

Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise

Guide pour les préventeurs

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de prévention et de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés. . .

Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Les caisses assurent aussi la diffusion des publications éditées par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 € (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2022

Édition : Katia Bourdelet

Conception graphique (couverture) : Julie&Gilles

Conception graphique et mise en pages (intérieur) : Patricia Fichou

Photos : © 123rf



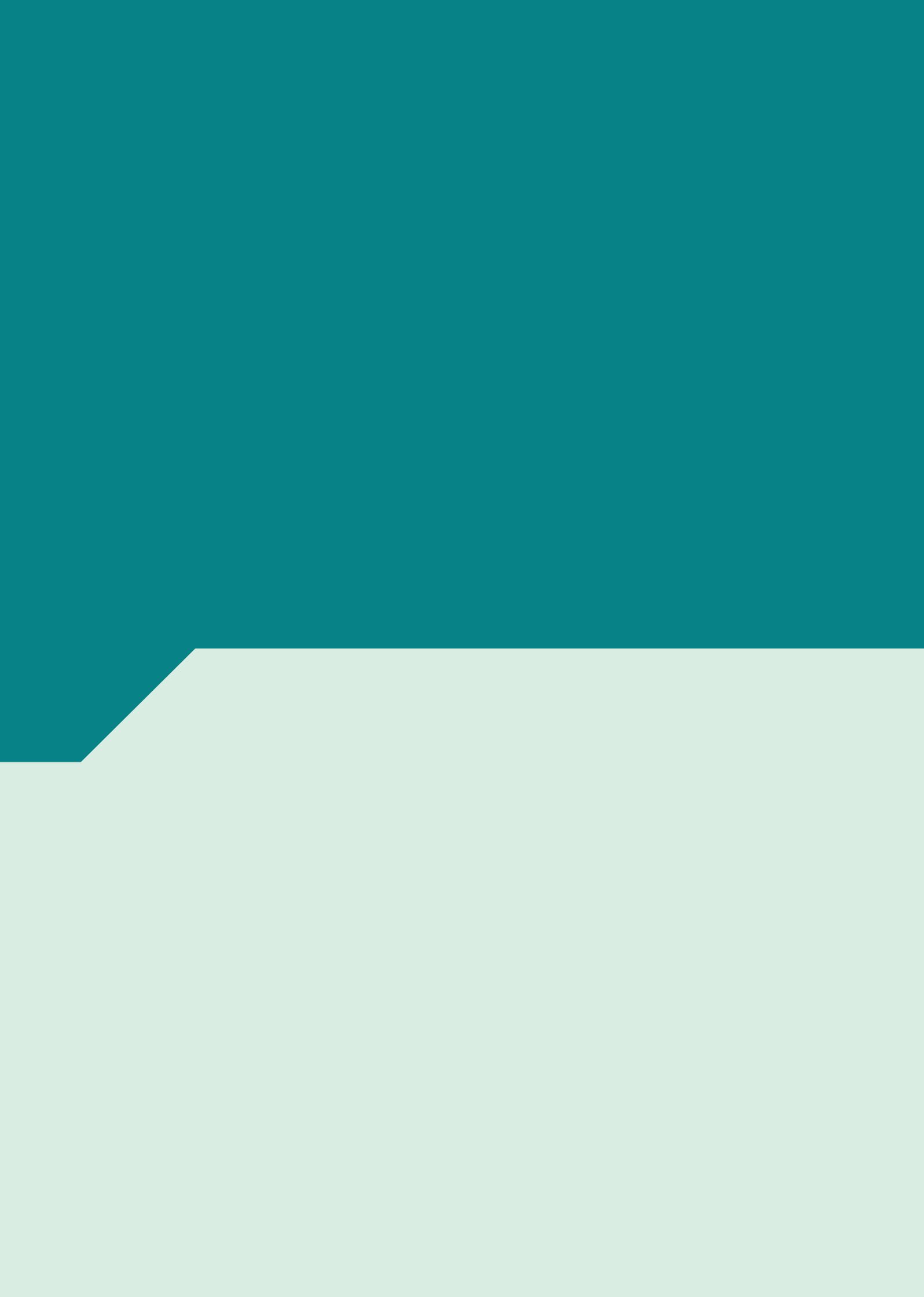
ED 6315 |
Novembre 2022

Démarche de prévention
Équipements | Lieux de travail

Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise

Guide pour les préventeurs

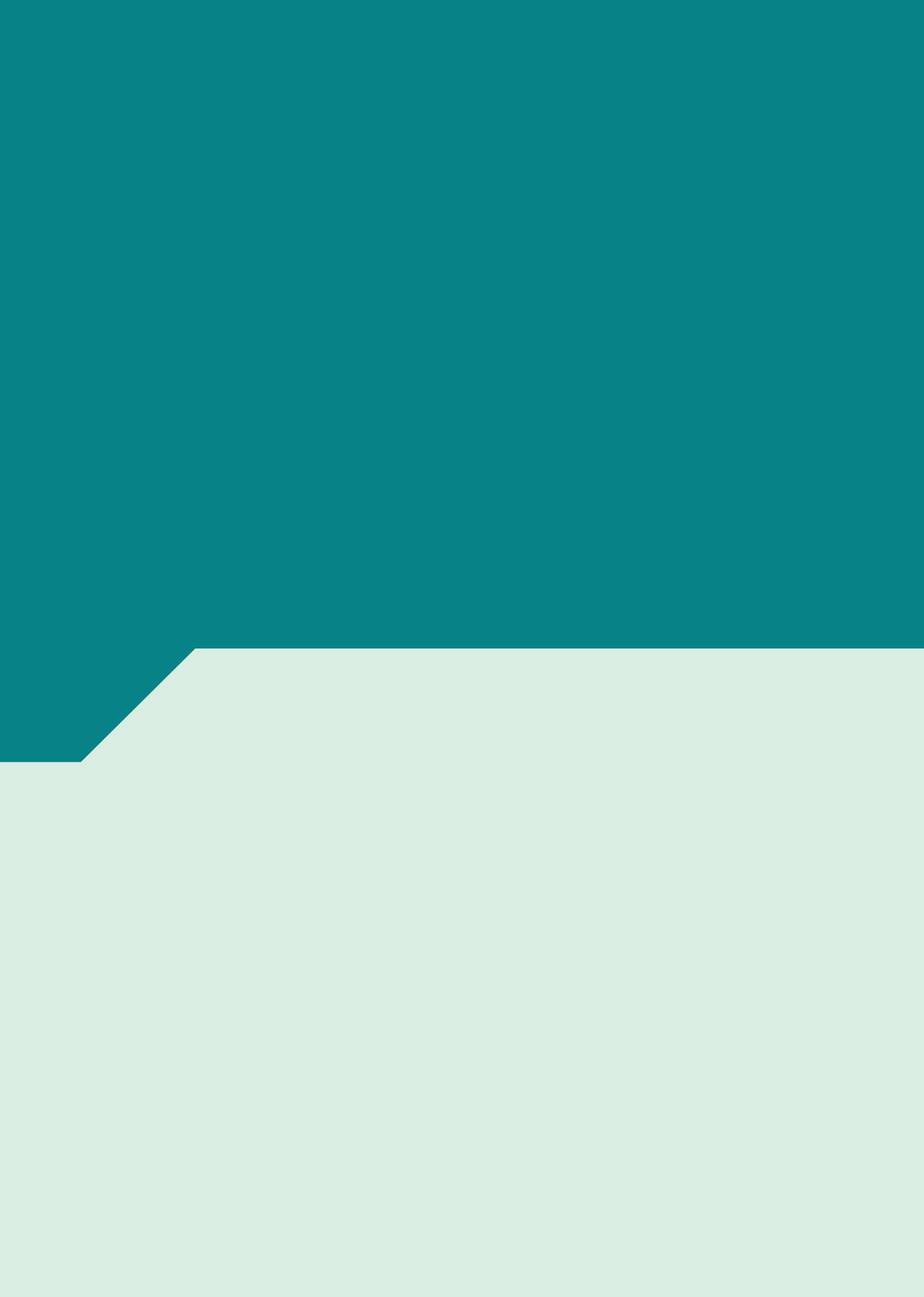
Brochure INRS élaborée par J.-J. Atain Kouadio,
L. Kerangueven et E. Turpin-Legendre





