

DOSSIER
EXOSQUELETES

SOMMAIRE DU DOSSIER

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



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

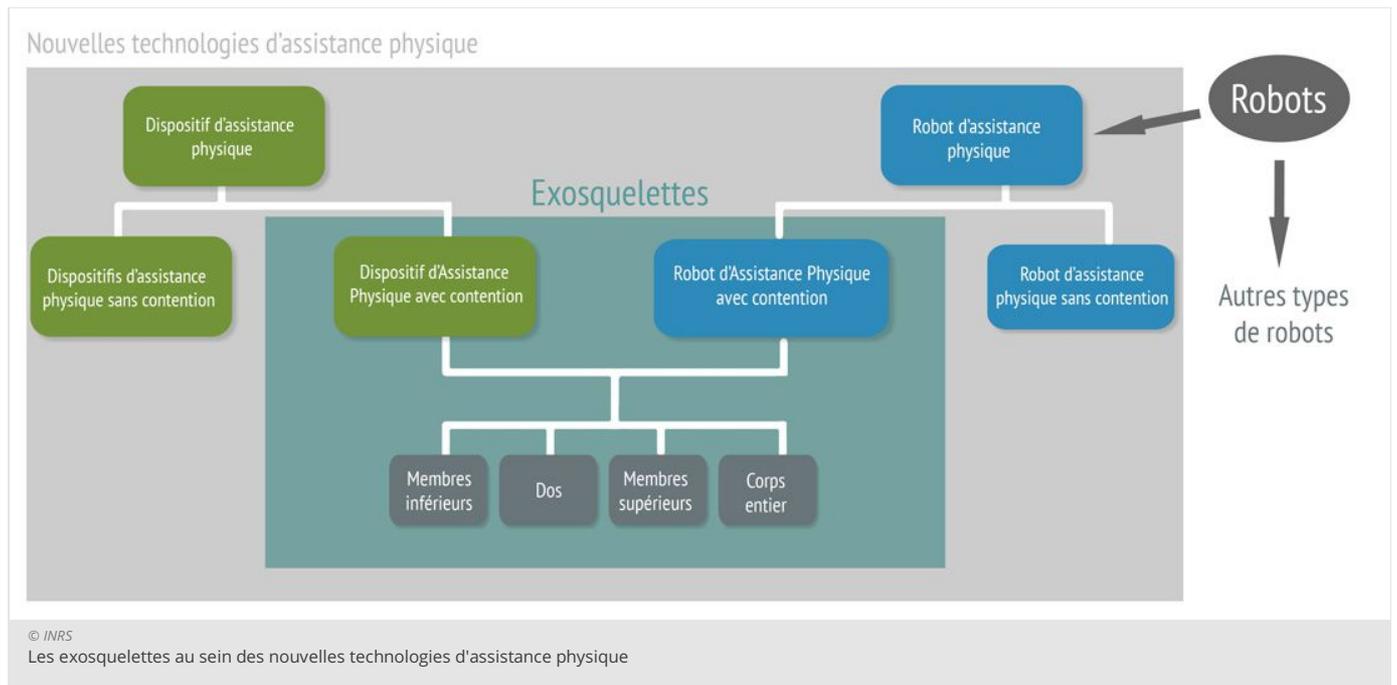


© Deledda
Robot d'assistance des membres supérieurs de type bras exosquelette

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

S'Informer



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. ¹

¹ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206295>



Exosquelette au travail : 6 points de vigilances

Stress, collision, inconfort, augmentation des sollicitations cardiovasculaires.... Les exosquelettes peuvent soulager les opérateurs mais leur usage n'est pas sans risque. Identifiez les principaux points de vigilance dans cette infographie. ³

³ <https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/infographie-exosquelettes/infographie-exosquelettes.pdf>

Agir en entreprise



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

Ce guide, destiné aux preventeurs, 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 musculo-squelettiques. ²

² <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206311>



Usage d'un exosquelette d'assistance des bras : bénéfiques et contraintes lors de tâches de maintenance

Article qui présente les avantages et limites de l'usage d'un exosquelette en fonction de la situation de travail. ⁴

