

# Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels : actions en termes de prévention

## AUTEURS :

L. Wioland, J.J. Atain-Kouadio, M. Dufraise, I. Clerc-Urmès, B. Paty, département Sciences appliquées au travail et aux organisations, INRS

## EN RÉSUMÉ

Comprendre et analyser la dynamique du processus d'adoption des exosquelettes professionnels en tant que reflet de la qualité de l'interaction entre le dispositif et son utilisateur permet de définir des points de vigilance en termes de prévention, en particulier lors des démarches d'intégration et de suivi de l'utilisation. Pour cela, deux études complémentaires ont été mises en œuvre. La première, quantitative, à partir d'un questionnaire, a permis d'identifier les déterminants du processus d'adoption selon deux étapes : l'acceptabilité et l'acceptation. La seconde étude, qualitative, a permis de caractériser plus précisément la séquence de familiarisation qui se situe au début de l'étape d'acceptation. La synthèse de ces résultats et leur discussion sont rédigées sous l'angle de la prévention.

## MOTS CLÉS

Exosquelette / TMS / Trouble musculo-squelettique / Pathologie articulaire / Technologie avancée / Questionnaire

**D**epuis plus de 20 ans, les troubles musculosquelettiques (TMS) sont de loin les maladies professionnelles les plus fréquentes en Europe, trois travailleurs sur cinq étant concernés [1]. Lorsque toutes les solutions d'amélioration des conditions de travail ont été testées, et que l'automatisation n'est pas envisageable, les dispositifs d'assistance physique, et plus particulièrement les exosquelettes, apparaissent alors comme une solution pour limiter l'exposition des salariés à certains facteurs de risques biomécaniques de survenue de TMS. Si les exosquelettes ont un rôle à jouer dans la prévention des TMS, il est essentiel qu'ils soient utilisés régulièrement par les opérateurs. Ainsi, la question de l'adoption de ces dispositifs par les utilisateurs devient centrale alors même que les études sur ce sujet restent

encore peu nombreuses. Ainsi, Lefint et al. constatent que, sur les 2 000 premiers articles les plus cités sur les exosquelettes et référencés dans *Web of Science*, seuls trois mentionnent les termes « adoption » ou « acceptation » [2]. Cela pourrait indiquer une lacune dans la littérature scientifique sur ce sujet qu'il convient de combler.

## DESCRIPTION DU PROCESSUS D'ADOPTION

### LA DYNAMIQUE DE L'ADOPTION

Quelle que soit la nouvelle technologie que l'entreprise souhaite intégrer, son adoption par les utilisateurs est définie comme un processus dynamique qui s'inscrit dans la durée ([figure 1 page suivante](#)). Celui-ci comprend différentes étapes renvoyant cha-

**Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels:**  
actions en termes de prévention

cune à des comportements prototypiques spécifiques qui constituent des invariants [3 à 5]. Ainsi, classiquement, l'acceptabilité (ou pré-adoption) est définie comme la première étape du processus. Elle se situe en amont de l'intégration du dispositif c'est-à-dire avant même que l'utilisateur n'ait interagi avec ce dernier. Le futur utilisateur élabore une représentation mentale du dispositif en fonction de ses connaissances, de la communication qui est faite par l'entreprise ou encore des échanges avec son environnement social professionnel. Ainsi, il tente de se renseigner et de déterminer la « valeur » de la technologie. À partir de cette représentation, il définit ses attentes et son attitude (son opinion, sa décision et son comportement) à l'encontre du dispositif et donc, *in fine*, ses intentions à l'utiliser ou non. Par « attentes », il est fait référence aux bénéfices projetés par les futurs utilisateurs de l'usage de la technologie. Dans le cas spécifique des exosquelettes professionnels, trois

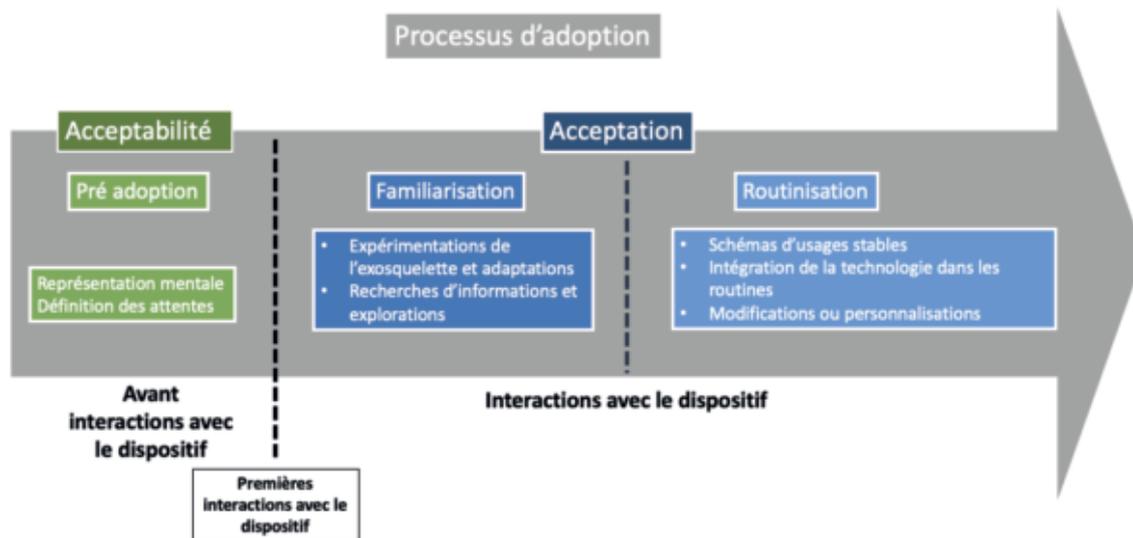
types d'attentes sont définis [6, 7]:

- les attentes en termes de santé et sécurité au travail (SST) (par exemple en termes de soulagement des efforts physiques);
- les attentes en termes de productivité (par exemple en termes d'efficacité, de qualité ou encore de performance);
- l'attente symbolique : l'intérêt de l'exosquelette est perçu comme pouvant améliorer l'image du métier ainsi que son attractivité.

Ensuite vient la phase d'acceptation, qui démarre quand il y a interaction avec le dispositif. Cette phase se compose d'une séquence de familiarisation qui désigne les premiers temps de l'interaction entre l'utilisateur et la technologie durant lesquels ce dernier apprend à agir avec la technologie [4, 8, 9]. La familiarisation se caractérise également par l'émergence de trois types d'activités. La première consiste en l'expérimentation du dispositif, notamment de ses apports et limites, ce qui va amener l'utilisateur à s'y « adapter » pour construire les bases d'un futur usage. La deuxième est

constituée de recherche d'informations et « d'explorations » des différents paramètres ou modes d'utilisation de la technologie [10, 11]. La dernière activité d'ordre cognitive est l'évaluation du dispositif au regard « des attentes initiales » élaborées lors de la phase d'acceptabilité [12]. À mesure que les utilisateurs interagissent avec le dispositif leurs attentes vont évoluer et être réévaluées et prendre le statut d'attentes « post-utilisation ». Lorsque les attentes, quelles qu'elles soient, ne sont pas confirmées, elles impactent la satisfaction de l'utilisateur pouvant conduire à un refus de poursuivre l'utilisation de la technologie au-delà des premiers essais [13]. Par ailleurs, certains auteurs [14, 15] ayant conduits des études longitudinales ont souligné, à partir d'observations informelles, qu'une période d'instabilité dans les évaluations des exosquelettes pourrait exister. Ensuite, l'utilisateur peut se projeter et passer à une phase de routinisation qui correspond à un usage régulier du dispositif. Elle se caracté-

Figure 1: Schéma du processus d'adoption



térise par des schémas d'usages stables et une complète intégration de la technologie dans les routines de l'utilisateur. La technologie peut faire l'objet de modifications ou de personnalisations dans les usages qui peuvent s'étendre à des situations initialement non-prévues. L'usage de la technologie est ainsi progressivement perçu comme un marqueur de l'identité professionnelle de l'utilisateur. Ce phénomène est d'ailleurs décrit par Bastien et Barcenilla comme le plus haut degré d'appropriation d'une technologie [16]. Par ailleurs, l'utilisateur peut éventuellement développer une dépendance fonctionnelle à la nouvelle technologie [3] voire s'y attacher émotionnellement [17].

