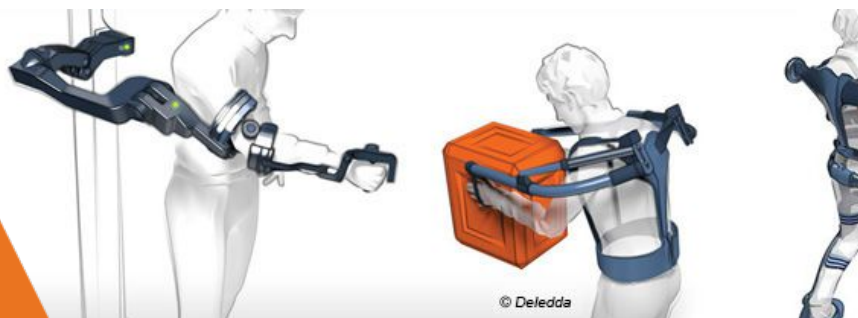


DOSSIER
EXOSQUELETES

SOMMAIRE DU DOSSIER

- ▶ Ce qu'il faut retenir
- ▶ Identification des risques
- ▶ Points de repère pour la prévention
- ▶ Foire aux questions
- ▶ Publications et liens utiles



Accueil > Risques > Exosquelettes

Ce qu'il faut retenir

Associés à la réduction de la charge physique et/ou des troubles musculo-squelettiques (TMS), les exosquelettes font naître un espoir légitime d'amélioration des conditions de travail. Leur utilisation pose toutefois de nouvelles questions relatives à la santé et la sécurité des opérateurs.

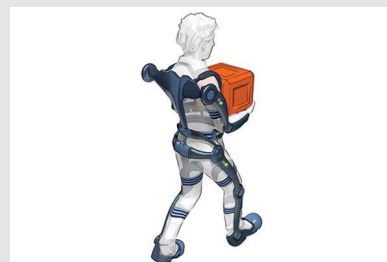
De nombreuses entreprises sont aujourd'hui tentées par l'acquisition d'exosquelettes. Avec l'objectif d'assister les salariés lors de la réalisation de certaines tâches, leur usage fait naître un espoir légitime d'améliorer les conditions de travail grâce à la réduction de la charge physique et des risques de troubles musculosquelettiques (TMS). Bien que les exosquelettes s'implantent le plus souvent dans les entreprises sous forme de prototypes ou de premières versions à parfaire, les concepteurs et intégrateurs annoncent leur volonté de déployer rapidement ces nouvelles technologies dans les années à venir.



© Deledda
Dispositif à ressorts d'assistance des membres supérieurs de type exosquelette



© Deledda
Dispositif élastique d'assistance du dos de type harnais de force



© Deledda
Robot d'assistance du corps entier de type exosquelette (RAP ac)



