

Université de Montréal

Impacts de l'utilisation d'un exosquelette passif chez les travailleurs vieillissants réalisant des
tâches professionnelles contraignantes

Par

Alain Barbara Mengue

Programme de sciences biomédicales, Faculté de médecine
en extension à l'Université du Québec à Trois-Rivières

Mémoire présenté

En vue de l'obtention du grade de Maîtrise (M.Sc.) en sciences biomédicales

Mars 2025

© Alain Barbara Mengue, 2025

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

Université de Montréal
Programme de sciences biomédicales, Faculté de médecine
en extension à l'Université du Québec à Trois-Rivières

Ce mémoire intitulé

Impacts de l'utilisation d'un exosquelette passif chez les travailleurs vieillissants réalisant des
tâches professionnelles contraignantes

Présenté par

Alain Barbara Mengue

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Julie Levesque-Côté

Présidente-rapporteure

Marie-Michèle Lord

Directrice de recherche

Fabien Dal Maso

Membre de jury externe

Résumé

Problématique : Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la proportion de personnes âgées de 60 ans et plus dans le monde passera de 12% en 2015 à près de 22% en 2050. De manière corolaire à ce phénomène, le pourcentage de travailleurs vieillissants a pratiquement doublé entre 1995 et 2015. En projection, en 2036, le marché du travail comptera 36,5% de personnes de 55 ans et plus contre 32,6% à l'heure actuelle. Le champ de recherche concernant cette population est de plus en plus important, notamment en regard de leur santé, leur sécurité et leur maintien en emploi. Dans cette perspective, certaines études s'intéressent aux innovations et technologiques pouvant soutenir le travail et la santé des personnes qui avancent en âge. En effet, dans le contexte du vieillissement démographique, les technologies sont une avenue de plus en plus considérée pour soutenir leur santé et leur sécurité et ce, dans divers domaines de la société, comme le travail. Notamment, l'intégration d'exosquelettes passifs dans le milieu professionnel retient progressivement l'attention comme une solution prometteuse pour atténuer les impacts négatifs pouvant être délétères sur la santé. Ces dispositifs, conçus pour soutenir et optimiser les capacités physiques des utilisateurs, pourraient non seulement améliorer la sécurité et le confort des travailleurs vieillissants, mais aussi prolonger leur carrière en réduisant le risque de blessures et en augmentant leur productivité (Shishika, 2021). Toutefois, le nombre d'études réalisées spécifiquement auprès des travailleurs vieillissants est limité. **Objectif :** Dans ce contexte, l'objectif de l'étude menée était d'explorer les impacts perçus de l'utilisation d'un exosquelette passif (EP) chez des travailleurs vieillissants de 55 ans et plus réalisant des tâches physiques contraignantes, notamment en ce qui concerne la pénibilité du travail, la fatigue, les douleurs musculosquelettiques, le confort, la satisfaction au travail, la motivation au maintien en emploi, ainsi que l'acceptabilité technologique du dispositif. **Méthode :** Cette étude a adopté une approche qualitative phénoménologique et s'est déroulée auprès de travailleurs d'un CISSS du Québec. La collecte s'est déroulée en trois phases : pré-test (questionnaires et entretiens sur la perception du travail et de sa pénibilité), port d'un exosquelette passif pendant six semaines, et post-test (retour d'expérience, perception de la fatigue, du confort et impacts perçus sur le travail). Un questionnaire (SUTAQ) a également été utilisé pour évaluer l'intégration et l'acceptabilité de l'EP par les quatre participant(e)s. **Résultats :** L'étude a révélé des impacts perçus variés et mitigés : avant l'utilisation de l'EP, les participants avaient la perception d'une forte pénibilité du travail, présentaient des

douleurs musculaires et mentionnaient une surcharge de travail influençant leur santé, leur bien-être et leur désir de maintien en emploi. Après l'utilisation de l'EP, certains ont constaté une réduction de la fatigue et une amélioration posturale, mais d'autres ont signalé des contraintes supplémentaires. Concernant son adoption future, la majorité était réticents, considérant que l'EP n'influencerait pas leur maintien en emploi ni leur décision de prolonger leur carrière. **Discussion :** L'adoption d'un EP dépend de l'ergonomie, de l'acceptation sociale et de son adaptation aux tâches de travail. Cette étude, l'une des premières portant directement sur l'utilisation d'un EP auprès de travailleurs vieillissants, suggère qu'il n'améliore pas significativement le confort ni ne réduit la fatigue, en raison de son poids, de sa chaleur et de sa rigidité. Elle permet de discuter plus largement de la création d'innovations et de technologies destinées aux personnes vieillissantes, création qui est rarement effectuée avec les personnes concernées et qui ne prend que rarement en compte leurs désirs et particularités. L'étude souligne ainsi l'importance de la co-crédation des innovations et recommande des ajustements ergonomiques pour une meilleure intégration possible dans le futur.

Mots clés : *Exosquelette passif, Travailleurs vieillissants, Tâches contraignantes*

Abstract

Issue: According to the WHO, the proportion of people aged 60 and over worldwide will rise from 12% in 2015 to almost 22% in 2050. As a corollary to this phenomenon, the percentage of ageing workers almost doubled between 1995 and 2015. By 2036, 36.5% of the workforce will be aged 55 and over, compared with 32.6% today. The field of research concerning this population is becoming increasingly important, particularly about their health, safety and job retention. Several studies are looking at innovations and technologies that can support the work and health of people as they age. Indeed, in the context of demographic aging, technologies are increasingly being considered as a means of supporting their health and safety. In particular, the integration of passive exoskeletons in the workplace is gradually gaining attention as a promising solution for mitigating potentially deleterious negative impacts on health. These devices, designed to support and optimize users' physical capabilities, could not only improve the safety and comfort of aging workers, but also prolong their careers by reducing the risk of injury and increasing productivity (Shishika, 2021). However, the number of studies carried out specifically with aging workers is.

Objective: In this context, the aim of the study carried out was to explore the perceived impacts of using a passive exoskeleton (PE) on ageing workers aged 55 and over performing physically demanding tasks, particularly in terms of work arduousness, fatigue, musculoskeletal pain, comfort, job satisfaction, motivation to remain in employment, as well as the technological acceptability of the device.

Method: This study adopted a phenomenological qualitative approach and involved workers from a Quebec CISSS, with a varied sample. The data was collected in three phases: pre-test (questionnaires and interviews on perceptions of work and drudgery), wearing a passive exoskeleton for six weeks, and post-test (feedback, perceptions of fatigue, comfort and perceived impacts on work). A questionnaire (SUTAQ) was also used to assess the integration and acceptability of PE by participants.

Results: The study revealed varied and mixed perceptions: prior to the use of PE, participants perceived high levels of work arduousness, experienced muscular pain and mentioned work overload as influencing their health, well-being and desire for job retention. After using the EP, some saw a reduction in fatigue and an improvement in posture, but others reported additional constraints. Regarding future adoption, the majority were reticent, considering that PE would not influence their job retention or their decision to extend their career.

Discussion: Several participants mentioned discomfort and restricted movement while using PE.

While some noted a reduction in physical load, others found it restrictive. Its adoption depends on ergonomics, social acceptance and task adaptation. This study, one of the first using PE with ageing workers, shows that it does not significantly improve comfort or reduce fatigue, due to its weight, heat and rigidity. It provides an opportunity for a wider discussion of the creation of innovations and technologies for ageing people, which is rarely carried out with the people concerned, and rarely takes their wishes and particularities into account. The study thus underlines the importance of co-creation and recommends ergonomic adjustments for the best possible integration in the future.

Key words: *Passive exoskeleton, Aging workers, Strenuous tasks*

Table des matières

Résumé	2
Abstract	4
Liste des Tableaux	9
Liste des Figures	10
Liste des sigles et abréviations	11
Dédicace	12
Remerciements	13
Chapitre 1: État des connaissances	14
1.1. Vieillissement de la population	14
1.2. Vieillissement de la main-d'œuvre	15
1.3. L'utilisation d'exosquelettes pour l'amélioration des conditions de travail	17
1.4. Question de recherche	18
1.5. Hypothèses de recherche	18
1.6. Objectifs de recherche	18
1.6.1. Objectif principal	18
1.6.2. Objectifs spécifiques	19
Chapitre 2: Cadre théorique	20
2.1. Exosquelettes : définition et types	20
2.1.1. Historique et évolution	20
2.1.2. Classification des exosquelettes	21
2.1.3. Études sur l'utilisation des exosquelettes	23
2.1.4. Limites des études menées	24
2.2 Tâches contraignantes	24
2.2.1. Définition des tâches professionnelles contraignantes	24
2.2.2. Caractéristiques des tâches professionnelles contraignantes	25

2.2.3. Secteurs avec des tâches professionnelles contraignantes.....	25
2.2.4. Impact des tâches contraignantes pour les travailleurs vieillissants.....	26
2.3 Cadre conceptuel soutenant l'étude.....	27
Chapitre 3: Méthodologie	30
3.1. Exosquelette passif utilisé pour l'étude	30
3.2. Devis.....	31
3.3 Population et échantillonnage	31
3.3.1. Population	31
3.3.2. Critères d'inclusion et d'exclusion	31
3.3.3. Échantillonnage	32
3.4. Collecte de données	32
3.4.1. Méthode de collecte de donnée et type de données recueillies	32
3.5. Analyse des données	34
3.6. Considérations éthiques	36
Chapitre 4: Résultats.....	37
4.1. Description des participants	37
4.2. Résultats Pré-Test.....	37
4.2.1. Pénibilité du travail	38
4.2.2. Impacts du travail sur la santé	38
4.2.3. Surcharge de travail	39
4.2.4 Satisfaction au travail.....	39
4.2.5. Maintien en emploi et perspectives de retraite	40
4.2.6 Attentes vis-à-vis l'exosquelette passif.....	40
4.3. Résultats Post Test.....	41
4.3.1. Pénibilité au travail	41
4.3.2. Fatigue et énergie.....	42
4.3.3. Douleurs, inconforts physiques et ergonomie de l'EP	43

4.3.4. Satisfaction globale.....	44
4.3.5. Adoption future de l'exosquelette passif	44
4.3.6. Impact sur la retraite et maintien en emploi.....	45
Chapitre 5: Discussion	47
5.1. Forces et limites de l'étude.....	50
Chapitre 6: Conclusion	52
Bibliographie.....	54
Annexes	67
Annexe 1 : Questionnaire Pré-Test.....	67
Annexe 2 : Questionnaire Post Test.....	72

Liste des Tableaux

Tableau 1: Caractéristique de la population d'étude.....	37
---	-----------

Liste des Figures

Figure 1 : cadre conceptuel de l'IRSST	28
Figure 2: Illustration du port de l'EP utilisé.....	30
Figure 3: Schéma récapitulatif de la collecte de données	34

Liste des sigles et abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation
BMS : Blessures Musculosquelettiques
CCHST : Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité au Travail
CISSS : Centre Intégré de la Santé et des Services Sociaux
CISSSCN : Centre Intégré de la Santé et des Services Sociaux de la Côte-Nord
DAP : Dispositif d'Assistance Physique
EP : Exosquelette Passif
EU – OSHA : Agence Européenne pour la Sécurité et la Santé au Travail
ICIS : Institut Canadienne d'Information sur la Santé
INSPQ : Institut National de Santé Publique du Québec
INRS : Institut National de la Recherche Scientifique
INV : Institut National du Vieillissement
IRSST : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail
ISQ : Institut de la Statistique du Québec
ITM : Institut de Technologie du Massachusetts
Kg: Kilogramme
Lbs : Livres
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
OIT : Organisation Internationale de Travail
SUTAG : Service User Technologie Acceptability Questionnaire
TAM : Model d'acceptation de la technologie
TMS : Troubles Musculosquelettiques
UQTR : Université du Québec à Trois - Rivières
UTAUT : Théorie Unifiée de l'Acceptation et de l'Utilisation des Technologies
RAP : Robot d'Assistance Physique
RH : Ressource Humaine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes parents

Remerciements

La réalisation de ce mémoire de maîtrise a été une aventure enrichissante, jalonnée de défis et d'apprentissages. Ce travail n'aurait pu voir le jour sans le soutien, les encouragements et la bienveillance de nombreuses personnes, à qui je tiens à exprimer ma profonde gratitude.

Tout d'abord, je souhaite remercier ma directrice de recherche, Marie-Michèle Lord, pour son encadrement, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de cette recherche. Son expertise et ses encouragements ont été une source d'inspiration et de motivation constante.

Je remercie également le comité administratif du département d'anatomie de l'UQTR Hugues Leblond, Madeleine Gras, pour leurs orientations, et leur soutien qui m'a permis d'achever ce parcours jusqu'au bout.

Un immense merci à tous les participants de cette étude, qui ont accepté de partager leur expérience et de contribuer ainsi à faire avancer les connaissances dans ce domaine. Leur engagement et leur sincérité ont été essentiels à la réalisation de ce travail.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers mes collègues et amis de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), qui ont partagé avec moi cette aventure académique et ont apporté leur soutien indéfectible.

À ma famille, qui m'a toujours encouragé et soutenu malgré la distance, je vous remercie du fond du cœur. Votre amour, votre patience et vos encouragements ont été ma plus grande source de force.

Enfin, je dédie ce travail à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à mon parcours universitaire et personnel. Merci pour votre présence, votre générosité et votre confiance en moi.

Chapitre 1: État des connaissances

1.1. Vieillessement de la population

Le vieillissement de la population mondiale est un phénomène majeur qui se manifeste à l'échelle planétaire. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le nombre de personnes âgées de 60 ans et plus a doublé depuis 1980 et devrait continuer de croître dans les années à venir (WHO, 2024). Notamment, la proportion de personnes âgées de 60 ans et plus dans le monde devrait passer de 12% en 2015 à près de 22% en 2050 (OMS, 2015). Ce vieillissement démographique est principalement attribuable à des facteurs tels que l'augmentation de l'espérance de vie, la baisse du taux de natalité et l'amélioration des conditions sanitaires (OMS, 2022). Au Canada, selon Statistique Canada, le nombre de personnes âgées de 65 ans et plus a augmenté de manière constante au cours des dernières décennies et devrait continuer de croître de façon soutenue dans les années à venir. En 2019, les personnes âgées représentaient environ 17% de la population canadienne totale, et cette proportion devrait atteindre près de 25% d'ici 2036 (Statistique Canada, 2020). Au Québec, d'ici 2030, l'ensemble des baby-boomers aura dépassé l'âge de 65 ans, marquant une transition démographique autant symbolique que significative.

Le soutien adéquat d'une population vieillissante représente un enjeu majeur pour les sociétés modernes, impactant à la fois les dynamiques économiques et sociales (Mason, 2016). Entre autres, le vieillissement de la population a un impact significatif pour les organisations, principalement celles offrant des soins ou des services, les obligeant à revoir leurs approches et à opérer des transformations organisationnelles. Dans le secteur de la santé, par exemple, cette évolution démographique nécessite une adaptation des façons de faire et des services offerts pour répondre aux besoins croissants d'une population vieillissante (ICIS, 2017). De même, les organisations de travail en général doivent repenser leurs produits et services pour s'adapter à une clientèle vieillissante (OIT, 2017).

En parallèle, la main-d'œuvre des organisations vieillit également, ce qui soulève des réflexions sur la manière de mieux répondre aux besoins des travailleurs en termes de santé et sécurité au travail (Peretti, 2015). Cette évolution démographique et ses implications sur les organisations ont été largement étudiées par différents auteurs. Par exemple, dans son ouvrage "Vieillessement et travail : Quels enjeux pour l'entreprise ?", l'auteure Hélène David aborde les

défis que pose le vieillissement de la population active sur les pratiques et les politiques de gestion des ressources humaines (David H. , 2012). De même, le chercheur Jacques Légaré, dans son article "Le vieillissement de la main-d'œuvre : enjeux et défis pour l'organisation du travail", met en lumière les transformations nécessaires au sein des organisations pour accompagner efficacement le vieillissement de la main-d'œuvre (Légaré, 2003).

1.2. Vieillissement de la main-d'œuvre

En raison du vieillissement démographique, d'un désir des travailleurs de se maintenir plus longtemps en emploi (Lecours, 2023), pour aider à compenser le manque de personnel dans un contexte de pénurie de main-d'œuvre (Mincer, 2015), ou encore en raison d'un phénomène de plus en plus prégnant de retour au travail d'une certaine proportion de travailleurs ayant pris leur retraite (Szinovacz, 2004), une proportion croissante de la main-d'œuvre est composée de travailleurs âgés de 55 ans et plus. En effet, dans de nombreux pays, la proportion de travailleurs âgés de 55 ans et plus ne cesse d'augmenter, tandis que le nombre de travailleurs plus jeunes diminue. Cette tendance démographique soulève des préoccupations quant à la capacité des entreprises à maintenir une main-d'œuvre qualifiée et expérimentée, tout en assurant des conditions de travail adaptées aux besoins spécifiques des travailleurs vieillissants (Lichtenstein, 2019).

Au Québec plus spécifiquement, la proportion de travailleurs vieillissants augmente rapidement par rapport aux travailleurs plus jeunes (ISQ, 2020). En effet, depuis 2011, la proportion de travailleurs vieillissants de 55 ans et plus est en hausse rapide. Ainsi, le Québec se place, avec le Japon et la Corée du Sud, parmi les sociétés qui connaissent le vieillissement de la main-d'œuvre le plus rapide sur le plan mondial (ISQ, 2020). Au Québec, de façon générale, l'emploi des travailleurs âgés de 55 ans et plus a connu une croissance significative entre 2008 et 2018, avec une augmentation de 28 900 emplois. Durant cette période, le taux d'activité sur le marché du travail des personnes âgées de 55 ans et plus est passé de 29,6 % à 34,5 %, représentant près des trois quarts de l'augmentation totale de l'emploi dans la province (Lecours, 2023). Les principaux domaines d'activité où une main d'oeuvre vieillissante est retrouvée sont la vente et les services (20,65 %), les finances et l'administration (18,24 %), ainsi que les transports et la conduite de machineries (15,64 %) (Lecours, 2023). Ce phénomène pose des défis majeurs en termes de maintien en emploi et de santé et sécurité au travail.