## LES DÉTERMINANTS DE L'ADOPTION

Tout au long du processus d'adoption d'une nouvelle technologie, que ce soit pour la phase d'acceptabilité (pré-adoption) ou de l'acceptation (séquence de familiarisation et phase de routinisation), entrent en jeu des déterminants qui vont jouer un rôle essentiel sur l'intention d'utiliser ou de poursuivre l'utilisation de la technologie. Un travail théorique a été réalisé sur cette question et a conduit à caractériser et classer ces déterminants en six dimensions. La partie théorique est disponible dans l'article de Wioland et al. [18]. Seules les dimensions vont être rappelées ici :

- « l'utilité perçue » définie comme le degré auquel une personne estime que l'utilisation du dispositif lui permettrait d'améliorer ses performances professionnelles. Cette dimension a été divisée en deux parties : performance du point de vue de la production et du point de vue de la santé et sécurité ;
- « la facilité d'utilisation perçue » à savoir le degré avec lequel l'utilisa-

tion d'une technologie se fera sans effort ;

- « les conditions facilitantes » qui correspondent à ce que l'organisation met en place, de l'intégration des exosquelettes à leur déploiement ;
- « l'influence sociale » qui est définie par le degré avec lequel un opérateur perçoit l'avis des autres concernant l'utilisation du dispositif ;
- « les aspects identitaires » qui correspondent à la représentation que les opérateurs se font d'eux-mêmes à partir des caractéristiques de leur travail, de leurs compétences, de leurs réalisations professionnelles et de leur appartenance à un groupe professionnel ;
- « les affects » qui correspondent au ressenti de l'opérateur par rapport à l'utilisation de l'exosquelette.

Dans une perspective de prévention des risques professionnels, ce travail théorique a permis l'élaboration d'un questionnaire spécifiquement dédié à la question de l'acceptabilité/acceptation des exosquelettes [19]. Ce questionnaire n'a pas pour objet de déterminer un score d'acceptabilité/acceptation aux exosquelettes par les répondants, mais d'évaluer la qualité de l'interaction entre ce dispositif et ses utilisateurs à différents stades, de l'acceptabilité à l'acceptation.

## OBJECTIF

L'adoption des nouvelles technologies peut être analysée sous deux angles complémentaires : une approche orientée vers l'identification de ses déterminants et une approche visant à comprendre sa dynamique. L'objectif de cet article est de présenter deux études

concernant spécifiquement les exosquelettes professionnels, chacune de ces études étant dédiée à l'une de ces approches. La première étude s'attachera à identifier les déterminants de l'acceptabilité et de l'acceptation des exosquelettes et la seconde s'intéressera à caractériser les mécanismes cognitifs mis en œuvre lors de la séquence de familiarisation ainsi que leurs dynamiques.

## PREMIÈRE ÉTUDE : LES DÉTERMINANTS DE L'ACCEPTABILITÉ ET DE L'ACCEPTATION

### MÉTHODE DE RECUEIL ET D'ANALYSE DES DONNÉES

Le questionnaire permettant d'identifier les déterminants de l'acceptabilité /acceptation élaboré par l'INRS a été utilisé au cours d'une campagne de recueil de données auprès de 13 entreprises de secteurs d'activités différents (logistique, agro-alimentaire, transport, automobile) [18, 19]. Les analyses statistiques conduites ici, à savoir des analyses en pistes causales (ou *path modelling*), permettent d'estimer simultanément toutes les relations causales entre les six dimensions et l'intention d'utiliser/poursuivre l'utilisation de l'exosquelette. Cette méthode permet également de distinguer les dimensions qui sont directement liées à l'intention d'utilisation de l'exosquelette de celles qui sont médiées par une autre dimension. Le poids des pistes causales a été noté  $\beta$  (si le seuil est statistiquement significatif alors plus  $\beta$  est élevé plus le poids de la dimension l'est). Les analyses ont été réalisées avec Stata version 18. Dans le cadre de cet article, pour rester synthétique, seules les pistes causales en

**Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels:**  
actions en termes de prévention

lien direct et indirect avec l'intention d'utiliser ou de poursuivre l'utilisation sont présentées. Pour avoir des informations supplémentaires, il est possible de se référer à l'article de Wioland et al. [20].

**RÉSULTATS**

**GÉNÉRALITÉS**

Au total, 181 opérateurs ont répondu au questionnaire dont 94 non-utilisateurs (*non-users*) et 87 utilisateurs ou anciens utilisateurs (*users/ex-users*) qui utilisaient des modèles d'exosquelettes différents. La quasi-totalité des exosquelettes utilisés (97%) par les *users/ex-users* étaient passifs, c'est-à-dire qu'ils fonctionnaient par restitution d'énergie mécanique grâce à des matériaux particuliers, tels que des systèmes à ressorts ou des élastiques. Ils étaient dédiés pour 76% d'entre eux à une assistance au niveau du dos, 8% des membres supérieurs, 2% des membres inférieurs

et 11% d'autres parties du corps (par exemple les cervicales). Parmi les *users/ex-users*, 2% ne savaient pas de quel type d'assistance relevait l'exosquelette utilisé. Les répondants faisaient principalement de la manutention de charge. L'analyse des résultats des *non-users* concerne l'acceptabilité et celle des *users/ex-users* l'acceptation.

La consistance interne des dimensions du questionnaire a été validée par le calcul de l'alpha de Cronbach pour 4 d'entre elles. Les dimensions conditions facilitantes et identité professionnelle ont été retirées des analyses pour les deux groupes (*users/ex-users* et *non-users*) leurs  $\alpha$  de Cronbach étant inférieurs à 0,7.

**RÉSULTATS CONCERNANT LES DÉTERMINANTS CHEZ LES NON-UTILISATEURS D'EXOSQUELETES (ACCEPTABILITÉ)**

Trois dimensions déterminent directement l'intention d'utiliser les

exosquelettes, la principale étant les affects ( $\beta=0,359$ ,  $p<0,001$ ), suivie par l'influence sociale ( $\beta=0,296$ ,  $p<0,001$ ) et la facilité d'utilisation perçue ( $\beta=0,292$ ,  $p<0,01$ ) (figure 2). Ainsi, l'intention des non-utilisateurs d'utiliser le système est principalement déterminée par la façon dont ils se représentent leurs ressentis s'ils utilisaient le dispositif, la réaction de leur environnement social professionnel et la facilité d'utilisation perçue du dispositif. Plus cette représentation est positive, plus l'intention d'utiliser l'exosquelette est grande.

Les dimensions affects et facilité d'utilisation perçue sont particulièrement importantes à considérer. En effet, outre les liens directs qu'elles ont sur l'intention de porter le dispositif, elles s'influencent également l'une l'autre de manière significative et positive ( $\beta=0,434$ ,  $p<0,001$  et  $\beta=0,422$ ,  $p<0,001$ ). Le même résultat est observé pour la dimension influence sociale qui a un impact sur les affects ( $\beta=0,190$ ,  $p<0,05$ ) et réciproquement mais de manière plus importante ( $\beta=0,394$ ,  $p<0,05$ ).