© Deledda
Robot d'assistance du dos de type exosquelette

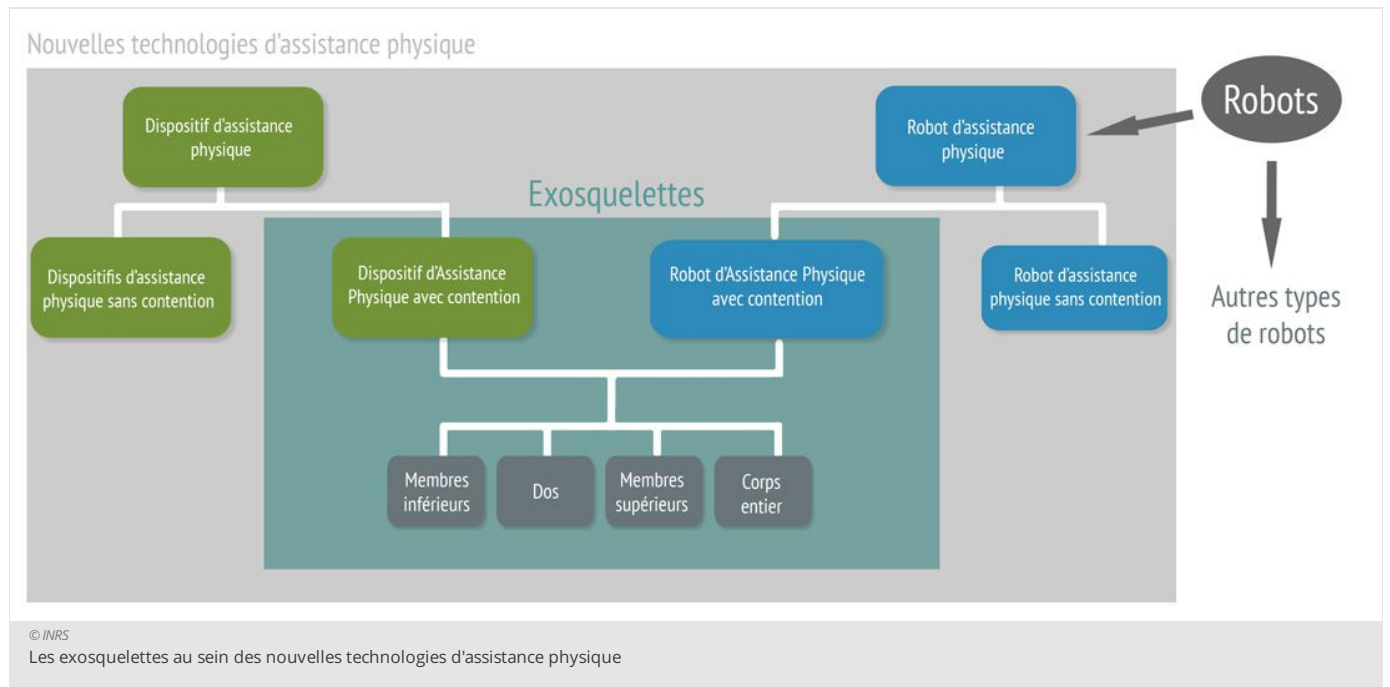


© Deledda
Robot d'assistance des membres supérieurs de type bras exosquelette

Les exosquelettes, qui s'inscrivent dans un ensemble de nouvelles technologies d'assistance physique (Cf. schéma), posent toutefois de nouvelles questions relatives à la santé et à la sécurité des opérateurs. D'une part, l'opérateur peut être exposé aux risques classiques inhérents aux machines (risques mécaniques, électriques, thermiques, liés au bruit et aux vibrations, etc.). D'autre part, les changements apportés dans les façons de travailler, du point de vue des stratégies gestuelles comme du point de vue de l'organisation du travail, peuvent être source de postures contraignantes, de stress, de fatigue cognitive (surcharge informationnelle), de troubles proprioceptifs ou encore de perte d'équilibre ou de chute.

Dans un contexte de mutation du monde du travail (révolution numérique, Industrie 4.0) et de forte médiatisation de ces technologies, il est essentiel d'anticiper et de comprendre leurs éventuels retentissements sur la santé et la sécurité en entreprise.

Ce dossier se propose d'informer les entreprises ainsi que les acteurs de la prévention sur les points de vigilance à prendre en considération lors de tout projet d'intégration d'exosquelettes.



En savoir plus

Les robots et dispositifs d'assistance physique : Etat des lieux et enjeux pour la prévention

Dans un contexte de mutation des entreprises, on assiste depuis 2013 à une émergence de robots, exosquelettes et autres nouvelles technologies d'assistance physique (NTAP) notamment pour tenter de répondre aux problématiques de TMS et de charge physique de travail excessive. Ce document a comme objectif de présenter les principaux points de vigilance liés à l'utilisation des robots et dispositifs d'assistance physique, dont les retours d'expérience ont pu être réalisés entre 2013 et 2016. ¹

¹ <http://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refINRS=NOETUDE/P2017-120/NS354>



Exosquelettes au travail : impact sur la santé et la sécurité des opérateurs état des connaissances

Ce guide, destiné aux préventeurs, fait le point des connaissances actuelles sur les exosquelettes afin de mettre en évidence les intérêts et les limites de leur usage en matière de prévention des troubles musculosquelettiques. ³

³ <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>



Risque mécanique

Il y a risque mécanique quand un élément en mouvement peut entrer en contact avec une partie du corps humain et provoquer une blessure ou qu'une partie du corps humain en mouvement peut entrer en contact avec un élément matériel. La présence d'un risque mécanique peut être identifiée par la conjonction de 3 éléments : un opérateur, un élément et l'énergie d'un mouvement. ⁵

⁵ <http://www.inrs.fr/risques/mecaniques.html>



Troubles musculosquelettiques (TMS)

Les troubles musculosquelettiques (TMS) des membres supérieurs et inférieurs sont des troubles de l'appareil locomoteur pour lesquels l'activité professionnelle peut jouer un rôle dans la genèse, le maintien ou l'aggravation. Les TMS affectent principalement les muscles, les tendons et les nerfs, c'est-à-dire les tissus mous. ⁷

⁷ <http://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques.html>

Mis à jour le 23/05/2018



10 idées reçues sur les exosquelettes

Pour aider les chefs d'entreprise à mieux appréhender les conséquences de l'utilisation des exosquelettes sur la santé et la sécurité de leurs salariés, ce document propose, en dix idées reçues, de faire le tri entre croyances et connaissances actuelles. ²

² <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206295>



Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise

Ce guide, destiné aux préventeurs, permet à l'entreprise d'appréhender les nombreuses questions posées par l'intégration d'un exosquelette. Il propose une démarche allant de la définition du besoin d'assistance physique jusqu'à son intégration en situation réelle de travail. ⁴

⁴ <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>



Risques électriques

Prévention des risques électriques : généralités, accidents d'origine électrique, travaux sur ou à proximité d'installations électriques, habilitation électrique, électricité statique, réglementation. ⁶

⁶ <http://www.inrs.fr/risques/electriques.html>

Identification des risques

L'usage des exosquelettes en situation réelle de travail soulève des questions pour la santé et la sécurité des opérateurs. Plusieurs risques potentiels ont été identifiés.