Le vieillissement normal est lié à des changements physiologiques et cognitifs, dont une diminution de la force musculaire (Young, 2017), ainsi qu'une diminution de la flexibilité et de la mobilité (Rosenbaum, 2021). Ces changements physiologiques augmentent le risque du développement de troubles musculosquelettiques (TMS) (Afsar, 2017), de fatigue accrue (INV, 2021) et de blessures liées aux tâches exigeantes sur le plan physique (McKernan, 2016). De plus, les problèmes de santé chroniques, comme l'arthrite ou les maladies cardiovasculaires, ont une occurrence plus grande chez les travailleurs vieillissants, limitant davantage leur capacité à accomplir des travaux exigeants (Higgins, 2020). Les travailleurs vieillissants peuvent rencontrer des difficultés avec la mémoire à court terme, la vitesse de traitement de l'information, entraînant un potentiel sentiment d'inadéquation ou d'exclusion (Salthouse, 2015). Cette situation peut également engendrer un stress accru, affectant leur bien-être général et leur motivation au travail (Sonnetag, 2015). Les travailleurs de 55 ans et plus ont un risque deux fois plus élevé que leurs collègues plus jeunes de subir un accident de travail et sont six fois plus susceptibles de développer un trouble musculosquelettique. Ainsi, l'augmentation de la main-d'œuvre vieillissante peut être associée à une augmentation corolaire du nombre de troubles de santé liés au travail au sein d'une entreprise, tels que les douleurs lombaires, les tendinites, ou les troubles articulaires (González, 2014). L'augmentation de l'âge est aussi associée à une hausse des périodes d'invalidité au travail. En effet, la durée moyenne d'invalidité consécutive (nombre de jours consécutifs en arrêt de travail) liée à une blessure professionnelle est d'environ 100 jours plus longue pour cette tranche d'âge comparativement aux travailleurs âgés de 15 à 24 ans (Lecours, 2022). Cela a des implications importantes pour les entreprises et les gouvernements, car elle peut entraîner une pénurie de main-d'œuvre qualifiée et expérimentée.

Les conditions de travail jouent un rôle crucial pour la santé et le bien-être des travailleurs, en particulier pour ceux qui sont âgés. Les travailleurs vieillissants, pouvant être confrontés à une modification de leurs capacités physiques, doivent s'adapter à un environnement de travail qui exige toujours plus en termes de performance physique et d'endurance (Bergman, 2020). La pression pour maintenir une productivité élevée dans un environnement compétitif peut également exacerber le stress et l'anxiété, affectant le bien-être général des travailleurs vieillissants (Lord, 2018). Des études montrent que des conditions de travail inappropriées peuvent exacerber les défis liés à l'âge, augmentant ainsi le risque de blessures musculosquelettiques, d'accidents du travail et d'absentéisme (Becker, 2020). Les préjugés liés à l'âge peuvent eux aussi jouer un rôle significatif

sur l'évolution de la santé des travailleurs vieillissants, alors que certains employeurs et autres travailleurs plus jeunes peuvent percevoir les travailleurs âgés comme moins capables de réaliser leurs tâches ou moins en mesure de s'adapter, ce qui limite leurs opportunités de développement professionnel et de formation continue (Posthuma, 2009).

Considérant l'ensemble des enjeux auxquels peuvent faire face les travailleurs plus âgés, il est impératif pour les organisations de trouver des manières de soutenir adéquatement cette population. En plus d'une préoccupation générale pour la santé de l'ensemble des travailleurs, il est devenu essentiel pour les entreprises de trouver des moyens de maintenir les travailleurs vieillissants au sein de leur effectif, car ces travailleurs possèdent souvent une expérience et des compétences précieuses qui peuvent être difficiles à remplacer (Börsch-Supan, 2013). De plus, le manque actuel de main-d'œuvre qualifiée dans certains secteurs d'activité rend encore plus crucial le maintien en emploi des travailleurs vieillissants. Par ailleurs, le maintien en emploi des travailleurs vieillissants nécessite une approche globale et anticipatrice, intégrant notamment des mesures de prévention et d'adaptation des postes de travail (Afsar, 2017). L'importance d'adapter les environnements de travail à cette population est donc cruciale pour maintenir leur santé, leur productivité et leur satisfaction au travail (Kuwahara, 2021). Il est essentiel de promouvoir des conditions de travail favorables à la santé tout au long de la carrière, en mettant l'accent sur la formation continue, le soutien organisationnel et la reconnaissance des compétences (Hakanen, 2020). En somme, le vieillissement de la main-d'œuvre nécessite une attention particulière en matière de santé au travail, afin de garantir un environnement de travail sûr et adapté aux besoins des travailleurs plus âgés.

1.3. L'utilisation d'exosquelettes pour l'amélioration des conditions de travail

Dans ce contexte, un nombre grandissant de milieux de travail s'intéressent aux solutions ergonomiques et aux innovations technologiques permettant potentiellement de diminuer les impacts physiques des tâches contraignantes sur la santé physique des travailleurs. C'est le cas des exosquelettes, qui sont de plus en plus utilisés dans les milieux de travail au Japon (Suzuki, 2021), aux États-Unis (Zhang, 2021) et attirent l'attention au Québec (Serradell, 2019). Les exosquelettes sont des dispositifs portables développés dans la perspective d'aider à réduire la fatigue musculaire et à prévenir les blessures en soutenant les mouvements du corps des travailleurs lors de la réalisation de tâches physiquement exigeantes (CCHST, 2023). Une étude menée par Liu (2020) a

montré que l'utilisation d'exosquelettes passifs peut réduire de manière significative la charge musculaire sur le corps lors de tâches de levage lourd, ce qui peut contribuer à prévenir les blessures liées au travail et aurait un impact favorable sur le désir des travailleurs de se maintenir plus longtemps en emploi (Davis, 2021). De plus, une revue de littérature réalisée par Kim (2021) a souligné les avantages potentiels des exosquelettes en termes d'amélioration des performances physiques et de réduction de la fatigue chez les travailleurs.

Bien que les exosquelettes semblent être une avenue prometteuse concernant la santé et la sécurité au travail, peu d'études se sont intéressées aux impacts de l'utilisation d'exosquelettes spécifiquement auprès de travailleurs vieillissants. Notamment, peu d'études ont permis à ces travailleurs de s'exprimer sur ce type de technologie. Un projet pilote utilisant des exosquelettes passifs et réalisé en 2022 à l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) et a permis de voir que l'exosquelette passif semble être une avenue prometteuse pour la population de travailleurs vieillissants. Dans ce contexte, il apparaît intéressant de développer davantage les connaissances entourant les impacts de l'utilisation des exosquelettes auprès d'une population de travailleurs vieillissants lors de l'exécution de leurs tâches professionnelles contraignantes.

1.4. Question de recherche

Dans cette perspective, le projet de recherche mené était basé sur la question suivante : quels sont les impacts de l'utilisation d'un exosquelette passif perçus par des travailleurs vieillissants réalisant des tâches professionnelles contraignantes ?

1.5. Hypothèses de recherche

Ce projet de recherche se base sur l'hypothèse que l'exosquelette passif serait une avenue prometteuse pour réduire les contraintes de travail pour les travailleurs vieillissants qui œuvrent dans des emplois avec une forte demande physique favorisant ainsi un rapport au travail plus satisfaisant et un désir de se maintenir en emploi plus longtemps.

1.6. Objectifs de recherche

1.6.1. Objectif principal

Le projet avait comme objectif principal d'explorer le vécu de travailleurs vieillissants de 55 ans et plus réalisant des tâches physiques contraignantes à la suite de l'utilisation d'un

exosquelette passif au travail, en mettant l'accent sur leur ressenti, leur expérience au travail et leur désir de maintien en emploi.

1.6.2. Objectifs spécifiques

Plus spécifiquement, le projet s'est organisé autour deux objectifs spécifiques :

- 1) Identifier les impacts perçus de l'utilisation d'un exosquelette passif pour des travailleurs de 55 ans et plus réalisant des tâches professionnelles contraignantes.
- 2) Mieux comprendre l'influence de l'utilisation d'un exosquelette passif sur la perception du travail et la motivation au maintien en emploi des travailleurs vieillissants.

Chapitre 2: Cadre théorique

2.1. Exosquelettes : définition et types

Les exosquelettes sont des dispositifs portables qui soutiennent les structures du corps. Ils peuvent être classés en deux catégories principales : les exosquelettes actifs, qui utilisent des moteurs pour assister le mouvement, et les exosquelettes passifs, qui s'appuient sur des structures mécaniques pour redistribuer les charges et réduire la fatigue musculaire sans recourir à une source d'énergie externe (Angelo, 2018).

2.1.1. Historique et évolution

L'histoire du développement des exosquelettes remonte à plusieurs décennies et a connu un développement significatif dans différents domaines, dont le domaine militaire, la robotique, et les sciences de la santé.

De 1960 à 1970, les premiers concepts d'exosquelettes sont explorés par des chercheurs et des ingénieurs. Des travaux sont réalisés par des institutions comme General Electric et l'armée américaine pour développer des dispositifs d'assistance pour les soldats et les travailleurs (OMS, 2015). Entre 1980 et 1990, des avancées significatives sont réalisées dans le développement de technologies d'assistance pour les personnes en situation de handicap, notamment dans le domaine de la réadaptation. Des chercheurs du MIT commencent alors à explorer la possibilité de l'utilisation d'exosquelettes pour la rééducation et l'amélioration des capacités physiques (Ranci, 2012). Entre 2000 et 2010, la recherche sur les exosquelettes se développe rapidement, avec des progrès importants dans la conception de dispositifs portables pour des applications médicales, militaires et industrielles (Shishika, 2021). De 2010 à 2020, les premiers exosquelettes conçus à des fins professionnelles font leur apparition sur le marché du travail, notamment en France. Très vite, il est apparu évident que les modèles imaginés par les fabricants devaient être adaptés pour répondre à un usage spécifique lié à l'activité de travail, mais aussi au confort et à l'acceptabilité des travailleurs.

À l'heure actuelle, dans le domaine industriel en particulier, les exosquelettes sont principalement utilisés pour prévenir les troubles musculosquelettiques en visant la réduction des efforts nécessaires pour soulever, porter ou manipuler des charges lourdes (Kim, 2021). En milieu

médical, ils visent à aider les personnes ayant des limitations physiques à retrouver une certaine mobilité, comme les patients paraplégiques (Olshansky, 2002). Entre autres, dans le domaine de la réadaptation, les exosquelettes sont utilisés pour aider les personnes en convalescence à retrouver une mobilité fonctionnelle, en réduisant la charge sur les articulations et en facilitant le mouvement (Bae, 2018). Dans le secteur industriel, les exosquelettes passifs sont utilisés pour réduire la charge physique sur les utilisateurs, pour minimiser le risque de blessures musculosquelettiques et améliorer le confort au travail (Richard, 2023). Dans le domaine du sport, bien que l'utilisation soit moins courante, certains exosquelettes sont utilisés pour optimiser les performances athlétiques pour aider à la récupération ou pour augmenter l'endurance des athlètes (Gonzalez, 2021). Enfin, les applications militaires incluent l'amélioration de l'endurance des soldats (Vogt, 2017).

Depuis 2020, le nombre de recherches et publications scientifiques concernant l'utilisation des exosquelettes se sont multipliés. Les exosquelettes ont fait naître l'espoir d'une amélioration rapide des conditions de vie et de travail (Knapik, 2017), mais de nombreuses études sur les questions de l'acceptabilité (intention des opérateurs à utiliser ou non la nouvelle technologie) et de l'acceptation (usage effectif) nuancent cet espoir (Wioland, 2019).

2.1.2. Classification des exosquelettes

Les exosquelettes sont des systèmes externes portés par leurs utilisateurs au moyen de contentions, qui apportent une assistance physique à leur utilisateur. Conçus pour réduire la charge physique et prévenir le développement de troubles musculosquelettiques (TMS), ils se divisent principalement en deux catégories : les exosquelettes passifs et les exosquelettes actifs, chacun ayant des caractéristiques et des applications distinctes. Les exosquelettes passifs sont souvent plus légers et moins coûteux que les autres types d'exosquelettes, puisque ce type d'exosquelette ne nécessite pas de source d'énergie externe pour fonctionner. Les exosquelettes passifs utilisent des leviers, des ressorts, des contrepoids et d'autres moyens non électriques pour soutenir la posture ou le mouvement de l'utilisateur et redistribuent les forces pour protéger des régions précises du corps. La modification de la performance de l'utilisateur ne résulte pas d'une force physique supplémentaire, mais de la capacité à maintenir une position sur une période prolongée (p. ex., travail à bout de bras) et leur conception vise à minimiser la fatigue musculaire et à prévenir les blessures (inrs, 2024). En revanche, les exosquelettes actifs intègrent des moteurs électriques, des éléments générateurs de force, des éléments pneumatiques ou des éléments hydrauliques pour

fournir une force supplémentaire à l'utilisateur et des systèmes de contrôle sophistiqués, permettant une assistance dynamique et adaptative en temps réel. Cela leur confère une plus grande capacité à s'ajuster aux mouvements de l'utilisateur, offrant ainsi un soutien plus personnalisé et efficace lors de tâches variées que les exosquelettes passifs. Cependant, leur complexité technique, leur poids plus élevé et leur coût supérieur peuvent limiter leur utilisation dans certains environnements professionnels (Ergofrance, 2022).

Les exosquelettes peuvent aussi être classifiés en fonction des parties du corps qu'ils assistent. Les exosquelettes des membres supérieurs sont surtout conçus pour alléger l'effort musculaire des bras et des épaules (ex. Paexo Shoulder d'Ottobock ou l'EksoVest d'Ekso Bionics). Ils sont particulièrement utilisés dans des secteurs où les travailleurs effectuent des tâches répétitives ou nécessitant un maintien prolongé des bras en hauteur, tels que l'industrie automobile, l'aéronautique et les chaînes d'assemblage. Certains de ces dispositifs apportent un soutien aux épaules en réduisant la tension musculaire et en allégeant la charge sur les articulations. D'autres exosquelettes ciblent plus précisément les poignets et les mains (ex. Ironhand de Bioservo), pour améliorer la force de préhension et réduire la fatigue des muscles de la main, ce qui cible particulièrement les tâches nécessitant une prise prolongée d'outils (CCHST, 2023). Les exosquelettes de soutien dorsal ou lombaire (ex. Laevo, BackX) sont spécifiquement conçus pour protéger la colonne vertébrale et réduire les risques de blessures liées aux efforts répétitifs du tronc, à la manutention de charges lourdes, ou à l'adoption de postures contraignantes du tronc. Le bas du dos étant une des zones les plus touchées par les blessures professionnelles, ces dispositifs visent à jouer un rôle dans la prévention des TMS et l'amélioration des conditions de travail en transférant la charge du dos vers les jambes, réduisant ainsi la pression exercée sur la région lombaire (inrs, Exosquelettes : Quel impact sur la santé des travailleurs ?, 2018). Ces technologies sont surtout utilisées dans des secteurs tels que la construction et l'agriculture, où les travailleurs doivent fréquemment soulever, porter ou déplacer des objets lourds. Les exosquelettes destinés aux jambes et aux genoux (ex. Chairless Chair de Noonee, le Eksovest) sont conçus pour soutenir la posture et réduire la fatigue liée aux tâches nécessitant de longues périodes en position debout, accroupie ou agenouillée (Lee, 2016). Les exosquelettes couvrant l'ensemble du corps sont les plus avancées technologiquement et offrent une assistance globale pour les bras, le dos et les jambes (ex. Sarcos Guardian XO). Ils sont conçus pour les environnements où les travailleurs doivent soulever des charges extrêmement lourdes ou évoluer dans des conditions particulièrement exigeantes. Ces

exosquelettes sont principalement utilisés dans des secteurs comme l'armée, l'industrie lourde et les opérations de secours.