⁴ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=NT%2062>



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. ⁵

⁵ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206315>



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

L'acceptabilité/acceptation est déterminée par 6 dimensions : conditions facilitantes, facilité d'utilisation, attentes de performance, influence sociale, aspects professionnels et affectifs. ⁷

⁷ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=TF%20274>



Exosquelettes au travail : étudier leur impact sur la santé des salariés

L'INRS étudie l'impact en santé et sécurité des exosquelettes sur les salariés et accompagne les entreprises dans leur réflexion quant à l'intégration de ces équipements. Jean Theurel, physiologiste ... ⁹

⁹ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=Anim-198>

Retours d'expérience



Acceptation des exosquelettes par les opérateurs : étude exploratoire

Cette étude donne des informations sur la qualité de l'interaction opérateur-exosquelette, identifie des points bloquants ou facilitateurs et permet d'envisager certains facteurs de risque. ⁶

⁶ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=TF%20264>



Exosquelettes au travail : comment s'y préparer ?

Cette vidéo dessinée a 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. ⁸

⁸ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=Anim-131>

VIDÉO



Rendez-vous de Travail & Sécurité - Les exosquelettes

Un plateau télévisuel présentant les avantages et limites des exosquelettes en entreprise. ¹⁰

¹⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=4g4nFF9Cpvk>

ACTES ET COMPTE-RENDU 06/2020 | CC 32



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

Compte-rendu de la journée technique organisée par l'INRS sur les exosquelettes et leur intérêt dans la prévention des TMS (Paris, France, 26 novembre 2019). ¹²

¹² <https://www.inrs.fr/media?refINRS=CC%2032>

Mis à jour le 23/05/2018

ARTICLE DE REVUE



Les exosquelettes

Un dossier du magazine Travail & Sécurité - N°819 - Novembre 2019 ¹¹

¹¹ <https://www.travail-et-securite.fr/ts/dossier/LES%20EXOSQUELETES.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 expérimentales¹³ tendent à démontrer que les exosquelettes peuvent s'avérer efficaces pour limiter les contraintes musculaires locales.

¹³ <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 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 musculosquelettiques (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

© 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.

RISQUE	DESCRIPTION
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 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 ¹⁴ , ce qui peut avoir des conséquences pour la santé des opérateurs. ¹⁴ https://www.inrs.fr/risques/activite-physique
TMS	Certains troubles musculosquelettiques (TMS) ¹⁵ 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. ¹⁵ https://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques Il est bien connu que la seule réduction de l'activité musculaire n'est pas suffisante pour prévenir la survenue de TMS ¹⁶ . ¹⁶ https://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques
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.

RISQUE	DESCRIPTION
Incidence sur l'expertise de l'opérateur	<p>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...).</p> <p>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.</p>

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. ¹⁷

¹⁷ <https://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication?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. ¹⁹

¹⁹ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206311>

08/2022



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. ²¹

²¹ <https://www.inrs.fr/risques/mecaniques>



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. ²³

²³ <https://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques>

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. ¹⁸

¹⁸ <https://www.inrs.fr/media?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. ²⁰

²⁰ <https://www.inrs.fr/media?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. ²²

²² <https://www.inrs.fr/risques/electriques>

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 approfondie²⁴ 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).

²⁴ <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**²⁵ 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.

²⁵ <https://www.inrs.fr/demarche/principes-generaux>

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. ²⁶

²⁶ <https://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication?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. ²⁸

²⁸ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206311>

08/2022



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. ³⁰

³⁰ <https://www.inrs.fr/risques/mecaniques>



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. ³²

³² <https://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques>

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. ²⁷

²⁷ <https://www.inrs.fr/media?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. ²⁹

²⁹ <https://www.inrs.fr/media?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. ³¹

³¹ <https://www.inrs.fr/risques/electriques>

Foire aux questions

Questions - Réponses sur les exosquelettes

Des réponses aux questions les plus fréquemment posées sur les exosquelettes

Acquisition d'un exosquelette

1. Combien coûte un exosquelette ?

L'éventail des prix des exosquelettes est assez large. Il dépend en grande partie des technologies utilisées pour leur conception. On trouve par exemple des exosquelettes textiles pour une centaine d'euros, alors que les technologies robotisées peuvent atteindre près de 50 000 euros. Les exosquelettes restent majoritairement des systèmes non robotisés. Leur prix n'excède généralement pas 5 000 euros.