Les premières études expérimentales⁸ tendent à démontrer que les exosquelettes peuvent s'avérer efficaces pour limiter les contraintes musculaires locales.

⁸ <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00748986/document>

Leur usage en situation réelle de travail soulève néanmoins de nombreuses questions pour la prévention des risques professionnels liés à la charge physique et, en particulier des troubles musculosquelettiques (TMS). Si l'avancée actuelle des travaux scientifiques ne permet pas de définir clairement les bénéfices liés à leur utilisation, plusieurs risques potentiels issus à la fois d'observations de terrain et des connaissances acquises ont été clairement identifiés.

Exosquelettes au travail : 6 points de vigilance

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

- 1** Les frottements et les pressions répétés de l'exosquelette sur certaines parties du corps peuvent être à l'origine d'**INCONFORT ET/OU D'IRRITATIONS DE LA PEAU**.
- 2** Certaines activités réalisées à l'aide d'exosquelettes exigent une attention accrue qui peut s'accompagner d'une **AUGMENTATION DU STRESS**.
- 3** Les exosquelettes, de par leur encombrement et leur structure, présentent des **RISQUES DE COLLISION** avec une tierce personne ou des éléments de l'environnement.
- 4** Les exosquelettes sont susceptibles de modifier la perception des efforts et d'entraver les gestes, ce qui peut se traduire par un **DÉSÉQUILIBRE ET/OU DES MOUVEMENTS INCONTRÔLÉS**.
- 5** L'usage des exosquelettes modifie la répartition des efforts et peut ainsi contribuer à l'apparition de **NOUVELLES CONTRAINTES BIOMÉCANIQUES**, facteurs de risque de troubles musculosquelettiques (TMS).
- 6** Le poids des exosquelettes et la gêne associée lors de la réalisation de certains mouvements peuvent conduire à une **AUGMENTATION DES SOLlicitATIONS CARDIOVASCULAIRES**.

Pour en savoir plus : www.inrs.fr/exosquelettes

© INRS
Exosquelette au travail : 6 points de vigilances

► Télécharger l'infographie (pdf)

Risques mécaniques

RISQUE	DESCRIPTION
Collision avec une personne tierce	Certaines parties mobiles de l'exosquelette, hors du champ visuel de l'opérateur, peuvent entrer en collision avec un tiers se trouvant dans leur espace d'évolution. Des collisions peuvent également être causées par un réglage inapproprié ou une défaillance technique
Collision avec l'utilisateur	Certaines parties mécaniques de l'exosquelette peuvent entrer en collision avec l'opérateur à la suite d'une manipulation, d'une défaillance ou d'un réglage inappropriés.
Ecrasement	L'utilisation ou le réglage de l'exosquelette peuvent générer un risque de coincement, voire d'écrasement d'une partie du corps de l'opérateur ou du réglageur entre les éléments mobiles de l'exosquelette.

RISQUE	DESCRIPTION
Risque de lésions articulaires	Si les amplitudes de mouvement viennent à dépasser les limites physiologiques de l'utilisateur, il existe un risque potentiel de lésions articulaires
Risque de frottement/abrasion	Le frottement prolongé et/ou répété entre les éléments de fixation de l'exosquelette et une partie du corps de l'utilisateur peut générer une compression localisée, des risques de lésion de la peau, voire des lésions plus profondes (compression d'un muscle ou d'un nerf par exemple).

En ce qui concerne les exosquelettes robotisés, ces risques peuvent survenir dans des conditions normales d'utilisation mais également à la suite de défaillances du système de commande.

