

## Étude de cas

# ACTIVITÉS INDIVIDUELLE ET COLLECTIVE DE TIREURS D'ENROBÉ : CONSÉQUENCES DE L'USAGE D'UN EXOSQUELETTE ROBOTISÉ

---

JEAN-JACQUES ATAIN-KOUADIO, KEVIN DESBROSSES, ANAÏS FERRY, BENJAMIN PATY, LIËN WIOLAND  
INRS, département Homme au travail

---

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** Dans certaines conditions, les chantiers d'épandage d'enrobé ne peuvent pas être intégralement mécanisés, par exemple, en milieu urbain, dans le cas des trottoirs ou encore des allées piétonnes. Dans ces situations, les enrobés sont amenés par des camions-bennes sur le chantier. Les enrobés sont ensuite généralement approvisionnés du camion au lieu d'application à l'aide de brouettes ou de chargeuses. Les enrobés sont versés sous forme de « tas » plus ou moins importants qu'il faut d'abord dégrossir. Les enrobés sont ensuite répartis et étalés manuellement à l'aide de pelles (pelleteurs) et raclettes par les « tireurs de râseau » (régleurs d'enrobé). Ces derniers répandent les enrobés en respectant les quantités à employer, enlèvent l'excès, complètent les vides, et effectuent manuellement le nivellement de la surface à l'aide de la raclette (en bois ou en aluminium) en veillant à l'uniformité des couches. Ces opérations constituent des réglages « fins ». Dans ces conditions, les régleurs d'enrobé sont soumis à des contraintes physiques importantes de l'ensemble de leur corps. Pour tenter de les prévenir, une entreprise française de travaux publics, avec l'aide d'une entreprise spécialisée dans la robotique collaborative, a co-conçu, puis déployé, à l'échelle du territoire et dans certaines filiales à l'international, un exosquelette robotisé<sup>1</sup> destiné à assister physiquement les régleurs d'enrobé pour l'activité de ratissage et réglage au sein de ses équipes.

À la suite d'une première phase de déploiement, l'entreprise souhaitait analyser sous un angle scientifique l'apport de cet outil dans son environnement de travail. C'est dans ce cadre que l'INRS a été sollicité par la Carsat Nord-Est pour étudier l'usage de cet outil au sein des équipes de chantiers. Une étude sur les conséquences de l'usage de cette technologie sur l'activité individuelle et collective des tireurs d'enrobé a été conduite par une équipe pluri-

disciplinaire de l'INRS (psychologues du travail, physiologiste et expert d'assistance).

L'hypothèse principale était que l'usage de cette technologie dans une équipe de travail engendrait des modifications, non seulement pour l'utilisateur mais aussi pour ses coéquipiers. Au cours des trois chantiers observés, l'utilisation de l'exosquelette robotisé a été discontinuë : certaines phases d'activités ont été réalisées en tirage manuel et d'autres avec l'exosquelette.

### → LA RÉPONSE DE L'INRS :

#### Méthodologie

Le protocole de l'étude a été cadré et discuté avec l'équipe projet et la hiérarchie de l'entreprise (responsable d'agence, conducteurs de travaux et chefs d'équipe). Un groupe de pilotage plurimétiers a également été créé. Il rassemblait divers acteurs clés, internes et externes (les chercheurs de l'INRS, un ingénieur-conseil de la Carsat Nord-Est, le médecin du travail, des représentants du concepteur de l'exosquelette robotisé...), pour permettre de centraliser les informations et d'ajuster la démarche par rapport aux objectifs. Cette démarche d'intervention combinait quatre méthodologies : observations de l'activité, mesures physiologiques (cardiofréquence-métrie), entretiens individuels et collectifs (confrontation collective).