2. Quel est le poids d'un exosquelette ?

Le poids d'un exosquelette dépend des technologies utilisées pour sa conception, de quelques centaines de grammes pour les modèles textiles à près d'une dizaine de kilogrammes pour les modèles mécanisés ou robotisés. Les concepteurs ont énormément travaillé sur ce point, et beaucoup proposent aujourd'hui des produits pesant moins de 5 kg.

3. Quelle est la durée de vie d'un exosquelette et quels sont les besoins de maintenance ?

Aucune donnée précise n'est disponible quant à la durée de vie des exosquelettes. Celle-ci est vraisemblablement dépendante des conditions d'usage (durée et fréquence d'utilisation, environnement d'usage...) et de la qualité des matériaux qui les composent.

Concernant la maintenance, seuls quelques concepteurs donnent des indications sur des éléments techniques à changer ou à surveiller particulièrement. L'entreprise doit donc mettre en place des modalités de maintenance liées aux recommandations des concepteurs mais aussi s'assurer que la fonction d'assistance de l'exosquelette persiste au cours du temps.

4. Combien d'exosquelettes sont actuellement disponibles sur le marché? L'offre évolue-t-elle ?

Oui, l'offre d'exosquelettes évolue très rapidement. En 2015, 2 à 3 modèles d'exosquelettes étaient disponibles. Aujourd'hui plus de 40 exosquelettes sont identifiés sur le marché.

Des discussions au sein de l'entreprise doivent être menées pour décoder et comprendre l'offre disponible. Les idées reçues (Voir [ED 6295](#)³³) que nous proposons sur les exosquelettes sont une aide pour formuler les bonnes questions et surtout obtenir des réponses précises.

³³ <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206295>

5. Existe-t-il des systèmes de location longue durée d'exosquelettes ?

Oui. Des sociétés spécialisées d'équipements de travail proposent aujourd'hui des modèles d'exosquelettes à la location. Des obligations réglementaires s'appliquent pour le loueur de matériel en ce qui concerne sa mise à disposition, et pour l'entreprise locataire en ce qui concerne l'utilisation de l'équipement par ses salariés (cf. [Location et prêt de matériels : quelles obligations et responsabilités en matière de sécurité ?](#)³⁴).

³⁴ <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2039>

Par ailleurs, il demeure indispensable de respecter une démarche d'acquisition fondée sur le besoin d'assistance physique propre aux tâches identifiées par l'entreprise (Voir [ED 6315](#)³⁵).

³⁵ <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>

6. Existe-t-il des aides accordées aux petites entreprises pour le financement d'exosquelettes ?

Il n'existe pas, à notre connaissance à l'heure actuelle, d'aide financière pour les petites entreprises qui souhaitent acquérir des exosquelettes. Cependant, les petites entreprises peuvent bénéficier d'une subvention (TMS Pros Diagnostic) pour les aider à financer un prestataire les accompagnant dans la réalisation d'une étude ergonomique et dans la mise en place d'un plan d'actions de prévention des TMS. La caractérisation du besoin d'assistance physique, préalable indispensable à l'acquisition d'un exosquelette, peut faire partie de la prestation subventionnée. Les entreprises intéressées sont invitées à se rapprocher du service prévention de leur Carsat/Cramif/CGSS pour connaître les conditions d'attribution de cette aide financière.

Statut des exosquelettes

7. Les exosquelettes sont-ils des équipements de protection individuelle ?

Non. Pour être certifié comme équipement de protection individuelle (EPI), il est nécessaire d'en démontrer l'efficacité contre un risque en termes de santé ou sécurité (ED6077). Pour l'heure, aucun fabricant, à notre connaissance, ne revendique le statut d'EPI pour les exosquelettes ou ne s'est engagé dans une démarche de certification en ce sens. Notons que dans ce cas précis, le principal objectif serait de réduire les risques de survenue de TMS. Or, pour l'heure, il n'existe pas, à notre connaissance, de preuve scientifique quant à l'efficacité de ces technologies pour réduire ces risques. Par ailleurs, il serait également nécessaire de statuer sur la manière d'évaluer la diminution du risque. L'élaboration de normes serait alors nécessaire afin de certifier ces technologies.