Risques liés à la charge physique

RISQUE	DESCRIPTION
Charge physique globale accrue	De par leur poids et/ou leur encombrement, les exosquelettes sont susceptibles d'accroître la charge physique globale ⁹ , ce qui peut avoir des conséquences pour la santé des opérateurs. ⁹ http://www.inrs.fr/risques/activite-physique.html
TMS	Certains troubles musculosquelettiques (TMS) ¹⁰ peuvent être induits ou aggravés par une mauvaise synergie musculaire, un défaut de proprioception (perception du mouvement et de la position du corps dans l'espace) ou des mouvements inadaptés. En modifiant le fonctionnement intrinsèque de l'articulation (force ajoutée, modification des contraintes lors du mouvement, réduction des retours sensoriels), l'usage d'exosquelettes peut avoir des répercussions délétères sur l'appareil locomoteur. ¹⁰ http://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques.html Il est bien connu que la seule réduction de l'activité musculaire n'est pas suffisante pour prévenir la survenue de TMS ¹¹ . ¹¹ http://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques.html
Déséquilibre et contraintes posturales	Le port d'un exosquelette peut modifier, de par son inertie propre ou son poids, le schéma d'équilibre statique et dynamique de l'opérateur. Des conséquences sur l'activité des muscles posturaux, œuvrant au maintien de l'équilibre et à la genèse du mouvement, sont possibles, d'où des risques de chutes.
Perturbations sensorielles	En phase d'utilisation et immédiatement après le retrait de l'exosquelette, l'opérateur peut être perturbé sur le plan de l'équilibre ou de la réalisation des tâches. Il est donc nécessaire de respecter un délai d'adaptation pour préserver les habiletés motrices et prévenir ce type de risque.
Désadaptation musculaire	L'immobilisation ou la réduction de mobilité d'une articulation, par une orthèse par exemple, est connue pour entraîner une diminution progressive des capacités fonctionnelles (force et mobilité) des groupes musculaires locaux. A moyen terme, l'utilisation prolongée/répétée d'un exosquelette peut donc générer des phénomènes de fonte musculaire locale, à l'origine de troubles fonctionnels variés.

Les exosquelettes, portés sur tout ou partie du corps, peuvent se révéler inefficaces dans leur rôle premier de réduire la charge physique s'ils ne sont pas adaptés à leur utilisateur et à la situation de travail. En effet, les contraintes biomécaniques sont influencées par les conditions de réalisation de la tâche, le contenu du travail ainsi que les caractéristiques de l'opérateur (anthropométrie, force, etc.) et demandent une spécificité d'action et de réglage de l'exosquelette.

Risques en lien avec la charge mentale de travail

RISQUE	DESCRIPTION
Perte de contrôle et d'autonomie	Lorsque l'organisation du travail place l'Homme sous la dépendance des exosquelettes, elle peut renforcer le sentiment de perte de contrôle sur son travail et d'autonomie dans son activité, et ainsi contribuer à l'émergence de risques psychosociaux.
Augmentation des exigences attentionnelles	La modification des modes opératoires et des stratégies des opérateurs peut contribuer à accroître les exigences attentionnelles et augmenter la charge mentale.
Incidence sur l'expertise de l'opérateur	Le niveau d'assistance physique apporté à l'opérateur affecte parfois la maîtrise du geste de travail. Les stratégies gestuelles sont alors modifiées et requièrent des habiletés sensorielles supplémentaires pour garantir la qualité de travail. Par exemple, l'utilisation d'un exosquelette pour soulager les membres supérieurs lors d'opérations de ponçage nécessite un réajustement des habiletés motrices et sensibles, notamment en fonction du retour d'effort qui donne des indications sur la profondeur de champ à abraser, les caractéristiques physiques de la paroi à poncer (dureté, caractère plus ou moins régulier...). L'opérateur doit modifier ses repères sensoriels pour s'adapter à la démultiplication des efforts, au risque de perdre une partie de l'expertise et du savoir-faire acquis précédemment. Cette adaptation peut de surcroît augmenter temporairement ou durablement la charge cognitive pour maintenir son expertise professionnelle.

En savoir plus

Les robots et dispositifs d'assistance physique : Etat des lieux et enjeux pour la prévention

Dans un contexte de mutation des entreprises, on assiste depuis 2013 à une émergence de robots, exosquelettes et autres nouvelles technologies d'assistance physique (NTAP) notamment pour tenter de répondre aux problématiques de TMS et de charge physique de travail excessive. Ce document a comme objectif de présenter les principaux points de vigilance liés à l'utilisation des robots et dispositifs d'assistance physique, dont les retours d'expérience ont pu être réalisés entre 2013 et 2016. ¹²

¹² <http://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refNRS=NOETUDE/P2017-120/NS354>



Exosquelettes au travail : impact sur la santé et la sécurité des opérateurs état des connaissances

Ce guide, destiné aux préventeurs, fait le point des connaissances actuelles sur les exosquelettes afin de mettre en évidence les intérêts et les limites de leur usage en matière de prévention des troubles musculosquelettiques. ¹⁴

¹⁴ <http://www.inrs.fr/media.html?refNRS=ED%206311>

10/2015



Risque mécanique

Il y a risque mécanique quand un élément en mouvement peut entrer en contact avec une partie du corps humain et provoquer une blessure ou qu'une partie du corps humain en mouvement peut entrer en contact avec un élément matériel. La présence d'un risque mécanique peut être identifiée par la conjonction de 3 éléments : un opérateur, un élément et l'énergie d'un mouvement. ¹⁶