Sommaire

Introduction	5
Objectifs du guide	5
Modalités de mise en œuvre	6
La méthode d'action en trois phases	7
Phase 1 ➤ Aide à la décision	8
Phase 2 ➤ Évaluation de l'interaction homme – exosquelette	16
Phase 3 ➤ Retour d'expérience	25
Conclusion	26
Bibliographie	26
Supports d'application	27
A – Fiche-tâche	27
B – Fiche de synthèse	28
C – Identification des zones d'assistance, de transfert et d'inconfort	29
Annexe – Aide au choix des outils d'évaluation en fonction de leurs caractéristiques	30



Introduction

- ▶▶▶ De nombreuses entreprises sont aujourd'hui tentées par l'acquisition d'exosquelettes. Leur objectif en matière de prévention des risques professionnels est de compenser les efforts des opérateurs. Si les premières études expérimentales tendent à démontrer que les exosquelettes peuvent s'avérer efficaces pour limiter les contraintes musculaires locales, leur usage en situation réelle de travail soulève néanmoins de nombreuses questions relatives à la santé et à la sécurité des opérateurs (voir ED 6311 [1]).

Aussi, pour s'assurer que l'exosquelette est adapté à l'opérateur et aux spécificités de la tâche pour laquelle il est envisagé, il est nécessaire de s'appuyer sur une démarche allant de la définition du besoin d'assistance physique jusqu'à son intégration en situation réelle. Le rôle des préventeurs y est central. Ils doivent prendre en compte ce nouveau contexte, impliquant une interaction entre l'opérateur et son exosquelette, et avoir épuisé en amont les pistes de prévention collectives visant à adapter l'environnement de travail pour préserver les salariés des risques professionnels.

Ce guide pratique propose une méthode pour aider les préventeurs à accompagner efficacement l'entreprise dans sa démarche d'acquisition et d'intégration d'un exosquelette.

Objectifs du guide

- ▶▶▶ **Ce guide propose une méthode en trois phases dont l'objectif est triple :**
 - aider les préventeurs à accompagner l'entreprise dans sa prise de décision d'acquisition d'un exosquelette,
 - procéder à toutes les étapes d'évaluation nécessaires à l'identification des apports et des limites que pourrait générer l'intégration d'un exosquelette,
 - créer les conditions optimales pour une intégration réussie de l'exosquelette.

Modalités de mise en œuvre

▶▶▶ La mise en œuvre de la méthode repose sur la constitution d'un groupe de travail réunissant les acteurs de l'entreprise concernés par l'utilisation potentielle d'exosquelettes (direction, production, instances représentatives du personnel, service de prévention et de santé au travail, préventeurs, opérateurs...). Ce groupe, dont la composition est à adapter au contexte de chaque entreprise, pourra s'appuyer sur le service de prévention et de santé au travail et le service de prévention des risques professionnels des Carsat/Cramif/CGSS.

Ses missions consistent à :

- s'assurer que les principes généraux de prévention sont respectés avant de considérer que l'exosquelette est une réponse potentiellement adaptée aux problèmes de charge physique identifiés (à défaut d'autres solutions),
- élaborer un cahier des charges intégrant la santé et la sécurité des utilisateurs, les exigences techniques du futur exosquelette et les usages attendus,
- s'assurer que l'usage d'un exosquelette répond effectivement aux besoins identifiés,
- garantir les conditions de réussite de l'intégration de l'exosquelette en situation réelle de travail,
- évaluer, *a priori*, puis en situation réelle de travail, les risques liés à l'usage de l'exosquelette,
- répéter, autant que de besoin, cette évaluation en fonction des retours d'expérience et de l'évolution des conditions de travail.

Par ailleurs, l'information régulière faite aux opérateurs et aux managers est primordiale pour permettre la bonne compréhension et l'adhésion des futurs utilisateurs à la démarche d'intégration. Une communication régulière au sein de l'entreprise (journal interne, affiches, courtes communications orales...) doit également être prévue.

À terme, lorsque l'intégration de ces exosquelettes est finalisée, des évaluations doivent être menées dans le cadre habituel de la démarche d'évaluation des risques professionnels de l'entreprise. Le groupe de travail peut alors être dissous.

La méthode d'action en trois phases

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

PHASE 1

Aide à la décision

1.1 Étape 1

Analyse de la charge physique de travail dans l'entreprise et recherche de pistes de prévention

Avant tout projet d'acquisition d'exosquelettes et autres nouvelles technologies d'assistance physique, il est nécessaire de mener une analyse de la charge physique de travail dans l'entreprise.

Cette analyse s'inscrit dans une démarche de prévention visant à réduire les contraintes liées à l'activité physique. Il s'agit notamment d'éliminer à la fois les contraintes physiques globales fortes, même brèves, et les contraintes physiques locales faibles prolongées ou répétitives. **La méthode d'analyse de la charge physique de travail peut être utilisée dans ce cadre** (voir ED 6161 [2]). Elle repose sur différentes étapes incontournables.

Elle débute par une **phase de repérage du risque**. Chaque situation de travail est en effet composée de tâches spécifiques qui peuvent être à l'origine de contraintes excessives qu'il convient de repérer.

Pour cela, le groupe de travail peut s'appuyer sur les données disponibles dans l'entreprise, permettant de recueillir les informations relatives à la charge physique de travail :

- le document unique d'évaluation des risques,
- les plaintes des salariés,
- les conclusions d'un diagnostic réalisé en interne ou avec l'appui d'un acteur extérieur,

- des indicateurs de santé au travail (recensement des accidents du travail, maladies professionnelles, postes avec restriction d'aptitude...) et de gestion du personnel (absentéisme récurrent, recours fréquent à l'intérim, turn-over significatif...) peuvent également être interrogés lors de cette première étape,
- etc.