**RÉSULTATS DES UTILISATEURS D'EXOSQUELETES (ACCEPTATION)**

Pour le groupe des *users/ex-users*, les résultats présentés dans la figure 3 montrent que la dimension des affects est la seule à agir directement sur l'intention de continuer à utiliser le dispositif ( $\beta=0,529$ ,  $p<0,001$ ). Les *users/ex-users* ayant des affects positifs à l'égard des exosquelettes auront davantage l'intention de poursuivre l'utilisation de l'exosquelette dans le cadre de leur activité professionnelle. Tout comme pour les *non-users*, bien qu'il ne s'agisse que d'une tendance chez les utilisateurs, la facilité d'utilisation perçue et les affects s'influencent mutuelle-

Figure 2: Principaux liens issus des analyses en pistes causales pour les *non-users* [20]

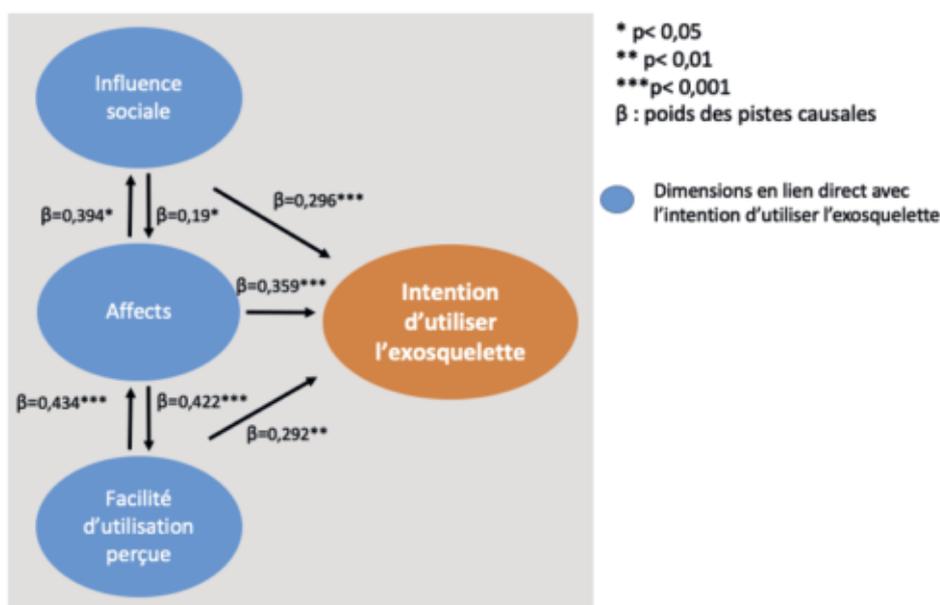
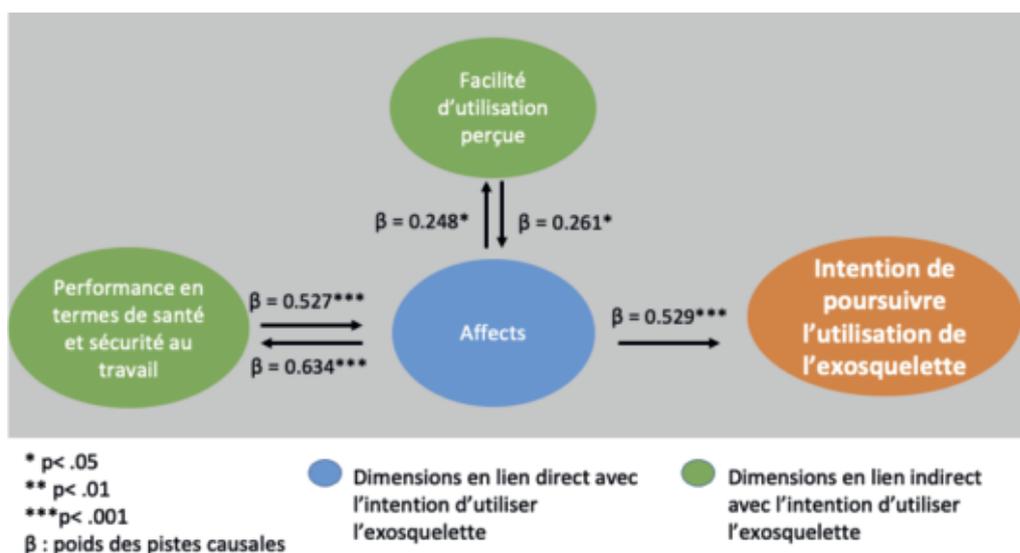


Figure 3: Principaux liens issus des analyses en pistes causales pour les *users/ex-users* [20]



ment ( $\beta=0,248$ ,  $p<0,10$  ;  $\beta=0,261$ ,  $p<0,10$ ). Cependant, contrairement aux *non-users*, l'influence sociale n'a plus d'impact sur les affects. Les affects influencent en revanche les performances en matière de SST ( $\beta=0,634$ ,  $p<0,001$ ) et de manière réciproque ( $\beta=0,527$ ,  $p<0,001$ ).

## SECONDE ÉTUDE: LA FAMILIARISATION COMME SÉQUENCE DYNAMIQUE

### MÉTHODE DE RECUEIL ET D'ANALYSE DES DONNÉES

Cette seconde étude s'intéresse aux mécanismes dynamiques mis en œuvre lors de la séquence de la familiarisation c'est-à-dire au début de l'acceptation. Dans cette étude, conformément à la littérature, la séquence de familiarisation a été appréhendée à partir de 3 thématiques. Ainsi il s'agissait de :

- caractériser les «attentes» des utilisateurs et leur «évolution» (de

leurs attentes initiales à leurs attentes post-utilisation);

- vérifier l'existence de «l'instabilité des évaluations» formulées par les utilisateurs concernant la qualité de leurs interactions avec le dispositif qui avaient été observées de façon informelles dans les études longitudinales citées précédemment;

- identifier les mécanismes «d'adaptation et d'exploration» déployés par les utilisateurs.

Les données ont été recueillies auprès de deux entreprises engagées dans une démarche structurée d'intégration d'exosquelette telle que décrite par Atain Kouadio et al. dans l'ED 6315 de l'INRS [21], Créa et al. [22], ou encore Golabchi et al. [23]. La gestion de chaque projet a été portée par des ressources compétentes en prévention des risques professionnels qu'elles aient été internes ou externes à l'entreprise. L'INRS a contribué au co-pilotage de ces projets en cohérence avec les pratiques recommandées par

l'INRS (ED 6315 [21]) et la norme AFNOR (X35-800). Il a notamment veillé aux choix méthodologiques et a ponctuellement participé aux recueils de données. Ce suivi a permis de s'assurer que les exosquelettes choisis par les entreprises ne soient pas potentiellement rejetés par les utilisateurs pour des raisons de manque d'adéquation au besoin d'assistance physique identifié. L'objectif de ces deux entreprises était d'intégrer des exosquelettes pour contribuer à la prévention des risques de TMS. La première entreprise (notée A) a déployé un exosquelette passif pour assister les membres supérieurs dans le cadre d'activité de maintenance de matériel ferroviaire, la seconde (notée B) a déployé un exosquelette passif d'assistance du dos dans le cadre de manutention de bagages. Au total, 25 opérateurs ont participé à cette seconde étude ; 15 de l'entreprise A et 10 pour l'entreprise B. Tous les participants étaient des hommes, âgés de 23 à 59 ans (âge moyen

**Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels :**  
actions en termes de prévention

de 41 ans ± 10) et travaillaient en moyenne à leur poste depuis 8,5 ans (± 8,2). Aucun des participants n'avait eu d'interaction avec un exosquelette avant l'étude.