#### Les observations de l'activité

Des pré-observations ont été réalisées pour comprendre le caractère dynamique des situations de travail et identifier, au préalable, les différentes typologies de chantiers et leurs configurations, pour définir les outils de recueil des données adaptés. Ces pré-observations ont également permis d'élaborer le guide d'entretien individuel et de définir les séquences filmées à utiliser lors de la confrontation collective. Plusieurs équipes de chantier (utilisant ou



© INRS - Département Homme au travail

non un exosquelette robotisé) ont ensuite été observées en situation réelle de travail. En début de chantier, les chercheurs de l'INRS rappelaient les objectifs de l'étude, présentaient les dispositifs techniques de recueil des données (cardiofréquencemètres, microcravates, enregistrements vidéo...) et s'assuraient de l'accord de l'équipe de l'entreprise.

Au cours des observations, les chercheurs ont pu installer un niveau de confiance suffisant pour « se faire oublier » des opérateurs durant leur activité. Des enregistrements vidéo, combinés pour certains à des mesures de cardiofréquencemétrie, ont été réalisés (Cf. Figure 1).

Au total, dix séquences d'activités ont pu être observées intégralement auprès de quatre équipes parmi

lesquels trois opérateurs (1, 2, 3) équipés de l'exosquelette robotisé (Cf. Tableau 1).

### La cardiofréquencemétrie

Des mesures physiologiques ont été réalisées en parallèle des observations sur le terrain [1]. La cardiofréquencemétrie a été utilisée, avec pour objectif de quantifier l'astreinte physique des opérateurs lors d'une activité d'épandage de l'enrobé, et d'évaluer l'impact de l'utilisation de l'exosquelette robotisé sur cette astreinte, à la fois pour le tireur d'enrobé et pour les autres membres de l'équipe. Ainsi, pour les équipes B et C, plusieurs opérateurs volontaires (notamment un compacteur, deux pelleteurs, deux régisseurs d'enrobé et un chef d'équipe) ont accepté

↑ FIGURE 1  
Dispositif d'enregistrements vidéo multi-angles.

↓ TABLEAU 1  
Dix observations pour quatre équipes.

COLLECTIF ÉTUDIÉ	TAILLE DE L'ÉQUIPE	NOMBRE D'OBSERVATIONS	TYPE DE CHANTIERS RÉALISÉS
Équipe A	6 à 12 selon la nature du chantier, dont 1 opérateur (1) équipé de l'exosquelette robotisé	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maçonnerie sur un trottoir</li> <li>Enrobé sur une portion de route</li> </ul>
Équipe B	10 à 14 personnes, dont 1 opérateur (2) équipé de l'exosquelette robotisé	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enrobé sur un trottoir</li> <li>Enrobé sur un trottoir et sur une route (2x)</li> <li>Enrobé sur une route</li> </ul>
Équipe C	9 à 10 personnes, dont 1 opérateur (3) équipé de l'exosquelette robotisé	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enrobé et maçonnerie sur une route</li> <li>Enrobé sur un trottoir (2x)</li> </ul>
Équipe D	9 personnes, dont 1 opérateur (3) équipé de l'exosquelette robotisé	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enrobé sur un trottoir</li> </ul>



ARBRE THÉMATIQUE	
CATÉGORIES	EXPLICATIONS DES CATÉGORIES
Sensations physiques	1.1 Efforts
	1.2 Douleurs
	1.3 Postures
	1.4 Fatigue ressentie
Autonomie et mobilité	2.1 Poids de l'exosquelette
	2.2 Risque de collision
	2.3 Gabarit
	2.4 Facilité de mouvement
Efficacité dans le travail	3.1 Finition
	3.2 Précision
	3.3 Productivité
	3.4 Satisfaction du travail réalisé
	3.5 Qualité
	3.6 Puissance de l'exosquelette robotisé
Climat social	4.1 Ambiance
	4.2 Cohésion sociale
	4.3 Collaboration
	4.4 Esprit d'équipe
	4.5 Coopération
Charge cognitive et émotionnelle	5.1 Stress/anxiété ressentie
	5.2 Regard des autres
	5.3 Appréhension
Répartition des rôles/tâches	6.1 Redéfinition des rôles
	6.2 Tâches plus floues
	6.3 Répartition des efforts

d'être équipés d'un cardiofréquencemètre durant certaines interventions. Leur fréquence cardiaque a été recueillie en continu au cours de l'intervention et un suivi chronologique de l'activité a permis d'analyser les données en fonction du port ou non de l'exosquelette.