Cette méthode se poursuit par une **analyse approfondie de la charge physique** qui s'appuie sur une approche globale visant à prendre en compte l'ensemble des facteurs pouvant conditionner les contraintes physiques, tels que :

- les efforts physiques : poids déplacés, actions de tirer-pousser de mobiles, distances de transport, facilité de prise...,
- le dimensionnement de la situation de travail : postures et mouvements contraignants, possibilités de réglages existants des équipements de travail, accès et circulation...,
- les contraintes temporelles : fréquence de la tâche, durée d'exposition, périodes de récupération...,
- les facteurs environnementaux : température, bruit, éclairage, vibration, produits toxiques, qualité des sols, dénivelés, équipements de protection individuelle...,
- les caractéristiques de l'organisation du travail : horaires irréguliers, formation des salariés aux facteurs de risque et aux moyens techniques et humains, utilisation des aides techniques, possibilité de modifier la façon de faire son travail...

Sur les bases de cette analyse, se construit **la recherche de pistes de prévention** visant à la transformation des situations de travail. Celles-ci doivent s'appuyer sur les spécificités de l'entreprise et tenir compte de dimensions organisationnelles, techniques et humaines, dans le respect des neuf principes généraux définis par l'article L. 4121-2 du Code du travail (voir page suivante).

Ce n'est qu'une fois que le groupe de travail a envisagé l'ensemble des pistes de prévention agissant sur les facteurs de risque à l'origine d'une charge physique excessive que pourront être identifiées les tâches nécessitant une assistance physique plus spécifique.

Les 9 principes généraux de prévention

- 1 Éviter les risques, c'est supprimer le danger ou l'exposition au danger.
- 2 Évaluer les risques, c'est apprécier l'exposition au danger et l'importance du risque afin de prioriser les actions de prévention à mener.
- 3 Combattre les risques à la source, c'est intégrer la prévention le plus en amont possible, notamment dès la conception des lieux de travail, des équipements ou des modes opératoires.
- 4 Adapter le travail à l'homme, en tenant compte des différences interindividuelles, dans le but de réduire les effets du travail sur la santé.
- 5 Tenir compte de l'évolution de la technique, c'est adapter la prévention aux évolutions techniques et organisationnelles.
- 6 Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins, c'est éviter l'utilisation de procédés ou de produits dangereux lorsqu'un même résultat peut être obtenu avec une méthode présentant des dangers moindres.
- 7 Planifier la prévention en intégrant technique, organisation et conditions de travail, relations sociales et environnement.
- 8 Donner la priorité aux mesures de protection collective et n'utiliser les équipements de protection individuelle qu'en complément des protections collectives si elles se révèlent insuffisantes.
- 9 Donner les instructions appropriées aux salariés, c'est former et informer les salariés afin qu'ils connaissent les risques et les mesures de prévention.

Ainsi, avant d'envisager l'usage d'un exosquelette comme solution de prévention, il est indispensable de s'interroger sur les mesures de prévention collectives à mettre en œuvre à partir des questions suivantes :

- Est-il possible de supprimer le risque à la source ?
- Si le risque ne peut pas être supprimé, peut-on le réduire par des moyens de prévention collective (allègement de la charge physique par des mesures telles que la re-conception de la situation de travail, des changements organisationnels, des aménagements techniques, l'acquisition de nouvelles compétences...)?
- Les technologies d'assistance physique, qu'elles soient robotisées ou non, peuvent-elles répondre au besoin d'assistance identifié ?

- Quelles sont les valeurs ajoutées des exosquelettes parmi les technologies d'assistance physique disponibles ?
- Les exosquelettes peuvent-ils convenir comme moyen de prévention individuelle ?

À la fin de cette étape, les tâches nécessitant une assistance physique spécifique ont été identifiées. Le groupe de travail décide de celles pour lesquelles l'usage d'un exosquelette pourrait être envisagé. Ces tâches doivent être décrites de façon détaillée dans l'étape suivante.

1.2 Étape 2

Description détaillée des tâches nécessitant une assistance physique spécifique

Si, *in fine*, le choix de s'orienter vers l'acquisition d'un dispositif d'assistance physique tel qu'un exosquelette est établi, cela nécessite en amont de définir précisément le besoin de l'entreprise en tenant compte des spécificités de la tâche et des contraintes localisées qu'elle génère, des caractéristiques des futurs utilisateurs et du contexte organisationnel.

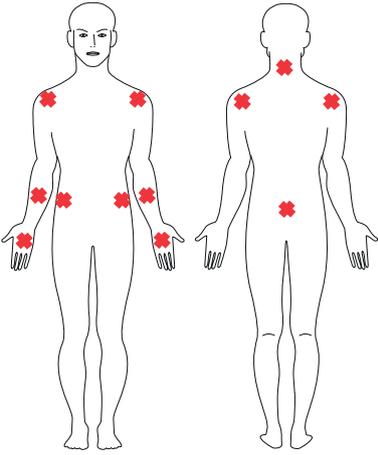
En effet, les exosquelettes apportent une assistance très spécifique et ne peuvent pas prétendre répondre de manière générique aux contraintes de toutes les situations de travail et de toutes les tâches sous-jacentes. Cette étape permet également de bien identifier les facteurs de risque potentiellement pris en charge par l'usage d'un exosquelette.

Une fiche-tâche spécifique permet de procéder à une description de chacune des tâches présentant une charge physique élevée, pour lesquelles une solution de prévention primaire n'a pas été identifiée. Ainsi, seront définis précisément les besoins en matière d'assistance physique spécifique pour choisir l'exosquelette le plus adapté à son futur contexte d'utilisation (caractéristiques physiques, environnement, organisation du travail).

Un exemple de fiche-tâche renseignée pour une tâche de ponçage de plafond est présenté page suivante (un support d'application de fiche-tâche vierge est proposé en fin de document).

À l'issue de cette étape, les caractéristiques spécifiques de la tâche sélectionnée sont prises en compte pour définir les critères de choix d'un exosquelette adapté.

Exemple de fiche-tâche pour l'identification des besoins d'assistance physique spécifiques

Fiche-tâche : Ponçage de plafond		
Description détaillée de la tâche	L'opérateur ponce des plafonds à l'aide d'une ponceuse avec les bras au-dessus de la tête. Cette activité est réalisée de manière ponctuelle en fonction des chantiers et pour des durées limitées.	
Identification des zones à soulager	Localisation des plaintes (douleurs, gênes, engourdissement) ▶ situer sur les schémas vue de face et de dos leur localisation	
	AT/MP	Pas d'AT/MP
Description des caractéristiques physiques (efforts, postures...)	Manutention manuelle/Port de charges	Port à 2 mains et manipulation d'une ponceuse de 3 kg non suspendue
	Postures (dynamiques, statiques prolongées...)	L'opérateur ponce entre 20 et 25 m ² par jour en fonction de la dureté des plafonds. Cette activité combine des postures statiques prolongées bras au-dessus des épaules et dynamiques lors des déplacements au sol.
	Utilisation d'outils ou d'équipements	Ponceuse électrique
Description des caractéristiques de l'environnement	Configuration de l'espace de travail (dimensionnement, circulation...)	L'opérateur se déplace sur une plateforme de mise à hauteur équivalente à la superficie à poncer.
	Ambiances physiques de travail (température, humidité...)	Température 15 °C, poussières...
	Sol (qualité des sols, dénivelés...)	Plateforme de mise à hauteur avec un sol en bon état
	Équipements de protection (individuels et collectifs)	Casque, masque individuel de protection respiratoire, gants...
Description de l'organisation du travail	Travail individuel ou en équipe	Travail individuel
	Possibilités de pauses	Besoin d'une pause de 10 minutes toutes les heures

1.3 Étape 3

Validation collective des caractéristiques de l'exosquelette

L'objectif de cette troisième étape est de fournir des critères objectifs à intégrer dans le cahier des charges afin de parvenir à la meilleure adéquation possible entre la technologie d'assistance physique retenue et l'activité réalisée par les futurs utilisateurs. Le choix pourra se porter sur un exosquelette robotisé ou non. En fonction de la réflexion menée à cette étape, il pourra être envisagé de s'orienter vers le choix d'un dispositif « clé en main » disponible sur le marché, vers l'adaptation d'un dispositif existant ou encore vers la conception d'un dispositif sur mesure.