A ce jour, le cadre réglementaire concernant les exosquelettes destinés au travail n'est 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'évaluation des risques professionnels et le résultat de cette évaluation doit être retranscrit dans le document unique.

8. Les exosquelettes sont-ils des machines ?

Seuls les exosquelettes robotisés relèvent de la directive machine. En revanche, cette directive ne s'applique pas aux exosquelettes non-robotisés, conçus uniquement à partir d'éléments mécaniques sur la base d'élastiques ou de ressorts (2006/42/CE).

9. Des travaux de normalisation visant à encadrer la conception et l'utilisation d'exosquelettes sont-ils en cours ?

Des travaux en normalisation ont été initiés par l'AFNOR en 2015. La première étape a consisté à rédiger un accord (cf. AC Z 68-800) proposant des outils et des repères méthodologiques pour l'évaluation de l'interaction humain-exosquelette. La rédaction d'une norme a débuté en 2017 à l'initiative du groupe ergonomie (X35/A) de l'AFNOR. Ces travaux devraient déboucher en 2021, sur la première norme française visant à encadrer, la conception, l'évaluation et le déploiement des exosquelettes professionnels.

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 ?

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 **infographie**³⁶ présentant ces principaux points de vigilance est disponible sur le site internet de l'INRS.

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

11. Porter un exosquelette a-t-il des conséquences sur le rythme cardiaque ?

Oui. Cela peut être le cas lors de certaines tâches de maintenance en particulier, à cause du poids du système. Par exemple, une augmentation du coût cardiaque, de l'ordre de 15 % en moyenne, a été observée à l'occasion d'une étude récente portant sur l'usage d'un exosquelette d'assistance des bras lors d'une tâche de maintenance de caisse. Le poids de l'exosquelette était d'environ 9 kg (cf. Desbrosses et al., 2017, HST).

12. A-t-on suffisamment de recul sur les effets à long terme du port d'un exosquelette ?

Non. Ces technologies sont relativement récentes. Les premiers exemples d'intégration d'exosquelettes à usage professionnel en France datent de 2015. De plus, si beaucoup d'entreprises testent des exosquelettes, très peu d'entre elles les ont réellement adoptés dans leur fonctionnement quotidien. Pour mieux comprendre les effets à long terme, il est nécessaire de mettre en place un suivi des utilisateurs, en y associant le service de santé au travail. Le développement d'études épidémiologiques longitudinales contribuera aussi à évaluer les effets à long terme.

13. 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.

14. 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.

Performance

15. Le recours aux exosquelettes ne risque-t-il pas d'entraîner une hausse de la durée d'activité ?

Il est vrai que le ressenti d'une diminution des efforts ou de la fatigue musculaire pourrait amener les opérateurs et les employeurs à intensifier l'activité de travail en accroissant la productivité horaire ou en réduisant les temps de pause ou de récupération par exemple. Il s'agit d'un élément qui doit être pris en compte dans le suivi des opérateurs équipés d'exosquelette. L'employeur a dans ce cas la responsabilité de définir et de faire connaître clairement les objectifs visés par l'acquisition de l'exosquelette, tout en respectant son obligation de résultats en matière de prévention des risques professionnels. L'usage de l'exosquelette doit s'opérer d'abord au bénéfice de la santé du salarié et pas dans la seule perspective d'une augmentation de la productivité.

16. Dans l'état actuel des connaissances, quels sont les gestes pour lesquels un exosquelette apporte le plus de bénéfices ?

À ce jour, les exosquelettes ont majoritairement été conçus pour soulager les efforts inhérents à l'élévation des bras et au redressement du corps après une flexion du buste. Les bénéfices apportés par ces technologies en termes de réduction des efforts musculaires ont été démontrés uniquement lors de ces deux types d'effort, sous certaines conditions.