2.1.3. Études sur l'utilisation des exosquelettes

Les études portant sur l'utilisation des exosquelettes, en particulier dans le contexte professionnel, ont montré des résultats prometteurs, mais aussi des défis à surmonter. Les recherches menées ont mis en évidence les bénéfices potentiels des exosquelettes pour réduire les contraintes biomécaniques, prévenir les TMS chez les travailleurs en réduisant la charge physique et la fatigue musculaire. Par exemple, une étude de Koo et Park (2020) a révélé que l'utilisation d'un exosquelette passif lors de tâches de levage réduit la contrainte sur les muscles du dos (Koo, 2020). Une étude menée par l'INRS a mis en évidence que les exosquelettes peuvent réduire la charge musculaire de plus de 60% lors de tâches de levage répétitives. Un essai mené par Posthuma (2022) a également révélé que l'utilisation d'exosquelettes passifs améliore l'endurance physique des travailleurs en réduisant le stress perçu lors de tâches manuelles lourdes (Posthuma, 2009). De plus, Gagnon et Bouchard (2020) ont noté une augmentation de la productivité parmi les participants utilisant un exosquelette passif dans des environnements de travail exigeants (Gagnon, 2020). En outre, Choi (2018) a observé une réduction significative des charges physiques et du stress perçu lors de l'utilisation d'exosquelettes dans des tâches manuelles (Choi, 2018). Ces résultats sont soutenus par les travaux de Shishika et ses collaborateurs (2021) qui ont montré que les exosquelettes passifs peuvent améliorer l'endurance des travailleurs en leur permettant de maintenir des niveaux de performance élevés tout en réduisant le risque de blessures (Shishika, 2021). Ce corpus de recherches souligne le potentiel des exosquelettes passifs comme outils pour améliorer la santé et la sécurité des travailleurs, dont possiblement les travailleurs vieillissants, en leur offrant un soutien dans la réalisation de leurs tâches. Cependant, il est important de noter que plusieurs études réalisées soulignent que l'efficacité des exosquelettes dépend de leur conception et de leur adaptation aux tâches spécifiques. Les études ont également identifié des défis liés à l'utilisation et à l'implantation des exosquelettes, tels que l'inconfort lié au port prolongé et la nécessité d'une formation adéquate pour maximiser les bénéfices, formation qui n'est pas toujours bien réalisée (OSHA, 2019). Le coût élevé de certains modèles constitue un frein important à leur adoption, en particulier pour les petites et moyennes entreprises. De plus, certains exosquelettes peuvent être volumineux et lourds, limitant ainsi la liberté de mouvement et causant une gêne pour l'utilisateur (inrs, 2024). Pour les exosquelettes actifs, l'autonomie des batteries représente une

contrainte supplémentaire, nécessitant des recharges fréquentes qui peuvent interrompre le travail. Enfin, l'ergonomie et le confort de ces dispositifs varient selon les modèles, ce qui peut influencer leur acceptation et leur efficacité sur le long terme (IRSST, 2021).

2.1.4. Limites des études menées

Les études sur l'utilisation des exosquelettes présentent plusieurs limites qu'il convient de mettre en exergue, dont des limites méthodologiques. Un premier enjeu concerne le cadre des expérimentations, ces dernières se déroulant souvent en laboratoire, réduisant ainsi la généralisation des résultats aux conditions réelles de travail où les exigences physiques et cognitives peuvent être plus variées (Böhlke, 2020). De plus, la majorité des études ne prennent pas en compte les différences individuelles parmi les utilisateurs, telles que l'âge, le niveau de condition physique ou les comorbidités, qui peuvent pourtant influencer l'efficacité et l'acceptabilité des exosquelettes (Vogel, 2019). Une autre limite concerne la durée d'utilisation ; beaucoup d'expérimentations sont de courte durée et ne mesurent pas les effets à long terme des exosquelettes sur la santé et la performance des travailleurs (Gagnon, 2020). Par ailleurs, la plupart des études se concentrent sur des mesures quantitatives de la performance physique, négligeant des aspects qualitatifs tels que le confort, l'ergonomie et l'acceptation par les utilisateurs (Kumar, 2022). Finalement, les études n'explorent pas suffisamment l'impact psychologique de l'utilisation des exosquelettes (Schnabel, 2020).

2.2 Tâches contraignantes

2.2.1. Définition des tâches professionnelles contraignantes

Les tâches professionnelles contraignantes désignent des activités de travail qui imposent des contraintes physiques et/ou mentales aux travailleurs (CNESST, 2024). Selon l'OMS, une tâche est considérée comme contraignante lorsqu'elle dépasse les capacités physiques de l'individu qui doit la réaliser, créant ainsi un risque accru de blessures ou de maladies liées au travail (WHO, 2010). Les tâches contraignantes incluent, entre autres, des activités qui nécessitent des mouvements de flexion et d'extension répétés des membres supérieurs, des efforts prolongés pour maintenir des postures statiques, ou des charges lourdes à soulever de manière régulière (Benoit, 2020).

2.2.2. Caractéristiques des tâches professionnelles contraignantes

Les contraintes associées aux tâches professionnelles contraignantes sont classées principalement en trois familles ; les contraintes physiques, les contraintes organisationnelles et les contraintes environnementales. Parmi les différentes contraintes physiques, il y a le levage de charges lourdes et les mouvements répétitifs (Becker, 2020), ainsi que le maintien de postures statiques prolongées qui sont souvent associées à une augmentation du risque de troubles musculosquelettiques (CISSSCN, 2024). Les contraintes organisationnelles jouent elles aussi un rôle dans la définition des tâches dites contraignantes (Young, 2017). Les contraintes organisationnelles sont par exemple des horaires de travail rigides et irréguliers, le manque de soutien social et les opportunités limitées de formation continue (Takahashi, 2017). Ces éléments peuvent exacerber le stress et la fatigue chez les travailleurs, réduisant ainsi leur capacité à accomplir leurs tâches de manière efficace et sécuritaire. Par exemple, des horaires de travail inflexibles peuvent empêcher les travailleurs de prendre des pauses nécessaires pour récupérer, entraîner une surcharge physique et mentale (Gaudart, 2018). Les contraintes environnementales, quant à elles, englobent les conditions physiques du lieu de travail, telles que l'éclairage, le bruit, les vibrations, la température, l'espace de travail restreint et l'ergonomie des postes de travail (Bisch, 2020). Un environnement de travail mal conçu ou ne correspondant pas aux besoins des travailleurs peut augmenter le risque de développer des TMS et d'autres problèmes de santé. Par exemple, un mauvais éclairage peut entraîner une fatigue visuelle, tandis que des niveaux de bruit élevés peuvent causer des problèmes auditifs (Van der Molen, 2012). De plus, des postes de travail mal adaptés peuvent forcer les travailleurs à adopter des postures inconfortables, augmentant ainsi le risque de blessures (OIT, 2017).

2.2.3. Secteurs avec des tâches professionnelles contraignantes

Les secteurs professionnels dans lesquels les travailleurs sont régulièrement exposés à des tâches contraignantes sont nombreux et variés, mais certains se distinguent par l'intensité et la fréquence des contraintes présentes. Parmi ces derniers, on trouve les secteurs de la construction, de la manutention, de la restauration, de l'entretien ménager, ainsi que les industries manufacturières (Colombini, 2014). Dans le secteur de la restauration, par exemple, les travailleurs sont fréquemment amenés à adopter des postures de travail contraignantes (flexion, torsion), à manipuler des équipements lourds, ou à maintenir des postures prolongées extrêmes, souvent avec

un rythme de travail accéléré (Schoenen, 2016). Dans le secteur de l'entretien ménager, les travailleurs sont également amenés à déplacer des chariots et de matériaux lourds, à réaliser des gestes répétitifs et à maintenir des postures prolongées dans leurs activités quotidiennes. Le lever de charges lourdes et les déplacements fréquents dans des positions inconfortables ou inappropriées pour le corps y augmentent significativement le risque de développement de TMS (Martínez, 2018). Les industries manufacturières, notamment celles liées à la production en série, sont également caractérisées par des tâches physiques répétitives et des postures statiques prolongées, créant des risques de blessures au niveau des muscles et des tendons (Roquelaure, 2018). Les travailleurs y sont soumis à une cadence de production élevée aux mouvements répétitifs (Benoit M. J., 2020). Le secteur de la santé présente également des risques liés à des tâches contraignantes. Les travailleurs dans ce secteur, en particulier les infirmiers (es) et préposées, adoptent des postures contraignantes lors de la réalisation de soins (CCHST, 2024). Ces tâches, souvent exécutées sous pression, exposent les travailleurs à des blessures physiques, notamment des douleurs au dos et des troubles au niveau des bras et des poignets, liés à des mouvements de levée ou de soutien (Penny, 2018). De plus, il importe de souligner que des travailleurs du secteur de l'entretien ménager et de l'alimentation/restauration sont présent au sein même du secteur de la santé (par exemple dans la cuisine pour la préparation des repas des patients, ou encore pour l'entretien ménager des étages).

2.2.4. Impact des tâches contraignantes pour les travailleurs vieillissants

Les travailleurs vieillissants sont particulièrement vulnérables aux tâches professionnelles contraignantes (Beaujolin, 2019). En raison de la diminution progressive de la force musculaire, de la flexibilité, et de la densité osseuse avec l'avancée en âge, les travailleurs plus âgés sont plus susceptibles de souffrir de TMS, de douleurs chroniques et de réductions de leurs capacités fonctionnelles lorsqu'ils sont exposés à des tâches physiques contraignantes (Schoenen, 2016). Par exemple, les travailleurs plus âgés, en raison de la diminution de la masse musculaire et de l'élasticité des tissus conjonctifs, sont plus vulnérables aux blessures liées à la fatigue musculaire lors du maintien de postures prolongées (Beaujolin, 2019). La perception de la douleur chez les travailleurs vieillissants peut également être différente, avec une tendance accrue à sous-estimer ou à ignorer les signes de blessure ou de fatigue excessive, augmentant ainsi le risque d'aggravation des blessures au fil du temps, surtout lorsqu'ils sont soumis à des tâches contraignantes (Shishika, 2021). De plus, des études ont montré que la réduction de la mobilité articulaire, souvent associée au vieillissement, peut rendre les tâches qui nécessitent une flexibilité ou une extension des

membres plus difficiles à réaliser, contribuant ainsi à une fatigue accrue au travail (Desroches, 2024). Les tâches de travail contraignantes entraînent également des répercussions sur le bien-être psychologique des travailleurs vieillissants. Le stress physique, combiné à des exigences de performance élevées et à une surcharge de travail, peut mener à une diminution de la motivation, un sentiment de frustration, et même à des symptômes d'anxiété ou de dépression (Nielsen, 2020). Ces facteurs peuvent à leur tour affecter la productivité et la qualité du travail, créant un cercle vicieux de douleur, de fatigue et de diminution de la performance, avec des répercussions sur la santé mentale et physique des travailleurs. Ce phénomène est exacerbé par le fait que les travailleurs vieillissants sont souvent moins enclins à demander des ajustements ergonomiques ou à signaler des douleurs, pensant que ces problèmes sont inévitables avec l'âge, ce qui peut retarder l'adoption de solutions préventives (Vilà, 2019).

2.3 Cadre conceptuel soutenant l'étude

Un cadre conceptuel est une structure théorique qui permet de définir et d'organiser les concepts, les idées et les relations entre eux dans un domaine spécifique de la connaissance (Gervais, 2016). Il aide à comprendre et/ou à interpréter un phénomène ou une problématique donnée en fournissant un cadre de référence pour l'analyse et la réflexion. Ce cadre conceptuel peut être utilisé pour orienter la recherche, formuler des hypothèses, et guider la construction de modèles ou de théories dans un domaine particulier (Gervais, 2016). Dans le cadre de ce projet, le cadre conceptuel a servi plus spécifiquement à mieux comprendre l'ensemble des éléments pouvant venir influencer l'utilisation des exosquelettes en milieu de travail, ainsi qu'à contextualiser la discussion des résultats de ce projet.

Le cadre conceptuel utilisé dans ce projet de recherche est le cadre de la santé et la sécurité au travail développé par l'IRSST et publié en 2001. La Figure 1 représente ce modèle produit par l'IRSST et adapté à la recherche spécifiquement à ce projet. Au regard de la littérature consultée et présentée dans la section précédente, l'exosquelette a été intégré au modèle en soulignant son interaction avec l'organisation du travail, comme un élément qui influence tant l'entreprise (formations offertes, procédés et outils utilisés) que le travailleur (aspect technique du travail réalisé).

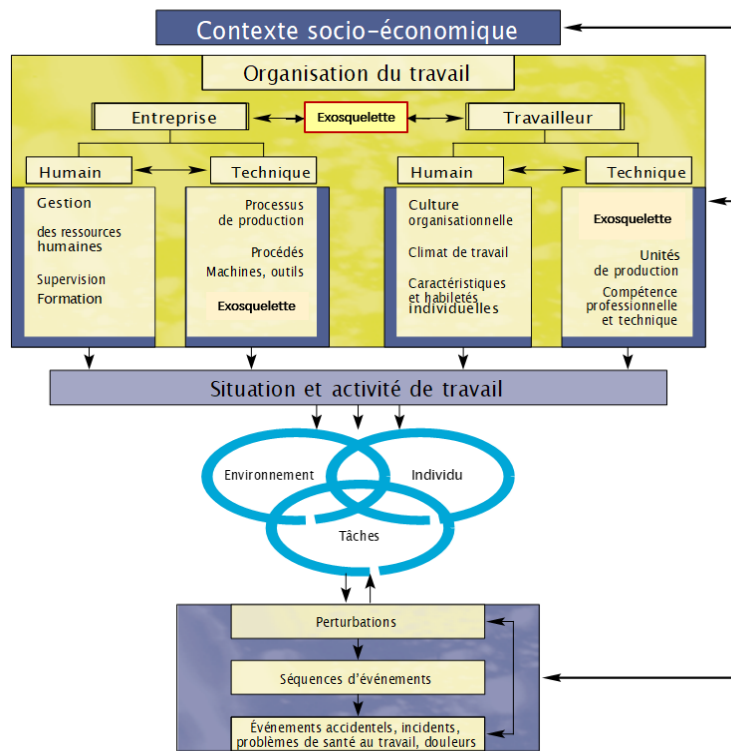


Figure 1 : cadre conceptuel de l'IR SST

Ce cadre conceptuel prend en compte plusieurs dimensions de la santé et de la sécurité au travail, telles que les facteurs individuels, organisationnels et environnementaux, ainsi que les interactions entre ces facteurs. Le modèle présente les éléments déterminants dans une organisation du travail et les flèches expriment le sens de l'interaction entre certains facteurs. Dans ce modèle, le contexte socioéconomique (décisions politiques, économie mondiale ou régionale, etc.) entraîne des répercussions sur l'ensemble du système. Puis, la partie « organisation du travail » regroupe l'ensemble des caractéristiques de l'entreprise et de ses travailleurs, brièvement décrites dans l'organigramme et séparées en aspects techniques et humains. On y voit ensuite que les particularités de l'organisation du travail ont un effet sur la situation de travail immédiate et sur l'activité de travail en tant que telle. Ce dernier aspect s'explique par l'interaction entre l'environnement, l'individu et les tâches à accomplir. C'est d'ailleurs à cet endroit et à ce moment que se produisent souvent les incidents et les accidents, lorsque les situations de travail font l'objet d'imprévus ou de perturbations. On constate finalement, dans la structure présentée, que la

survenue d'incidents, d'accidents et de problèmes de santé produit un effet sur différents aspects de l'organisation du travail et sur le contexte socio-économique global (IRSST, 2001).

Chapitre 3: Méthodologie

3.1. Exosquelette passif utilisé pour l'étude

L'exosquelette passif HeroWear Apex (Figure 2) a été utilisé dans le cadre de cette étude. Cet exosquelette a été conçu selon une approche modulaire et textile, le voulant à la fois léger (1,5 lbs) et flexible (Liu, 2020). Il est composé d'un harnais dorsal ajustable pour épouser le mieux possible la morphologie du dos et des épaules afin d'assurer un bon maintien, ainsi que d'un système de sangles et d'élastiques haute résistance, permettant d'absorber et de redistribuer la charge supportée par l'utilisateur. Un mécanisme d'activation et de désactivation manuel permet à l'utilisateur d'engager ou de désengager l'assistance selon ses besoins (Haque, 2020). Son fonctionnement repose sur un principe biomécanique visant à réduire l'effort lombaire. Lorsque l'utilisateur se penche pour soulever une charge ou réaliser un mouvement nécessitant une flexion, l'exosquelette emmagasine l'énergie dans ses bandes élastiques et la restitue lors du redressement du tronc (Goršič, 2021). Son système de sangles ajustables et d'attaches modulaires vise un ajustement personnalisé en fonction de la morphologie de chaque travailleur. De plus, il est conçu pour s'adapter autant aux hommes qu'aux femmes, avec différentes tailles et configurations disponibles, ainsi que des coupes spécifiques pour différentes morphologies. Ne nécessitant aucune batterie ou source d'alimentation, il permet une utilisation continue tout au long de la journée (Kim, 2021). Ce modèle d'exosquelette passif a été sélectionné pour des caractéristiques permettant sa modulation à différentes morphologies, son coût permettant son acquisition, ainsi que sa disponibilité dans le territoire géographique où s'est tenu la recherche pour des raisons de faisabilité. Aucun soutien financier pour la réalisation de cette recherche n'a été obtenu de la part de cette compagnie (aucun conflit d'intérêt).



Figure 2: Illustration du port de l'EP utilisé

3.2. Devis

Dans le cadre de cette recherche, un devis qualitatif de type phénoménologique a été choisi pour explorer l'impact de l'utilisation de l'exosquelette passif chez les travailleurs vieillissants réalisant des tâches professionnelles contraignantes. Ce devis, qui vise à comprendre et à décrire les expériences vécues des individus en se concentrant sur la manière dont ils perçoivent, ressentent et donnent sens à leur interaction avec un phénomène spécifique, était approprié afin de répondre aux objectifs exploratoires de cette recherche (Ribau, 2005). À travers des entretiens semi-structurés, une compréhension riche et détaillée des expériences personnelles de travailleurs vieillissants rencontrés était visée, tout en éclairant les aspects humains et psychosociaux de l'adoption ou non de l'exosquelette passif.

3.3 Population et échantillonnage

3.3.1. Population

La population d'étude de ce projet de recherche était composée de travailleurs vieillissants âgés de 55 ans et plus, exerçant des tâches professionnelles contraignantes dans des secteurs où les exigences physiques et ergonomiques peuvent engendrer des risques de TMS. L'utilisation de l'âge de 55 ans et plus pour qualifier la catégorie des travailleurs vieillissants est acceptée dans la littérature en raison des changements physiologiques et des défis professionnels qui surviennent à partir de cet âge. L'Organisation Internationale du Travail (OIT) considère cette tranche d'âge comme vulnérable aux exigences physiques du travail.