Pour cela, le groupe de travail cherche à déterminer les fonctions que devrait remplir l'exosquelette. Il s'appuie sur sa connaissance précise de la situation de travail et des tâches (voir *Fiche-tâche – étape 2*) et cherche à définir les critères objectifs visant à caractériser l'exosquelette. Le tableau ci-dessous présente un certain nombre de critères visant à caractériser [4] l'exosquelette le plus adapté à la tâche.

Aide à l'identification des caractéristiques d'un exosquelette adapté

Quelles sont les intentions de départ ?

- ▶ Retour au travail de personnes à restriction médicale.
- ▶ Supprimer une contrainte spécifique à un poste.
- ▶ Apporter une aide globale à l'opérateur.

Quels sont les apports et limites ?

- ▶ L'exosquelette permet de répondre aux contraintes de l'activité listées dans la fiche (voir *Fiche-tâche – étape 2*).
- ▶ L'exosquelette risque de faire apparaître de nouvelles contraintes qui doivent être anticipées (par exemple, augmentation des sollicitations biomécaniques, modification de l'organisation du travail...).

Quelles zones corporelles nécessitent une assistance ?

- ▶ Membres supérieurs.
- ▶ Dos.
- ▶ Membres inférieurs.
- ▶ Corps entier.

Quelles sont les fonctions d'assistance souhaitées pour l'exosquelette ?

- ▶ Élévation des membres supérieurs.
- ▶ Port de charges lourdes.
- ▶ Postures statiques maintenues.

Liste non exhaustive

Quelles sont les conditions de réalisation de la tâche à considérer avec l'exosquelette ?

- ▶ Objectifs de production.
- ▶ Contraintes environnementales auxquelles le dispositif sera confronté (température, humidité, environnement poussiéreux, utilisation en extérieur et donc soumis aux intempéries...).
- ▶ Contraintes organisationnelles (séquençage de l'activité, rythme de travail, relations avec les collègues...).

Quels sont les besoins de réglages spécifiques de l'exosquelette pour prendre en compte la variabilité des tâches et la variabilité interindividuelle des opérateurs ?

- ▶ Réglages faciles à utiliser.
- ▶ Zones de fixation à éviter ou à privilégier en fonction des caractéristiques des différents utilisateurs (taille, genre, âge...) et de l'utilisation d'équipements de protection individuels (EPI).
- ▶ Réglage de l'intensité de l'assistance en fonction des tâches à réaliser.

Liste non exhaustive

Par ailleurs, l'usage en situation réelle de travail d'un exosquelette soulève de nombreuses questions en matière de prévention des risques professionnels. Plusieurs risques potentiels issus à la fois d'observations de terrain et des connaissances acquises ont notamment été identifiés et peuvent aider à évaluer les nouvelles contraintes générées par les exosquelettes.

En voici quelques exemples :

- **Des risques mécaniques** : comme la plupart des équipements de travail, les exosquelettes présentent, à cause de leur encombrement ou de leur structure, des **risques de collision** avec une tierce personne ou des éléments de l'environnement. Les frottements ou les pressions répétés de l'exosquelette sur certaines parties du corps peuvent, quant à eux, être à l'origine **d'inconfort et/ou d'irritations de la peau**.
- **Des risques liés à la charge physique** : la répartition des efforts est modifiée par l'usage de l'exosquelette ; cela peut contribuer à l'apparition de **nouvelles contraintes biomécaniques**, facteurs de risque de troubles musculosquelettiques (TMS). Par ailleurs, le poids des exosquelettes ou la gêne associée à la réalisation de certains mouvements peuvent conduire à une **augmentation des sollicitations biomécaniques et de l'appareil cardiovasculaire**.

- **Des risques en lien avec la charge mentale de travail** : certaines activités réalisées à l'aide d'exosquelettes exigent une **attention accrue** liée à une modification des modes opératoires et des stratégies des opérateurs qui peut s'accompagner d'une **augmentation du stress**.

D'autres risques potentiels sont présentés sur le site Web de l'INRS dans le dossier « Exosquelettes ».

Leur analyse *a priori* est essentielle. Ces risques seront discutés par le groupe de travail et introduits dans le cahier des charges afin de les supprimer ou de les prévenir le plus en amont possible lors du choix ou de la conception du dispositif. Pour élaborer le cahier des charges, il est possible de s'appuyer sur les guides ED 6231 [3] et ED 6416 [4].

À l'issue de la phase 1, les caractéristiques de l'exosquelette retenu ont été validées. Le groupe de travail s'accorde alors sur le choix de l'exosquelette potentiellement le plus adapté.

La phase suivante consiste à évaluer l'interaction entre l'exosquelette et les futurs utilisateurs afin de s'assurer que l'exosquelette est effectivement adapté à l'opérateur et à la tâche.

PHASE 2

Évaluation de l'interaction homme – exosquelette

2.1 Étape 1

Introduction des critères et des outils d'évaluation

Critères d'évaluation

Les critères proposés ci-dessous permettent de définir les objectifs visant à évaluer la pertinence de l'usage d'un exosquelette. Ces critères sont à utiliser aux différentes étapes de l'évaluation de l'usage de l'exosquelette.

Cinq critères d'évaluation sont proposés :

- **L'appropriation** : il s'agit d'évaluer dans quelle mesure l'opérateur s'est approprié l'équipement dans son environnement de travail.
Quels sont les indicateurs qui montrent que l'opérateur a intégré l'exosquelette dans son activité de travail, parmi les outils dont il dispose ?
- **L'utilité** : il s'agit d'évaluer si la tâche est réalisée avec succès avec l'assistance physique.
Est-ce que l'exosquelette rend le service pour lequel il a été acquis ?
- **L'utilisabilité** : il s'agit d'évaluer la facilité d'emploi de l'équipement.
L'utilisation de l'exosquelette est-elle aisée ?
- **L'impact** : il s'agit d'évaluer les modifications de stratégies opératoires de l'utilisateur, ainsi que les effets sur l'environnement et le collectif de travail.
Quelles sont les conséquences de l'usage de l'exosquelette sur la façon de travailler de l'utilisateur et du collectif ?

- **La sécurité** : il s'agit d'évaluer les risques pour la sécurité de l'opérateur et de son environnement.

Quels sont les effets en matière de sécurité de l'utilisation de l'exosquelette ?

Pour une meilleure compréhension des cinq critères d'évaluation, le tableau ci-dessous propose, à titre d'exemple, des items pouvant être utilisés lors de l'évaluation de l'usage des exosquelettes.

