assister l'opérateur. Les exosquelettes sont définies comme des « structures externes, portées par l'opérateur, conçues pour apporter une assistance physique dans la réalisation d'une tâche ». Ils peuvent être énergisés (exosquelettes actifs) (figure 1) ou non énergisés (exosquelettes passifs) (figure 2) [1, 2]. Certains parlent de dispositif permettant d'améliorer les performances physiques [3]. Du point de vue de la prévention des risques professionnels, il est attendu que ces systèmes composent

les efforts des opérateurs et ainsi limitent l'apparition de troubles musculo-squelettiques (TMS), lesquels représentent depuis plus de 20 ans, la première cause de



Figure 2. Exosquelette passif

L'ACCEPTATION ?

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention



Intérêt grandissant de l'entreprise pour les exosquelettes mais des difficultés dans le déploiement



Refus de tester → Quelles représentations avant usage?
Test/utilisation puis rejet → Raisons du rejet
Utilisation régulière → Raisons du maintien dans l'usage?



Mettre en lumière les raisons pour lesquelles les opérateurs adoptent ou non technologie (points bloquants et facilitateurs)

Problématique



- Une nouvelle technologie même si elle semble simple peut être rejetée
- ... Alors qu'une autre plus complexe peut être acceptée ...
- ... au "début" ... pour être finalement rejetée



Les raisons sous-jacentes à ces situations font référence à la question "d'acceptabilité"

➤ Comprendre ces raisons

- Permet d'évaluer l'interaction Homme-Exosquelette
- Définir des actions de prévention

l'Acceptabilité

En théorie !