¹⁶ <http://www.inrs.fr/risques/mecaniques.html>

09/2018



Troubles musculosquelettiques (TMS)

Les troubles musculosquelettiques (TMS) des membres supérieurs et inférieurs sont des troubles de l'appareil locomoteur pour lesquels l'activité professionnelle peut jouer un rôle dans la genèse, le maintien ou l'aggravation. Les TMS affectent principalement les muscles, les tendons et les nerfs, c'est-à-dire les tissus mous. ¹⁸

¹⁸ <http://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques.html>

Mis à jour le 23/05/2018



10 idées reçues sur les exosquelettes

Pour aider les chefs d'entreprise à mieux appréhender les conséquences de l'utilisation des exosquelettes sur la santé et la sécurité de leurs salariés, ce document propose, en dix idées reçues, de faire le tri entre croyances et connaissances actuelles. ¹³

¹³ <http://www.inrs.fr/media.html?refNRS=ED%206295>



Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise

Ce guide, destiné aux préventeurs, permet à l'entreprise d'appréhender les nombreuses questions posées par l'intégration d'un exosquelette. Il propose une démarche allant de la définition du besoin d'assistance physique jusqu'à son intégration en situation réelle de travail. ¹⁵

¹⁵ <http://www.inrs.fr/media.html?refNRS=ED%206315>



Risques électriques

Prévention des risques électriques : généralités, accidents d'origine électrique, travaux sur ou à proximité d'installations électriques, habilitation électrique, électricité statique, réglementation. ¹⁷

¹⁷ <http://www.inrs.fr/risques/electriques.html>

Points de repère pour la prévention

L'acquisition d'un exosquelette s'appuie sur une démarche structurée allant de la définition du besoin d'assistance physique jusqu'à son intégration en situation réelle, pour s'assurer de l'adéquation entre l'exosquelette, l'opérateur et les spécificités de la tâche pour laquelle il est envisagé.

Identifier le besoin d'assistance

L'acquisition d'un exosquelette nécessite la constitution d'un groupe de travail réunissant, au cas par cas et dans la mesure du possible, les acteurs de l'entreprise concernés par ces évolutions : direction, production, qualité, instances représentatives du personnel, service de santé au travail, préventeurs, opérateurs, etc. Cette concertation s'inscrit dans une démarche de prévention visant plus globalement à réduire la charge physique de travail.

Une analyse approfondie¹⁹ des situations de travail au sein de ce groupe doit permettre d'identifier l'ensemble des facteurs pouvant conditionner les contraintes physiques (efforts physiques, dimensionnement, contraintes temporelles, facteurs environnementaux, caractéristiques de l'organisation du travail).

¹⁹ <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206161>

Cette analyse pose les bases des pistes de prévention à rechercher pour transformer les situations de travail, dans le respect des **9 principes généraux**²⁰ définis par l'article L.4121-2 du Code du travail. Ainsi, avant d'envisager l'usage d'un exosquelette comme solution de prévention, il faut s'interroger sur l'ensemble des pistes susceptibles de réduire la charge physique de travail. Les exosquelettes sont conçus pour assurer une assistance physique très spécifique et ne peuvent pas répondre a priori à l'ensemble des questions génériques que souhaitent traiter les acquéreurs : réduction de la charge physique et/ou des troubles musculo-squelettiques (TMS), maintien au poste de travail, etc.

²⁰ <http://www.inrs.fr/demarche/principes-generaux.html>

Si le choix est fait de s'orienter vers l'acquisition d'un exosquelette, il est indispensable en amont de définir précisément son besoin en tenant compte des spécificités de la tâche et des contraintes localisées qu'elle génère, des caractéristiques des futurs utilisateurs et du contexte organisationnel.

Evaluer l'interaction Homme-exosquelette

Afin de s'assurer que l'exosquelette correspond effectivement aux besoins identifiés, il convient de mener des évaluations de l'interaction entre l'exosquelette et les futurs utilisateurs. Dans ce but, plusieurs critères d'évaluation peuvent être utilisés, comme :

- L'appropriation de l'équipement par l'opérateur
- Le succès de la tâche réalisée avec l'assistance physique
- La facilité d'emploi de l'exosquelette
- L'impact sur les stratégies opératoires, sur l'environnement et sur le collectif de travail
- Les risques pour la sécurité de l'opérateur et de son environnement

Il est à noter qu'une phase d'apprentissage progressive est indispensable pour que l'opérateur s'assure que l'exosquelette est bien adapté à la tâche et à son environnement.