Les apports dépendent directement de l'adéquation entre les caractéristiques techniques de l'exosquelette et les caractéristiques de la tâche (posture, poids des charges manipulées...). L'évaluation de l'interaction homme-exosquelette-situation de travail est donc indispensable (Voir [ED 6315](#)³⁷).

³⁷ <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>

Port de charges

17. Avec le recours aux exosquelettes, peut-on envisager d'augmenter le poids des charges manipulées ?

Non. Le recours à un exosquelette peut apporter localement (au niveau du dos, des épaules, des coudes, des poignets, etc.) un supplément de force lors d'un mouvement spécifique, grâce à un moteur, un élastique ou un ressort. En revanche, dans la grande majorité des cas, les contraintes sont nécessairement transmises à une autre partie du corps de l'utilisateur (les jambes par exemple). Les efforts restent alors intégralement supportés par le salarié, seule leur répartition est modifiée. Il convient dans ce cas de respecter les normes en vigueur (NF X35-109 notamment) concernant les limites de charge et de contraintes physiques pour les tâches de manutention manuelle.

18. 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 6161](#)³⁸).

³⁸ <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206161>

Environnement et situations de travail

19. 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.

20. L'exosquelette est-il compatible avec un travail en zone ATEX (atmosphère explosive) ?

L'intégration d'un exosquelette doit prendre en compte l'évaluation de l'environnement de travail. Comme tout équipement (électrique ou non électrique) pouvant être utilisé en zone ATEX (atmosphère explosive), l'exosquelette doit faire l'objet d'une analyse des risques spécifique. Il s'agit de s'assurer qu'il ne constitue pas une source d'inflammation potentielle de l'atmosphère explosive dans laquelle il va être utilisé. Deux cas de figure peuvent se présenter :

- L'exosquelette est dit « passif », c'est-à-dire qu'il ne possède pas d'élément motorisé. Il ne présente a priori pas de source d'inflammation d'origine électrique. Cependant les sources d'inflammation d'origine non électrique (électrostatique, thermique, mécanique par friction/choc...) doivent être évaluées pour garantir leur absence. Sans cette garantie, l'exosquelette ne peut être utilisé en zone ATEX, à moins d'être certifié conforme à la Directive 2014/34/UE du 26 février 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en zone ATEX (Pour en savoir plus : <https://www.inrs.fr/risques/explosion/zonage-marquage-materiel-atex.html>).
- L'exosquelette est dit « actif », c'est-à-dire qu'il est robotisé. Dans ce cas, il doit être certifié en tant qu'appareil destiné à être utilisé en zone ATEX (voir la puce précédente). Cette certification porte sur l'absence de sources d'inflammation d'origine électrique et non électrique.

De plus, que l'exosquelette soit certifié ATEX ou non, il faut prendre en compte les phénomènes de génération de charges électrostatiques qu'il peut provoquer notamment par frottement avec la personne qui le porte. Cela peut accroître la charge électrostatique de l'opérateur augmentant par conséquent le risque de formation d'une étincelle. Les mesures de dissipation de charges prises initialement dans ce type d'environnement doivent donc être réévaluées et pérennisées (sol et vêtements de travail dissipateurs de charges, chaussures antistatiques...). Ces éléments doivent être intégrés au cahier des charges pour l'acquisition ou la conception d'un exosquelette.

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 ?

Sur cette question, il appartient au service de santé au travail, qui connaît à la fois l'état de santé du salarié et la situation de travail dans laquelle il évolue de se prononcer. Il s'appuiera sur l'avis des professionnels de santé prenant en charge le salarié et sur les compétences de l'équipe pluridisciplinaire de santé au travail pour évaluer les intérêts et limites de l'usage de l'exosquelette. Cette solution est à envisager parmi l'ensemble des adaptations possibles de l'environnement de travail favorisant le retour ou maintien au travail.

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 ?

Non, les exosquelettes disponibles sur le marché ont pour la majorité été conçus pour des applications dans les secteurs industriels, de la logistique ou du BTP. Seul le fabricant japonais cyberdyne revendique des applications pour son exosquelette robotisé dans le secteur de l'aide et du soin à la personne. Pour l'heure, aucune étude, ni retour d'expérience en situation de travail n'a été documentée pour ce secteur d'activité.