Conditions
facilitantes

Facilité
d'utilisation

Affects

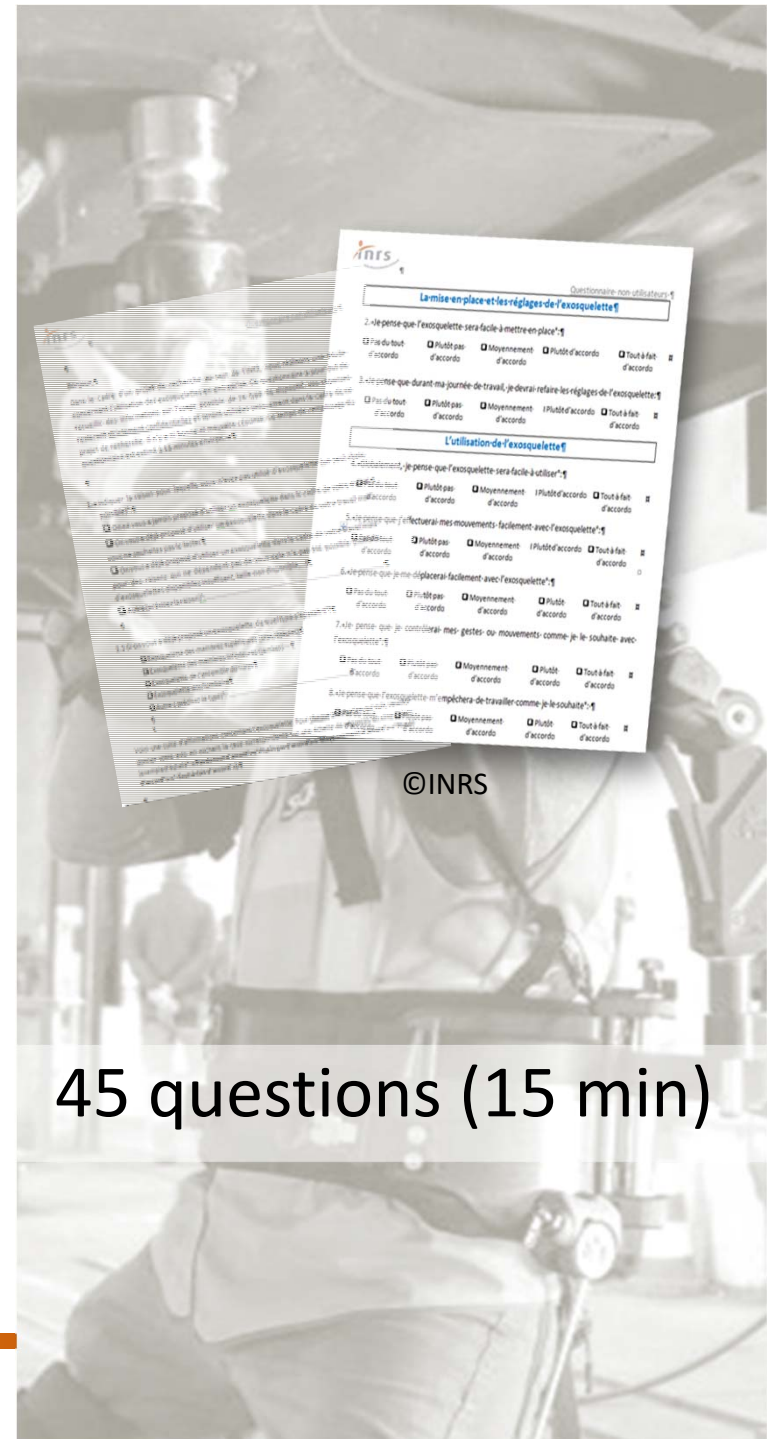


Performance

Question de
l'identité
professionnelle

Influence
sociale

©INRS



45 questions (15 min)

l'Acceptabilité

A l'étude !



©INRS

Non- Users			Users Ex-Users		
94			88		
62	11	21	44	39	4

Différents Exosquelettes



(© Deledda)



(© Deledda)



(© Deledda)



(© Deledda)



Différents Secteurs

Représentation

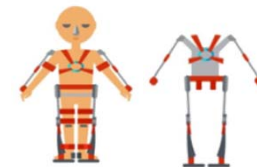
Non- Users



« intention d'usage
ou non »

Utilisation

Users Ex-Users



Evaluation de
l'interaction



Points bloquants et facilitateurs



Exemple de résultats

Cartographie des points bloquants et facilitateurs

→ Actions de prévention et de corrections sur

- Organisation
- Intégration (pour dimension « conditions facilitantes » → ex ED pour démarche générale, + résultats questionnaire pour les thèmes à renforcer)
- Concepteurs (amélioration des dispositifs)



l'Acceptabilité

A l'étude !

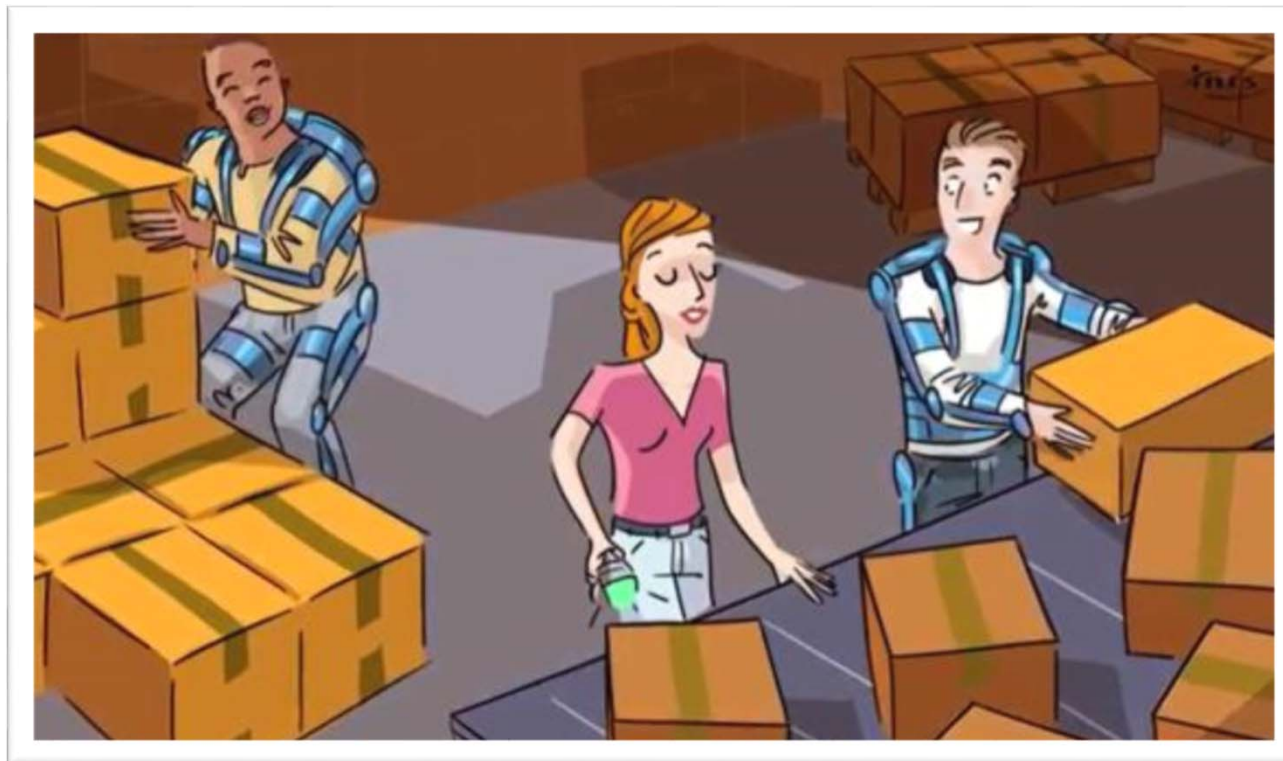
	Items	Non-utilisateurs		Utilisateurs/ex-utilisateurs	
		Favorables	Défavorables	Favorables	Défavorables
● → Tendance majoritairement positive (sont d'accord) ● → Tendance majoritairement négative (ne sont pas d'accord) ● → Tendance majoritairement mitigée					
Conditions facilitantes Facilité d'utilisation Affects Performance Question de l'identité professionnelle Influence sociale Conditions facilitantes	Informations avant déploiement				
	Information nécessaires				
	Formation				
	Procédure				
	Suivi				
	Référent				
	Soutien des collègues				
	Mise en place de l'exosquelette				
Facilité d'utilisation (mise en place)	Rapidité d'apprentissage				
	Pas de concentration supplémentaire				