Présentation d'items en lien avec les différents critères d'évaluation

Appropriation	Utilité	Utilisabilité	Impact	Sécurité
<ul style="list-style-type: none"> ■ Fluidité du mouvement ■ Maîtrise de l'exosquelette ■ Durée de réalisation de la tâche ■ Acceptation sociale ■ Ressenti des opérateurs 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tenue du temps de cycle ■ Respect de la qualité de l'opération ■ Efficience de l'assistance physique ■ Durée d'assistance active durant la tâche ■ Ressenti des opérateurs 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Facilité de mise en œuvre : mise en place, retrait, réglages... ■ Facilité d'utilisation ■ Facilité de maintenance : nettoyage, entretien... ■ L'opérateur n'est pas gêné dans la réalisation de sa tâche ■ Adaptabilité aux différentes composantes de l'activité ■ Ressenti des opérateurs 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bonne intégration dans l'activité de travail ■ Maîtrise des nouvelles stratégies opératoires ■ Effets sur l'opérateur (contraintes physiques, cognitives, santé) ■ Effets sur le collectif de travail (collaboration entre collègues, répartition temporelle des tâches...) ■ Ressenti des opérateurs 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Évaluation des risques pour l'opérateur ■ Évaluation des risques pour les collègues ■ Évaluation des risques pour l'environnement de travail ■ Prise en compte des risques de dégradation de l'exosquelette ■ Ressenti des opérateurs

Liste non exhaustive

L'interaction entre l'homme et l'exosquelette rend indispensable la prise en compte du ressenti des opérateurs pour chacun des cinq critères d'évaluation.

Il est important que les membres du groupe de travail s'accordent sur la compréhension de chaque critère d'évaluation ainsi que sur les attendus associés, qui permettront de décider de la poursuite de l'évaluation de l'intégration de l'exosquelette. Le groupe de travail choisit les critères et sélectionne des outils lui permettant de conduire l'évaluation.

Outils d'évaluation

Les outils d'évaluation proposés peuvent être de deux natures, soit « objectifs » (mesures des paramètres physiologiques ou physiques), soit « subjectifs » (interrogeant la perception humaine). Il est toujours bénéfique d'associer les deux types d'outils car ils sont complémentaires.

Le choix des outils se fait en fonction des **critères d'évaluation** retenus, des **dimensions** que ces outils mesurent et des **moyens à engager** pour leur mise en œuvre (ressources techniques et humaines, temps de préparation et d'analyse, coût et encombrement du matériel...).

Le tableau ci-dessous présente quelques exemples d'outils à mettre en œuvre en fonction de la dimension étudiée et des critères d'évaluation pouvant y être associés. Dans l'annexe 1, les moyens à engager pour la mise en œuvre d'outils d'évaluation sont décrits.

Exemple de critères d'évaluation, d'outils associés et des dimensions étudiées

Critères d'évaluation	Outils associés	Dimension étudiée
Sécurité	D.U.E.R de l'entreprise	Analyse des risques
Impact	Échelle de Borg	Quantifie un effort perçu
Appropriation, utilité, impact	Questionnaire nordique	Quantifie la douleur et la gêne perçues
Utilité, utilisabilité, impact	Cardiofréquencemétrie	Mesure de la fréquence cardiaque pour estimer la dépense énergétique, l'astreinte cardiaque, mentale et thermique
Appropriation, utilité, utilisabilité, impact	Chronoanalyse	Analyse temporelle du travail

À ce stade de la méthode, des critères et des outils d'évaluation ont été retenus, permettant d'évaluer l'usage de l'exosquelette choisi par le groupe de travail. L'évaluation se poursuit par l'élaboration d'un protocole.

Définir l'échantillonnage

Afin de tenir compte des variations interindividuelles, il est nécessaire de répéter l'évaluation avec plusieurs participants, sur la base du volontariat. Tous les opérateurs concernés par l'intégration d'un exosquelette doivent *a minima* être sollicités. Lorsque les effectifs de l'entreprise sont importants, dix opérateurs devraient participer idéalement. Il est possible aussi de faire des tests sur plusieurs postes similaires.

Établir le protocole de mesures

Pour évaluer l'apport de l'exosquelette, il est nécessaire de comparer la réalisation de la tâche avec et sans l'exosquelette. Chaque salarié volontaire devra réaliser la tâche selon les deux modalités, avec et sans l'exosquelette. La comparaison ne peut se faire que sur une même tâche (cadence, charge, situation de travail...), selon un même protocole de mesures comme présenté ci-dessous :

- 1 Sélection des outils d'évaluation
- 2 Réalisation de la tâche avec/sans l'exosquelette
- 3 Évaluation de l'interaction homme-exosquelette
- 4 Détermination d'un temps de récupération en fonction de l'intensité et de la durée de la tâche exécutée

Établir le planning

Afin d'informer les différents acteurs, il est nécessaire de construire un planning en vue d'organiser les tests.

Recruter les volontaires

Les réunions d'équipe peuvent servir à présenter le projet exosquelette et les objectifs des tests d'évaluation ainsi qu'un déroulé du protocole. L'intérêt est de présenter les grandes lignes afin que des opérateurs se portent volontaires.

Il faut privilégier les équipes concernées par les situations de travail visées par l'évaluation, les opérateurs ayant ainsi une bonne connaissance et expérience de la mission et des tâches associées.

Informer les acteurs

Les différents acteurs sont informés de l'investissement nécessaire, de l'engagement temporel, ainsi que du protocole d'évaluation. Le service de prévention et de santé au travail est aussi informé et associé à l'ensemble du protocole.

Il faut préciser à l'ensemble des participants que les données seront traitées de façon anonyme. Les représentants du personnel sont informés régulièrement de l'avancée du programme et des résultats. Une communication régulière au sein de l'entreprise (journal interne, affiches...) doit également être prévue.

L'élaboration du protocole étant finalisée, l'étape suivante vise à réaliser concrètement l'évaluation de l'interaction homme-exosquelette. L'apprentissage à l'usage de l'exosquelette tient ici une place particulièrement importante. Il est nécessaire de procéder en deux temps. Le premier temps se déroule hors situation réelle de travail pour permettre à l'opérateur de s'approprier l'exosquelette. Le deuxième temps correspond à la mise en œuvre de l'exosquelette en situation réelle de travail pour s'assurer que l'usage de l'exosquelette est compatible avec l'organisation de la production (apparition d'autres risques, dégradation des performances attendues...).

2.3 Étape 3 Apprentissage hors situation réelle de travail

Une phase d'apprentissage progressive est nécessaire pour que l'opérateur et les membres du groupe de travail s'assurent que l'exosquelette est bien adapté à la tâche et à son environnement. Idéalement, pour faciliter cet apprentissage, il est préconisé de reproduire une tâche au plus proche de la situation réelle de travail afin de soustraire l'opérateur des exigences de la production. Si ce n'est pas possible, la phase d'apprentissage peut se faire directement dans la situation réelle de travail (voir *Phase 2 - étape 4*).

Cette phase d'apprentissage se déroule en deux temps : la **familiarisation** de l'opérateur avec l'exosquelette puis l'**apprentissage** proprement dit.

Les critères et les outils d'évaluation (voir *Phase 2 - étape 1*) servent à s'assurer que l'apprentissage est effectif.