Evaluer la mise en œuvre

Une fois l'exosquelette implanté en situation réelle, ses conditions d'usage doivent être évaluées en s'appuyant sur des retours d'expérience. L'objectif est de s'assurer que l'équipement répond toujours aux besoins initialement identifiés malgré les éventuelles évolutions de la situation de travail.

Cette évaluation repose sur la comparaison entre la situation de départ et les situations à court, moyen et long terme. Elle doit interroger différentes dimensions liées aux salariés (santé, plaintes, satisfaction, etc.), à la structure (accidents du travail, absentéisme, turn-over, etc.) et à l'activité (changements techniques, humains, organisationnels, etc.).

L'analyse critique des objectifs visés, des moyens mis en œuvre, des résultats obtenus et de l'impact sur l'entreprise sert à bâtir l'argumentaire pour maintenir, modifier ou abandonner l'usage de l'exosquelette.

En savoir plus

Les robots et dispositifs d'assistance physique : Etat des lieux et enjeux pour la prévention

Dans un contexte de mutation des entreprises, on assiste depuis 2013 à une émergence de robots, exosquelettes et autres nouvelles technologies d'assistance physique (NTAP) notamment pour tenter de répondre aux problématiques de TMS et de charge physique de travail excessive. Ce document a comme objectif de présenter les principaux points de vigilance liés à l'utilisation des robots et dispositifs d'assistance physique, dont les retours d'expérience ont pu être réalisés entre 2013 et 2016. ²¹

²¹ <http://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refINRS=NOETUDE/P2017-120/NS354>



Exosquelettes au travail : impact sur la santé et la sécurité des opérateurs état des connaissances

Ce guide, destiné aux préventeurs, fait le point des connaissances actuelles sur les exosquelettes afin de mettre en évidence les intérêts et les limites de leur usage en matière de prévention des troubles musculosquelettiques. ²³

²³ <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>

10/2015



Risque mécanique

Il y a risque mécanique quand un élément en mouvement peut entrer en contact avec une partie du corps humain et provoquer une blessure ou qu'une partie du corps humain en mouvement peut entrer en contact avec un élément matériel. La présence d'un risque mécanique peut être identifiée par la conjonction de 3 éléments : un opérateur, un élément et l'énergie d'un mouvement. ²⁵

²⁵ <http://www.inrs.fr/risques/mecaniques.html>

09/2018



Troubles musculosquelettiques (TMS)

Les troubles musculosquelettiques (TMS) des membres supérieurs et inférieurs sont des troubles de l'appareil locomoteur pour lesquels l'activité professionnelle peut jouer un rôle dans la genèse, le maintien ou l'aggravation. Les TMS affectent principalement les muscles, les tendons et les nerfs, c'est-à-dire les tissus mous. ²⁷

²⁷ <http://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques.html>

Mis à jour le 23/05/2018



10 idées reçues sur les exosquelettes

Pour aider les chefs d'entreprise à mieux appréhender les conséquences de l'utilisation des exosquelettes sur la santé et la sécurité de leurs salariés, ce document propose, en dix idées reçues, de faire le tri entre croyances et connaissances actuelles. ²²

²² <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206295>



Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise

Ce guide, destiné aux préventeurs, permet à l'entreprise d'appréhender les nombreuses questions posées par l'intégration d'un exosquelette. Il propose une démarche allant de la définition du besoin d'assistance physique jusqu'à son intégration en situation réelle de travail. ²⁴

²⁴ <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>



Risques électriques

Prévention des risques électriques : généralités, accidents d'origine électrique, travaux sur ou à proximité d'installations électriques, habilitation électrique, électricité statique, réglementation. ²⁶

²⁶ <http://www.inrs.fr/risques/electriques.html>

Foire aux questions

Questions - Réponses sur les exosquelettes

Des réponses aux questions les plus fréquemment posées sur les exosquelettes

Quels sont les principaux points de vigilance à prendre en considération lors de l'utilisation d'un exosquelette ?

Plusieurs risques potentiels ont été clairement identifiés lors de l'usage d'exosquelettes au travail :

- Risques mécaniques (collisions avec l'utilisateur ou un tiers, écrasement, lésion articulaire, abrasion, etc.)
- Risques liés à la charge physique (charge physique accrue, autres troubles musculosquelettiques, déséquilibre, contraintes posturales, perturbations sensorielles, désadaptation musculaire, etc.)
- Risques en lien avec la charge mentale (incidences sur l'expertise, augmentation de la charge attentionnelle, perte d'autonomie, appauvrissement du contenu du travail, etc.)

Une infographie²⁸ présentant ces principaux points de vigilance est disponible sur le site internet de l'INRS

²⁸ <http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/infographie-exosquelettes/infographie-exosquelettes.pdf>

Les exosquelettes peuvent-ils aider à porter des objets lourds (supérieurs à 15 kg) ?