Le recrutement des participants a été un défi. D'abord souhaité dans plusieurs secteurs d'activité, le projet a dû être adapté pour des considérations de faisabilité et le recrutement a finalement été réalisé en collaboration avec un Centre intégré de santé et de services sociaux du Québec. Ce secteur regroupe des professions associées au secteur de la santé, à l'entretien ménager et à la restauration, secteurs qui, tel que souligné précédemment, ont une proportion élevée de tâches contraignantes.

3.3.2. Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion pour cette étude étaient d'être un travailleur âgé de 55 ans et plus et réaliser une tâche contraignante au moins une fois par quart de travail. Le seul critère d'exclusion pour ce projet était d'avoir une contrainte physique (blessure antérieure, déformation

de la colonne, problème cognitif, trouble neurologique) qui ne permettait pas le port de l'exosquelette passif.

3.3.3. Échantillonnage

Dans le cadre de cette étude, nous avons opté pour un échantillonnage par convenance, une méthode couramment employée en recherche qualitative lorsqu'il est nécessaire de sélectionner des participants possédant des caractéristiques ou des expériences spécifiques en lien avec l'objet d'étude (Patton, 2015). Cette approche permet de constituer un échantillon pertinent en fonction de critères préétablis, facilitant ainsi l'exploration approfondie de phénomènes sociaux et professionnels (Coyne, 1997). Cette stratégie était particulièrement appropriée pour notre recherche, qui visait à documenter l'expérience vécue des travailleurs vieillissants dans des secteurs spécifiques, notamment l'entretien ménager, la restauration et les soins. Ces secteurs, caractérisés par des conditions de travail physiquement exigeantes et des horaires parfois contraignants, sont souvent le théâtre de défis particuliers pour les travailleurs plus âgés, notamment en ce qui concerne l'usure physique et les ajustements professionnels liés à l'âge (INRS, 2018). Initialement, il était prévu de recruter entre 10 et 15 participants afin d'obtenir une diversité d'expériences représentatives de cette population cible.

3.4. Collecte de données

3.4.1. Méthode de collecte de donnée et type de données recueillies

Le projet était divisé en deux phases ; La phase 1 consistait à former chaque participant sur l'utilisation de l'exosquelette passif. Ici, l'équipe de recherche s'est assurée d'ajuster l'exosquelette passif aux données anthropométriques de chacun des participants afin de maximiser leur confort ainsi que de réaliser une familiarisation à l'utilisation de cette technologie.

La phase 2 a consisté à tester empiriquement l'utilisation de l'exosquelette passif et à réaliser la collecte de données avant et après l'utilisation de l'exosquelette. Elle était subdivisée en trois étapes :

Étape 1- Avant le port de l'exosquelette passif (Pré - Test)

Les données ont été collectées à l'aide de plusieurs techniques complémentaires : un questionnaire conçu initialement et administré avant le port de l'exosquelette a permis de recueillir

des données qualitatives sur la perception des tâches, la santé physique, la fatigue, la satisfaction au travail, le désir de maintien en emploi et les attentes par rapport à l'exosquelette (Annexe 1). Ensuite, des entretiens individuels semi-dirigés, d'une durée moyenne de 45 à 60 minutes, ont permis de confronter les travailleurs à leurs propres réponses à ce questionnaire via une technique de retour auto-confrontation, favorisant une réflexion plus approfondie sur leur expérience. Les variables cibles principales recueillies pour cette étape étaient la perception de la pénibilité des tâches professionnelles réalisées, la perception du travail actuel, l'impact du travail réalisé sur la santé et le bien-être et le désir de se maintenir en emploi. En complément, des questions permettaient d'explorer les éventuelles réticences ou motivations à l'égard de cette nouvelle technologie.

Étape 2- Port de l'exosquelette passif

Les participants ont eu à porter l'exosquelette passif pour une durée total de six (6) semaines et ce, au moins une fois par quart de travail lors de l'exécution de tâches jugées contraignantes.

Étape 3- Après l'utilisation de l'exosquelette passif (évaluation post-test)

À l'issue de cette expérimentation, un questionnaire post-test similaire à celui administré au départ a été soumis aux participants afin d'analyser les évolutions en matière de perception de la pénibilité, de douleur musculosquelettique, de fatigue et d'efficacité au travail. De plus, de nouveaux entretiens individuels ont été menés avec chaque participant afin de les questionner quant à leurs réponses au questionnaire et pour explorer les changements dans leur perception de l'exosquelette et leurs intentions quant à son adoption future. Finalement les participants ont eu à compléter la version française du « Service User Technology Acceptability Questionnaire (SUTAQ) » (annexe 2), un outil standardisé permettant de mesurer des dimensions clés de l'acceptabilité d'une technologie, telles que la facilité d'utilisation, le confort et l'impact perçu sur l'activité réalisée. L'évaluation post-test, réalisée après l'utilisation de l'exosquelette passif, s'inscrit directement dans le cadre conceptuel de l'IRSST (2001) en explorant les interactions entre l'individu, l'environnement et les tâches, notamment à travers la perception du confort, de la fatigue et des changements ergonomiques. Elle permet également d'évaluer l'acceptabilité technologique (via le questionnaire SUTAQ), les résistances à l'adoption et les effets organisationnels potentiels, comme le maintien en emploi. Enfin, cette étape fournit des données sur les impacts physiques et psychosociaux du dispositif, notamment sur la posture, les douleurs et

la santé globale, en lien avec les déterminants de la santé au travail identifiés dans le modèle. La figure 3 suivante constitue une représentation visuelle des différentes étapes méthodologiques mises en place pour étudier l'impact de l'exosquelette passif chez les travailleurs vieillissants. Ce schéma illustre le déroulement séquentiel du projet, depuis la phase préliminaire de formation des participants jusqu'à la collecte et l'analyse des données post-test.

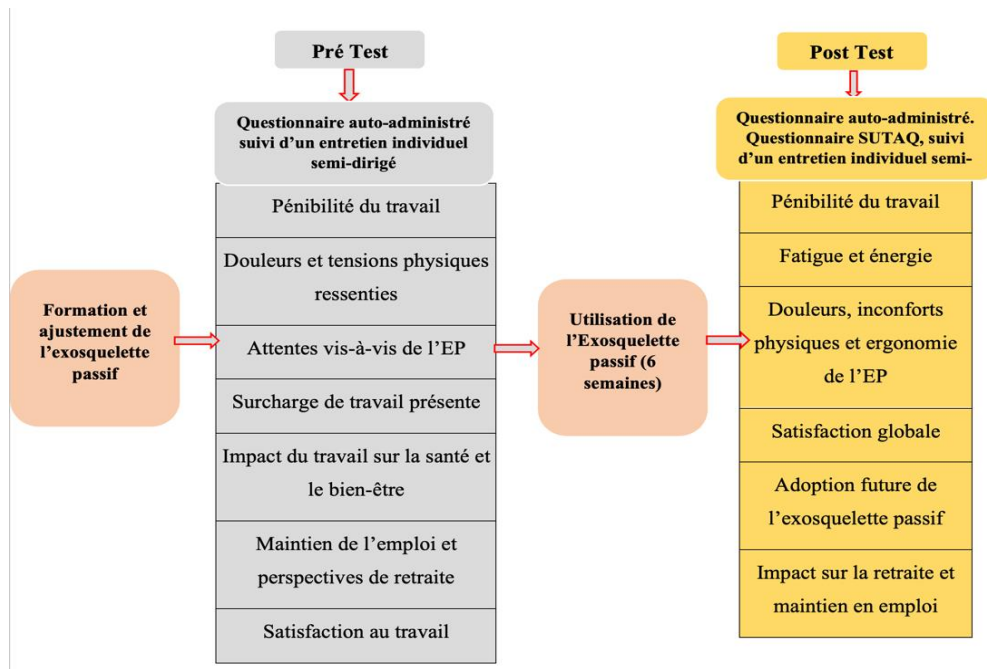


Figure 3: Schéma récapitulatif de la collecte de données

3.5. Analyse des données

Les données issues des entretiens individuels ont été analysés suivant une analyse thématique. La méthode d'analyse thématique adoptée dans ce projet de recherche repose sur un processus rigoureux visant à identifier, organiser et interpréter les thèmes récurrents dans les données recueillies. Cette approche qualitative permet d'extraire du sens à partir des discours des participants et d'identifier des schémas de pensée ou des tendances dans leurs témoignages. Plus spécifiquement, nous avons utilisé une analyse thématique inspirée des travaux de Mucchielli (2021), qui préconise une démarche inductive et systématique pour structurer les données qualitatives. Tout d'abord, une immersion dans les données a été réalisée afin de prendre connaissance en profondeur des réponses des participants et de repérer les premières tendances émergentes. Ensuite, une phase de codage initial a été effectuée, consistant à attribuer des étiquettes

aux segments de texte reflétant des idées ou des perceptions spécifiques. Ce codage s'est appuyé à la fois sur des catégories préétablies – définies à partir de la littérature et des objectifs de l'étude – et sur des catégories émergentes, issues directement du contenu des entretiens. Parmi les catégories préétablies figuraient des thèmes tels que « confort », « contrainte », « acceptation technologique », « adaptation aux tâches professionnelles » et « fatigue perçue ». Ces dimensions avaient été identifiées en amont comme étant particulièrement pertinentes pour évaluer l'expérience des travailleurs vieillissants face à l'exosquelette passif. Toutefois, au fil du codage, des thèmes émergents ont également été relevés, mettant en lumière des aspects inattendus de l'expérience des participants, comme la perception de l'esthétique de l'appareil, la pression sociale ressentie par rapport à son usage ou encore l'influence des perceptions organisationnelles sur son acceptation. Une fois cette phase de codage achevée, nous avons procédé à une analyse approfondie de la fréquence et de l'intensité des thèmes identifiés. Pour cela, une comptabilisation des occurrences de certains termes a été réalisée afin de quantifier leur importance dans les discours des participants. Par exemple, nous avons mesuré la fréquence des mentions de douleur, de confort, d'amélioration posturale, de fatigue, de lourdeur et de restriction des mouvements. Cette approche a permis de dégager des tendances générales, tout en conservant une analyse qualitative fine des nuances et des contradictions présentes dans les discours des participants. En combinant ces différentes étapes analytiques, cette étude a ainsi permis de brosser un portrait détaillé et nuancé des expériences des travailleurs vieillissants avec l'exosquelette passif, en mettant en évidence à la fois les aspects facilitateurs et les contraintes qui peuvent influencer son adoption en milieu professionnel. Une triangulation des données de l'entretien individuel post-test a été réalisée à l'aide d'une analyse statistique descriptive du questionnaire SUTAQ qui présente de solides qualités psychométriques, notamment une validité de construit démontrée par une analyse factorielle ayant révélé une structure en cinq dimensions : bénéfice perçu, inconfort et vie privée, préoccupations liées aux soins, satisfaction et utilité. Il affiche également une fiabilité satisfaisante, avec des coefficients d'alpha de Cronbach supérieurs à 0,7 pour la majorité des sous-échelles. De plus, il est reconnu pour sa sensibilité à capter les différences interindividuelles dans divers contextes d'usage et sa facilité d'administration grâce à ses 22 items formulés sur une échelle de Likert en six points. Ces qualités en font un outil pertinent pour évaluer l'acceptabilité des technologies en contexte de soins (Hirani, 2014).

3.6. Considérations éthiques

Pour mener à bien ce projet de recherche, l'ensemble des considérations éthiques ont été remplies. Nous avons obtenu une certification éthique et une convenance institutionnelle du CISSS partenaire du projet, dont le numéro est le 2025- 197, ainsi qu'une certification éthique du comité éthique de la recherche de l'UQTR, dont le numéro de certificat est le 2025- 197.

Chapitre 4: Résultats

4.1. Description des participants

Au départ, six participants ont été recrutés pour le projet. Cependant, deux participants ont quitté le projet en cours de route, ce qui a réduit l'échantillon à un total de quatre participants ayant complété la phase post test. Le Tableau 1 présente les caractéristiques des participants.

Tableau 1: Caractéristique de la population d'étude

Participants	Sexe	Age	Années d'expérience	Secteur d'activité	Taches contraignantes réalisées	Abandon avant la phase post test
1	M	58	10 ans	Cuisine/Restauration	Soulever des charges, tâches répétitives, marche prolongée	Oui
2	M	57	1 an	Service alimentaire	Travaux alimentaires généraux	Non
3	F	58	14 ans	Préposé alimentaire	Manipulation d'objets lourds, marche prolongée	Non
4	F	64	10 ans	Entretien ménager	Entretien ménager, déplacement de chariots	Oui
5	M	61	45 ans	Cuisine/Restauration	Lever des boites, marche prolongée, nettoyage de la cuisine	Non
6	F	58	4 ans	Cuisine/Restauration	Déplacement d'objets lourds, position debout prolongée	Non

En termes de profession, les participants occupent principalement des postes dans les secteurs de la restauration (cuisiniers, préposés au service alimentaire, préposés à l'alimentation, entretien ménager, transport de charges). Leur expérience professionnelle est hétérogène, allant d'un an à plus de dix ans dans leur domaine respectif. La moyenne d'années d'expérience est de sept ans. A la fin de notre projet, nous avons obtenu deux retraits et parmi les 4 participants ayant complété l'étude deux participants de genre masculin et deux participantes de genre féminin.

4.2. Résultats Pré-Test

Les résultats pré-test incluent les résultats de l'ensemble des six travailleurs rencontrés en début de projet.

4.2.1. Pénibilité du travail

Avant l'utilisation de l'exosquelette passif, les perceptions des participants quant à la pénibilité de leur travail étaient variables. Certains travailleurs qualifiaient leur emploi de moyennement pénible, déclarant par exemple « *mon travail est légèrement impactant sur mon bien-être* »¹. D'autres considéraient leur travail comme pénible, affirmant : « *Je trouve mon travail pénible* ». Les tâches physiques contraignantes étaient une source majeure de pénibilité. Plusieurs participants ont mentionné qu'ils devaient soulever des objets lourds, marcher fréquemment et rester debout de longues heures : « *régulièrement au travail, je soulève des objets, je marche beaucoup, je reste debout, je déplace des objets* ». D'autres ont mis en évidence des tâches spécifiques, notamment la manutention, le nettoyage et le transport de matériel : « *Je remplis les chariots, lave la vaisselle, transporte des déchets et effectue l'entretien ménager, je répète beaucoup mes mouvements.* ». Malgré ces difficultés, certains travailleurs n'avaient jamais cherché à atténuer cette pénibilité, déclarant : « *Je n'ai jamais eu à prendre des mesures pour diminuer la pénibilité de mon travail* ».

4.2.2. Impacts du travail sur la santé

Avant l'utilisation de l'exosquelette, plusieurs participants ont signalé des douleurs et tensions physiques liées à leurs activités professionnelles. Ces douleurs se manifestaient principalement dans le haut du corps, notamment aux épaules et au dos. Un participant a témoigné : « *Je ressens des douleurs aux épaules lorsque je fais mon travail* ». Tandis qu'un autre a mentionné des tensions plus diffuses : « *J'ai des tensions dorsales occasionnelles* ». D'autres travailleurs ont décrit des inconforts spécifiques affectant leur capacité de travail, notamment au niveau des mains : « *J'ai des douleurs au niveau de l'os de la main après mon quart de travail* ». Un autre aspect concernait le sommeil, certains déclarant : « *Mon travail affecte mon sommeil car je fais 4h de travail intense qui se répercute sur le reste de la soirée (fatigue, douleurs)* ». Toutefois, d'autres travailleurs ne ressentaient pas d'effet négatif sur leur repos : « *Mon travail n'affecte pas mon sommeil* » ou encore « *Mon travail n'affecte plus mon sommeil car je suis médicamenté* ». Face à ces douleurs persistantes, certains participants ont eu recours à des traitements pour atténuer leurs inconforts : « *Je vais chez l'ostéopathe, la massothérapie, l'acuponcture et tout dernièrement, j'ai reçu des infiltrations de cortisone* », Certains avaient plutôt recours à la prise d'antalgiques : «

¹ Les phrases présentées entre guillemets et en italique sont des extraits tirés des verbatim.

J'ai des tensions et je prends du Tylenol au besoin pour soulager mes douleurs aux articulations ». Cependant, une partie des travailleurs n'avait pas pris de mesures particulières pour soulager ces douleurs : *« Je n'ai jamais eu à prendre des mesures pour diminuer mes douleurs liées au travail »*.

4.2.3. Surcharge de travail

Avant l'utilisation de l'exosquelette passif, certains participants ont exprimé un sentiment de surcharge de travail qui affectait leur quotidien. Cette surcharge était perçue comme une composante fréquente de leur activité professionnelle, surtout lors des périodes de forte activité. Un participant a ainsi mentionné : *« Mes charges de travail sont toujours intenses entre 11h et 13h, je m'en ressens rendu le soir »*, Un autre a souligné que, bien qu'il ne soit pas toujours surchargé, il rencontrait parfois des périodes particulièrement difficiles : *« Présentement, je ne suis pas surchargé par mon travail, mais c'est souvent trop »*. Ainsi, la surcharge de travail ne se manifestait pas nécessairement de manière constante, mais plutôt par des pics de charge qui augmentaient le stress et la fatigue des travailleurs. Pour certains, cette surcharge semblait être gérable et acceptable dans leur quotidien : *« Il arrive que je sois souvent surchargé par le travail, mais cela me convient »*. Toutefois, ces périodes de surcharge contribuaient globalement à un niveau de pression supplémentaire dans leur environnement de travail, impactant leur bien-être général et leur sentiment d'efficacité.