Familiarisation

La familiarisation correspond à la découverte progressive de l'usage de l'exosquelette. Il s'agit de donner les moyens à l'opérateur de construire ses premiers repères (fluidité des mouvements, réglages éventuels du système, ressenti de l'opérateur...) au regard de son interaction avec l'exosquelette. Pour cela, il est indispensable, au préalable, d'informer l'opérateur sur les risques spécifiques liés à l'usage de l'exosquelette (voir *Phase 1 – étape 3*).

Cette séquence vise à :

- s'assurer que les spécifications techniques et les possibilités de réglages du système s'adaptent à la morphologie de l'opérateur,
- identifier les moments durant lesquels les phases d'assistance physique du dispositif sont actives ou non,
- repérer les apports et les contraintes de l'exosquelette,
- etc.

Lorsque la familiarisation avec l'exosquelette est effective, l'opérateur équipé de l'exosquelette peut alors réaliser la tâche reproduite pour affiner son apprentissage. Les réglages de l'exosquelette à la morphologie de l'opérateur sont discutés au moment de la familiarisation hors situation de travail mais peuvent être affinés en situation de travail reproduite et en situation réelle de travail. **L'apprentissage est un processus dynamique qui évolue dans le temps.**

Apprentissage de la tâche reproduite et de son environnement

Cette séquence poursuit trois objectifs :

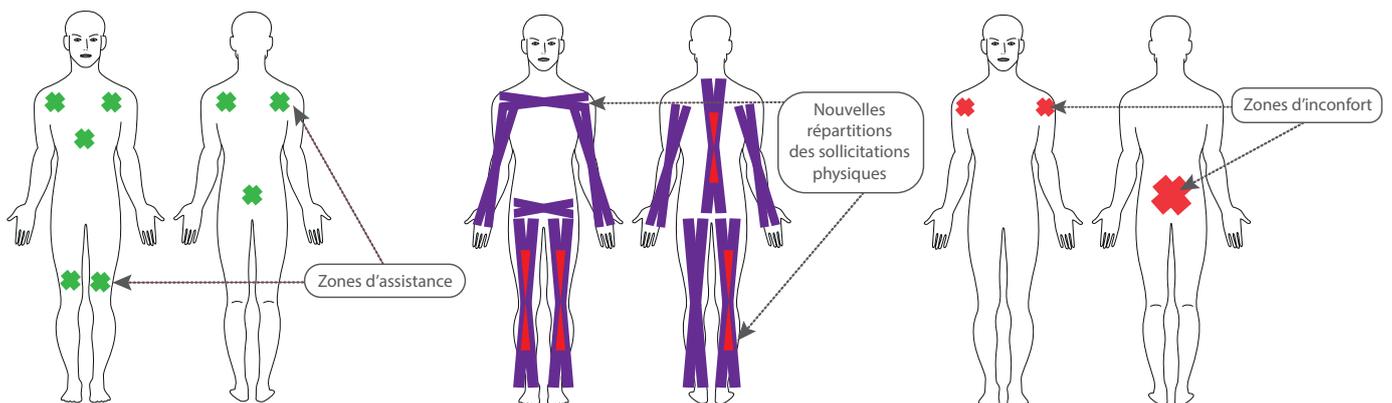
- Reproduire une tâche au plus proche de la situation réelle de travail pour confronter l'usage de l'exosquelette à la tâche et à l'environnement dans lequel il sera utilisé. La fiche-tâche (voir *Phase 1 – étape 2*) permet de construire cette tâche reproduite.
- Reconfigurer, si besoin, la situation de travail reproduite (éléments matériels, environnement de travail...) pour que l'opérateur découvre et exploite au mieux le potentiel d'assistance physique de l'exosquelette.
- Identifier les moments durant lesquels les phases d'assistance physique du dispositif sont actives ou non.

Au cours de cet apprentissage, **des schémas corporels** dédiés à l'évaluation de l'interaction homme-exosquelette peuvent être utilisés pour aider l'opérateur à localiser les zones :

- d'assistance du système,
- de nouvelles répartitions de sollicitations physiques,
- d'inconfort.

Ces trois zones doivent être interrogées de manière bien distincte (des supports d'application vierges sont proposés en fin de document).

Exemples d'identification des zones d'assistance, de répartitions des sollicitations physiques et d'inconfort



Il est indispensable de réaliser cette phase d'apprentissage avec plusieurs opérateurs afin de disposer d'évaluations différenciées et donner la possibilité aux opérateurs de confronter leurs avis à ce stade.

Afin d'aider à caractériser l'interaction homme-exosquelette, des **indicateurs spécifiques** peuvent être relevés et reportés dans une fiche de synthèse (voir *Phase 2 - étape 4*), par exemple le pourcentage de la durée d'assistance physique sur l'ensemble de la tâche (voir ci-dessous).

Item	Indicateur	Critère de jugement
Durée d'assistance physique	Préciser le % de temps où l'assistance est active durant la tâche	Durée de l'assistance conséquente ou non

Cette phase d'apprentissage hors situation réelle de travail est finalisée lorsque les données ont été analysées et validées par le groupe de travail. La poursuite des travaux permet une mise en œuvre en situation réelle de travail.

2.4 Étape 4 → Mise en œuvre en situation réelle de travail

Apprentissage approfondi en situation réelle

Le groupe de travail tiendra compte des éléments de synthèse de la phase d'apprentissage hors situation réelle de travail (étape précédente) pour adapter la situation réelle de travail à l'usage de l'exosquelette avant son intégration (temps de cycle, reconfiguration des éléments matériels, possibilité de travailler différemment...). L'opérateur devra disposer d'un temps d'appropriation de cette nouvelle situation. Ce temps d'appropriation varie en fonction de facteurs liés à l'opérateur, à l'exosquelette, à la tâche à effectuer et à l'environnement de travail.

Validation de l'intégration de l'exosquelette

Les cinq critères d'évaluation proposés en *Phase 2 - étape 1* doivent être à nouveau interrogés pour valider, ou non, l'intégration définitive de l'exosquelette.

Une fiche de synthèse peut être utile pour regrouper les caractéristiques pertinentes issues des données de l'évaluation afin d'aider à conclure sur l'intégration, ou non, de l'exosquelette en situation réelle de travail. Un exemple de fiche de synthèse est présenté ci-après (une fiche support d'application vierge est proposée en fin de document).

Fiche de synthèse

Items	Indicateurs	Critères de jugement
Durée d'appropriation	Durée	Longue ou courte
Réglages	Décrire les difficultés	Nombre de difficultés
Durée d'assistance physique	Préciser le % de temps où l'assistance est active durant la tâche	Durée de l'assistance conséquente ou non
Zones d'assistance physique	Représenter sur un schéma	Liste des zones d'assistance : adéquation entre ces zones et les contraintes de l'activité
Zones de répartition des sollicitations physiques	Représenter sur un schéma	Identification par l'opérateur de nouvelles sollicitations physiques
Zones d'inconfort	Représenter sur un schéma	Nombre de zones d'inconfort
Adaptation de l'environnement pour la tâche reproduite	Nature des adaptations de l'environnement	Liste des adaptations : faisables ou non
Adaptation de l'environnement pour la tâche réelle	Nature des adaptations de l'environnement	Liste des adaptations : faisables ou non

Cette synthèse permet de valider, ou non, les objectifs de départ sur l'intérêt de l'utilisation de l'exosquelette.