Comme pour tout secteur d'activité, il convient donc d'engager une démarche de réflexion structurée avant tout projet d'acquisition. La brochure publiée par l'INRS, **ED 6315, « Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise »**³⁹, peut servir de base méthodologique, en support des réflexions menées lors d'une démarche de prévention. De plus, pour être utilisé et retenu dans le secteur sanitaire et social, l'exosquelette devra être accepté aussi bien par l'aidant que par la personne aidée et répondre aux contraintes nombreuses en matière d'hygiène. Les réflexions sur son intégration ne peuvent donc s'affranchir d'une évaluation globale des risques.

³⁹ <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>

23. A-t-on des retours d'expérience sur l'intégration d'exosquelette dans le secteur du BTP ?

Oui, l'INRS a notamment mené une étude dans une entreprise spécialisée dans les métiers d'arts dans le bâtiment. Celle-ci a permis de recueillir des informations quant à l'intégration réussie d'un exosquelette dans une tâche de ponçage et d'embellissement de plafonds en plâtre. L'exosquelette était destiné à des experts réalisant des tâches impliquant une charge physique élevée, liée à l'usage de ponceuses énergisées portées mains au-dessus de la tête sur des périodes prolongées. Avant d'être intégré en situation réelle de travail, l'exosquelette a subi plusieurs adaptations, suite aux discussions menées entre les opérateurs et leurs responsables. Les opérateurs ont indiqué exercer moins de force sur l'outil, adopter des postures moins sollicitantes et constater la disparition de certaines douleurs. Son utilisation a entraîné des évolutions dans les stratégies des opérateurs comme dans l'organisation du travail. Cet exemple repose sur une activité très spécifique. L'adéquation entre les besoins d'assistance liés à la tâche de travail et les performances d'assistance fournies par l'exosquelette doivent être évalués pour chaque situation de travail.

24. Du point de vue de l'hygiène alimentaire, les exosquelettes sont-ils adaptés au secteur de l'agro-alimentaire ?

Les exosquelettes sont concernés par les procédures de nettoyage et de désinfection propres à chaque entreprise, comme tout autre équipement de travail (cf procédures HACCP (Hazard Analysis Control Critical Points)). Ces procédures devront tenir compte de la notice d'instruction (ou des préconisations) du fabricant.

Lors d'un projet d'acquisition de l'exosquelette, il est impératif de prendre en compte les besoins de nettoyage et de le faire apparaître dans le cahier des charges à destination du concepteur ou du fournisseur afin de parvenir à la meilleure adéquation possible entre l'exosquelette retenu et les exigences liées à l'activité.

Accompagnement et formation des salariés

25. Comment favoriser l'acceptation des exosquelettes ?

Favoriser l'acceptation d'un exosquelette repose sur la recherche d'un équilibre entre différents facteurs. Ceux-ci incluent en particulier les conditions du déploiement et du suivi de l'exosquelette, sa facilité d'utilisation, ses performances en termes de production et de santé et sécurité, la façon dont l'identité professionnelle et l'affect de l'utilisateur sont impactés (anxiété, plaisir ou non à travailler avec l'exosquelette...), et les retours de la direction, de l'encadrement et des collègues envers l'utilisateur. Les réflexions quant à l'acceptation de l'exosquelette doivent donc être menées le plus en amont possible du projet d'intégration, et inclure l'ensemble des personnes concernées. Des pistes concrètes sont proposées dans la brochure **ED 6315**⁴⁰ pour s'assurer que le choix de l'exosquelette, son déploiement et son suivi se fassent de façon appropriée.

⁴⁰ <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>

26. Combien de temps faut-il pour s'adapter à l'utilisation d'un exosquelette ?

Il n'existe pas d'indications précises sur le temps nécessaire à la maîtrise de l'usage d'un exosquelette. Il dépend de nombreux facteurs liés aux caractéristiques de l'exosquelette, de la tâche et de l'utilisateur, dans un environnement de travail donné. L'employeur doit élaborer un programme de familiarisation hors puis en situation réelle de travail pour que l'opérateur construise de nouveaux repères pour son activité avec un exosquelette. Il sera nécessaire de sélectionner des critères d'évaluation qui permettront de valider la maîtrise en situation de production avant d'intégrer cette solution définitivement (Voir **ED 6315**⁴¹).