Le recueil de données a commencé après l'acquisition des exosquelettes par les entreprises. Cependant, compte tenu de leurs contraintes spécifiques, il n'a pas été possible de déployer de façon systématique les mêmes méthodes de recueil de données pour la question de l'instabilité des évaluations et celle relative aux adaptations et explorations. En revanche, la même méthode a été mise en œuvre pour la question des attentes et leur évolution. Une synthèse des méthodes de recueil et d'analyse des données est proposée dans le [tableau I](#).

**CARACTÉRISATION DES ATTENTES ET DE LEUR ÉVOLUTION (ENTREPRISES A ET B)**

Trois affirmations ont été proposées aux utilisateurs : « *J'attends de l'exosquelette qu'il réduise mon effort physique* » (attentes en termes de SST), « *J'attends de l'exosquelette qu'il me rende plus efficace au travail* » (attentes en termes de productivité) et « *J'attends que l'utilisation d'un exosquelette améliore mon travail/mon métier* » (attentes

symboliques). Les utilisateurs devaient indiquer leur degré d'adhésion à ces affirmations à l'aide d'une échelle de Likert en 5 points (1 = pas du tout d'accord ; 2 = plutôt pas d'accord, 3 = moyennement d'accord, 4 = plutôt d'accord et 5 = tout à fait d'accord).

Pour caractériser les attentes initiales, les utilisateurs devaient donner leur degré d'adhésion aux 3 affirmations avant qu'ils interagissent avec les exosquelettes (soit lors de la phase d'acceptabilité notée T1). Ensuite, pour déterminer l'évolution des attentes et leur réévaluation, les mêmes utilisateurs devaient à nouveau spécifier leur degré d'accord à ces mêmes affirmations au début de la séquence de familiarisation. Cette dernière débutait après la formation dispensée par les fournisseurs d'exosquelettes durant laquelle ils ont pu interagir environ une demi-journée avec le dispositif sur leur poste de travail (notée T2). Une dernière passation était effectuée à l'issue d'une période de 4 semaines d'utilisation (notées T3), période durant laquelle les opérateurs étaient libres d'utiliser les exosquelettes à leur convenance sur les postes identifiés lors de la démarche d'intégration. La durée de 4 semaines pour cette phase de familiarisation a été

arbitrairement définie du fait des contraintes des entreprises.

Les résultats de ces 3 passations ont fait l'objet de tests ANOVA non paramétriques (puisque l'échantillon des participants était petit) à mesures répétées (car les mêmes participants répondaient trois fois ; l'échantillon était donc apparié). Le test statistique à utiliser dans ce cas est le test de Friedman. Les seuils de significativité étaient fixés à 5 %. Si les tests étaient globalement significatifs, des comparaisons deux à deux ont été effectuées. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel stata 18.

**VÉRIFICATION DE L'EXISTENCE DE L'INSTABILITÉ DES ÉVALUATIONS DES INTERACTIONS ENTRE L'EXOSQUELETTE ET SON UTILISATEUR (ENTREPRISE B UNIQUEMENT)**

Les données ont été recueillies « quotidiennement », entre T2 et T3 ; au moyen d'un « cahier de bord » que les opérateurs devaient remplir en fin de chaque journée d'utilisation de l'exosquelette. Les opérateurs devaient évaluer la qualité de leur interaction avec l'exosquelette selon 3 options : très satisfait (score de 3), moyennement satisfait (score de 2) ou insatisfait (score de 1). Cette métrique simple a été décrite

↓ [Tableau I](#)

➤ **MÉTHODES DE RECUEILS ET D'ANALYSES DES DONNÉES POUR CHACUNE DES ENTREPRISES**

		Les attentes et leur évolution	L'instabilité des évaluations	Les adaptations et les explorations
Recueil des données	Entreprise A	Niveau d'adhésion à 3 affirmations concernant les attentes à remplir à T1, T2 et T3	Pas de recueil	Entretiens semi directifs à T1, T2 et T3
	Entreprise B		Évaluations quotidiennes à 3 niveaux disponibles dans les cahiers de bord	Traces écrites disponibles dans les cahiers de bord
Analyse des données		Tests ANOVA non paramétriques à mesures répétées (tests de Friedman)	Score d'Instabilité Normalisé (SIN)	Analyse qualitative par codage

comme efficace et adaptée pour recueillir des données quotidiennes dans les études en entreprises [24]. L'instabilité des évaluations a été caractérisée en prenant en compte pour chaque participant : la fréquence de changements dans l'évaluation d'un jour J au jour suivant J+1 ainsi que l'amplitude de chacun de ces changements.

Un Score d'Instabilité (SI) de l'évaluation a été calculé en tenant compte :

- du nombre E de jours d'évaluation pour chaque participant ;
- de la valeur x de l'évaluation à un jour i.

Le SI a alors été calculé pour chaque participant suivant la formule suivante :

$$\sum_{i=2}^{\max E} \frac{|x_i - x_{i-1}|}{E - 1}$$

Chaque SI a ensuite été normalisé de telle sorte que 100 % corresponde à une instabilité maximum (changements perpétuels d'amplitudes maximales) et 0 % à une stabilité constante (aucun changement dans les évaluations). Afin de disposer de valeurs comparables entre les participants et de disposer de pourcentages, l'instabilité des évaluations sera présentée en fonction du Score d'Instabilité Normalisé (SIN).

### IDENTIFICATION DES MÉCANISMES D'ADAPTATIONS ET D'EXPLORATIONS (ENTREPRISES A ET B)

Pour identifier les adaptations et les explorations deux méthodes de recueil ont été déployées.

Pour l'entreprise A, la méthode consistait en un entretien semi-directif conduit à T1, T2 et T3. Le questionnaire INRS sur l'acceptabilité/acceptation a servi de guide d'entretien pour ces trois recueils. Aucune question relative aux adap-

tations et explorations n'était posée afin de vérifier si les utilisateurs les avaient identifiées ou non. Les données traitées correspondent aux verbalisations spontanées des participants sur le sujet adaptations et explorations.

Pour l'entreprise B, la méthode reposait sur le « cahier de bord » que les opérateurs devaient remplir à la fin de chaque journée d'utilisation de l'exosquelette. Ce cahier de bord avait été mis en place pour traiter de la question de la stabilité des évaluations, en y recueillant leur expérience quotidienne d'interaction avec l'exosquelette. Ainsi, les participants pouvaient librement annoter leurs appréciations quotidiennes en renseignant l'usage qu'ils avaient fait de l'exosquelette ou encore les difficultés et/ou bénéfices identifiés durant la journée. Les données traitées correspondent à ces traces écrites.

Les verbalisations et les traces écrites ont d'abord été retranscrites en intégralité, constituant ainsi des unités qui ont ensuite été formalisées par l'intermédiaire d'un codage. Une unité était codée en « adaptation » lorsqu'elle était relative à une modification des pratiques et/ou de l'environnement en lien avec l'intégration de l'exosquelette. Une unité était codée en « exploration » lorsqu'elle relevait d'une nouvelle forme d'utilisation de l'exosquelette. Pour ces deux codifications, des informations ont été ajoutées permettant de spécifier si l'adaptation ou l'exploration étaient « anticipées ou vécues » et « en quoi elles consistaient ».