4.2.4 Satisfaction au travail

Avant l'utilisation de l'exosquelette passif, plusieurs participants ont exprimé une satisfaction globale vis-à-vis de leur travail, malgré les contraintes qu'ils pouvaient rencontrer. Un grand nombre d'entre eux ont témoigné d'un attachement positif à leur emploi : *« J'aime mon travail et je suis épanoui dans mon boulot. »* Certains travailleurs ont également insisté sur le confort psychologique qu'ils ressentaient dans leur environnement professionnel : *« Je me sens à l'aise dans mon travail »*. Au-delà des tâches professionnelles elles-mêmes, l'ambiance de travail et les relations interpersonnelles ont été citées comme des facteurs influençant positivement leur satisfaction. Un participant a mentionné : *« Je suis dans une bonne équipe et j'aime mes relations avec les collègues »*. Un autre a mis de l'avant l'équilibre entre travail et vie personnelle comme un élément important de son bien-être : *« Mes conditions de travail sont idéales, les relations professionnelles sont parfaites, je dispose d'une reconnaissance dans mon travail et d'un équilibre*

travail-vie personnelle idéal ». Par ailleurs, certains participants ont souligné que leur travail leur procurait un sentiment de reconnaissance et d'accomplissement : « *Mon travail me permet d'être proche des résidents et c'est enrichissant pour moi* ». Cette dimension affective et sociale semble jouer un rôle clé dans leur engagement et leur motivation à poursuivre leur activité. Ces résultats montrent que, malgré des conditions de travail parfois contraignantes, les aspects sociaux, la reconnaissance et l'épanouissement personnel sont des facteurs déterminants dans la satisfaction au travail des personnes rencontrées.

4.2.5. Maintien en emploi et perspectives de retraite

Les participants avaient des perspectives variées concernant leur maintien en emploi et leur retraite. Certains travailleurs parlaient d'une volonté claire de continuer à travailler jusqu'à leur retraite, témoignant ainsi d'une certaine satisfaction professionnelle et d'un attachement à leur emploi : « *Oui, je souhaite rester à mon poste jusqu'à la retraite* » ou encore « *J'aime mon travail et je resterai jusqu'à la retraite* ». D'autres travailleurs envisageaient néanmoins un départ anticipé, influencés par des facteurs de santé ou de fatigue accumulée : « *La raison pour laquelle je souhaite prendre ma retraite le plus tôt possible est la santé* ». Cependant, pour certains, cette décision restait incertaine et dépendait de leur état physique futur : « *Si je suis capable de continuer à travailler dans 2 ans, je continuerai, mais si je ne m'en sens pas capable je vais devoir partir avant cela* ». En ce qui concerne l'évolution de leur carrière, plusieurs participants estimaient que leur emploi correspondait à leurs attentes professionnelles : « *Mon travail correspond à mes attentes de développement professionnel et de carrière, cela m'incite à rester* ». Pour d'autres, ce maintien en emploi représentait une opportunité d'acquérir de l'expérience utile pour un futur emploi : « *Oui, mon travail correspond à mes attentes de développement professionnel, car il va m'aider à trouver un autre travail, je vais partir vers autre chose grâce à cet emploi* ».

4.2.6 Attentes vis-à-vis l'exosquelette passif

Les travailleurs avaient des attentes variées quant potentiel impact de l'exosquelette sur leur travail quotidien. Certains participants exprimaient un grand espoir que l'exosquelette passif puisse améliorer leur condition physique en réduisant les contraintes professionnelles : « *Je pense que l'exosquelette passif pourra réduire tous mes problèmes de douleurs et de fatigue musculaire* ». Cette attente était particulièrement marquée chez ceux qui ressentaient des inconforts liés à leurs tâches et aux charges lourdes avant de prendre part à l'étude. D'autres, bien que curieux de l'impact

de l'exosquelette passif, affichaient une attitude plus réservée et prudente quant aux bénéfices attendus : « *Je n'ai pas trop d'attente à l'influence de l'exosquelette passif* ». Certains participants percevaient également l'exosquelette passif comme un facteur déterminant pour leur maintien en emploi : « *Je pense qu'utiliser l'exosquelette passif pourrait influencer ma décision de me maintenir en emploi, de prendre ma retraite un peu plus tard* ». Ces témoignages mettent en évidence une perception contrastée de l'exosquelette passif avant son utilisation. Si plusieurs travailleurs espèrent une réduction de la fatigue et des douleurs, d'autres restent plus circonspects quant à ses effets réels de son utilisation sur leur quotidien et leur travail.

4.3. Résultats Post Test

Au départ, six participants avaient été recrutés pour participer à cette étude. Toutefois, deux d'entre eux se sont retirés avant la phase post-test, réduisant ainsi l'échantillon final à quatre participants. Les raisons précises de ces abandons étaient liées à un manque de satisfaction, à des difficultés d'acceptabilité du dispositif ou à d'autres facteurs externes indépendants de l'expérimentation (ex. : contraintes personnelles, emploi du temps, raisons de santé).

4.3.1. Pénibilité au travail

L'utilisation de l'EP a généré des perceptions contrastées quant à son impact sur la pénibilité du travail de la part des participants. Certains travailleurs ont ressenti une réduction notable de la pénibilité, affirmant que l'exosquelette passif a permis d'alléger certaines tâches exigeantes : « *J'ai observé la pénibilité de mon travail être réduite durant mon utilisation de l'exosquelette.* » Pour ces travailleurs, l'EP semble avoir apporté un soutien physique bénéfique, notamment dans la manutention des charges lourdes et les tâches nécessitant une posture prolongée. Toutefois, une partie des participants a exprimé une perception inchangée de la pénibilité après l'utilisation de l'EP. Un participant a ainsi mentionné : « *Après avoir utilisé l'exosquelette, la pénibilité de mon travail reste moyenne* » et un autre a ajouté : « *La pénibilité professionnelle demeure faible après avoir utilisé l'exosquelette, je n'ai pas vu de changement* ». En revanche, d'autres participants ont ressenti une pénibilité persistante voire aggravée, soulignant des contraintes ergonomiques posées par l'EP lui-même. Comme l'a mentionné un travailleur : « *Après utilisation de l'exosquelette, je trouve mes tâches plus pénibles* ». Un autre participant a décrit son inconfort en déclarant : « *Durant mon utilisation de l'exosquelette, mon impression sur son efficacité est que malheureusement, il apporte des contraintes sur le poids, la chaleur et la*

restriction dans certains mouvements ». Les témoignages des travailleurs montrent également que l'EP a été utilisé dans des situations spécifiques, notamment pour les positions debout prolongées, la manutention des charges lourdes et les tâches répétitives. Cependant, bien que ces tâches représentent des situations où l'EP pourrait être bénéfique, certains travailleurs ont indiqué qu'il ne leur apportait pas le soulagement escompté. Ces résultats traduisent donc une expérience hétérogène quant à l'impact de l'EP sur la perception de la pénibilité au travail. Alors que certains y trouvent un outil facilitateur, d'autres estiment qu'il n'apporte pas d'amélioration notable ou qu'il introduit de nouvelles contraintes physiques.

4.3.2. Fatigue et énergie

Les perceptions des travailleurs vieillissants concernant l'impact de l'EP sur leur fatigue et leur niveau d'énergie après utilisation sont hétérogènes, révélant une diversité d'expériences. Certains participants ont noté une amélioration de leur état de fatigue, suggérant que l'EP leur a permis d'atténuer les efforts musculaires requis au travail. Comme l'a rapporté un participant : « *En utilisant l'exosquelette, je me sens un peu moins fatigué* ». Un autre a précisé avoir observé une réduction notable de la fatigue après usage : « *Je ressens une réduction de fatigue assez élevée* ». Ces témoignages indiquent que, dans certains cas, l'EP a apporté un soutien physique suffisant pour réduire le niveau de fatigue perçu. Toutefois, une autre partie des travailleurs n'a constaté aucun effet tangible sur leur niveau de fatigue et d'énergie. Un participant a mentionné : « *J'ai ressenti aucun changement au niveau de la fatigue* » et un autre a confirmé cette impression en ajoutant : « *Honnêtement, j'ai ressenti aucun changement* ». Cette absence d'effet perçu pourrait indiquer que l'EP n'apporte pas systématiquement le soutien escompté ou que son efficacité dépend du type de tâches effectuées et de l'état physique initial de l'utilisateur. En revanche, certains travailleurs ont signalé une augmentation de leur fatigue après avoir utilisé l'EP, ce qui suggère que l'appareil a pu être une contrainte supplémentaire plutôt qu'un soulagement. L'un d'eux a expliqué : « *Oui, je me sens un peu plus fatigué après avoir utilisé ce dispositif* ». Ces résultats traduisent donc une expérience variable quant à l'effet de l'EP sur la fatigue et l'énergie des travailleurs ayant pris part à l'étude. Alors que certains perçoivent une réduction de leur fatigue grâce à l'EP, d'autres ne constatent aucune amélioration ou ressentent même un inconfort supplémentaire.

4.3.3. Douleurs, inconforts physiques et ergonomie de l'EP

L'utilisation de l'EP a suscité des perceptions variées en ce qui concerne les douleurs, le confort et l'ergonomie. Pour plusieurs participants (trois), l'EP a entraîné une sensation de chaleur excessive, rendant son utilisation inconfortable lors de tâches prolongées : « *J'ai trouvé que l'exosquelette devenait chaud après un certain temps d'utilisation journalier* ». Cette contrainte thermique a été perçue comme un facteur limitant dans son adoption, particulièrement dans des environnements où la température ambiante est déjà élevée. Outre la chaleur, la lourdeur de l'EP a également été mentionnée comme un inconvénient majeur ; deux participants ont déclaré : « *Je l'ai trouvé lourd, encombrant et inconfortable, en vieillissant, je tolère encore moins qu'avant des choses lourdes à porter, on dirait qu'il n'a pas été fait pour nous [les travailleurs plus vieux]* ». Cet aspect souligne un défi ergonomique, car un équipement trop lourd peut entraîner une fatigue musculaire accrue et limiter l'aisance des mouvements. De plus, deux travailleurs ont signalé sur le point des restrictions de mouvement qui ont compliqué l'exécution de leurs tâches habituelles : « *Comme douleurs et inconforts ressentis après avoir utilisé l'exosquelette, je peux citer la chaleur et la restriction dans les mouvements : pas évident d'atteindre les objets éloignés* ». Un a noté que l'EP empêchait certaines postures essentielles au travail, notamment celles nécessitant de s'abaisser ou d'atteindre des zones basses : « *L'exosquelette m'empêchait d'atteindre des positions plus basses élémentaires dans mes tâches de travail* ». Malgré ces contraintes, un participant a ressenti une amélioration notable de son confort, notamment grâce à une meilleure posture et à un sentiment de sécurité accru. Comme l'a exprimé ce participant : « *J'ai ressenti une amélioration du confort dans l'exécution de mes tâches, car avec l'exosquelette, mes tâches étaient plus sécuritaires à faire* », et souligne également : « *L'exosquelette m'oblige à adopter des postures sécuritaires nécessaires pour mon bien-être physique* ». Toutefois, les trois autres travailleurs ont remis en question l'apport réel de l'EP en matière de confort, en raison des contraintes physiques imposées par l'équipement : « *J'ai ressenti aucune amélioration du confort lors de l'exécution de mes tâches après utilisation de l'exosquelette* » et précisent que l'EP avait même introduit des désagréments supplémentaires : « *L'exosquelette est lourd et produit beaucoup de chaleur additionnelle, en vieillissant on dirait que j'ai plus chaud qu'avant ou que je tolère moins la chaleur* ». Ces témoignages mettent en évidence un contraste entre les avantages et les limites ergonomiques de l'EP. Si un utilisateur a apprécié l'amélioration de sa posture et la sensation de sécurité, d'autres ont ressenti un inconfort accru lié à son poids, sa chaleur et son manque de flexibilité. Ces résultats

soulignent l'importance d'une adaptation personnalisée de l'EP aux besoins des travailleurs ainsi que la nécessité d'optimiser son ergonomie pour améliorer son acceptabilité et son efficacité en milieu professionnel.

4.3.4. Satisfaction globale

Les perceptions des travailleurs vieillissants quant à leur satisfaction après l'utilisation de l'EP sont également partagées, reflétant des expériences diverses en fonction de l'utilité perçue de l'équipement dans leurs tâches quotidiennes. Un participant a exprimé une satisfaction générale, mettant en avant une certaine amélioration dans sa manière de travailler. Un participant a ainsi mentionné : « *Je suis satisfait d'avoir utilisé l'exosquelette* ». Toutefois, d'autres participants ont exprimé une neutralité ou une insatisfaction à l'égard de l'EP, soulignant son encombrement et son manque de pertinence pour leurs tâches professionnelles. Un participant a déclaré : « *Je préfère rester neutre sur ma satisfaction sur l'utilisation de l'exosquelette car il n'est pas nécessaire dans mes tâches quotidiennes et est encombrant* ». Cette perception suggère que l'EP n'a pas apporté les bénéfices attendus pour tous les types d'activités, notamment pour ceux dont les tâches ne nécessitaient pas un soutien physique constant. D'autres travailleurs ont manifesté une insatisfaction marquée, en raison d'une absence d'impact tangible sur leurs besoins spécifiques. Un participant a ainsi mentionné : « *Je suis insatisfait de l'utilisation de l'exosquelette car je n'en ai pas eu besoin, je connais comment faire mes choses et il m'a nuit* » et un autre a ajouté : « *Je suis insatisfait d'avoir utilisé l'exosquelette car il n'a pas atteint mes attentes, notamment pour réduire la douleur de ma blessure avec laquelle je suis prise pour toute ma vie* ». Ces témoignages traduisent une frustration face à un manque d'adaptation de l'EP à des conditions de travail ou des attentes spécifiques, notamment pour les personnes souffrant de douleurs. Ces résultats montrent que la satisfaction globale vis-à-vis de l'EP reste mitigée, avec des travailleurs qui apprécient certains bénéfices potentiels, tandis que d'autres remettent en question son utilité réelle dans leur contexte professionnel.

4.3.5. Adoption future de l'exosquelette passif

L'adoption future de l'EP après son essai suscite des opinions divergentes parmi les travailleurs rencontrés. Un participant a manifesté un intérêt pour continuer à l'utiliser, principalement en raison de la sécurité et de la correction posturale qu'il leur apporte. Un participant a ainsi mentionné : « *Je souhaite continuer à utiliser l'exosquelette car il me pousse à*

travailler sécuritairement et à bien bouger, c'est nouveau pour moi et ça me rassure en vieillissant.

» Cette déclaration met en évidence que, pour un seul des participants, l'EP est perçu comme un outil bénéfique pour améliorer leur posture et réduire les risques professionnels, en imposant des mouvements plus contrôlés et moins contraignants pour le corps. Cependant, les trois autres participants ont exprimé un rejet de l'utilisation prolongée de l'EP, mettant en avant son encombrement, son poids et son manque de flexibilité. Un participant a ainsi affirmé : *« Non, je ne souhaite pas continuer à utiliser l'exosquelette après cet essai car il n'apporte pas d'aide réelle, il n'a pas l'air d'avoir été fait pour moi, dans mon cas, et il ne me reste pas longtemps à travailler »*. Cette perception est renforcée par un autre témoignage soulignant l'impact de l'EP sur la liberté de mouvement : *« Je ne souhaite pas continuer d'utiliser l'exosquelette plus tard car il est lourd, encombrant et procure moins de flexibilité, je vais faire comme j'ai toujours fait à la place »*. Enfin, certains travailleurs ont pris une décision ferme d'arrêter son utilisation après cet essai, ne trouvant pas d'intérêt particulier à son adoption et redoutant le regard des collègues : *« Je souhaite arrêter d'utiliser l'exosquelette après cet essai, je ne vois pas l'intérêt de poursuivre ça aide juste un peu, pas assez pour ce que ça demande de modifier. En plus les autres me regardent comme si j'étais encore plus restreint, en plus d'être plus vieux j'ai un appareil qui me limite »*. Cette déclaration met en avant le fait que, malgré les bénéfices potentiels de l'EP pour certains participants, d'autres ne voient aucune amélioration suffisante qui justifierait une intégration durable dans leur travail quotidien, voire une stigmatisation supplémentaire. En résumé, ces résultats montrent une polarisation des perceptions quant à l'adoption future de l'EP. D'un côté, un seul des travailleurs considère qu'il lui apportait un gain en sécurité et en posture, justifiant son maintien dans sa routine de travail. D'un autre côté, une majorité exprime des réserves voire un rejet, soulignant des contraintes ergonomiques qui surpassent les bénéfices perçus. En plus, des participants ont perçu l'exosquelette comme une contrainte supplémentaire, notamment en raison de la sensation de restriction des mouvements et du regard des collègues, qui associaient parfois son port à une forme de faiblesse physique. Ces divergences indiquent que l'acceptation de l'EP dépend fortement de l'adéquation entre ses fonctionnalités et les besoins spécifiques des travailleurs.