Cela dépend du type d'exosquelette. Ces technologies sont conçues pour fournir localement (au niveau du dos, des épaules, des coudes, ou des poignets, etc.) un supplément de force lors d'un mouvement spécifique, grâce à un moteur, un élastique ou un ressort. La question est de savoir comment les efforts sont ensuite transmis. Certains exosquelettes sont reliés au sol ou à un point fixe ; dans ce cas, les efforts sont transférés vers l'extérieur du corps et il est alors possible de soulever des objets lourds (> 15 kg). Pour les autres modèles, les efforts restent intégralement supportés par l'opérateur, seules la répartition et la localisation des efforts sont modifiées. Dans ce cas, il convient de respecter les normes en vigueur concernant les limites de charge et de contraintes physiques pour les tâches de manutention manuelle (Voir ED 6161²⁹)

²⁹ <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206161>

Les exosquelettes réduisent-ils le risque de troubles musculosquelettiques (TMS) ?

Les exosquelettes peuvent, dans certains cas précis, limiter certaines contraintes biomécaniques comme les efforts musculaires excessifs ou les postures contraignantes. Mais cela ne suffit pas à éliminer tous les risques d'apparition de TMS, qui sont le résultat de plusieurs causes : répétitivité des gestes, postures contraignantes, efforts, stress, organisation du travail, climat social dans l'entreprise. Il est à noter que ces équipements peuvent en outre déplacer certaines contraintes sur d'autres parties du corps à l'origine d'autres TMS.

Un exosquelette mis au point pour un salarié est-il utilisable par d'autres salariés ?

C'est possible mais c'est loin d'être acquis. Un exosquelette, selon ses caractéristiques (forme, fonctionnement, etc.), n'est pas systématiquement adapté à la morphologie de chacun (genre, taille, poids) ou à certains problèmes de santé d'ordre locomoteur, cardio-vasculaire ou cutané par exemple. Il est également possible que certaines personnes ne puissent pas utiliser correctement, confortablement ou sans risque, un modèle mis au point pour un autre salarié. Une évaluation de l'aptitude à utiliser l'exosquelette apparaît nécessaire afin de s'assurer qu'il convient aux caractéristiques des utilisateurs. L'INRS préconise que le service de santé au travail soit associé à cette évaluation.

Peut-on considérer l'exosquelette comme un équipement de protection individuelle (EPI) ?

Non. Les exosquelettes ne sont pas des EPI. Il n'a pas été démontré qu'ils protègent d'un quelconque risque. Ils ne sont pour l'instant soumis à aucune règle technique de conception ni à aucune procédure de certification, nécessaires pour qu'un produit puisse être considéré comme un EPI et positionné sur le marché en tant que tel. Plus généralement, le cadre réglementaire concernant les exosquelettes destinés au travail n'est pour l'heure pas défini spécifiquement et aucune norme dédiée ne s'applique. Pour autant, utilisé sur le lieu de travail, l'exosquelette doit être intégré dans l'EvRP et le résultat de cette évaluation doit être retranscrit dans le DU.

Quelles sont les conséquences de l'usage d'un exosquelette sur la charge mentale, l'expertise ou encore sur le stress des opérateurs ?

Les exosquelettes ont été conçus en réponse à des problématiques de réduction de la charge physique de travail. Les recherches se sont donc jusqu'alors focalisées sur la caractérisation des bénéfices et des limites de ces technologies sur cet aspect. Néanmoins, la baisse de la fatigue ou de l'effort ressenti peut être vécue par les opérateurs comme un bénéfice sur le plan cognitif. L'influence de l'exosquelette sur les repères sensoriels peut, à l'inverse, être vécue comme une contrainte par les utilisateurs à la recherche de qualité et de productivité dans leur travail. Les études antérieures ont déjà démontré des impacts de l'usage de ces technologies sur la régulation de l'équilibre ou encore sur l'organisation du mouvement. Il apparaît donc nécessaire de mettre en œuvre une phase d'apprentissage à l'usage des exosquelettes pour laisser le temps aux utilisateurs de construire progressivement de nouveaux repères et une nouvelle expertise du geste. Sans cela, l'usage de ces technologies sans accompagnement pourrait se répercuter par une augmentation du stress.

L'INRS a-t-il développé des outils d'évaluation de la mise en place d'un exosquelette ?

Des outils objectifs (mesures des paramètres physiologiques ou physiques) et subjectifs (interrogeant la perception humaine) existants peuvent être mis en œuvre dans ce cadre. Pour aider les préventeurs à accompagner les entreprises dans leurs démarches d'acquisition et d'intégration d'un exosquelette, l'INRS a conçu un guide méthodologique (disponible en 2019). Ce guide détaille les étapes d'évaluation nécessaires à l'identification des apports et des limites de l'usage d'un exosquelette. Des méthodes d'évaluation spécifiques y sont proposées pour aider l'entreprise dans son analyse de l'interaction entre l'opérateur et l'exosquelette.