### Les entretiens individuels

Pour obtenir davantage de précisions quant à l'activité observée des opérateurs et les relations au sein du collectif de travail, des entretiens individuels ont ensuite été proposés aux volontaires. Un guide d'entretien a été construit sur la base d'éléments de la littérature notamment sur la question d'acceptation [2,3]. Des entretiens informels avec le terrain sont venu compléter ces données.

Ainsi, deux entretiens individuels, d'environ 30 minutes, ont été réalisés avec deux des trois utilisateurs de l'exosquelette robotisé. Les utilisateurs ont pu s'exprimer sur leur ressenti quant à l'usage de cette technologie en situation de travail. Les thèmes abordés concernaient notamment l'impact de l'utilisation de cet outil sur les dimensions individuelles, organisationnelles et relationnelles. Bien que réalisés sur le lieu du chantier, les entretiens ont été menés dans des espaces calmes, propices à la discussion et à l'écart des autres collègues<sup>2</sup>. Les échanges ont été enregistrés, puis retranscrits intégralement. L'analyse de l'ensemble des verbatims a permis de mettre en évidence les principaux apports et difficultés encourageant ou non les opérateurs à utiliser l'exosquelette robotisé. Un arbre thématique a été constitué à partir de ces éléments évoqués par les utilisateurs (Cf. *Tableau 2*). Six catégories ont émergé : les sensations physiques, l'autonomie et la mobilité, l'efficacité dans le travail, le climat social, la charge cognitive et émotionnelle, la répartition des rôles/tâches.

↑ TABLEAU 2  
Arbre thématique des apports et difficultés liés à l'utilisation de l'exosquelette.



FIGURE 2 → Confrontation collective avec la présence des opérateurs, les animateurs et les dispositifs d'enregistrement.

© INRS - Département Homme au travail

la charge cognitive et la répartition des rôles/tâches. Puis, pour chacun de ces thèmes, des tableaux de comparaison ont été créés pour faire la synthèse des points d'accord ou de désaccord entre les deux opérateurs interviewés.

### Les confrontations collectives

Des confrontations collectives, utilisant des séquences vidéo de situations de travail, ont ensuite été organisées avec une équipe de chantier pour aller plus loin dans la compréhension de leur activité avec l'exosquelette. Cette méthode utilise la vidéo comme support de médiation, parfois appelé « Objet Intermédiaire » (OI) et permet de faciliter les échanges sur le travail. Selon des travaux antérieurs, les OI permettent de « mobiliser des ressources individuelles, collectives et organisationnelles, afin d'apporter un autre regard sur les pratiques » [4]. Par le biais des OI, les opérateurs peuvent également discuter ensemble des modifications engendrées ou non dans leur travail par l'intégration de l'exosquelette et co-construire une compréhension mutuelle [5].

Avant de conduire cette séquence, un travail de visionnage et de sélection de séquences vidéo issues d'observations de terrain a été effectué pour répondre aux objectifs de l'étude. Par exemple, certaines séquences, avec et sans l'exosquelette robotisé, ont été sélectionnées, pour pouvoir comparer l'activité de l'équipe à différents niveaux d'avancement et selon différentes configurations de chantiers. Avant le début de la séance de confrontation collective, un ensemble de règles a été rappelé en termes de confidentialité, d'implication de tous et de non-jugements de valeur. Les opérateurs ont été informés de l'utilisation qui serait faite des enregistrements et ont donné leur consentement. En effet, afin de pouvoir relier les commentaires faits par les opérateurs à la bonne séquence de travail qui leur était présentée, deux caméras ont filmé les membres présents, y compris les animateurs, et une troisième caméra était dirigée vers le vidéoprojecteur, qui diffusait les séquences vidéo d'activités.