Pour garantir la fiabilité et la robustesse du codage, deux chercheurs de l'étude ont indépendamment codé l'ensemble des unités jusqu'à l'atteinte d'un accord total. Des analyses fréquentielles ont été conduites pour l'ensemble des recueils qu'ils aient été effectués à

T1, T2 et T3 ou quotidiennement. Les résultats sont présentés sous forme d'effectifs de participants et de pourcentages relatifs au dénombrement des codes. Quelques exemples d'unités brutes seront fournis afin d'illustrer le contenu des analyses.

## RÉSULTATS

### RÉSULTATS CONCERNANT LES ATTENTES

Les statistiques relatives aux attentes et à leur évolution et réévaluations n'ont été traitées que pour 24 utilisateurs, les données de l'un d'entre eux étant manquantes. À T1, les utilisateurs adhéraient « tout à fait » à l'affirmation concernant les attentes « en termes de SST ». En revanche, une diminution significative de leur adhésion a été observée après quatre semaines d'utilisation, c'est-à-dire à T3 ( $p < 0,001$ ), comparativement à T1 ( $p < 0,001$ ) et à T2 ( $p < 0,001$ ).

Ils ont « moyennement » adhéré à l'affirmation concernant les attentes « en termes de productivité » à T1 et T2 et encore moins à T3. Comme pour l'affirmation concernant les attentes en termes de SST, une diminution significative de leur adhésion avec ce type d'attentes est observée à T3 ( $p < 0,005$ ) par rapport à T1 ( $p < 0,001$ ) et T2 ( $p < 0,05$ ).

L'ensemble des utilisateurs était également « moyennement » en accord avec les attentes « symboliques » que ce soit à T1, T2 ou T3. En revanche, les données montrent que cette attente n'a pas évolué au cours des trois périodes de recueil des données ( $p > 0,05$ ).

Les résultats montrent donc que les bénéfices attendus par les utilisateurs de l'exosquelette concernent principalement la SST, en revanche cette dernière ainsi que celles concernant la productivité sont réévalués à la baisse après 4 semaines

## Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels : actions en termes de prévention

d'utilisation de l'exosquelette, par rapport à la phase d'acceptabilité et au début de la phase de familiarisation.

### RÉSULTATS CONCERNANT LA STABILITÉ DES ÉVALUATIONS

Au cours des 4 semaines entre T2 et T3, les opérateurs de l'entreprise B ont utilisé en moyenne les exosquelettes pendant 14,3 jours ( $\pm 5,4$ ). Le nombre moyen de variations dans les évaluations était de 2,4 ( $\pm 2$ ). Les résultats montrent qu'au cours des 4 semaines de familiarisation, les participants ont montré des tendances différentes dans la stabilité de leurs évaluations.

Ainsi, un premier groupe se dégage composé de quatre participants qui ont eu un SIN nul ou très faible (0 à 3 %). En effet, trois utilisateurs sont restés stables dans leur évaluation de T1 à T3 et un utilisateur a réévalué son opinion une seule fois.

Le second groupe comprend les six autres utilisateurs qui à l'inverse du premier groupe ont réévalué à plusieurs reprises la qualité de leurs interactions avec les exosquelettes avec un SIN variant de 9 % à 75 %. Parmi eux, deux avaient des SIN bas (9 % et 11 %), les quatre autres ayant des SIN modérés à élevés (20 %, 24 %, 32 % et 75 %).

Les résultats mettent donc en évidence qu'il y a à la fois une stabilisation des évaluations des utilisateurs dès T1, tout comme il y a des évaluations instables qui persistent même après quatre semaines d'utilisation.

### RÉSULTATS CONCERNANT LES ADAPTATIONS ET LES EXPLORATIONS

#### Les adaptations et explorations dans l'entreprise A

En T1, près de la moitié (47 %) des utilisateurs « anticipent » que l'exosquelette aura un impact sur

la façon de réaliser l'activité, sans qu'ils ne précisent sur quel aspect de leur activité ces changements interviendront. Pour la moitié de ces anticipations, les opérateurs pensent que l'utilisation répétée de l'exosquelette permettra de s'adapter de façon satisfaisante à ces changements. Une unité est présentée à titre d'exemple : « *Les déplacements, ça sera plus compliqué [...], il y a une période d'adaptation, c'est sûr, mais le mieux c'est de garder l'exosquelette* ».

Après la formation, en début de familiarisation (T2), des unités d'adaptation ont été relevées chez 73 % des utilisateurs. La moitié de ces adaptations étaient anticipées – les utilisateurs projetaient des modifications dans leur activité avec l'exosquelette – tandis que l'autre moitié était relative à des adaptations d'ores et déjà mises en place par les utilisateurs. La majorité de ces unités d'adaptation était d'ordre général alors que 25 % d'entre elles concernaient spécifiquement des modifications dans la réalisation des mouvements.

Après 4 semaines d'utilisation (T3), des unités d'adaptation ont été relevées chez 66 % des utilisateurs. La quasi-totalité de ces dernières étaient rétrospectives et concernaient en majorité une modification dans les mouvements. Les utilisateurs ont également précisé que certains mouvements ne pouvaient pas être adaptés et qu'ils avaient donc saisi cette opportunité pour développer de nouvelles stratégies pour effectuer l'opération ou la tâche. Environ 20 % des utilisateurs à T3 ont également indiqué que l'impact de l'exosquelette sur leurs mouvements induisait une mobilisation accrue de leurs ressources attentionnelles (« *Je fais mes mouvements moins rapidement [avec l'exosquelette] car il faut faire attention à ne pas s'accrocher* »).

Concernant les explorations, elles sont apparues en T2, pour un tiers des utilisateurs. Ces explorations étaient essentiellement en lien avec la question du réglage de l'exosquelette (« *Je trouve qu'il manque un poil de force quand on a les bras en l'air, je vais essayer de le mettre à fond la prochaine fois* ») ou en lien avec l'utilisation éventuelle de l'exosquelette dans d'autres activités que celle initialement prévue. À T3, après 4 semaines d'utilisation, des unités d'explorations ont été relevées chez 60 % des utilisateurs. Elles concernaient également l'utilisation de l'exosquelette dans de nouvelles activités mais aussi l'apparition d'utilisations différentes du dispositif pour certaines opérations précises.

#### Les adaptations et explorations dans l'entreprise B

Deux utilisateurs ont été exclus de l'analyse en raison du nombre insuffisant de notes dans leurs cahiers de bord ; les résultats seront donc présentés pour 8 utilisateurs. Des adaptations et des explorations ont été relevées pour les 6 utilisateurs en lien avec une modification des stratégies gestuelles sur certaines opérations. À propos des explorations, elles concernaient les différentes modalités de réglages jusqu'à trouver celui qui leur convenait le mieux. Certains réglages pouvaient être ressentis comme peu agréables au début, puis au fil des utilisations finir par être ajustés et convenir (« *je le règle à 1, à 2 ça me serre trop* » ; après 1 mois d'utilisation, « *je le règle à 2 maintenant* »). Les explorations se sont également traduites par l'identification de tâches pour lesquelles le dispositif était efficace. Les utilisateurs ont également « personnalisé » l'usage de l'exosquelette en fonction du contexte. Deux illustrations sont proposées :

- lorsqu'ils devaient effectuer une

tâche pour laquelle l'exosquelette n'était pas nécessaire, par exemple conduire, ils désactivaient l'assistance (« quand je conduis je le désactive et quand je déplace ou ferme le conteneur j'enlève l'assistance »);

- lorsqu'ils devaient effectuer la tâche pour laquelle le dispositif était dédié, certains des utilisateurs ont rapporté que, lorsque la production était intense, l'assistance de l'exosquelette induisait des gênes trop importantes les amenant à le désactiver. À l'opposé, ils la réactivaient pour les périodes d'activités moins intenses durant lesquelles ils avaient l'impression de mieux récupérer de leurs efforts.