4.3.6. Impact sur la retraite et maintien en emploi

L'impact de l'EP sur la décision des travailleurs vieillissants de prolonger leur carrière ou de se maintenir en emploi a suscité des avis variés. Pour certains participants, l'EP n'a pas influencé leur décision de prolonger leur carrière, suggérant que leur maintien en emploi dépend avant tout

de facteurs personnels comme leur état de santé et leur motivation. Un participant a exprimé cette idée clairement : « *Je pense que l'exosquelette ne peut pas influencer ma décision de prolonger ma carrière* ». D'autres ont renforcé ce point de vue en déclarant : « *L'exosquelette ne me sera pas utile sur ma décision de prolonger ma retraite* » et « *Non, je ne pense pas que j'ai besoin de l'exosquelette pour prendre une décision sur la prolongation de ma carrière* ». Un des trois autres travailleurs a aussi souligné que sa condition physique et ses blessures chroniques ne pourraient pas être compensées par l'EP, rendant son usage inefficace pour prolonger sa carrière : « *Ma retraite est proche, je me sens mal dû à ma blessure et j'ai essayé l'exosquelette sans succès à mon problème, cela me décourage* ». Ces témoignages indiquent que, bien que l'EP puisse être un outil d'assistance, il n'est pas perçu comme un facteur déterminant dans la prolongation de l'activité professionnelle. Toutefois, un participant a exprimé un point de vue plus nuancé, suggérant que l'EP pourrait lui apporter un soutien physique utile à l'approche de la retraite. Il a mentionné : « *À l'approche de ma retraite, l'exosquelette pourrait me procurer du bien dans le travail, vers la fin de la carrière c'est rassurant* » en plus de souligner « *Oui, probablement, j'envisage travailler plus longtemps grâce à l'utilisation de supports comme l'exosquelette, car il nous protège* ». Ces résultats montrent que la majorité des travailleurs rencontrés ne perçoivent pas l'EP comme un élément clé dans leur décision de prolonger leur carrière ou de retarder leur départ à la retraite. Si certains y voient un potentiel bénéfique, la plupart considèrent que leur maintien en emploi est davantage influencé par leur état de santé général que par un équipement ergonomique. Ainsi, bien que l'EP puisse améliorer certains aspects du travail, il ne représente pas un facteur déterminant pour encourager une prolongation significative de la carrière pour la majorité des travailleurs vieillissants rencontrés.

Chapitre 5: Discussion

L'objectif principal de cette étude était d'examiner les impacts perçus de l'utilisation d'un exosquelette passif pour des travailleurs vieillissants réalisant des tâches professionnelles contraignantes. L'hypothèse de départ supposait que l'exosquelette passif représenterait une solution prometteuse pour alléger la fatigue et améliorer la sécurité des travailleurs vieillissants, leur permettant notamment de se projeter dans un maintien au travail durable. Cependant, les résultats obtenus montrent que les perceptions des travailleurs vieillissants rencontrés vis-à-vis de l'exosquelette passif ne sont pas aussi positives qu'attendu. Contrairement aux attentes initiales, de plusieurs participants ont exprimé des réserves et des inconforts face à l'utilisation du dispositif, soulevant des préoccupations sur son ergonomie, son adaptation aux tâches spécifiques et son impact sur leur activité de travail. Plusieurs travailleurs ont signalé que le port de l'exosquelette entraînait une gêne aux épaules, aux hanches et au dos après une utilisation prolongée. Cette observation rejoint les conclusions de Vogt (2017), qui a mis en évidence que l'intégration d'exosquelettes passifs dans des environnements professionnels peut parfois provoquer une redistribution des charges musculaires, générant ainsi de nouvelles douleurs ou inconforts non anticipés. Bien que certains travailleurs aient reconnu un léger soulagement au niveau de la charge physique pour certaines tâches spécifiques, l'enthousiasme initial pour l'exosquelette a largement été tempéré par son utilisation. Ces résultats suggèrent que l'efficacité des exosquelettes passifs est conditionnée par leur conception ergonomique, leur compatibilité avec les mouvements des travailleurs et l'acceptation de leur usage. De plus, les résultats confirment un certain scepticisme quant à l'introduction de cette technologie. Certains travailleurs ont perçu l'exosquelette comme une contrainte supplémentaire, notamment en raison de la sensation de restriction des mouvements et du regard des collègues, qui associaient parfois son port à une forme de faiblesse physique. Ce constat rejoint les travaux de Takahashi (2017), qui ont montré que l'adoption des technologies d'assistance est influencée par des facteurs psychologiques et socioculturels, notamment la perception du dispositif comme un signe de vulnérabilité plutôt que comme un outil de soutien (Takahashi, 2017). Notre étude souligne que cela semble d'autant plus crucial à considérer dans le contexte où les travailleurs vieillissants vivent déjà, pour certains, des enjeux de stigmatisation

reliés à l'âge, qui peuvent sembler exacerbés par d'autres facteurs comme des stigmas externes (ex. port de l'exosquelette). D'autres études soulignent les limites et résistances similaires à celles observées dans notre étude. Böhlke (2020) a mis en évidence que certains exosquelettes passifs, bien que bénéfiques à court terme, peuvent entraîner une fatigue musculaire accrue sur certaines parties du corps qui ne sont pas sollicitées habituellement (Böhlke, 2020); Vogel et ses collègues (2019) ont montré que l'acceptation d'un exosquelette passif dépend largement de la perception des travailleurs, avec une adoption plus faible chez ceux qui perçoivent le dispositif comme intrusif ou encombrant (Vogel, 2019); OSHA (2019) a indiqué que les exosquelettes peuvent être efficaces uniquement si leur conception est adaptée aux spécificités des tâches réalisées, soulignant l'importance d'un ajustement ergonomique et d'une formation adéquate pour leur intégration réussie (OSHA, 2019). Or, dans cette étude, bien qu'une période d'acclimatation à ce dispositif ait eu lieu, cette dernière n'a pas permis de tendre vers des résultats favorables à une introduction pérenne de l'exosquelette, suggérant qu'une simple formation à son utilisation n'est pas suffisante pour les travailleurs vieillissants. Peut-être que cette formation devrait notamment inclure une diminution des attentes face à ce dispositif, ainsi qu'une discussion sur les formes de stigmatisation au travail et la manière de les aborder.

Il est possible de réaliser des liens entre les résultats de l'étude et le cadre conceptuel de l'IRSST (IRSST, 2001) présenté précédemment. Ce modèle illustre comment les conditions de travail, les tâches à accomplir et l'environnement influencent directement la santé et la sécurité des travailleurs. Sur le plan individuel, les caractéristiques propres aux travailleurs jouent un rôle déterminant dans l'efficacité perçue de l'exosquelette. Plusieurs participants ont ressenti un inconfort accru lié à l'ajustement du dispositif, entraînant parfois des contraintes biomécaniques supplémentaires, notamment au niveau des épaules et du dos. Cette adaptation limitée aux morphologies et aux besoins spécifiques des utilisateurs a directement affecté leur expérience et leur volonté d'adopter cette technologie, confirmant ainsi l'étude de Vogt (2017). Ce projet s'inscrit dans un contexte de vieillissement démographique accéléré, où le maintien en emploi des travailleurs vieillissants devient un enjeu économique et social crucial (WHO, 2024). L'exosquelette passif a émergé dans d'autres études comme une solution ergonomique visant à réduire la fatigue musculaire et les troubles musculosquelettiques chez les travailleurs effectuant des tâches physiques contraignantes (Shishika, 2021). Toutefois, les résultats de cette étude révèlent plutôt une réception mitigée de la technologie par les travailleurs, mettant en lumière des

barrières d'acceptabilité et des limites ergonomiques qui nuancent les attentes initiales sur son efficacité, ainsi que l'importance d'inclure les utilisateurs finaux lors des phases de conception des technologies qui leur sont destinées. En effet, dans l'étude actuelle, bien que l'exosquelette utilisé prétendait pouvoir être adapté à différentes morphologies, il est apparu clair que cette adaptation était en fait plutôt limitée. Une conception plus ergonomique, intégrant une co-création avec les travailleurs dès la phase de développement, pourrait améliorer leur efficacité et leur adoption. L'un des constats majeurs de cette étude est que l'acceptation et l'adoption des exosquelettes passifs par les travailleurs vieillissants restent conditionnées par divers facteurs, dont le confort, l'ergonomie et l'adéquation avec les tâches professionnelles. Ces résultats rejoignent un enjeu plus large dans le développement technologique, soit l'intégration des utilisateurs finaux dès les premières phases de conception. Le processus de cocréation s'est imposé ces dernières années comme un cadre méthodologique clé dans le développement et l'implantation de nouvelles technologies en milieu de travail. Il consiste à associer les utilisateurs finaux (ici, les travailleurs) aux différentes étapes du développement, de l'idéation jusqu'à la mise en œuvre, afin de garantir une meilleure adéquation entre la technologie et les besoins réels (Sanders, 2008). Plusieurs études ont montré que l'implication des travailleurs dans le design de solutions technologiques permet d'améliorer leur acceptabilité et leur efficacité à long terme (Hippel, 2005). Dans le domaine des technologies d'assistance physique, l'adoption d'une démarche participative s'avère essentielle pour maximiser l'engagement des utilisateurs et éviter des résistances liées à un manque de confort ou d'adaptation aux contraintes du travail (Buur, 2008). Par exemple, une étude sur l'intégration de robots collaboratifs dans les milieux manufacturiers a démontré que l'implication des opérateurs dans le développement des interfaces et des mécanismes d'interaction a permis une réduction significative des réticences face à leur usage (Fischer, 2020). Dans le cas des exosquelettes, des recherches récentes suggèrent que le fait d'adapter les dispositifs aux spécificités des travailleurs – non seulement en termes de biomécanique, mais aussi de perception et d'acceptabilité – joue un rôle déterminant dans leur adoption (Looze, 2016). Ainsi, des approches itératives combinant des phases d'expérimentation, de retour d'expérience et de réajustements seraient nécessaires pour assurer que ces dispositifs répondent réellement aux attentes et aux besoins des travailleurs vieillissants (Robertson, 2012). Cela est d'autant plus pertinent de réfléchir à l'intégration des travailleurs vieillissants dans la conception des exosquelettes leur étant destinés comme leurs réalités physiques, cognitives et leur vécu en milieu de travail peuvent varier des travailleurs plus

jeunes. En somme, les résultats de cette étude soulignent la nécessité d'intégrer davantage les principes de cocréation dans le développement des exosquelettes passifs destinés aux travailleurs vieillissants. En favorisant un dialogue continu entre concepteurs et utilisateurs, il est possible de développer des solutions plus adaptées, améliorant ainsi leur efficacité et leur adoption à long terme.

Des recherches futures pourraient approfondir cette réflexion en explorant les conditions d'acceptation sociale et d'optimisation ergonomique des exosquelettes passifs, en tenant compte des interactions systémiques mises en avant dans le modèle de l'IRSST et en considérant d'inclure les savoirs des travailleurs vieillissants, brisant potentiellement ainsi certains stéréotypes sur la capacité des personnes plus âgées à participer aux travaux de développement de technologies. Accosta-Salgado et ses collègues (2019), rappellent qu'il est impératif de développer de nouvelles méthodes pour améliorer l'acceptabilité de l'innovation par les parties prenantes, dont réaliser des efforts pour mieux intégrer les personnes vieillissantes en phase de conception d'une innovation les concernant, puisqu'actuellement, leur savoir est peu valorisé.

5.1. Forces et limites de l'étude

Cette étude présente à la fois des forces et des limites qui influencent la portée et la robustesse de ses conclusions. Parmi ses principaux atouts, la méthodologie adoptée repose sur une approche phénoménologique, permettant une exploration approfondie des perceptions subjectives des travailleurs vieillissants face à l'utilisation d'exosquelettes passifs. Cette approche qualitative a favorisé une compréhension riche et nuancée des impacts humains, émotionnels et psychosociaux de cette technologie dans un environnement de travail exigeant. De plus, l'échantillonnage, bien que restreint, a été soigneusement sélectionné afin de garantir une diversité d'expériences en fonction du genre, du secteur d'activité et de l'expérience préalable avec les dispositifs, ce qui a permis d'obtenir des données variées des différentes réalités professionnelles. L'un des principaux défis de cette étude réside dans la durée limitée de l'expérimentation, ce qui ne permet pas d'évaluer pleinement les effets à long terme de l'utilisation des exosquelettes. Les résultats obtenus reflètent donc une perception immédiate plutôt qu'une évolution dans le temps. De plus, la variabilité des tâches professionnelles effectuées par les participants introduit un facteur de disparité dans les résultats, limitant ainsi la comparabilité des données. L'influence potentielle des préférences individuelles en matière d'acceptation de la technologie constitue également une source de

variabilité, certaines personnes étant plus enclines que d'autres à adopter l'exosquelette, ce qui peut influencer leur perception et leur ressenti. De plus, la taille de l'échantillon demeure une limite importante de l'étude. En effet, le recrutement s'est avéré plus difficile que prévu, en raison de plusieurs facteurs. D'une part, la disponibilité limitée des travailleurs dans ces secteurs (notamment en contexte de transition organisationnelle qui caractérisait la période de l'étude) a rendu leur participation complexe, plusieurs d'entre eux exprimant des contraintes de temps ou une réticence à s'engager dans une étude de recherche (Dares, 2023). Ces défis, fréquemment rencontrés dans les études impliquant des populations actives et vieillissantes, ont restreint l'ampleur de notre échantillon final, bien que les données recueillies restent représentatives des réalités du terrain. L'approche qualitative de cette recherche privilégie la profondeur des données plutôt que la quantité, et l'échantillon actuel permet de recueillir des témoignages détaillés sur les avantages et les défis rencontrés par les travailleurs vieillissants dans l'utilisation d'exosquelettes passifs. De plus, la variété des secteurs d'activité dans lesquels ces travailleurs ont évolué permettra de comparer les effets de l'utilisation des exosquelettes dans des environnements de travail physiques très différents. Ainsi, bien que l'échantillon soit réduit à quatre participants, la richesse des données qualitatives recueillies auprès de ces individus constitue une base solide pour répondre aux questions de recherche concernant l'efficacité et l'acceptabilité des exosquelettes passifs auprès des travailleurs vieillissants.

Chapitre 6: Conclusion

Le vieillissement démographique et ses implications pour la main-d'œuvre constituent un défi majeur pour les entreprises et les travailleurs eux-mêmes. Cette étude s'est attachée à évaluer l'impact de l'utilisation de l'exosquelette passif chez les travailleurs vieillissants réalisant des tâches professionnelles contraignantes. À travers une étude qualitative, nous avons analysé les effets de ces dispositifs sur la charge physique, la motivation, le maintien en emploi et l'acceptation des travailleurs vieillissants. Contrairement aux hypothèses de recherche, l'exosquelette passif Herowear testé dans cette étude n'a pas significativement amélioré le confort des travailleurs vieillissants ni réduit de manière notable la fatigue musculaire perçue encore moins avancé leur désir de se maintenir en emploi. Il est apparu que l'exosquelette utilisé dans l'étude n'était peut-être pas spécifiquement conçu pour répondre aux besoins ergonomiques des travailleurs vieillissants, ce qui a pu limiter son efficacité. Les retours des participants indiquent que ces dispositifs peuvent être inconfortables à porter sur de longues périodes et peuvent parfois restreindre certains mouvements nécessaires à l'exécution des tâches professionnelles. Cette observation met en lumière l'importance cruciale de la cocréation et de la co-innovation dans le développement de ces technologies afin qu'elles s'adaptent réellement aux besoins spécifiques des utilisateurs finaux. L'analyse des facteurs facilitant ou limitant l'adoption de l'exosquelette passif a révélé plusieurs éléments clés. Parmi les obstacles majeurs, on note l'inconfort du port prolongé, l'inadéquation des dispositifs avec certaines tâches nécessitant une grande flexibilité, la lourdeur ainsi que la production de chaleur de l'équipement pendant l'utilisation. En comparant ces résultats à la littérature existante, nous constatons que l'efficacité de l'exosquelette dépend fortement des conditions d'utilisation, du design du dispositif et du contexte professionnel dans lequel il est intégré. Nos résultats divergent des études qui ont rapporté des bénéfices ergonomiques clairs liés à l'usage des exosquelettes passifs, ce qui souligne la nécessité d'adapter davantage ces dispositifs aux réalités du terrain, en prenant en compte les besoins spécifiques des travailleurs vieillissants. Cela renforce l'idée que l'intégration réussie de l'exosquelette nécessite un accompagnement approprié, incluant des ajustements individualisés et une formation spécifique. D'un point de vue théorique, nos résultats s'inscrivent dans les recherches existantes sur l'ergonomie et l'adaptation technologique en milieu de travail. L'apport de l'exosquelette passif, bien qu'encore en phase d'évaluation, semble prometteur pour répondre aux défis du vieillissement de la main-d'œuvre.

Cependant, notre étude démontre que l'adoption de ces dispositifs ne peut être efficace que si une approche de cocréation est privilégiée, en intégrant activement les travailleurs vieillissants dans le processus de conception.

En conclusion, cette étude met en évidence les limites actuelles de l'exosquelettes passif dans l'amélioration des conditions de travail des travailleurs vieillissants. Leur adoption, bien que prometteuse pour la santé musculosquelettique des travailleurs, se heurte à plusieurs défis d'ordre ergonomique, culturel et technologique. Il apparaît donc essentiel que les entreprises, les chercheurs et les décideurs politiques poursuivent les efforts pour optimiser ces technologies, en s'appuyant sur des approches inclusives et adaptées aux réalités du terrain. Des études futures pourront approfondir cette analyse en évaluant les effets à long terme des exosquelettes sur la santé et la performance des travailleurs, ainsi que leur impact économique sur les entreprises et les systèmes de santé.