©INRS

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Phase 3



Retour d'expérience

Exosquelettes : intérêts et limites pour la prévention

Evaluation à court, moyen et long terme?

Remettre en question les apports du système



L'évaluation doit interroger différentes dimensions liées :

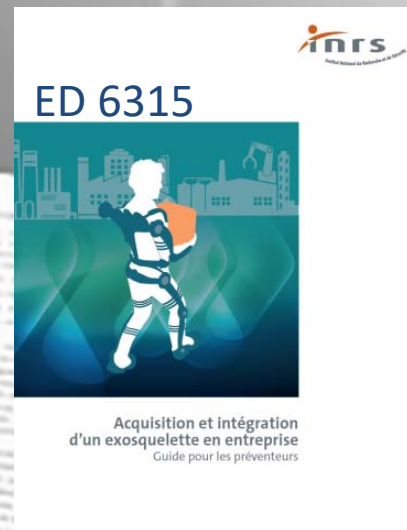
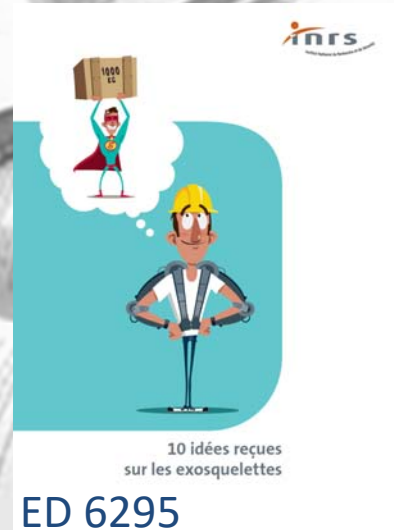
- Aux opérateurs (santé, plaintes, satisfactions, ...)
- À la structure (AT, absentéisme, turn-over, ...)
- À l'activité (changements techniques, humains et organisationnels, ...)

Intégration d'un exosquelette
effectivement adapté

Suivi et retours d'expériences



10



Les **Rendez-vous**
travail sécurité

19
Le XX novembre 2019



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

© G. Lefebvre - G. Lefebvre / France 3



inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

JOURNÉE TECHNIQUE

Exosquelettes au travail : intérêts et limites pour la prévention des TMS ?

Mardi 26
novembre 2019

Maison de la RATP
Espace du Centenaire
189, rue de Bercy
75012 Paris

Développés pour réduire la charge physique et les troubles musculosquelettiques (TMS), les exosquelettes font naître un espoir légitime d'amélioration des conditions de travail. Ils posent toutefois de nouvelles questions relatives à la santé et la sécurité des utilisateurs.

Cette Journée technique de l'INRS s'adresse aux préventeurs, services de santé au travail et chefs d'entreprises qui sont aujourd'hui confrontés à l'émergence des exosquelettes dans le monde du travail, et se questionnent quant à leur efficacité et aux risques associés. Elle concerne également les concepteurs et intégrateurs qui ne cessent d'innover pour répondre aux besoins des entreprises. Apports théoriques, retours d'expériences et bonnes pratiques seront proposés par des experts et des acteurs d'entreprises impliqués dans des projets d'intégration de ces exosquelettes en milieu professionnel.

Inscription :
www.inrs-exosquelettes2019.fr

Contact :
exosquelettes2019@inrs.fr

© Valérie de Castelbajac

A SUIVRE ...



jj.atain-kouadio.theurel@inrs.fr



Merci pour votre attention