Des exemples d'intégrations réussies d'exosquelettes ont-ils été observés ?

Oui, une étude menée par l'INRS dans une entreprise spécialisée dans les métiers d'arts avec travail du plâtre a permis de recueillir des informations quant à l'intégration réussie d'un exosquelette. Il en est ressorti que l'exosquelette était destiné à des experts pour des tâches de ponçage de plafond très spécifiques et contraignantes, mains au-dessus de la tête et pour des durées limitées. L'exosquelette a nécessité plusieurs adaptations techniques avant de pouvoir être utilisé en situation réelle de travail. Son utilisation a également entraîné des évolutions de stratégies gestuelles et d'organisation pour effectuer la tâche. Les opérateurs ont indiqué exercer moins de force sur l'outil, adopter des postures moins sollicitantes et constater la disparition de certaines douleurs.

Mis à jour le 21/11/2018

Publications et liens utiles

Quelques ressources utiles sur la prévention des risques liés à l'utilisation des exosquelettes

Brochures et notes scientifiques

BROCHURE 05/2018 | ED 6295



10 idées reçues sur les exosquelettes

Pour aider les chefs d'entreprise à mieux appréhender les conséquences de l'utilisation des exosquelettes sur la santé et la sécurité de leurs salariés, ce document propose, en dix idées reçues, de faire le tri entre croyances et connaissances actuelles. ³⁰

³⁰<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206295>

BROCHURE 12/2018 | ED 6315



Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise

Ce guide, destiné aux préventeurs, permet à l'entreprise d'appréhender les nombreuses questions posées par l'intégration d'un exosquelette. Il propose une démarche allant de la définition du besoin d'assistance physique jusqu'à son intégration en situation réelle de travail. ³²

³²<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>

Articles

BROCHURE 11/2015 | VEP 1



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

Fin 2013, l'INRS présente un premier exercice de prospective sur l'utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030. C'est le résultat de ce travail qui est proposé en téléchargement. ³⁴

³⁴<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=VEP%201>

BROCHURE 10/2018 | ED 6311



Exosquelettes au travail : impact sur la santé et la sécurité des opérateurs état des connaissances

Ce guide, destiné aux préventeurs, fait le point des connaissances actuelles sur les exosquelettes afin de mettre en évidence les intérêts et les limites de leur usage en matière de prévention des troubles musculosquelettiques. ³¹

³¹<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>

PUBLICATION SCIENTIFIQUE 10/2017

Les robots et dispositifs d'assistance physique : Etat des lieux et enjeux pour la prévention

Ce document a comme objectif de présenter les principaux points de vigilance liés à l'utilisation des robots et dispositifs d'assistance physique, dont les retours d'expérience ont pu être réalisés par l'INRS entre 2013 et 2016. ³³

³³<http://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refINRS=NOETUDE/P2017-120/NS354>

ARTICLE DE REVUE 06/2014 | CC 5



Quelle place pour les robots d'assistance physique en 2030?

Compte-rendu d'un séminaire INRS sur l'utilisation des robots d'assistance physique (RAP) à l'horizon 2030 en France, avec présentation de différents scénarios possibles d'utilisation. ³⁵

³⁵<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=CC%205>

Ressources multimedia

Exosquelettes au travail : 6 points de vigilance

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

1. Les traitements et les pressions répétées 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'entraîner 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 SOLlicitATIONS CARDIOVASCULAIRES**.

Pour en savoir plus : www.inrs.fr/exosquelettes

inrs

Exosquelette au travail : 6 points de vigilances

A quels risques peuvent être exposés les opérateurs équipés d'un exosquelette ?

Réponse en images. ³⁶

³⁶ <http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/infographie-exosquelettes/infographie-exosquelettes.pdf>

Liens utiles

Accord AFNOR AC-Z 68-800 ³⁸

³⁸ <https://www.boutique.afnor.org/norme/ac-z68-800/dispositifs-d-assistance-physique-a-contention-de-type-exosquelettes-robotises-ou-non-outils-et-reperes-methodologiques-pour-l/article/877167/fa188829>

Ce document propose des outils et repères méthodologiques pour l'évaluation de l'interaction humain-dispositif d'assistance physique à contention de type exosquelettes robotisés ou non.

Mis à jour le 23/05/2018



Exosquelettes au travail : comment s'y préparer ?

Cette vidéo dessinée à pour objectif de sensibiliser les chefs d'entreprises sur les points de vigilance à prendre en considération lors de leur projet d'acquisition d'exosquelettes. ³⁷

³⁷ <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=Anim-131>