Bibliographie

- (ICIS), I. c. (2017). *L'impact du vieillissement de la population sur les soins de santé au Canada*. Récupéré sur <https://www.cihi.ca/fr/limpact-du-vieillissement-de-la-population-sur-les-soins-de-sante-au-canada>
- Afsar, M. &. (2017). "Effectiveness of Exoskeletons in Reducing Musculoskeletal Risk Factors for Older Workers: A Systematic Review.". *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(1), 1-14. doi:10.1080/10803548.2016.1186660
- Angelo, J. &. (2018). Exoskeletons and wearable devices for improving mobility and reducing physical strain at work. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(5), 2307-2316.
- Bae, J. L. (2018). A Study on the Development of an Exoskeleton for Lower Limb Rehabilitation: Focus on Reducing Joint Load and Facilitating Movement. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 55(1), 1-10.
- Beaujolin, A. (2019). *Le vieillissement de la population active : Enjeux économiques et politiques*. (É. L'Harmattan, Éd.)
- Becker, D. W. (2020). "The Impact of Working Conditions on the Aging Workforce: Health Implications and Strategies for Employers.". *Work & Stress*, 34(3), 240-252. doi:10.1080/02678373.2020.1780849
- Bendix, A. e. (2019). L'influence des conditions de travail passées sur la santé des retraités. *Economie et Prévision*, 1(213), 61-84. Récupéré sur <https://hal.science/hal-02070314/document>
- Benoît. (2020). Assessment of the buffering and adaptive mechanisms underlying the economic resilience of sheep-meat farms. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(5).
- Benoît, M. J. (2020). Assessment of the buffering and adaptive mechanisms underlying the economic resilience of sheep-meat farms. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(5). Récupéré sur https://hal.inrae.fr/hal-02925854v1/file/Benoit_et_al-2020-Agronomy_for_Sustainable_Development.pdf
- Berg, M. L. (2021). Ergonomic interventions to reduce musculoskeletal strain: The role of assistive devices in healthcare and other sectors. *Applied Ergonomics*, 93, 103383.

- Bergland, A. &. (2020). "The Effects of Aging on Muscle Strength and Physical Function in Older Adults: A Review of Evidence.". *European Review of Aging and Physical Activity*, 17(1), 11-24. doi:10.1186/s11556-020-00254-6
- Bergman, M. e. (2020). "Ageing and Occupational Health: Addressing the Needs of Older Workers in Physical Occupations.". *Workplace Health and Safety*, 68(5), 198-204. doi:10.1177/2165079919897494
- Bertocci, G. I. (2017). "Exoskeletons in Occupational Health: The Role of Passive Exoskeletons for Reducing Physical Strain.". *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 25(2), 5-12.
- Bisch, C. (2020). Environnement physique de travail. *sciences humaines et sociales*, 187 à 189.
- Bogue, R. (2018). Exoskeletons: A Review of Human Augmentation Technologies." *Industrial Robot*. 45(3), 303-309. Récupéré sur <https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1970823>
- Böhlke, M. e. (2020). Laboratory studies versus real-world applications: The challenge of generalizing ergonomic interventions. *Journal of Occupational Health Psychology*, 25(2), 125-136.
- Börsch-Supan. (2013). "Early Retirement, Social Security, and Labor Force Participation of Older Workers.". *Journal of the Economics of Aging*, 1, 15-29. doi:10.1016/j.jeoa.2013.06.001
- Börsch-Supan, A. &. (2013). "Early Retirement, Social Security, and Labor Force Participation of Older Workers.". *Journal of the Economics of Aging*, 1, 15-29.
- Börsch-Supan, A. &. (2015). Börsch-SupaThe Effect of Aging on Labor Market Outcomes in Europe: Insights from the Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe (SHARE). *Journal of Aging & Social Policy*, 27(4), 366-380.
- Buur. (2008). Participatory Innovation. *International Journal of Innovation Management*, 255–273.
- Canada, G. d. (2019). Travailleurs âgés : Étude et élimination des préjugés. Récupéré sur <https://www.canada.ca/fr/emploi-developpement-social/ministere/forum-federal-provincial-territorial-aines/rapports/travailleurs-ages-etude-elimination-prejuges.html>
- Canada, S. (2020). *Projections de la population au Canada, 2018 à 2068*. Récupéré sur <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/91-520-X>
- CCHST. (2023).
- CCHST. (2024). *Professions et lieux de travail*.

- Choi, L. (2018). Impact of Exoskeletons on Physical Load and Perceived Stress in Manual Tasks. *Journal of Ergonomics*, 62(4), 345-359. Récupéré sur https://portaildocumentaire.inrs.fr/Default/doc/SYRACUSE/519814/benefices-et-limites-de-l-usage-d-exosquelettes-a-des-fins-de-prevention-des-risques-de-troubles-mus?_lg=fr-FR
- Christian H. Gagné, P. J. (2021). "Impact of passive exoskeletons on lifting tasks in industrial environments". *International Journal of Industrial Ergonomics*.
- Cipriani, C. e. (2016). "Wearable Robots for Rehabilitation: Design, Application, and User Experience.". (1, Éd.) 191-219. Récupéré sur <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9392988/>
- CISSSCN. (2024). Fiche 25.1 Contraintes physiques en milieu de travail.
- CNESST. (2024). Prévention et sécurité - postures contraignantes.
- Colombini. (2014). Risk assessment of repetitive movements and exertions of upper limbs: Job analysis. *Ergonomics*, 57(2), 157-169.
- Coyne, I. T. (1997). Sampling in qualitative research. Purposeful and theoretical sampling; merging or clear boundaries? *Journal of Advanced Nursing*, 26(3), 623-630. Récupéré sur <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2074698>
- Dares. (2023). Effectifs et difficultés de recrutement dans l'hébergement-restauration à l'été 2022. Récupéré sur <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publication/effectifs-et-difficultes-de-recrutement-dans-lhebergement-restauration-lete-2022>
- Darragh, A. R. (2020). Workplace physical demands and work-related musculoskeletal disorders among older workers: Role of passive exoskeletons. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 30(2), 332-344.
- David, H. (2012). Vieillesse et travail : Quels enjeux pour l'entreprise ? *Éditions Liaisons*.
- David, H. V. (2002). Vieillesse et organisation du travail. *Presses de l'Université du Québec*.
- Davis, K. G. (2021). "Passive Exoskeletons for Reducing Muscular Strain: A Solution to Support Aging Workers in Heavy Lifting Tasks.". *Ergonomics*, 64(2), 173-184. doi:10.1080/00140139.2021.1874971
- de Looze, M. P. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 671-681.

- Desroches, G. (2024). Étude sur la mobilité articulaire et le vieillissement. *Université du Québec à Trois-Rivières*. Récupéré sur https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/portail/pgmw001j.generer_pdf?p_cd_pgm=6651&p_desc_cours=O
- ee, J. e. (2016). Exoskeletons for Rehabilitation: A Comparison of Full-Body vs. Partial-Body Systems. *Journal of Physiotherapy Science*, 28(4), 28(4), 1245-1252.
- Ergofrance. (2022). Quelles sont les différences entre un exosquelette actif et un exosquelette passif. Récupéré sur <https://www.ergofrance.com/quelles-sont-les-differences-entre-un-exosquelette-actif-et-un-exosquelette-passif/>
- Feltner, C. &. (2020). "Using exoskeletons to support the physical demands of nursing professionals: A review of the literature.". *Journal of Nursing Management*, 28(3), 462-472. doi:10.1111/jonm.12993
- Finkelstein, L. M. (2012). "Age Differences in Cognitive and Emotional Responses to Work-Related Change: Implications for Organizational Change Management.". *Journal of Organizational Behavior*, 33(5), 768-790. doi:10.1002/job.1785
- Fischer. (2020). Human-centered AI: A field study on co-designing robotic workplace assistants. *AI & Society*, 385-396.
- Gagnon. (2020). Evaluation of passive exoskeletons in high-demand work environments: Impact on discomfort and productivity. *Applied Ergonomics*, 85, 103087.
- Gagnon, D. &. (2019). Exoskeletons and the aging workforce: Prolonging careers through assistive technology. *Journal of Occupational Health Psychology*, 24(2), 232-244.
- Gaudart, C. (2018). Maintien en santé des travailleurs vieillissants en emploi. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). Récupéré sur https://www.irsst.qc.ca/portals/0/upload/misc/2018/4_Presentation_IRSST_2018_Gaudart.pdf
- Gerritsen, M. e. (2019). "Age-Related Changes in Muscle Strength and Flexibility: Implications for Musculoskeletal Injuries.". *Journal of Aging & Physical Activity*, 27(3), 439-447.
- Gervais, M.-J. C. (2016). *Proposition d'un cadre conceptuel illustrant trois dimensions des relations entre chercheurs et partenaires de la pratique* (Vol. 28(2)). Nouvelles pratiques sociales. Récupéré sur <https://www.erudit.org/fr/revues/nps/2016-v28-n2-nps03207/1041192ar/>

- Gonzalez, R. A. (2021). "The role of exoskeletons in improving workplace ergonomics for aging workers: A review.". *Applied Ergonomics*, 92, 103312.
- González, R. V. (2014). "Work-Related Musculoskeletal Disorders in Aging Workers: A Global Review.". *Work*, 48(4), 535-546. doi:10.3233/WOR-131697
- Goršič. (2021). Evaluation of the HeroWear Apex back-assist exosuit during multiple brief tasks. *J Biomech*, 20;126. doi:10.1016/j.jbiomech.2021.110620
- Graham, J. E. (2019). "The Impact of Aging on Musculoskeletal Disorders in the Workplace: A Review.". *Journal of Occupational Health Psychology*, 24(2), 230-239. doi:10.1037/ocp0000133
- Griffith, L. (2015). *De multiples problèmes de santé chroniques liés à l'incapacité et la participation sociale. Étude longitudinale canadienne sur le vieillissement (ÉLCV)*. Université McMaster. Récupéré sur <https://www.clsa-elcv.ca/fr-ca/our-approved-projects/multiple-chronic-conditions-in-relation-to-disability-and-social-participation/>
- Hakanen. (2020). Active vs. Passive Exoskeletons: A Comparison of Performance and User Comfort in Occupational Settings. *Journal of Occupational Health Psychology*, 25(1), 72-85.
- Haque, S. K. (2020). "Modular design of exoskeletons: Impact on ergonomics and worker comfort.". *Journal of Ergonomics*, 61(2), 112-123.
- Higgins, J. M. (2020). "Impact of Chronic Health Conditions on the Work Ability of Older Adults: A Study on Arthritis and Cardiovascular Diseases.". *BMC Public Health*, 20(1), 45-54.
- Hippel, V. (2005). Democratizing innovation. *MIT Press*.
- Hirani. (2014). The Effect of Telecare on the Quality of Life and Psychological Well-being of Elderly Users. *Quality of Life Research*, 23(7), 1879–1890. Récupéré sur <https://doi.org/10.1007/s11136-014-0641-9>
- Holland, R. e. (2021). "Long-Term Benefits of Exoskeletons in the Construction Industry: Improving Health and Reducing Low Back Pain.". *Journal of Occupational Health*, 63(5), 302-310. doi:10.1539/joh.20-0315
- ICIS. (2017). *L'impact du vieillissement de la population sur les soins de santé au Canada*. Récupéré sur <https://www.cihi.ca/fr/limpact-du-vieillissement-de-la-population-sur-les-soins-de-sante-au-canada>

- Imada, Y. e. (2021). "Aging and Occupational Health: The Role of Repetitive Movements and Postural Stress in Musculoskeletal Disorders.". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4892. doi:10.3390/ijerph18094892
- inrs. (2018). Exosquelettes : Quel impact sur la santé des travailleurs ? *Guide technique*, N° G009. Récupéré sur <https://www.inrs.fr/publications/essentiels/exosquelettes.html>
- INRS. (2018). Quel impact sur la santé des travailleurs ? *Guide technique*, N° G009. Récupéré sur <https://www.inrs.fr/publications/essentiels/exosquelettes.html>
- INRS. (2020). Exosquelettes passifs : Une étude sur la réduction de la charge musculaire en milieu de travail. Récupéré sur <https://www.inrs.fr/risques/exosquelettes/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- inrs. (2024). *Exosquelettes : Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise*. Récupéré sur https://www.cesi.be/content/uploads/2024/01/CED_FIN_0079_FR_EXOSQUELETTES.pdf
- INRS. (2018). Mieux vieillir au travail. *Travail & Sécurité*, (pp. 13-15).
- INSPQ. (2016)., (pp. Vieillessement de la population, état fonctionnel des travailleurs et adaptation des milieux de travail.). Récupéré sur [qc.ca/sites/default/files/publications/1082_vieillessementpop.pdf](https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/1082_vieillessementpop.pdf)
- INSPQ. (2021). Contraintes du travail associées aux troubles musculo-squelettiques - Guide d'utilisation pour une évaluation rapide et approfondie. Institut national de santé publique du Québec. Récupéré sur <https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2796-contraintes-travail-troubles-musculo-squelettiques-guide-approfondie.pdf>
- INV. (2021). Age-Related Physical and Cognitive Changes in the Workplace.
- IRSST. (2001). Reference Framework for Occupational Health and Safety Research. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). Récupéré sur <https://www.irsst.qc.ca/en/ohs-research/reference-framework>
- IRSST. (2021). Exosquelettes : solution ou mirages pour la prevention des troubles musculosquelettiques. Récupéré sur https://medias.irsst.qc.ca/videos/2106_rd_cr_HD_exosquelettes_fr_pdf.pdf
- ISQ. (2020). Projections démographiques du Québec. 2011-2061. Récupéré sur <https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/projections-population-2061.html>

- Jensen, C. &. (2011). "The role of aging in musculoskeletal disorders: Prevention and treatment in the aging workforce.". *Journal of Occupational Rehabilitation*, 21(3), 354-368.
- Kim, J. &. (2021). Aging workforce and the role of exoskeletons in reducing musculoskeletal disorders. *Safety Science*, 134.
- Knapik, J. J. (2017). The Role of Exoskeletons in Preventing Musculoskeletal Injuries in the Workplace: A Review of Current Technologies and Future Prospects. *Knapik, J. J., et al. (2017). The Role of Exoskeletons in Preventing Musculoskeletal Injuries in the Workplace: A Review of Current Technologies and Future Prospects. Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 59(4), 373-380.
- Koo, J. H. (2020). The effect of passive exoskeletons on reducing physical load and muscle fatigue during lifting tasks. *Journal of Ergonomics*, 63(7), 1341-1352.
- Kumar. (2022). Impact of Exoskeletons on Physical Performance and User Acceptance. *Journal of Ergonomics*, 62(4), 345-359. Récupéré sur <https://hal.science/hal-03248371v1/document>
- Kumar, S. D. (2019). "Biomechanical analysis and design of exoskeletons for industrial applications.". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1-9, 1-9.
- Kuwahara, T. e. (2021). "Passive Exoskeletons: An Emerging Tool for Older Workers in Physically Intensive Jobs.". *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 31(2), 128-139. doi:10.1002/hfm.20773
- Lecours. (2023). *L'expérience de retour au travail des personnes vieillissantes ayant subi une atteinte à la santé : un examen de la portée.*, (pp. 1-12.). doi:10.1017/S0714980822000095
- Lecours. (2023). Le télétravail pour soutenir l'hébergement, l'inclusion et la santé des travailleurs vieillissants : protocole d'étude pour concevoir, valider et tester un guide d'application réflexif.
- Lecours. (s.d.). Le télétravail pour soutenir l'hébergement, l'inclusion et la santé des travailleurs vieillissants : protocole d'étude pour concevoir, valider et tester un guide d'application réflexif. 2023. doi:10.2196/46114
- Lecours. (2022). L'expérience de retour au travail des personnes vieillissantes ayant subi une atteinte à la santé : un examen de la portée. *Canadian Journal on Aging / La Revue canadienne du vieillissement*, 42(1), 1-12. doi:10.1017/S07149
- Lee, J. e. (2016). Exoskeletons for Rehabilitation: A Comparison of Full-Body vs. Partial-Body Systems. *Journal of Physiotherapy Science*, 28(4), 1245-1252.

- Légaré, J. (2003). Le vieillissement de la main-d'œuvre : enjeux et défis pour l'organisation du travail. *Revue internationale sur le travail et la société*, 1(2), 45-60.
- Léonard, A. (2018). "Le vieillissement de la main-d'œuvre et l'adaptation des organisations : comment maintenir l'employabilité des travailleurs âgés.". *Revue de l'Organisation Responsable*, 13(4), 89-104. doi:10.3917/ror.134.0089
- Lichtenstein, R. &. (2019). "The Impact of Aging on Employment: Opportunities and Challenges.". *Journal of Aging & Social Policy*, 31(1), 55-72.
- Liu, Z. e. (2020). "Exoskeletons in Heavy Lifting: Impact on Muscular Strain and Health Outcomes for Aging Workers.". *Workplace Safety and Health Journal*, 48(2), 109-118. doi:10.1016/j.wsah.2020.02.004
- Looze, d. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 671-681.
- Lord, M.-M. &.-Y. (2018). Vieillir au travail en contexte d'innovation : au-delà de la stigmatisation pour des pistes d'intégration. *Reflets*, 24(1), 68-97. Récupéré sur <https://www.erudit.org/fr/revues/ref/2018-v24-n1-ref03982/1051521ar.pdf>
- Lutz, W. &. (2018). "The Future of Human Fertility: A Global Forecast.". *Population and Development Review*, 44(2), 427-440.
- Marie-Michèle Lord, M.-J. D. (2023). Les injustices épistémiques dans le déploiement des technologies visant le maintien à domicile des personnes âgées : comment les reconnaître pour mieux les éviter et les contrer.
- Martínez, A. e. (2018). Ergonomics and repetitive tasks in manual handling: Prevention and control. *Journal of Occupational Health*, 60(2), 119-128.
- Mason. (2016). Conséquences macroéconomiques du vieillissement de la population [Macroeconomic consequences of population ageing]. *Rev Econ Financ*, 122(2):83-101. doi:10.3917/ecofi.122.0083.
- McKernan. (2016). Occupational safety and health, green chemistry, and sustainability: a review of areas of convergence. *Environmental Health Perspectives*, 124(5), 585-593.
- Mincer, J. &. (2015). "The Role of Social and Economic Factors in the Labor Force Participation of Older Workers.". 27(3), 261-279.
- Mucchielli, P. P. (2021). *Chapitre 12. L'analyse thématique*. sciences sociales et humaines.