À l'issue de cette phase, des recommandations pratiques doivent être faites par le groupe de travail quant aux conditions d'usage de l'exosquelette en situation réelle de travail : mode d'emploi, conditions d'habillage et de déshabillage, durée d'utilisation maximale de l'équipement...



PHASE 3

Retour d'expérience

L'évaluation à court, moyen et long terme est indispensable : elle va permettre de remettre en question les apports du système en fonction des évolutions de la situation de travail. Pour une évaluation à long terme d'éventuels effets sur la santé des opérateurs, l'entreprise pourra faire appel à des compétences extérieures, en lien notamment avec le service de prévention et de santé au travail.

L'évaluation est basée sur la comparaison entre la situation de départ et les situations à court, moyen et long terme.

Pour sa mise en œuvre, l'évaluation doit s'appuyer sur une bonne connaissance de la situation de départ et définir des objectifs précis et partagés par tous les acteurs.

L'évaluation doit interroger différentes dimensions liées aux salariés (santé, plaintes, satisfactions...), à la structure (accidents du travail, absentéisme, turn-over...), à l'activité (changements techniques, humains et organisationnels...). La phase 2 de la méthode reste une base pour alimenter ce retour d'expérience au fil du temps.

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.

L'évaluation doit promouvoir une culture de santé au travail en démontrant l'impact de l'intégration de l'exosquelette sur la santé et la sécurité des salariés et sur la qualité du travail. Cette évaluation alimente le document unique d'évaluation des risques professionnels. Sa mise à jour permet de s'assurer que l'action mise en place est toujours performante, quelles que soient les évolutions de la situation de travail.

À ce stade, le groupe de travail peut être dissous. L'évaluation s'intégrera alors dans la démarche usuelle d'évaluation des risques professionnels de l'entreprise.

Conclusion

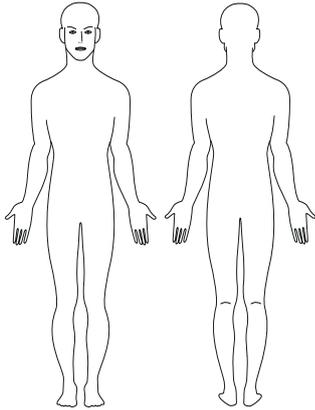
- ▶▶▶ La méthode en trois phases proposée dans ce guide permet aux préventeurs et à l'entreprise d'appréhender de nombreuses questions posées par l'intégration d'un exosquelette. Le caractère participatif de la démarche et l'évaluation à différentes étapes sont à même de s'inscrire dans un processus d'amélioration continue, en garantissant la prise en compte de la prévention des risques professionnels dans le respect des principes généraux de prévention.

Bibliographie

- [1] *Exosquelettes au travail. Impact sur la santé et la sécurité des opérateurs. État des connaissances.* ED 6311, INRS
- [2] *Méthode d'analyse de la charge physique de travail.* ED 6161, INRS
- [3] *Réussir l'acquisition d'une machine ou d'un équipement de production.* ED 6231, INRS
- [4] *Repères méthodologiques pour la sélection d'un exosquelette professionnel.* ED 6416, INRS
- ▶ AC-Z 68-800 – *Outils et repères méthodologiques pour l'évaluation de l'interaction humain-dispositif.* Afnor, mars 2017
- ▶ *10 idées reçues sur les exosquelettes.* ED 6295, INRS
- ▶ Dossier « *Exosquelettes* », INRS, consultable sur www.inrs.fr/risques/exosquelettes
- ▶ *Évaluation subjective de la charge de travail. Utilisation des échelles de Borg.* Références en santé au travail, INRS, n° 139, 2014
- ▶ *Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes : évaluation par questionnaire.* Références en santé au travail, INRS, n° 160, 2019
- ▶ Dossier documentaire « *Exosquelettes* », INRS, consultable sur <https://portaildocumentaire.inrs.fr/Default/doc/SYRACUSE/553132>

Supports d'application

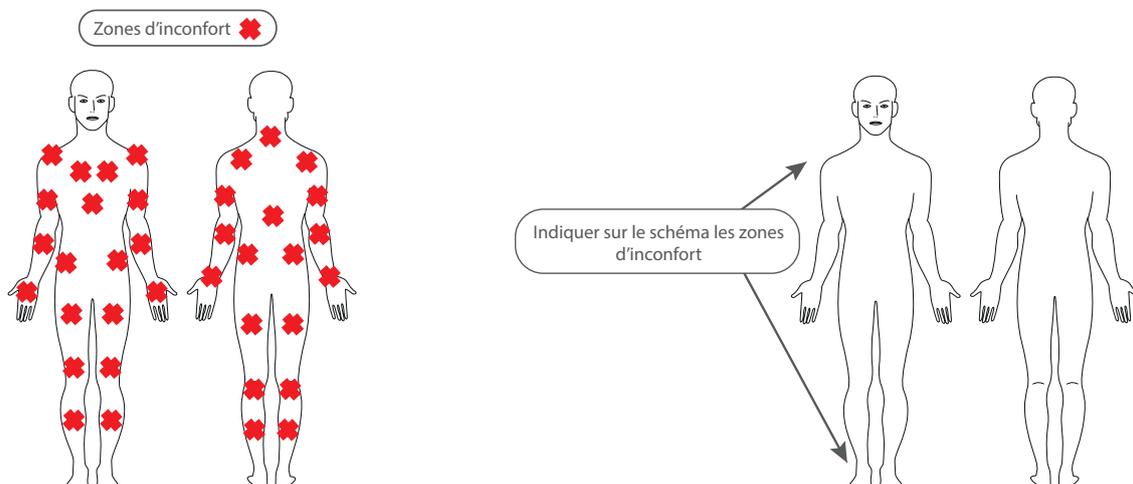
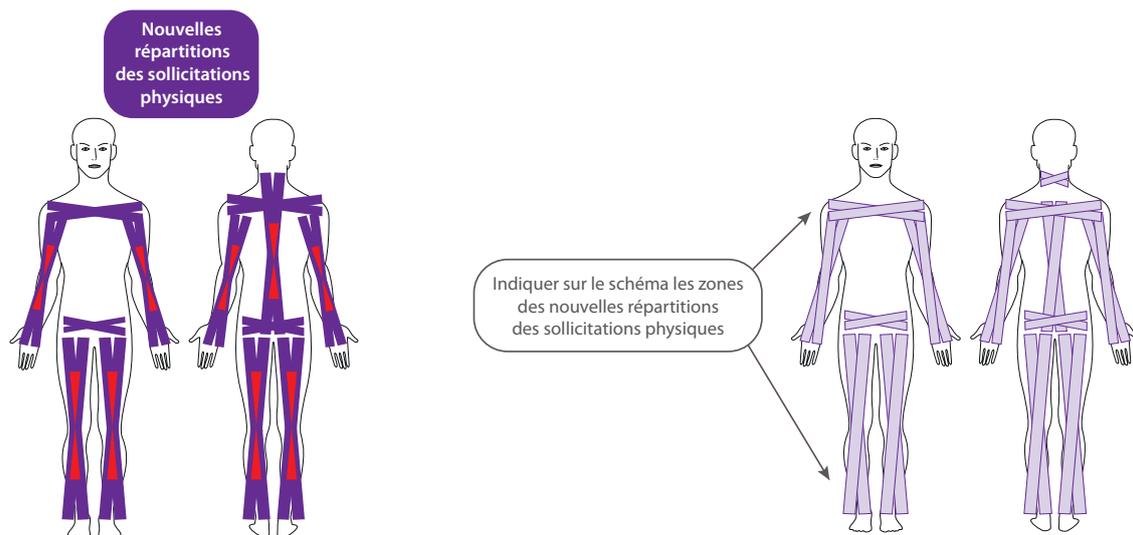
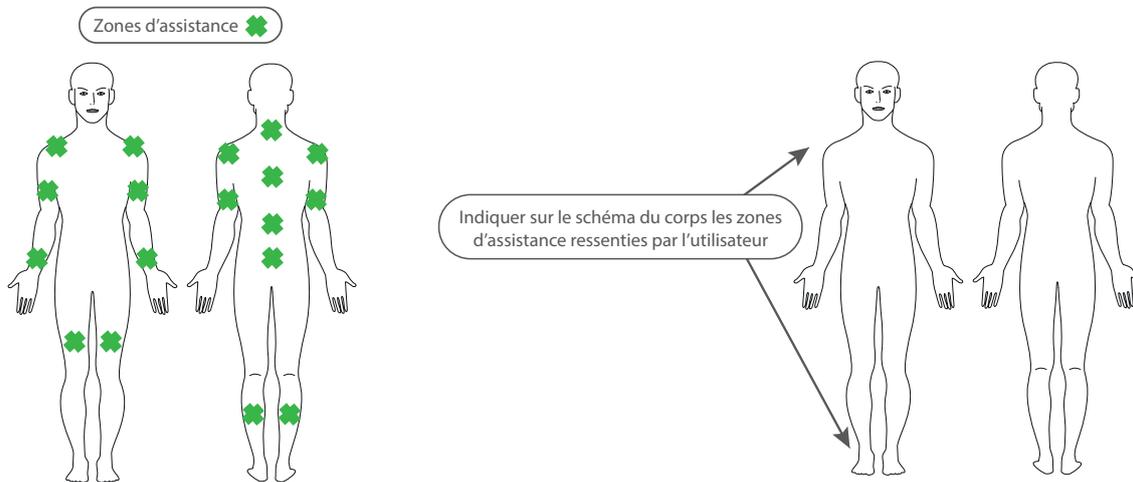
A – Fiche-tâche