En revanche, aucune adaptation ni exploration n'ont été retrouvées chez deux utilisateurs. Leurs annotations sur leur cahier de bord révélaient que leurs premières interactions étaient marquées par des évaluations négatives liées à l'apparition d'inconfort et de gênes trop importants. Finalement, ces deux utilisateurs n'ont pas perçu d'utilité dans l'usage du dispositif et ont fini par le rejeter (« c'est trop contraignant à porter, il n'est pas adapté à mon activité »).

## SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

La première étude a permis de mettre en évidence que l'acceptabilité (intention d'utiliser l'exosquelette) et l'acceptation (de poursuivre l'utilisation ou non) sont déterminées par les mêmes dimensions. En revanche, la façon dont elles s'organisent diffère. Les résultats ont effectivement montré qu'en acceptabilité, trois dimensions étaient directement impliquées : les affects, la facilité d'utilisation perçue et l'influence sociale. La facilité d'utilisation perçue est particulièrement importante à ce

stade puisqu'elle influe également de façon indirecte (via les affects) sur l'intention d'utiliser ou non le dispositif. En revanche, l'acceptation est directement déterminée par les affects seuls, indirectement par la performance en termes de SST et, dans une moindre mesure, par la facilité d'utilisation. Ces résultats illustrent la dynamique du processus d'adoption ; entre les deux étapes les dimensions sont réorganisées. La seconde étude a permis de mieux comprendre les mécanismes et leurs dynamiques sous-jacents lors de la séquence de familiarisation. Durant cette phase, trois principaux résultats ont été mis en évidence. Ainsi, les attentes des utilisateurs face à l'exosquelette étaient principalement de type SST et ont été réévaluées à la baisse à l'issue des 4 semaines d'utilisation. Du point de vue des évaluations formulées par les utilisateurs quant à la qualité de leurs interactions avec l'exosquelette, certaines d'entre elles étaient stables, d'autres instables, même après 4 semaines d'utilisation. Pour finir, très tôt dans le processus, c'est-à-dire lors de l'étape d'acceptabilité, les utilisateurs « anticipent » déjà qu'utiliser l'exosquelette nécessitera des adaptations dans la réalisation de leur activité sans pour autant qu'ils précisent sur quelles activités ou opérations et comment. Au fur et à mesure de l'usage, les utilisateurs parviennent à les spécifier. Ces adaptations concernent principalement la réalisation des mouvements et l'élaboration de nouvelles stratégies gestuelles. Au niveau des explorations, celles qui ont émergé au début de la séquence de familiarisation étaient essentiellement en lien avec la question du réglage de l'exosquelette ou de l'éventuelle utilisation de l'exosquelette dans d'autres activités que celle initialement prévue. Après

4 semaines d'utilisation, la majorité des utilisateurs ont fait part de ces mêmes explorations. Même si cela concernait une faible partie des utilisateurs, une personnalisation de l'usage de l'exosquelette en fonction du contexte de l'activité a été rapportée. En revanche, aucune adaptation ni exploration n'a été retrouvée chez deux utilisateurs qui, suite à d'importantes gênes dans l'utilisation de l'exosquelette, l'ont rejeté. Ainsi ces facteurs pourraient inhiber les comportements d'adaptations et d'explorations.

## APPLICATIONS EN PRÉVENTION

### ÉLABORER UN SUIVI DES DIFFÉRENTS DÉTERMINANTS DE L'ADOPTION

La principale dimension qui explique l'intention d'utiliser ou de poursuivre l'utilisation du dispositif est la dimension « des affects », c'est-à-dire le ressenti des utilisateurs. Cette dimension peut s'appréhender comme étant le résultat de l'interaction de l'ensemble des autres dimensions (influence sociale, facilité d'utilisation perçue, performance en termes de SST et de productivité). Cela suggère donc que le processus d'adoption n'est pas une décision simple, entièrement prise par l'utilisateur sur la base d'un seul élément, mais qu'elle relève de plusieurs déterminants. Ainsi, en termes de prévention, s'intéresser à cette question implique de s'intéresser à l'ensemble de ces déterminants. Le questionnaire de l'INRS sur l'acceptation des exosquelettes [19] peut constituer un outil pouvant soutenir cette démarche, qu'il soit utilisé sous sa forme originale ou comme guide d'entretien pour échanger avec les

## Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels : actions en termes de prévention

futurs ou actuels utilisateurs. Cet outil permet d'identifier en amont (acceptabilité) les éventuels points de tensions et les points positifs liés à l'interaction entre l'utilisateur et le dispositif, permettant ainsi aux préventeurs et aux entreprises de procéder aux ajustements nécessaires avant l'intégration complète de l'exosquelette. Pendant la phase d'acceptation, le questionnaire permet de suivre l'évolution de ces points mais également d'en identifier de nouveaux. Finalement, cet outil peut être particulièrement pertinent pour identifier précocement les risques liés à l'interaction utilisateur-exosquelette mais aussi de les gérer de façon continue jusqu'à ce que le processus d'adoption se stabilise [2].

### INSTAURER UNE SÉQUENCE DE FAMILIARISATION POUR LES UTILISATEURS

Par stabilisation du processus d'adoption, il est fait référence au compromis ou à l'équilibre entre les bénéfices et les contraintes liés à l'interaction entre l'utilisateur et l'exosquelette, que l'utilisateur élabore durant ses premières interactions avec la technologie (familiarisation). Ce compromis résulte en partie des adaptations et explorations mises en place par les utilisateurs lors de la familiarisation. Durant cette période, les utilisateurs ont appris à agir avec la technologie, à le tester dans différentes situations, ce qui leur a permis de spécifier des adaptations qu'ils peuvent même parfois anticiper avant d'interagir avec l'exosquelette. En plus de ces adaptations, il a été également mis en évidence que les utilisateurs pouvaient explorer de nouvelles situations d'usage du dispositif non prévues initialement et que certains finissaient par personnaliser leur usage. Il est égale-

ment apparu qu'il n'y avait pas forcément de chronologie stricte dans la mise en place des adaptations et des explorations, alors que la personnalisation apparaît plutôt à la fin de cette séquence de familiarisation. Ainsi, du point de vue de la prévention, il s'agit de considérer cette période comme une étape nécessaire et importante. Même si elles peuvent surprendre, ces adaptations, explorations ou personnalisations jouent un rôle important dans le processus d'adoption et doivent être considérées comme faisant partie du processus. En effet, si ces adaptations ne parviennent pas à se mettre en place, l'équilibre entre les bénéfices et les contraintes ne peut pas être élaboré, signifiant ainsi que l'interaction entre l'utilisateur et l'exosquelette est dégradée. Pour le préventeur, il s'agit alors d'identifier pourquoi l'exosquelette ne convient pas (par exemple pour des raisons liées au design du dispositif ou d'inadéquation par rapport à la tâche) et d'apporter les corrections nécessaires. Par ailleurs, ces adaptations, explorations et personnalisations sont propres à chaque utilisateur; par conséquent, il serait illusoire de chercher à définir une durée universelle pour cette séquence de familiarisation.