La séance de confrontation collective a réuni neuf opérateurs, dont un chef d'équipe, et a été animée par deux psychologues, dont un était en soutien, prenait les échanges en note et relançait sur certains points à préciser. Un technicien en charge de l'enregistrement était également présent (Cf. Figure 2).

Les échanges entre les membres de l'équipe ont permis de confronter leurs représentations et points de vue, quant à la place de l'exosquelette dans leur activité de travail. Ces discussions collectives ont conduit les membres de l'équipe à réévaluer la manière dont ils travaillaient et à s'interroger sur les apports et les limites de l'outil ainsi que sur ses impacts sur la dynamique de travail. Dans une moindre mesure, les opérateurs ont pu discuter des améliorations apportées par les exosquelettes en situation de travail.

### Les principaux résultats

Les résultats montrent que le déploiement et l'utilisation de l'exosquelette robotisé engendrent des modifications dans le travail, non seulement pour l'utilisateur, mais aussi pour ses coéquipiers.

Au cours de ces trois chantiers, l'utilisation de l'exosquelette robotisé a été discontinuée : certaines phases d'activités ont été réalisées en tirage manuel et d'autres avec l'exosquelette. Il faut noter que l'intervention a eu lieu au cours du processus d'intégration de l'exosquelette dans les modes opératoires des équipes. Ainsi, certains chantiers n'étaient pas adaptés à son déploiement et certains opérateurs et équipes étaient insuffisamment familiarisées avec son utilisation. Ces contraintes expérimentales, couplées au faible nombre de situations analysées (opérateur/chantier), n'ont pas permis d'extraire des conclusions générales quant à l'utilisation de l'exosquelette robotisé. Toutefois, ces études de cas, dans lesquelles toutes les conditions n'étaient pas réunies pour une utilisation optimale de l'exosquelette robotisé, apportent des éléments de compréhension des répercussions potentielles de l'utilisation d'un exosquelette sur le collectif de travail. En effet, un exemple est particulièrement intéressant à relever (Cf. Figure 3). Il s'agit du travail synchrone de deux tireurs d'enrobé, tout d'abord lorsque l'un est équipé de l'exosquelette robotisé et l'autre d'un râteau sans assistance physique, puis lorsque ces deux opérateurs travaillent en manuel sur une même portion du trottoir. Il est tout d'abord intéressant de noter que la fréquence cardiaque (FC) du tireur équipé de l'exosquelette robotisé présente des profils semblables à ceux relevés au cours de la phase de travail sans exosquelette, alors que le port d'exosquelette est censé réduire les efforts et donc l'astreinte cardiaque. Un chantier non optimal à l'emploi de l'exosquelette robotisé, ainsi qu'une familiarisation insuffisante à son utilisation, pourraient expliquer ce résultat. À cela s'ajoute le fait que la FC est un indicateur global de la charge physique de travail. De fait, même si le système était en mesure de réduire les sollicitations musculaires au niveau du dos ou des membres supérieurs (non évaluées dans cette intervention), le poids additionnel de l'exosquelette pourrait contrebalancer ce gain et ne pas réduire l'astreinte cardiaque. Dans le cas de l'exemple exposé, le tracé de FC de l'autre tireur (manuel, non équipé d'exosquelette) est particulièrement intéressant. En effet, la FC du coéquipier tireur manuel est plus élevée lorsque son collègue travaille avec l'exosquelette robotisé que lorsqu'il utilise un râteau manuel. Ainsi, dans cette situation, le tireur pourrait être moins efficace lorsqu'il est équipé de l'exosquelette (d'après ce qui a été observé et collecté lors des entretiens), reportant sur son collègue une charge additionnelle de travail. On observe un phénomène similaire lorsque le tireur à l'exosquelette robotisé va retirer son équipement :