Tâche			
Description détaillée de la tâche			Remarques
Identification des zones à soulager	Localisation des plaintes (douleurs, gênes, engourdissement) ► situer sur les schémas leur localisation		
	AT/MP		
Description des caractéristiques physiques (efforts, postures...)	Manutention manuelle/ Port de charges		
	Postures : – postures dynamiques – postures statiques prolongées		
	Utilisation d'outils ou d'équipements		
Description des caractéristiques de l'environnement	Configuration de l'espace de travail (dimensionnement, circulation...)		
	Ambiances physiques de travail (température, humidité...)		
	Sol (qualité des sols, dénivelés...)		
	Équipements de protection (individuels et collectifs)		
Description de l'organisation du travail	Travail individuel ou en équipe		
	Possibilités de pauses		
...

B – Fiche de synthèse

Items	Indicateurs	Critères de jugement	Résultats et remarques
Durée d'appropriation	Durée		
Réglages	Décrire les difficultés		
Durée d'assistance physique	Préciser le % de temps où l'assistance est active durant la tâche		
Zones d'assistance physique	Représenter sur un schéma		
Zones de répartition des sollicitations physiques	Représenter sur un schéma		
Zones d'inconfort	Représenter sur un schéma		
Adaptation de l'environnement pour la tâche reproduite	Nature des adaptations de l'environnement		
Adaptation de l'environnement pour la tâche réelle	Nature des adaptations de l'environnement		
...

C – Identification des zones d'assistance, de transfert et d'inconfort



Annexe – Aide au choix des outils d'évaluation en fonction de leurs caractéristiques

	Description	Évaluer par	Formation nécessaire	Ressources techniques	Ressources humaines	Temps de préparation	Temps de passation	Temps d'analyse
Auto-confrontation	Verbalisation par le sujet de son activité de travail	Opérateur et spécialiste	oui	Enregistrements vidéos, audio	2 ou 3 personnes	Important (recueillir les données qui seront utilisées pour l'auto-confrontation)	2x1 heure ou 3 ou 4x 1/2 heure	Important (car relève de l'analyse du contenu)
Échelle de Borg	Quantifie un effort perçu	Opérateur	non	Formulaire à remplir	1 personne	Aucun	30 min à 1 heure	Peu important
Entretien	Recueil d'informations sur la partie non visible de l'activité	Spécialiste	non	Enregistrement éventuellement, support d'entretien	1 personne	Durée variable selon la complexité de la tâche	1h30 ou plus	Peut être long
Journal de bord	Recueil de données sur chacune des activités réalisées au cours d'une journée de travail	Opérateur	non	Papier, crayon	1 personne	Dépend de ce qui est interrogé	Peut être long en fonction de la durée de collecte des données	Important (car relève de l'analyse du contenu)
Questionnaire nordique	Quantifie la douleur et la gêne perçue	Opérateur	non	Formulaire à remplir	1 personne	Aucun	5 à 10 minutes	Peu important
Questionnaire	Recueil de données sur le ressenti des salariés à leur poste de travail	Utilisateur/opérateur ou spécialiste	non	Enregistrement éventuellement, support d'entretien	1 personne	Plus ou moins long selon que le questionnaire existe ou pas	1 heure	Peu important
NASA-TLX	Évaluation de la charge mentale	Opérateur	non	Papier, crayon	1 personne	5 minutes	5 minutes	Peu important
Cardio-fréquencemétrie	Mesure de la fréquence cardiaque pour estimer la dépense énergétique, l'astreinte cardiaque, mentale et thermique	Spécialiste	oui	Capteurs FC + logiciel d'analyse	1 personne	5 minutes	Selon la durée de la tâche	Relativement rapide si aide logiciel
Chronoanalyse	Analyse temporelle du travail	Spécialiste	oui	Chronomètre ou vidéo (logiciel de traitement vidéo)	1 personne	Variable en fonction de l'activité	Entre 20 et 30 cycles	Relativement court
MACPT*	Analyse approfondie de la charge physique de travail	Utilisateur	oui	Papier, crayon	Groupe de travail	Aucun	Selon la durée de la tâche	15 minutes

* Méthode d'analyse de la charge physique de travail

Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur 
www.inrs.fr

Pour commander les publications de l'INRS au format papier 

Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS.

Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

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.

Structurée en trois phases, cette méthode vise à accompagner l'entreprise dans sa réflexion d'acquisition d'un exosquelette, à créer les conditions permettant son intégration dans la situation de travail et à évaluer les usages de l'exosquelette au cours du temps.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6315

2^e édition | novembre 2022 | 2000 ex. | ISBN 978-2-7389-2811-5

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie - Risques professionnels