### INSTAURER UNE PÉRIODE DE FAMILIARISATION POUR LES COLLECTIFS ET LES ACCOMPAGNER

Les résultats ont illustré que le processus d'adoption était dynamique, les dimensions déterminantes s'organisant différemment selon que l'utilisateur aura interagi ou non avec l'exosquelette (acceptabilité vs acceptation). Ainsi, au niveau de l'étape de l'acceptabilité, il est également apparu que la dimension sociale influençait l'intention d'uti-

liser le dispositif alors que cette dimension perdait de son influence à l'étape d'acceptation. Ce résultat constitue un point de vigilance en termes de prévention puisqu'il suggère que la thématique du collectif doit être considérée tout particulièrement en amont des démarches d'intégration des exosquelettes. Du point de vue de l'intégration des exosquelettes, l'influence sociale et la question du collectif renvoient à deux phénomènes. Le premier concerne les futurs utilisateurs/utilisateurs d'exosquelettes qui peuvent être soumis à une réaction négative de leurs collègues sous forme de railleries, de regards négatifs voire d'exclusion du groupe par exemple [25]. Une des explications possibles réside dans le fait que l'utilisateur de l'exosquelette peut être considéré par son environnement social professionnel comme allant à l'encontre des normes communes du groupe [26]. Ces dernières sont composées de différentes règles qui permettent d'organiser les relations sociales, d'organiser l'activité ou encore d'élaborer les valeurs éthiques du collectif [27]. Ainsi, l'utilisateur influencé par son collectif d'appartenance peut être éventuellement amené à rejeter l'exosquelette alors même qu'il pourrait trouver un bénéfice en terme de SST à l'utiliser. Le second phénomène concerne l'activité elle-même et en particulier le fait que l'introduction d'un exosquelette peut impacter les activités collectives en amenant des changements dans la façon dont les membres se coordonnent ou coopèrent. Atain-Kouadio et al. (2021) ont observé que ces changements pouvaient conduire à désorganiser l'activité collective [28]. En termes de prévention, comme cela a déjà été souligné précédemment, les questions d'influence sociale et de

travail collectif doivent être appréhendées le plus tôt possible en impliquant l'ensemble des collectifs dans le projet d'intégration. Ainsi, il s'agit de communiquer avec les collectifs en créant éventuellement des groupes de travail pour expliquer clairement l'intérêt de l'exosquelette du point de vue de la SST mais aussi pour les sensibiliser sur les éventuelles conséquences sur l'activité collective. Cela devrait leur permettre d'anticiper de potentielles modifications au niveau de leur activité (par exemple en termes de redéfinition des rôles de chacun) ou d'anticiper certaines difficultés. Ce type de séquence permettra au collectif d'avoir le temps de rechercher les informations qui éventuellement leur manquent, de partager leurs craintes mais surtout d'élaborer collectivement des solutions en termes d'adaptations. Finalement, tout comme du point de vue de l'utilisateur individuel, il apparaît qu'une période de familiarisation est également nécessaire pour le collectif pour qu'il puisse mettre en place les mécanismes sous-jacents à l'intelligence collective pour faire face au changement et gérer la situation nouvelle de travail avec exosquelette. Ainsi, pour prévenir les dégradations du collectif de travail qui peuvent survenir suite à l'introduction de l'exosquelette, le collectif doit donc être accompagné, tout comme le futur utilisateur/utilisateur l'est.

### **STRUCTURER LA DÉMARCHE D'INTÉGRATION**

Les résultats ont montré que la facilité d'utilisation jouait un rôle important tout au long du processus d'adoption. Cette dernière est principalement liée à la conception de l'exosquelette mais aussi à la formation à l'utilisation du dispositif. Du point de vue de la prévention,

ce constat confirme l'importance de déployer une démarche d'intégration structurée durant laquelle la caractérisation du besoin doit être réalisée correctement afin de garantir que l'exosquelette choisi est adéquat. Cette question est d'autant plus importante qu'il a été montré que si l'exosquelette ne permettrait pas à l'utilisateur de s'adapter lors de la séquence de familiarisation, alors il pourrait le rejeter. L'INRS a mis à disposition plusieurs documents sur ce sujet sur lesquels les préventeurs peuvent s'appuyer [21, 29].

### **INTÉGRER LA QUESTION DES ATTENTES DANS LA DÉMARCHE ET ÉLABORER LEUR SUIVI**

Les résultats ont montré que les attentes initiales des utilisateurs à l'encontre du dispositif étaient principalement liées à la SST (par exemple en termes de soulagement des efforts physiques) et qu'elles diminuaient au fur et à mesure de l'utilisation du dispositif. D'un point de vue théorique, cela signifie que, tout au long du processus d'adoption, les attentes peuvent être réévaluées plusieurs fois. Les utilisateurs, suite à leurs expériences d'interaction avec le dispositif en situations réelles de travail, remettent donc à jour en continu la représentation mentale du dispositif qu'ils ont élaborée même avant les premières interactions. La réévaluation à la baisse des attentes en termes de SST peut être interprétée comme le signe d'une déception des utilisateurs sur les bénéfices attendus de l'utilisation de l'exosquelette. La difficulté réside dans le fait que lorsque la satisfaction liée à l'utilisation d'un dispositif ne correspond pas aux attentes de l'utilisateur, ce dernier peut être amené à refuser de poursuivre l'utilisation

alors même que le dispositif pourrait être pertinent du point de vue de la SST. Du point de vue de la prévention, il s'agit donc d'être vigilant à la communication qui est faite autour de l'exosquelette en amont du projet d'intégration, de l'adapter avant les premières interactions mais aussi de la faire évoluer tout au long de la séquence de familiarisation. L'idée est d'éviter que les utilisateurs considèrent ce dispositif comme une solution « miracle » à leurs problèmes de SST. La question des attentes doit donc également constituer un facteur à suivre tout au long du processus d'adoption.

### **PLANIFIER PLUSIEURS SÉQUENCES D'ÉVALUATIONS**

Les résultats ont également montré que les évaluations formulées par les utilisateurs quant à la qualité de leurs interactions avec le dispositif pouvaient être stables mais aussi instables, même après plusieurs semaines d'utilisation. Ainsi, ce résultat interroge la question de la validité de l'évaluation, d'autant plus si elle n'est réalisée qu'une seule fois tout au long du projet d'intégration. Cela conduit à préconiser d'effectuer plusieurs séquences d'évaluation tout au long du projet d'intégration. Les séquences incontournables se situeraient au niveau de l'acceptabilité, après la séquence de familiarisation et au moins une fois encore après plusieurs mois d'utilisation. Par ailleurs, les arbitrages concernant la poursuite ou la réorientation des projets d'intégrations d'exosquelette font souvent suite à des séquences d'évaluations. Par conséquent, ils devront tenir compte du caractère dynamique du processus d'adoption dans toutes ses dimensions (y compris la question des attentes et de leurs réévaluations et de l'environnement).

**Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels:**  
actions en termes de prévention

ronnement social professionnel qui lui-même est amené à évoluer).

**CONCLUSION**

Adopter une technologie ou un dispositif tel que les exosquelettes professionnels est un processus complexe qui s'inscrit dans la durée et qui relève de plusieurs mécanismes et déterminants qui évoluent tout au long de ce processus. Les éléments présentés ici constituent de nouveaux repères qui viennent enrichir la démarche d'intégration des exosquelettes et spécifier des actions à mettre en œuvre en termes de prévention des risques professionnels.

**POINTS À RETENIR**

- Le processus d'adoption est dynamique.
- Les déterminants de l'adoption se réorganisent au fur et à mesure des interactions entre l'utilisateur et l'exosquelette.
- La qualité de l'interaction entre l'utilisateur et le dispositif doit être évaluée à différents stades du processus.
- Les évaluations des utilisateurs quant à la qualité de leur interaction peuvent être instables.
- Les attentes des utilisateurs font partie des facteurs à suivre tout au long du processus d'adoption.
- La séquence de familiarisation individuelle à l'exosquelette est composée d'adaptations et d'explorations.
- La personnalisation de l'usage de l'exosquelette peut commencer lors de la séquence de familiarisation.
- Une séquence de familiarisation pour les collectifs de travail est également nécessaire.
- La séquence de familiarisation collective permet la mise en place des mécanismes d'intelligence collective.
- Les collectifs doivent être accompagnés comme les utilisateurs d'exosquelettes tout au long de la démarche d'intégration.