Exemple de co-activité vue par la fréquence cardiaque

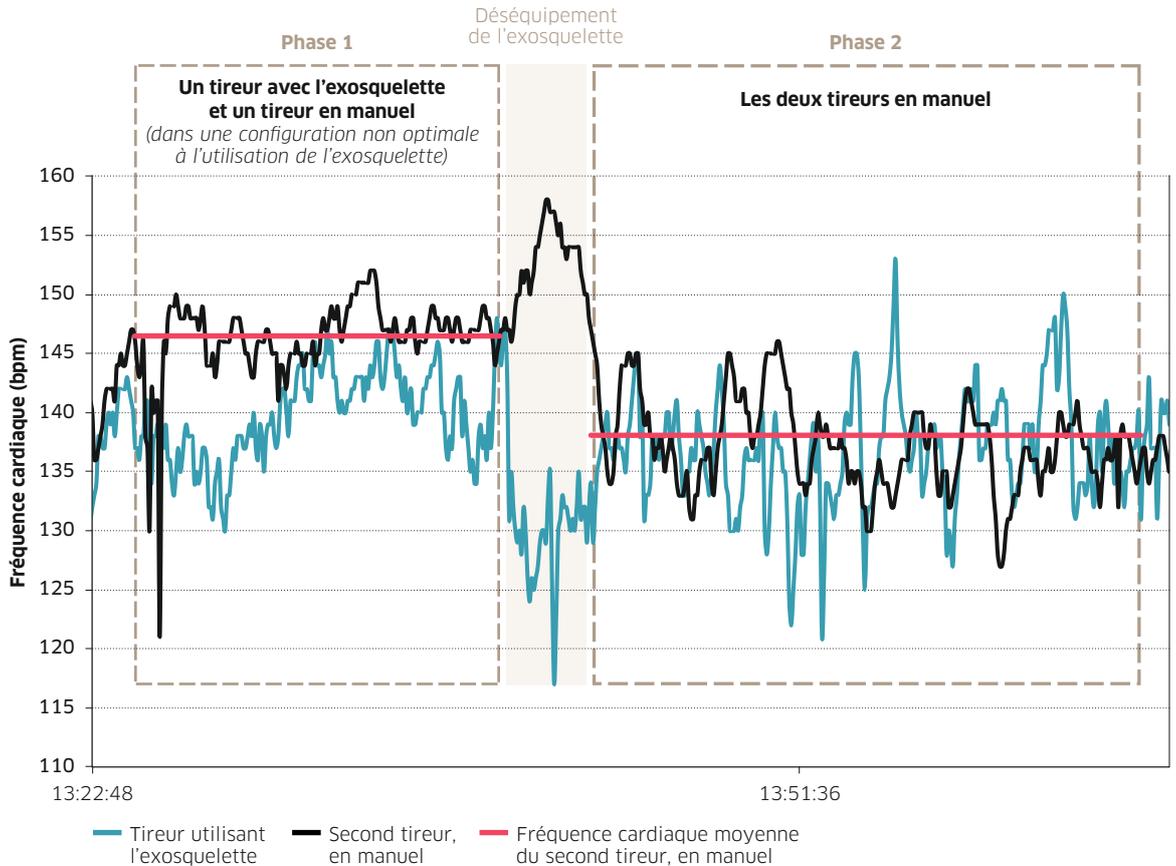


FIGURE 3 → Exemple de l'influence de l'exosquelette robotisé sur la charge physique de travail du collectif.

la charge physique de son collègue resté en poste est alors encore plus importante. Au regard de cet exemple, il est possible d'affirmer que quelles que soient les raisons, l'utilisation d'un exosquelette par un opérateur donné peut avoir des répercussions sur le collectif de travail.

**Un réajustement des stratégies de travail de l'ensemble de l'équipe**

L'analyse des observations des dix chantiers, des entretiens et de la confrontation collective montre que l'introduction d'un nouveau dispositif génère des modifications multiples : cela peut être un glissement des tâches à effectuer, une modification des espaces de travail ou encore des réapprentissages ou des compétences nouvelles à développer dans un environnement de travail dynamique. En conséquence, l'utilisation de l'exosquelette robotisé conduit les membres de l'équipe et leur hiérarchie à réajuster leurs stratégies de travail.