⁴¹ <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>

27. Une formation spécifique sur les accidents impliquant un exosquelette est-elle nécessaire pour les Sauveteurs secouristes du travail ? L'INRS propose ou proposera-t-il des formations sur l'utilisation des exosquelettes ?

Aujourd'hui, aucune formation spécifique à l'usage des exosquelettes professionnels n'est référencée. Elle ne se justifie pas actuellement compte tenu de la faible utilisation en routine d'exosquelettes en entreprise et de l'absence de retours d'information sur l'accidentalité liée à l'usage des exosquelettes.

Organisation

28. L'intégration d'un exosquelette peut-il avoir des conséquences sur les collectifs de travail ?

Oui. Par exemple, l'intégration de l'exosquelette peut entraîner une redistribution des tâches au sein de l'équipe de travail, une modification des cycles de travail, une réorganisation des espaces de travail. Ces changements peuvent conduire les membres de l'équipe et leur hiérarchie à faire évoluer leurs stratégies de travail et doivent être systématiquement abordés dans la phase d'intégration de l'exosquelette.

29. 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.

Limites

30. Les exosquelettes peuvent-ils être utilisés pour toutes les tâches induisant des efforts musculaires et/ou des postures contraignantes ?

Non, les exosquelettes offrent des performances d'assistance très spécifiques. L'intégration de ce type de technologie doit répondre à un besoin d'assistance physique identifié et clairement caractérisé (posture adoptée, poids manipulés, groupes musculaires sollicités...) et tenir compte de l'activité globale dans son environnement spécifique. Pour l'heure, ces technologies ne sont pas donc utilisables pour des tâches où les contraintes physiques sont de nature très variable.

31. Les exosquelettes sont-ils pertinents pour des tâches très répétitives avec des cadences de production soutenues ?

Non. Les exosquelettes ont été conçus pour réduire les efforts musculaires excessifs ou limiter les sollicitations physiques liées au maintien prolongé de postures contraignantes. La répétitivité des gestes est inhérente à l'organisation du travail (cadence de production, par exemple). Les exosquelettes ne peuvent donc pas être considérés comme une réponse appropriée à ce facteur de risque. D'autres solutions techniques telles que l'automatisation de certaines tâches sont à rechercher dans ces conditions.

32. Un préhenseur à bras articulé n'est-il pas plus adapté qu'un exosquelette pour les opérations de manutention ?

Probablement, dans le cas où l'opérateur doit manipuler des charges très lourdes, dans une zone fixe et d'envergure limitée. L'exosquelette permet la

manutention de charges plus légères (dans le respect des normes ergonomiques en vigueur (NF X 35-109 notamment) et offre davantage de mobilité à l'opérateur.

Chacun de ces équipements présente des intérêts et des limites au regard des besoins d'assistance physique, et de l'environnement de travail. C'est l'analyse approfondie de la situation de travail qui va permettre de s'orienter vers le dispositif le plus adapté.

Evaluation des risques et prévention

33. 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.

L'exosquelette peut être envisagé qu'après avoir étudié toutes les pistes de prévention des TMS, dans le respect des principes généraux de prévention. Il convient de s'interroger en amont sur les mesures de prévention collectives à mettre en œuvre : est-il possible de supprimer le risque à la source ? Si le risque ne peut pas être supprimé, peut-on le réduire par les moyens de prévention collective (allègement de la charge physique par des mesures telles que la reconception de la situation de travail, des changements organisationnels, des aménagements techniques, l'acquisition de nouvelles compétences...) ? Les technologies d'assistance physique pourront être abordées ensuite si tant est qu'elles puissent répondre au besoin d'assistance identifié.