**BIBLIOGRAPHIE**

**1 | ROQUELAURE Y -** Musculoskeletal disorders and psychosocial factors at work. Report 42. European Trade Union Institute (ETUI), 2018 (<https://www.etui.org/publications/reports/musculoskeletal-disorders-and-psychosocial-factors-at-work>).

**2 | LEFINT J, MONIZ AB -** Assessment of Exoskeletons for Work Activities: The Dilemma behind the Product. *Appl Sci.* 2024; 14 (16): 7 108.

**3 | KARAPANOS, E, ZIMMERMAN J, FORLIZZI J, MARTENS JB -** User experience over time: an initial framework. In: OLSEN DR, ARTHUR RB (Eds) - CHI'09: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Boston MA USA April 4-9, 2009. Volume 2. New York: Association for Computing Machinery; 2009: 729-38, 1196 p.

**4 | DE GRAAF MMA, ALLOUCH SB, VAN DIJK JAGM -** Long-term evaluation of a social robot in real homes. *Interact Stud.* 2016; 17 (3): 462-91.

**5 | DÍAZ-BOLADERAS M -** Bond formation with pet-robots: An integrative approach. *Curr Psychol.* 2023; 42: 2 591-608.

**6 | KIM S, MOORE A, SRINIVASAN D, AKANMU A ET AL. -** Potential of Exoskeleton Technologies to Enhance Safety, Health, and Performance in Construction: Industry Perspectives and Future Research Directions. *IIEE Trans Occup Ergon Hum Factors.* 2019; 7 (3 4): 185 91.

**7 | SCHWERHA DJ, McNAMARA N, NUSSBAUM MA, KIM S -** Adoption potential of occupational exoskeletons in diverse enterprises engaged in manufacturing tasks. *Int J Ind Ergon.* 2021; 82: 103103.

**8 | SUNG J, GRINTER RE, CHRISTENSEN HI -** Domestic Robot Ecology. *Int J Soc Robot.* 2010; 2: 417-29.

**9 | CHO M, LEE S, LEE KP -** How Do People Adapt to Use of an IoT Air Purifier?: From Low Expectation to Minimal Use. *Int J Des.* 2019; 13 (3): 21-38.

**10 | MONTALVÁN LUME JG, SHIN H, CUÉLLAR CORDOVA F, LEE K -** Adaptation Profiles in First-Time Robot Users: Towards Understanding Adaptation Patterns and Their Implications for Design. *Int J Des.* 2017; 11 (1): 1-19.

**11 | CARROLL J, HOWARD S, VETERE F, PECK J ET AL. -** Just what do the youth of today want? Technology appropriation by young people. In: Proceedings of the 35<sup>th</sup> Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, Hawaii, USA. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics

Engineers, Inc.; 2002: 1777-85, 4 035 p.

**12 | OLIVER RL, BEARDEN WO** - Disconfirmation processes and consumer evaluations in product usage. *J Bus Res.* 1985; 13 (3): 235-46.

**13 | BHATTACHERJEE A** - Understanding Information Systems Continuance: An Expectation-Confirmation Model. *MIS Q.* 2001; 25 (3): 351-70.

**14 | KIM S, NUSSBAUM MA, SMETS M** - Usability, User Acceptance, and Health Outcomes of Arm-Support Exoskeleton Use in Automotive Assembly: An 18-month Field Study. *J Occup Environ Med.* 2022; 64 (3): 202-11.

**15 | SCHWERHA D, MCNAMARA N, KIM S, NUSSBAUM MA** - Exploratory Field Testing of Passive Exoskeletons in Several Manufacturing Environments: Perceived Usability and User Acceptance. *IIEE Trans Occup Ergon Hum Factors.* 2022; 10 (2): 71-82.

**16 | BARCENILLA J, BASTIEN JMC** - L'acceptabilité des nouvelles technologies: quelles relations avec

l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur? *Trav Hum.* 2009; 72 (4): 311-31.

**17 | RUSSO RODRIQUES B** - Shoes, cars, and other love stories: Investigating the experience of love for products. Doctoral thesis, Doctor of Philosophy. Doctor of Philosophy, Delft: University of Technology; 2010: 181 p.

**18 | WIOLAND L, DEBAY L, ATAIN-KOUADIO JJ** - Acceptation des exosquelettes par les opérateurs: étude exploratoire. Vu du terrain TF 264. *Réf Santé Trav.* 2019; 157: 45-61.

**19 | WIOLAND L, DEBAY L, ATAIN-KOUADIO JJ** - Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes: évaluation par questionnaire. Vu du terrain TF 274. *Réf Santé Trav.* 2019; 160: 49-76.

**20 | WIOLAND L, ATAIN KOUADIO JJ, BRÉARD H, CLERC-URMÈS I ET AL.** - The Adoption of Occupational Exoskeletons: From Acceptability to Situated Acceptance, Questionnaire Surveys. *Int J Hum Comput Interact.* 2024: 1-13 (en ligne avant impression).

**21 | ATAIN KOUADIO JJ, KERANGUEVEN L, TURPIN-LEGENDRE E** - Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise. Guide pour les préventeurs. 2<sup>e</sup> édition. Démarche de prévention. Édition INRS ED 6315. Paris: INRS; 2022: 32 p.

**22 | CREA S, BECKERLE P, DE LOOZE M, DE PAUW K ET AL.** - Occupational exoskeletons: A roadmap toward large-scale adoption. Methodology and challenges of bringing exoskeletons to workplaces. *Wearable Technol.* 2021; 2: e11.

**23 | GOLABCHI A, RIAHI N, FIX M, MILLER L ET AL.** - A framework for evaluation and adoption of industrial exoskeletons. *Appl Ergon.* 2023; 113: 104103.

**24 | DI NAPOLI C, ERCOLANO G, ROSSI S** - Personalized home-care support for the elderly: a field experience with a social robot at home. *User Model User-adapt Interact.* 2023; 33: 405-40.

**25 | TURJA T, SAURIO R, KATILA J, HENNALA L ET AL.** - Intention to Use Exoskeletons in Geriatric Care Work: Need for Ergonomic and Social Design. *Ergon Des.* 2020; 30 (2): 13-16.

**26 | BIRAUD F.** - Les dynamiques collectives lors de l'intégration des exosquelettes en entreprise. Master Psychologie sociale, du travail et des organisations. Parcours Accompagnement professionnel, prévention et gestion des risques. Nancy: Université de Lorraine; 2024: 75 p. (non publié).

**27 | LHUILLIER D, LITIM M** - « Crise du collectif » et déficit d'histoire: apports de travaux sur le groupe et le collectif de travail. *Connexions.* 2010; 2 (94): 149-73.

**28 | ATAIN-KOUADIO JJ, DESBROSSES K, FERRY A, PATY B ET AL.** - Activités individuelle et collective de tireurs d'enrobés: conséquences de l'usage d'un exosquelette robotisé. Etude de cas EC 33. *Hyg Secur Trav.* 2021; 265: 74-79.

**29 | DESBROSSES K, KERANGUEVEN L, SCHWARTZ M, THEUREL J ET AL.** - Repères méthodologiques pour la sélection d'un exosquelette professionnel. Moyens de prévention. Édition INRS ED 6416. Paris: INRS; 2021: 20 p.