La répartition des rôles et des tâches entre les pelleteurs et les tireurs d'enrobé semble modifiée lorsque l'exosquelette robotisé est utilisé. Ce résultat d'analyse concerne la coordination de l'étalement et du réglage des enrobés. Les observations sur le terrain et la confrontation collective ont permis d'illustrer ce qui influence la coordination de ces deux activités de l'équipe. En premier lieu, le volume et la zone

de dépose des tas d'enrobés déterminent l'organisation des pelleteurs et des réglers. La puissance de l'exosquelette robotisé donne la possibilité à son utilisateur de compléter son activité de réglage par l'action d'étalement des tas d'enrobés. Mais cette activité supplémentaire peut empiéter sur les zones de travail et l'activité des pelleteurs. De plus, lors de la confrontation collective, il a été mis en avant que cette évolution du rôle de chacun devait être régulée en fonction de la taille du tas d'enrobés. En effet, les tas trop volumineux semblent moins appropriés pour l'étalement avec l'exosquelette robotisé que les tas de taille moyenne. L'exosquelette robotisé, malgré sa puissance d'aide à la poussée, peut rester « bloqué dans un tas trop volumineux ». Dans ce cas de figure, l'utilisateur de l'exosquelette robotisé « doit demander au pelleteur de casser le tas qui est trop gros, car sinon, il aurait besoin de mettre plus de coups de râteau pour pousser le tas ».

Concernant le réglage, le pelleteur et le régleur ont aussi des difficultés pour se coordonner. Le pelleteur, contrairement à ce que l'on pourrait penser, réalise une partie de la finition puisqu'il « prérègle » l'enrobé avant le régleur et l'utilisateur. En tentant de régler l'enrobé, il vient s'emparer d'une partie du travail des réglers. L'utilité du prérèglement réside dans le fait que l'expertise des pelleteurs leur permet d'anticiper, en fonction de leur analyse de l'acti-

tivité du régleur, les besoins en enrobé en fonction de ses zones de travail. Ces mêmes pelleteurs précisent qu'ils seraient obligés de revenir « boucher les trous », de telle sorte que la dynamique d'avancée serait ralentie par des retours en arrière permanents. Les observations de certains types de chantier ont montré que lorsqu'il y a utilisation de l'exosquelette robotisé, un second tireur au râteau en « manuel » est indispensable pour le travail de finition. Cette situation est déjà une forme de reconfiguration de l'équipe et d'évolution de l'activité collective.

Par ailleurs, bien que les opérateurs soient perturbés par l'introduction de l'exosquelette dans leur activité et qu'ils cherchent à s'ajuster, ils restent cependant convaincus de la place jouée par chaque membre de l'équipe et de leur rôle bien spécifique : « *Le pelleteur [...] peut me déplacer l'enrobé, le pelleteur permet de mettre les tas dans les coins ; si l'autre régleur me demande de mettre une pelle, je ne peux pas, il faut un pelleteur.* » L'utilisateur d'exosquelette ne peut donc pas à lui seul remplacer un pelleteur, puisqu'il ne peut pas déplacer les tas d'enrobés trop volumineux et boucher les trous avec son râteau. De plus, en fonction du niveau d'apprentissage de l'usage de l'exosquelette robotisé, le régleur ne peut pas réaliser un travail de finition comme il le ferait avec un râteau manuel classique. L'utilisation en situation réelle de l'exosquelette robotisé contribue ainsi à la construction d'un référentiel opératif commun, puisque c'est par l'activité que le régleur d'enrobé se familiarise avec l'outil et lui fait découvrir un usage particulier en cohérence avec ses besoins et ceux de son équipe. Ainsi, l'introduction de l'exosquelette robotisé contribue à modifier les règles préétablies et à développer de nouvelles stratégies. Cependant, chaque utilisateur étant singulier, nous pouvons nous interroger sur la représentation que chaque membre de l'équipe se fait de l'outil et sur ses attentes, en termes de performance et de fonctionnement.