34. Comment doit être réalisé le suivi d'un opérateur utilisant un exosquelette ? Par qui ?

Le suivi doit être organisé collectivement au sein de l'entreprise, en associant a minima le service de santé au travail et les représentants du personnel. Les effets à court, moyen et long terme doivent être étudiés (gênes, douleurs, dysfonctionnement...). Nous recommandons de constituer un groupe de travail avant même que l'exosquelette ne soit physiquement présent dans l'entreprise et ce, quelle que soit la taille de l'entreprise (ED 6315⁴², INRS). Celui-ci mettra notamment en place un panel d'indicateurs de santé, d'acceptation, de confort pour l'utilisateur mais aussi de « vie » des exosquelettes en termes de maintenance et d'usage (fréquence et durée, freins à l'utilisation, etc). Les petites entreprises pourront solliciter leur service de santé au travail, le préventeur de la Carsat/Cramif/CGS ou leur fédération professionnelle pour mieux comprendre les impacts de l'usage d'un exosquelette.

⁴² <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>

Pour en savoir plus

VIDÉO



Exosquelettes : les rendez-vous de Travail et Sécurité, table-ronde en ligne du 19 novembre 2019

Mis à jour le 08/08/2023

Publications, outils, liens...

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

Brochures et notes scientifiques

BROCHURE 05/2018 | ED 6295

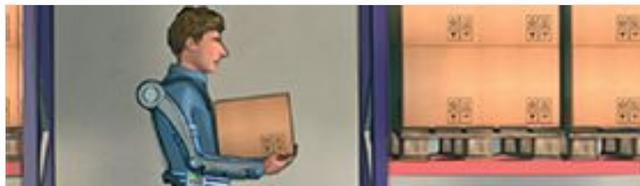


10 idées reçues sur les exosquelettes

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. ⁴³

⁴³ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206295>

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 musculo-squelettiques. ⁴⁴

⁴⁴ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206311>

BROCHURE 08/2021 | ED 6416



Repères méthodologiques pour la sélection d'un exosquelette professionnel

Cette brochure vise à accompagner de manière opérationnelle les différents acteurs de l'entreprise, dans une démarche d'acquisition ou d'intégration d'exosquelettes. ⁴⁵

⁴⁵ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206416>

BROCHURE 12/2022 | 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. ⁴⁶

⁴⁶ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=ED%206315>

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. ⁴⁷

⁴⁷ <https://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication?refINRS=NOETUDE/P2017-120/NS354>

BROCHURE 11/2016 | 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. ⁴⁸

⁴⁸ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=VEP%201>

Articles

ARTICLE DE REVUE 06/2020 | CC 32



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

Compte-rendu de la journée technique organisée par l'INRS sur les exosquelettes et leur intérêt dans la prévention des TMS (Paris, France, 26 novembre 2019). ⁴⁹

⁴⁹ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=CC%2032>

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. ⁵⁰

⁵⁰ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=CC%205>

INFOGRAPHIE



Exosquelette au travail : 6 points de vigilances

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

Réponse en images. ⁵¹

⁵¹ <https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/infographie-exosquelettes/infographie-exosquelettes.pdf>

VIDÉO



Rendez-vous de Travail & Sécurité - Les exosquelettes

Plateau télévisuel, les Rendez-vous de Travail & Sécurité sur les exosquelettes. Deux experts INRS, Jean Theurel et Jean-Jacques Atain-Kouadio, et deux témoins d'entreprises débattent des avantages et limites des exosquelettes en entreprise. ⁵³

⁵³ <https://www.youtube.com/watch?v=4g4nFF9Cpvk>

Liens utiles

Accord AFNOR AC-Z 68-800 ⁵⁵

⁵⁵ <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

VIDÉO DURÉE : 01MIN 40S



Exosquelettes au travail : comment s'y préparer ?

Cette vidéo dessinée a 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. ⁵²

⁵² <https://www.inrs.fr/media?refINRS=Anim-131>

VIDÉO DURÉE : 02MIN 47S



Exosquelettes au travail : étudier leur impact sur la santé des salariés

L'INRS étudie l'impact en santé et sécurité des exosquelettes sur les salariés et accompagne les entreprises dans leur réflexion quant à l'intégration de ces équipements. Jean Theurel, physiologiste ... ⁵⁴

⁵⁴ <https://www.inrs.fr/media?refINRS=Anim-198>