- Nielsen. (2020). Organizational interventions to improve well-being and reduce work-related stress: The role of context, mechanisms, and outcomes. *Work & Stress*, 34(3), 266-281.
- OIT. (2017). *Les politiques de travail et de vieillissement : Relever les défis de l'intégration des travailleurs vieillissants dans le marché du travail*. Récupéré sur <https://www.ilo.org/global/topics/ageing/lang--fr/index.htm>
- Olshansky, S. J. (2002). Position Statement on Human Longevity. (57(7), Éd.) *The Journal of Gerontology: Biological Sciences*, B292-B297.
- OMS. (2010). "Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Practical Guide". *Organisation mondiale de la santé*.
- OMS. (2010). "Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Practical Guide". *Organisation mondiale de la santé*.
- OMS. (2015). *World Report on Ageing and Health*. Genève. Récupéré sur <https://www.who.int/ageing/publications/world-report-2015/en/>
- OMS. (2022). *sustainable development goals* (pp. Monitoring health for the SDGs,). Genève: World Health Statistics 2022. Récupéré sur <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- OSHA. (2019). Les conséquences de l'utilisation d'exosquelettes en termes de sécurité et de santé au travail. Récupéré sur <https://osha.europa.eu/fr/publications/impact-using-exoskeletons-occupational-safety-and-health>
- Patton, M. Q. (2015). Qualitative Research & Evaluation Methods (4e éd.). *Thousand Oaks, CA : Sage Publications*.
- Penny, J. e. (2018). Work-related musculoskeletal disorders in healthcare workers: A focus on patient handling. *Workplace Health & Safety*, 66(7), 344-350.
- Peretti, J.-M. (2015). Gestion des ressources humaines (19^e éd.). *Vuibert*.
- Posthuma. (2009). Age stereotypes in the workplace: Common stereotypes, moderators, and future research directions. *Journal of Management*. *Journal of Management*, 35(1), 158-188. Récupéré sur <https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10515/1/eprint10515.pdf>
- Raine, G. &. (2021). "Supporting aging workers: The potential of passive exoskeletons in preventing musculoskeletal disorders.". *Journal of Workplace Health and Safety*, 69(7), 297-305. doi:10.1177/2165079921101594

- Raine, G. &. (2021). "Supporting aging workers: The potential of passive exoskeletons in preventing musculoskeletal disorders.". *Journal of Workplace Health and Safety*, 69(7), 297-305. doi:10.1177/2165079921101594
- Raine, G. &. (2021). Supporting aging workers: The potential of passive exoskeletons in preventing musculoskeletal disorders. *Journal of Workplace Health and Safety*, 69(7), 297-305.
- Ranci, C. (2012). Les enjeux du vieillissement de la population active et des politiques publiques. (53(4), Éd.) 611-634.
- Ribau. (2005). la phénoménologie : une approche scientifique des expériences vécues. *Recherche en soins infirmiers*. Récupéré sur https://www.researchgate.net/publication/287502150_La_phenomenologie_une_approche_scientifique_des_experiences_vecues
- Richard. (2023). "Exosquelettes et réduction des risques musculosquelettiques dans le secteur industriel : Vers une adoption optimale". *Université : Université du Québec à Trois-Rivières*.
- Robertson. (2012). Challenges and opportunities in contemporary participatory design. *Design Issues*, 3-9.
- Roquelaure. (2018). Troubles musculo-squelettiques et facteurs psychosociaux au travail : une expertise collective de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). Récupéré sur <https://www.etui.org/sites/default/files/FR-Rapport-142-roquelaure-WEB.pdf>
- Rosenbaum, A. M. (2021). "Impact of Passive Exoskeletons on the Mobility of Aging Workers: Enhancements and Limitations.". *Human Factors*, 63(5), 782-795. doi:10.1177/00187208211013727
- Rosenberg, D. E. (2020). "Passive Exoskeletons in Occupational Settings: Reducing Physical Load and Injury Risk.". *Journal of Occupational Rehabilitation*, 30(4), 513-525.
- S, R. (2023). "Exosquelettes et réduction des risques musculosquelettiques dans le secteur industriel : Vers une adoption optimale". *Université : Université du Québec à Trois-Rivières*.
- Salthouse, T. A. (2015). Cognitive aging and the work environment. In Handbook of the Psychology of Aging. (8. ed, Éd.) *Academic Press*, pp. 235-250.
- Sanders. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign*, 5-18.

- Schnabel, F. e. (2020). Impact of Exoskeletons on Psychological Well-being and Professional Competence. *Journal of Occupational Health Psychology*, 25(3), 345-359. Récupéré sur <https://www.ergonomie-self.org/wp-content/uploads/2019/03/acte-92-self-2018.pdf>
- Schoenen, J. e. (2016). Vieillesse et travail : Impact des tâches contraignantes sur la santé des travailleurs âgés. *Revue de Santé au Travail*, 215-230. Récupéré sur https://www.travail.gouv.qc.ca/fileadmin/fichiers/Documents/regards_travail/vol07-03/03_Travailleurs_vieillissants.pdf
- Serradell, V. &. (2019). "Impact des exosquelettes sur la réduction des troubles musculo-squelettiques dans les milieux industriels au Québec.". *Ergonomie*, 63(4), 211-219.
- Shishika, M. &. (2021). *Exoskeletons in Rehabilitation and Healthcare: New Solutions for Mobility Disorders*. Elsevier. Récupéré sur <https://ieeexplore.ieee.org/document/1570790>
- Sonnentag. (2015). The impact of work stress on well-being and motivation: A review of research. In *Handbook of Work and Well-Being*. Edward Elgar Publishing, pp. 301-320.
- Sonnentag, S. e. (2018). Recovery from work and well-being: A meta-analysis of the role of work-related factors in the recovery process. *Journal of Organizational Behavior*, 39(6), 722-745.
- Suzuki, T. e. (2021). "Enhancing Worker Safety with Exoskeletons: A Case Study in Japan.". *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 31(5), 537-548. doi:10.1002/hfm.20865
- Szinovacz, M. E. (2004). "Work and Retirement: A Longitudinal Analysis of Gender Differences in the Timing of Retirement.". 59(6), S305-S314.
- Taira. (2020). "Effectiveness of Exoskeletons in Reducing Spine Load and Improving Productivity in Industrial Work.". *Applied Ergonomics*, 85, 103062. doi:10.1016/j.apergo.2020.103062
- Taira, S. e. (2020). "Effectiveness of Exoskeletons in Reducing Spinal Load and Improving Productivity in Industrial Work.". *Applied Ergonomics*, 85, 103062. doi:10.1016/j.apergo.2020.103062
- Takahashi. (2017). The Role of Training in the Successful Implementation of Exoskeletons in the Workplace: Lessons Learned from Initial Trials. *Journal of Human Factors and Ergonomics Society*, 59(2), 350-359.

- Takahashi, T. T. (2020). "Posture improvement and physical effort reduction through wearable exoskeletons in industrial applications.". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 74, 31-42.
- Vallery, H. e. (2014). "Wearable Robots for Industrial Applications: Design and Function.". (J. o. Systems, Éd.) 62(8), 1151-1160.
- van den Berg, T. &. (2009). "The impact of work characteristics on the mental health of older workers: A systematic review.". *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82(9), 1059-1066.
- Van der Molen, H. F. (2012). "Physical and Psychological Work Demands as Predictors of Health in Workers: A Systematic Review.". *Occupational and Environmental Medicine*, 69(8), 553-560.
- Vaughan, J. &. (2014). "Exoskeletons: The Future of Human-Machine Interaction.". *International Journal of Robotics Research*, 33(4), 35-45.
- Vilà, C. &. (2019). "Musculoskeletal risk factors in industrial settings: Posture, repetitive tasks, and heavy lifting.". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 72, 102827.
- Vogel, J. e. (2019). Impact of Individual Differences on the Effectiveness and Acceptability of Exoskeletons. *Journal of Ergonomics*, 62(4), 345-359. Récupéré sur https://portaildocumentaire.inrs.fr/Default/doc/SYRACUSE/519814/benefices-et-limites-de-l-usage-d-exosquelettes-a-des-fins-de-prevention-des-risques-de-troubles-mus?_lg=fr-FR
- Vogt. (2017). Exoskeletons for Sports and Leisure Activities: Innovations and Future Directions. *Journal of Sports Science & Technology*, 22(5), 1-11.
- WHO. (2010). Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Practical Guide. *Organisation mondiale de la santé*.
- WHO. (2024). *Rapport sur le vieillissement et la santé*. Récupéré sur <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- Wioland. (2019). Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes : évaluation par questionnaire . Récupéré sur <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TF+264>
- Young, A. J. (2017). "The Role of Wearable Robots and Exoskeletons for Augmenting the Performance and Health of Workers.". *Journal of Occupational Health Psychology*, 22(1), 9-24.

- Zhang, S. &. (2021). "Exoskeletons for Physical Rehabilitation and Augmenting Worker Performance in the U.S. Labor Market.". *IEEE Access*, 9, 11954-11962. doi:10.1109/ACCESS.2021.3062215
- Zhao, X. e. (2019). Ergonomic benefits of passive exoskeletons in industrial settings: Reducing muscle fatigue and TMS risk. *Applied Ergonomics*, 75, 1-10.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire Pré-Test

Section 1 : Informations Générales

1. Âge.....

2. Sexe :

☐ Masculin

☐ Féminin

☐ Autre

☐ Préfère ne pas dire

3. Poste occupé.....

4. Nombre d'années d'expérience dans ce poste.....

5. Avez-vous déjà utilisé un exosquelette passif ?

☐ Oui

☐ Non

6. Type d'industrie (secteur) :

☐ Entretien ménagé

☐ Manutention

☐ Autre (precisez).....

Section 2 : Perception du Travail Actuel

7. Sur une échelle de 1 à 5, comment évalueriez-vous votre satisfaction générale au travail ?

(1 = Pas du tout satisfait, 5 = Très satisfait)

	Très satisfait	Satisfait	Neutre	Insatisfait	Très insatisfait
Satisfaction générale au travail					

8. Quelles sont les principales raisons de votre niveau de satisfaction au travail ? (Cochez toutes les réponses pertinentes)

- ☐ Conditions de travail
- ☐ Taches contraignantes
- ☐ Relations avec les collègues
- ☐ Reconnaissance de votre travail
- ☐ Équilibre travail-vie personnelle
- ☐ Autres (précisez) :

10. Avez-vous des préoccupations concernant votre santé ou votre bien-être liées à votre travail ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

Si oui, veuillez préciser :

Section 3 : Évaluation de la Pénibilité des Tâches

11. Sur une échelle de 1 à 5, comment évalueriez-vous la pénibilité générale de votre travail ?

(1 = Pas du tout pénible, 5 = Très pénible)

Réponse :

	Très pénible	Pénible	Modérément pénible	Légèrement pénible	Pas du tout pénible
Pénibilité du travail					

12. Quelles tâches effectuez-vous régulièrement dans votre travail ? (Listez-les)

- a
- b
- c

d

e.....

Exemple :

Nettoyage des sols	
Déplacement de mobilier	
Nettoyage en hauteur	
Tâches répétitives	
Soulever des charges lourdes	
Transport des équipements, marchandises	
Travail en position debout prolongée	

13. Pour chacune des tâches listées, veuillez indiquer le niveau de pénibilité sur une échelle de 1 à 5 :

a. Tâche 1 :.....

b. Tâche 2 :.....

c. Tâche 3 :.....

d. Tâche 4 :.....

(1 = Pas du tout pénible, 5 = Très pénible)

	Très pénible	Pénible	Modérément pénible	Légèrement pénible	Pas du tout pénible
Pénibilité du travail					

14. Quelles sont les principales difficultés que vous rencontrez lors de l'exécution de ces tâches ?

(Cochez toutes les réponses pertinentes)

☐ Fatigue physique

- ☐ Douleurs musculaires ou articulaires
- ☐ Stress mental
- ☐ Manque de temps pour terminer les tâches
- ☐ Autres (précisez) :

Section 4 : Impact sur la Santé et le Bien-être

15. Avez-vous ressenti des douleurs ou des inconforts physiques en raison de votre travail ?

☐ Oui

☐ Non

Si oui, veuillez préciser les zones touchées :.....

16. Sur une échelle de 1 à 5, comment évalueriez-vous l'impact de votre travail sur votre bien-être général ?

(1 = Pas du tout impactant, 5 = Très impactant)

Réponse :.....

17. Avez-vous déjà pris des mesures pour atténuer la pénibilité de votre travail ?

☐ Oui

☐ Non

Si oui, lesquelles ?.....

Section 5 : Désir de Maintien en Emploi

18. Souhaitez-vous continuer à travailler dans votre poste actuel jusqu'à la retraite ?

☐ Oui

☐ Non

Si non, pourquoi ?.....

19. Sur une échelle de 1 à 5, dans quelle mesure pensez-vous que l'utilisation d'un exosquelette passif pourrait influencer votre décision de rester en emploi ?

(1 = Pas du tout influent, 5 = Très influent)

	Très influent	Influent	Modérément influent	Légèrement influent	Pas du tout influent
Pénibilité du travail					

19. Quelles mesures ou soutiens aimeriez-vous voir mis en place pour faciliter votre maintien en emploi ? (Cochez toutes les réponses pertinentes)

- ☐ Formation sur l'utilisation d'exosquelettes
- ☐ Aménagements ergonomiques sur le lieu de travail
- ☐ Flexibilité des horaires de travail
- ☐ Programmes de santé et de bien-être
- ☐ Autres (précisez) :

20. Pensez-vous que votre expérience et vos compétences sont valorisées dans votre entreprise ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

Si non, pourquoi ?.....

Section 6 : Suggestions et Commentaires

21. Avez-vous des suggestions pour améliorer les conditions de travail des travailleurs vieillissants réalisant des tâches professionnelles contraignantes dans votre secteur ?

.....

22. Avez-vous d'autres commentaires ou préoccupations concernant la pénibilité de votre travail ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

Si oui

23. Avez-vous d'autres commentaires ou préoccupations concernant votre désir de maintien en emploi ?

☐ Oui

☐ Non

Si oui
.....

Annexe 2 : Questionnaire Post Test

Section 1 : Informations Générales

1. Âge.....

2. Sexe :

☐ Masculin

☐ Féminin

☐ Autre

☐ Préfère ne pas dire

3. Poste occupé.....

4. Nombre d'années d'expérience dans ce poste.....

Section 2 : Évaluation de la Pénibilité

5. Sur une échelle de 1 à 5, comment évalueriez-vous la pénibilité de vos tâches professionnelles sans port de l'exosquelette passif ?

(1 = très faible, 5 = Très élevée)

	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Pénibilité des tâches professionnelles					

6. Après l'utilisation de l'exosquelette, comment évalueriez-vous la pénibilité de vos tâches professionnelles sur une échelle de 1 à 5, comment évalueriez-vous la pénibilité de vos tâches professionnelles ?

(1 = très faible, 5 = Très élevée)

	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Pénibilité des tâches professionnelles					

7. Quelles tâches spécifiques avez-vous effectuées avec l'exosquelette ? (Veuillez cocher toutes les options applicables)

- ☐ Manutention de charges lourdes (ex. lever, déplacer);
- ☐ Position debout prolongée ;
- ☐ Tâches répétitives ;
- ☐ Autre.....

8. Avez-vous ressenti une différence dans votre niveau de fatigue après avoir utilisé l'exosquelette passif ?

- ☐ Oui, beaucoup moins fatigué ;
- ☐ Oui, un peu moins fatigué ;
- ☐ Pas de changement ;
- ☐ Oui, un peu plus fatigué
- ☐ Oui, beaucoup plus fatigué ;

Secteur 3 : Impact sur le Confort et la Fatigue

9. Avez-vous ressenti une amélioration du confort lors de l'exécution de vos tâches après l'utilisation de l'exosquelette ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

Veillez expliquer

10. Sur une échelle de 1 à 10, comment évalueriez-vous votre niveau de fatigue après une journée de travail avant l'utilisation de l'exosquelette passif ? (1 = Pas du tout fatigué, 10 = Très fatigué)

11. Sur une échelle de 1 à 10, comment évalueriez-vous votre niveau de fatigue après une journée de travail avec l'exosquelette ? (1 = Pas du tout fatigué, 10 = Très fatigué)

12. Avez-vous ressenti des douleurs ou des inconforts spécifiques après l'utilisation de l'exosquelette ?

☐ Oui

☐ Non

Si Oui, veuillez expliquer

Section 4 : Satisfaction et Suggestions

13. Êtes-vous satisfait(e) de l'utilisation de l'exosquelette dans votre travail ?

☐ Très satisfait(e)

☐ Satisfait(e)

☐ Neutre

☐ Insatisfait(e)

☐ Très insatisfait(e)

Pourquoi ?

14. Quelles améliorations suggéreriez-vous pour l'exosquelette ou son utilisation ?

.....
.....
15. Auriez-vous aimé continuer à utiliser cet exosquelette dans votre travail ?

☐ Oui

☐ Non

Pourquoi ?
.....

16. Pourriez-vous envisager travailler plus longtemps (prise de la retraite dans un avenir plus lointain) grâce à l'utilisation de supports comme l'exosquelette ?

☐ Oui, certainement

☐ Oui, probablement

☐ Je ne suis pas certain(e)

☐ Non, probablement pas

☐ Non, certainement pas

Pourquoi ?.....

17. Avez-vous d'autres commentaires ou observations concernant l'utilisation de l'exosquelette passif