### Conclusion

L'introduction de l'exosquelette robotisé dans une équipe de travail génère des modifications dans le déroulement du travail et a donc des conséquences en matière de conditions de travail, non seulement pour l'opérateur équipé mais aussi pour le collectif et l'encadrement. Du point de vue du processus d'acceptation, cette étude démontre l'importance de considérer conjointement l'opérateur, le collectif et l'encadrement, en rapport avec les modifications relatives aux modes opératoires, aux stratégies individuelles, collectives et organisationnelles. Il faut cependant considérer ces observations dans leur contexte, puisque la collecte des données a été réalisée au début du déploiement du dispositif. Les limites évoquées par les opérateurs ne sont donc pas figées, puisque l'utilisation progressive de l'outil va modifier les représentations et les usages. Il est important de

prendre en considération le caractère dynamique et évolutif de cette intervention. En fin d'étude, deux réunions de pilotage (une à un niveau local et une à un niveau national) ont permis à l'INRS de livrer les premiers éléments de réponse quant aux difficultés et apports de l'exosquelette robotisé, et des pistes de progrès ont été identifiées par l'entreprise [6]. ●

1. *L'exosquelette robotisé se compose d'un harnais, d'une jambe de force qui reporte le poids de la charge au sol afin de réduire les efforts et améliorer les postures, et d'un manche télescopique détectant l'intention de mouvement du régleur d'enrobé et amplifiant son geste pour assister en effort en fonction de son besoin, ses actions de ratissage et réglage.*

2. *Sur les chantiers de travaux publics, les espaces « calmes » et propices aux échanges longs sont plutôt rares.*

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier : Colas SA et les équipes de Colas Nord-Est, Marc Bury, Ingénieur-conseil de la Caisse d'assurance retraite et de santé au travail (Carsat) Nord-Est, le Dr M.-C. Houilliez du Service interentreprises de santé au travail du bâtiment, des travaux publics et activités connexes de la Lorraine, et Olivier Remy, attaché d'étude à l'INRS.

### POUR EN SAVOIR +

- Exosquelettes au travail, offre d'information pour les entreprises, accessible sur : [www.inrs.fr/publications/essentiels/exosquelettes.html](http://www.inrs.fr/publications/essentiels/exosquelettes.html).
- Les exosquelettes, Dossier INRS : [www.inrs.fr/risques/exosquelettes/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/risques/exosquelettes/ce-qu-il-faut-retenir.html).
- Webinaire - Exosquelettes au travail : quels bénéfices ? quelles limites ? à visionner sur : [www.inrs.fr/footer/actes-evenements/webinaire-exosquelettes-travail.html](http://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/webinaire-exosquelettes-travail.html).

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] DESBROSSES K., CLAUDON L., SAVESCU A. – La mesure de terrain en physiologie du travail : Intérêts, outils et précautions d'usage. *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 260, pp. 31-39. Accessible sur : [www.hst.fr](http://www.hst.fr).
- [2] WIOLAND L., DEBAY L., ATAIN-KOUADIO J.J. – Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes : évaluation par questionnaire. *Références en santé au travail*, 2019, 160, pp. 49-76. Accessible sur : [www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr).
- [3] BOBILLIER-CHAUMON M.E. – L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du travail et des organisations*, 2016, 22 (1), pp. 4-21.
- [4] JUDON N. – *Rendre possible un espace intermédiaire de dialogue pour coconstruire de nouvelles solutions de prévention dans un contexte d'incertitude : cas des travaux de revêtements routiers* (Thèse de doctorat inédite). Université de Bordeaux, 2017.
- [5] GIBON A. – La construction de référentiels communs dans le travail coopératif. *Psychologie ergonomique : tendances actuelles*, 2004, pp. 119-139.
- [6] GAY A., GOINEAU J., HOUILLIEZ M.-C., BURY M., WIOLAND L., ATAIN-KOUADIO J.J., BREARD H. – Déploiement d'un exosquelette robotisé : retour d'expérience par l'entreprise Colas. *Références en santé au travail*, 2021, 167, pp. 33-39. Accessible sur : [www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr).