

Université de Montréal

État des connaissances sur les fauteuils roulants motorisés intelligents (FRMIs) et recommandations pour la poursuite de leur développement : un examen de la portée

Par

Nathalie Todam Nguepnang

École de réadaptation, Faculté de Médecine

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maîtrise en sciences de la réadaptation

Juin 2021

© Nathalie Todam Nguepnang, 2021

Université de Montréal

École de réadaptation, Faculté de Médecine

Ce mémoire intitulé :

État des connaissances sur les fauteuils roulants motorisés intelligents (FRMIs) et recommandations pour la poursuite de leur développement : un examen de la portée

Présenté par :

Nathalie Todam Nguenpang

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Sabrina Cavallo

Présidente-rapporteuse

Dahlia Kairy

Directrice de recherche

Philippe Archambault

Co-directeur

Jérôme Gauvin-Lepage

Membre du jury

Résumé

Contexte : La participation sociale d'utilisateurs de fauteuils roulants peut être affectée par certains facteurs, tels que l'accessibilité et les caractéristiques individuelles de ces derniers, pouvant limiter leur pleine implication dans la réalisation des activités significatives de la vie quotidienne. Afin d'améliorer leur mobilité, différents prototypes de fauteuils roulants motorisés intelligents (FRMIs) sont en développement, à l'intention de personnes présentant des déficiences physiques, cognitives ou sensorielles, et qui sont dans l'incapacité d'utiliser un fauteuil roulant motorisé (FRM). Le but visé est de leur procurer davantage d'autonomie dans leurs déplacements, et tenter ainsi de répondre à leurs besoins en termes de mobilité et de participation sociale.

Objectif : Explorer la littérature portant sur le développement de FRMIs afin de comprendre dans quelle mesure les prototypes existants répondent aux besoins réels des utilisateurs, d'identifier les limites des études, et de faire des recommandations pour mieux orienter le développement continu des FRMIs.

Méthodologie : Un examen de la portée a été réalisé suivant les six étapes proposées par Arskeys et O'Malley (2005), puis bonifiées par Levac et al. (2010). Les études publiées en anglais ou en français, jusqu'à septembre 2020, ont été consultées.

Résultats : Au total, 41 études ont été retenues pour l'analyse. Les résultats suggèrent que les différentes technologies intégrées aux FRMIs pourraient contribuer à répondre à certains besoins d'utilisateurs présentant différentes incapacités, contribuer à améliorer leur mobilité, procurer de l'autonomie et favoriser leur participation sociale. Par ailleurs, des résultats complémentaires ont permis d'identifier : (a) d'autres technologies, pouvant favoriser davantage le sentiment d'autonomie et de confort aux utilisateurs, et (b) d'autres usages possibles du FRMI en clinique. Une limite importante identifiée est l'absence d'études expérimentales pouvant permettre d'évaluer l'efficacité du FRMI. Le point de vue des proches-aidants est également peu rapporté dans la littérature.

Conclusion : Des études futures seraient à envisager en vue d'améliorer les prototypes de FRMIs existants.

Mots clés : Fauteuil roulant motorisé intelligent - Utilisateurs de fauteuil roulant motorisé – Proches-aidants - Participation sociale – Mode de navigation- Modalité de contrôle - Technologies.

Abstract

Background: The level of social participation among wheelchair users can be affected by factors such as accessibility, as well as their individual clinical profile, which can limit their full involvement in meaningful activities of daily living. To meet their needs in terms of mobility and social participation, different prototypes of intelligent powered wheelchairs (IPW) are being developed, in order to improve the mobility of people with physical, cognitive or sensorial impairments, who have difficulties using standard powered wheelchairs.

Objective: The aim of this study was to map the existing literature on the nature of studies carried out on IPWs to better understand how the existing IPWs meet the needs of powered wheelchair users, and to better guide the ongoing development of IPWs.

Methods: A scoping review was conducted in accordance with the six stages of Arskeys and O'Malley's (2005) framework which was later enhanced by Levac *et al.* (2010). All studies available until September 2020, written in English or in French, were included.

Results: A total of 41 studies were included in the scoping review. The results suggest that the various technologies integrated into IPWs could meet some of the needs of powered wheelchair users (PWu), could help improve mobility, provide independence, and promote social participation of some PWu. Moreover, additional results were identified: (a) other technologies, that could provide more independence and comfort to users, and (b) other clinical uses of IPW. An important limitation of the literature is the lack of experimental studies that could help assessing the efficiency of IPW. The point of view of caregivers is also less reported in the literature.

Conclusion: Further studies should be considered to improve the functioning of the existing prototypes of IPW.

Key Words: Intelligent powered wheelchair – Power wheelchair users – Caregivers - Operating mode - Navigation mode - Technology- Social participation

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Chapitre 1 : INTRODUCTION..... | 1 |
| 1.1 Problématique..... | 1 |
| 1.1.1 Le fauteuil roulant et la réalisation des activités de participation sociale | 1 |
| 1.1.2 Le fauteuil roulant motorisé | 3 |
| 1.1.3 La place du fauteuil roulant motorisé intelligent..... | 4 |
| 1.2 Organisation du mémoire..... | 6 |
| Chapitre 2 : OBJECTIFS DE L'ÉTUDE | 7 |
| 2.1.1 Objectif principal | 7 |
| 2.1.2 Objectifs spécifiques de l'examen de la portée | 7 |
| 2.1.3 Objectif secondaire..... | 7 |
| Chapitre 3 : CADRE DE RÉFÉRENCE | 9 |
| 3.1.1 La conception centrée sur l'utilisateur..... | 9 |
| 3.1.2 Le modèle de technologie d'assistance à l'activité humaine..... | 11 |
| 3.1.3 Le modèle d'acceptation de la technologie | 14 |
| Chapitre 4 : RECENSION SOMMAIRE DES TECHNOLOGIES INTÉGRÉES AUX FRMIs | 16 |
| 4.1 Les modalités de contrôle du FRMI | 16 |
| 4.2 Les modes de navigation..... | 21 |
| Chapitre 5 : MÉTHODOLOGIE | 23 |
| 5.1 Type d'étude | 23 |
| 5.2 Méthodologie de l'examen de la portée..... | 23 |
| Chapitre 6 : EXAMEN DE LA PORTÉE..... | 28 |
| 6.1 Fauteuil roulant motorisé intelligent pour les utilisateurs et leurs aidants : Un examen de la portée..... | 28 |
| 6.2 Résumé | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 6.3 Introduction | 32 |
| 6.4 Objectifs spécifiques..... | 34 |
| 6.5 Cadre de référence | 34 |
| 6.5.1 Le modèle de technologie d'assistance à l'activité humaine (<i>Human Activity Assistive Technology Model- HAAT</i>)..... | 34 |
| 6.5.2 Le modèle d'acceptation de la technologie (<i>Technology Acceptance Model - TAM</i>)..... | 35 |
| 6.6 Méthodologie..... | 36 |
| 6.6.1 Étape 1 : Identification de la question de recherche | 37 |
| 6.6.2 Étape 2 : Identification des études pertinentes | 37 |
| 6.6.3 Étape 3 : Sélection des études | 39 |
| 6.6.4 Étape 4 : Extraction des données | 42 |
| 6.6.5 Étape 5 : Analyse et présentation des résultats..... | 42 |
| 6.6.6 Étape 6 : Consultation des experts..... | 42 |
| 6.7 Résultats | 43 |
| 6.8 Technologies intégrées aux FRMIs | 59 |
| 6.8.1 Les modalités de contrôle | 59 |
| 6.8.1.1 Les Interfaces Homme-Machine | 59 |
| 6.8.1.1.1 Écran tactile | 60 |
| 6.8.1.1.2 Commande vocale | 61 |
| 6.8.1.1.3 Reconnaissance des expressions non-verbales | 63 |
| 6.8.1.2 L'interface cerveau-machine | 65 |
| 6.8.2 Effets escomptés des fonctionnalités intelligentes du FRMI..... | 67 |
| 6.8.2.1 Modes de navigation semi-automatique et automatique..... | 67 |
| 6.8.2.2 Détection et évitement d'obstacles | 70 |
| 6.9 Environnements de test..... | 72 |
| 6.10 La perspective des utilisateurs | 74 |
| 6.10.1 Utilité perçue du FRMI | 74 |

| | |
|---|-----------|
| 6.10.2 Facilité d'utilisation perçue du FRMI | 76 |
| 6.10.3 Facteurs pouvant influencer négativement l'acceptation du FRMI..... | 77 |
| 6.11 Discussion..... | 78 |
| 6.11.1 Les modalités de contrôle du FRMI : Avantages, inconvénients et pistes de solution | 78 |
| 6.11.2 Alternatives pour renforcer la sécurité des uFRMI | 82 |
| 6.11.3 Profil des participants et implication pour la recherche | 84 |
| 6.11.4 Environnements de test et implication pour la recherche..... | 85 |
| 6.11.5 Acceptation du FRMI par les utilisateurs | 86 |
| 6.12 Limites et recommandations | 89 |
| 6.12.1 Limites identifiées dans la littérature..... | 89 |
| 6.12.2 Recommandations préliminaires | 89 |
| 6.13 Forces et Limites de l'étude..... | 90 |
| 6.13.1 Forces de l'étude..... | 90 |
| 6.13.2 Limites de l'étude | 91 |
| 6.14 Conclusion..... | 91 |
| 6.15 Conflits d'intérêts..... | 92 |
| 6.16 Remerciements | 92 |
| Chapitre 7 : RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES | 93 |
| 7.1 Autres technologies | 93 |
| 7.1.1 Assistance par bras robotisé pour fauteuil roulant..... | 93 |
| 7.1.2 Coussins intelligents pour les uFR | 94 |
| 7.1.3 Technologie pour faciliter le transfert du FRMI vers une automobile | 94 |
| 7.2 Autre usage du FRMI | 96 |
| 7.2.1 Le FRMI utilisé comme outil d'entraînement à la conduite de FRM | 96 |
| 7.2.2 Dispositif d'entraînement intelligent | 96 |
| 7.3 Connexion sans fil pour suivi et accompagnement à distance | 97 |

| | |
|--|------------|
| Chapitre 8 : DISCUSSION | 99 |
| 8.1 Accessibilité et participation sociale des uFR, la valeur ajoutée du FRMI | 99 |
| 8.2 Contributions théoriques et méthodologiques de l'étude dans le développement des FRMIs | 102 |
| 8.3 Innovation responsable en santé et acceptation du FRMI : Inclusion, enjeu économique et éthique..... | 104 |
| 8.3.1 Inclusion et enjeu économique | 104 |
| 8.3.2 Enjeu éthique | 105 |
| 8.4 Les technologies les plus prometteuses..... | 106 |
| 8.5 Impacts de cette étude pour la réadaptation | 108 |
| 8.6 Recommandations | 109 |
| Chapitre 9 : CONCLUSION..... | 111 |
| Références | 112 |
| Annexe 1 : Modèle de Développement Humain-Processus de Production du Handicap 2..... | 125 |
| Annexe 2 : Échelle des niveaux de maturité technologique | 126 |
| Annexe 3 : Cadre conceptuel pour l'innovation responsable en santé | 130 |
| Annexe 4 : Stratégie de recherche <i>MEDLINE</i> utilisée pour l'examen de la portée...131 | 131 |
| Annexe 5 : Stratégie de recherche utilisée pour l'examen de la portée dans les autres bases de données consultées | 132 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Résumé de la stratégie de recherche | 25 |
| Tableau 2. Critères d'éligibilité des articles | 26 |
| Tableau 3. Tableau d'extraction des données de l'examen de la portée | 44 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|-----|
| Figure 1. Différentes phases du <i>User-Centered Design</i> | 11 |
| Figure 2. Illustration du modèle théorique Human Activity Assistive Technology | 13 |
| Figure 3. Modèle d'acceptation de la technologie (Lai, 2017) | 14 |
| Figure 4. Processus d'identification et de sélection des études (Tricco et al., 2018) | 41 |
| Figure 5. Responsible innovation in health framework | 130 |

Liste des abréviations

DSS : *Drive Safe-System*

EEG : Électro-encéphalogramme

EOG : Électro-oculogramme

FR : Fauteuil roulant

FRman : Fauteuil roulant manuel

FRM : Fauteuil roulant motorisé

FRMI : Fauteuil roulant motorisé intelligent

HAAT : Human Activity Assistive Technology

IMC : Infirmité Motrice Cérébrale

ICM : Interface Cerveau-Machine

IHM : IHM

IPW: Intelligent Powered Wheelchair

IRS: Innovation Responsable en Santé

PW: Powered Wheelchair

PWu: Powered Wheelchair user

TAM: Technology Acceptance Model

UCD : User Centered Design

uFR : Utilisateur de fauteuil roulant

uFRman : Utilisateur de de fauteuil roulant manuel

uFRM : Utilisateur de fauteuil roulant motorisé

uFRMI : Utilisateur de fauteuil roulant motorisé intelligent

*Au Seigneur Jésus-Christ, fils du Dieu Tout-
Puissant qui me relève Toujours de mes chutes !*

Reçois toute la Gloire !

Remerciements

Ce mémoire représente, en partie, l'accomplissement d'un parcours académique assez atypique et, je l'espère, le début d'une nouvelle carrière en recherche. Mon cheminement aux études supérieures a été une belle période d'apprentissages et de rencontres. Les enseignements ainsi que l'encadrement que j'ai reçus m'ont permis d'acquérir des aptitudes en matière de recherche qui me seront fort utiles à l'avenir.

Je tiens à adresser mes chaleureux remerciements et ma profonde gratitude à ma directrice de recherche, la Dre Dahlia Kairy, qui m'a donnée l'opportunité de découvrir un nouvel aspect de la recherche en réadaptation (l'application des technologies en réadaptation) pour lequel je porte désormais un grand intérêt. Dahlia, merci du fond du cœur pour tout l'encadrement, le coaching, le soutien, tous les conseils et les encouragements. Un merci très chaleureux à mon co-directeur, le Dr Philippe Archambault, pour l'encadrement, le soutien et les encouragements dont j'ai bénéficié pendant les moments les plus difficiles de mon cheminement. Merci beaucoup pour le regard critique et très avisé, les remarques très pertinentes ainsi que les pistes de solution proposées pendant la rédaction de ce mémoire. Du fond du cœur, un grand merci, Philippe.

Ma reconnaissance s'adresse également à mes marraines, Dre Debbie Feldman et Dre Pascale Lehoux. Merci beaucoup pour votre soutien et pour vos conseils précieux qui m'ont permis d'aller de l'avant.

Un merci particulier à la Dre Johanne Filiatrault pour le soutien multiforme dont j'ai bénéficié pendant que je traversais une période difficile sur le plan académique.

À toutes les belles personnes que j'ai rencontrées, mes collègues du centre de recherche, du laboratoire de recherche, de l'université, etc. Merci pour le partage d'expérience ainsi que pour vos conseils.

À mes parents, papa Isaac et maman Blandine, vos conseils m'accompagnent tous les jours de ma vie ! Merci infiniment pour votre soutien quotidien sans faille !

À mes frères et sœurs Patrick, Christian, Christelle, Sorelle,

À ma belle maman, maman Rose,

Merci du fond du cœur d'être toujours présents et de m'encourager dans tout ce que je fais malgré les milliers de kilomètres qui nous séparent.

À ma charmante et chaleureuse famille du Canada, mes amis, frères et sœurs : Emmanuelle, Mathieu, Marius, Vanessa, Rody, Isabelle, merci de tout cœur pour votre soutien multiforme et pour vos prières.

À toutes les autres personnes qui m'ont apportées un soutien multiforme pendant le cheminement ayant abouti à la réalisation de ce mémoire, puisqu'il m'est impossible de vous nommer toutes individuellement, je voudrais vous exprimer ma profonde gratitude. Puissiez-vous recevoir vos bienfaits en retour au centuple.

Le meilleur étant réservé pour la fin, je voudrais dire infiniment merci à mon tendre époux, Lionel, ainsi qu'à notre adorable petit ange, Malaïka, pour leur soutien indéfectible. Vous êtes pour moi une véritable source de motivation au quotidien.

Merci ma petite Malaïka, d'avoir accepté, depuis que tu as eu cinq mois, de te priver de l'attention de ta maman durant les moments où tu en avais le plus besoin !

À toi, kamoukiè, pour ta compréhension, ta patience, ton soutien à tous égards, mille mercis. Sans toi, je n'y serais pas arrivée ! Merci du plus profond de mon cœur pour TOUT ! Mbifè!!!

Avant-propos

Ce mémoire, qui est une revue de la portée, a été rédigé dans un contexte marqué par la pandémie à la COVID-19. Pour des raisons liées au respect des mesures sanitaires visant à limiter les risques de contamination au virus et d'écllosion de la maladie, le type préalablement adopté pour le mémoire a été modifié. En effet, nous avons renoncé à un format classique avec un volet expérimental en faveur d'un format plus théorique (examen de la portée).

L'étude, initialement prévue, s'inscrivait dans le cadre d'un projet de recherche qui vise à développer un fauteuil roulant motorisé intelligent (FRMI) selon les besoins des utilisateurs. Elle aurait consisté à mener une étude de cas multiples avec une collecte de données en milieux de vie réels, en impliquant des utilisateurs de fauteuils roulants motorisés (FRM) et leurs aidants respectifs.

En fin de compte, la décision de faire un examen de la portée a été motivée par deux raisons. D'une part, la collecte des données s'est avérée inopportune, puisque les participants initialement recrutés pour prendre part à l'étude faisaient partie des populations les plus vulnérables face à la pandémie de la COVID-19. D'autre part, le besoin de faire un état des lieux des connaissances sur les FRMIs existants s'est fait ressentir. En effet, étant donné que le développement des FRMIs est un processus continu, et que les technologies évoluent rapidement, sans compter la variété des études sur le sujet, il nous a semblé fondamental d'effectuer une revue non-exhaustive de la littérature afin d'avoir un aperçu global de l'état des recherches en la matière à ce jour. Les résultats permettront de mieux orienter les projets de recherche en cours, ou d'améliorer les prototypes de FRMIs existants.

Chapitre 1 : INTRODUCTION

1.1 Problématique

Le fauteuil roulant (FR) pourrait faciliter la mobilité de certaines personnes présentant une déficience physique, cognitive ou sensorielle (Smith et al., 2016). En effet, environ 1% de la population mondiale pourrait avoir recours à un FR comme moyen de déplacement (Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018). Selon son profil clinique et le type de FR utilisé, l'utilisateur peut faire preuve de plus ou moins d'autonomie et donc, peut nécessiter, ou non, de l'assistance dans l'accomplissement des activités quotidiennes (Rushton, Labbé, et al., 2017c). Il existe différents types de FR, tels que le fauteuil roulant manuel (FRman), le fauteuil roulant motorisé (FRM) ou électrique, et le fauteuil roulant motorisé intelligent (FRMI). L'attribution d'un de ces FR dépend, non seulement du profil clinique de l'utilisateur, mais aussi de ses besoins spécifiques, en termes de mobilité et de participation sociale. Par exemple, le FRM procurerait, à certains utilisateurs, une certaine flexibilité dans les déplacements et, par la même occasion, favoriserait leur implication dans des activités de participation sociale, telles que rendre visite à des amis ou participer à des activités de loisir, soient aller à la pêche, se rendre à la bibliothèque, etc. (Labbé et al., 2020).

1.1.1 Le fauteuil roulant et la réalisation des activités de participation sociale

Le Modèle de développement humain - Processus de production du handicap (MDH-PPH2) est un modèle conceptuel pouvant être utilisé pour avoir une meilleure compréhension de l'interaction entre les facteurs personnels et environnementaux, susceptibles d'influencer les habitudes de vie, notamment la participation à des activités et des rôles sociaux signifiants pour la personne (Fougeyrollas, 2010, Réseau international sur le Processus de Production du Handicap-RIPPH. <https://ripph.qc.ca/modele-mdh-pph/le-modele/>). Selon le MDH-PPH2, la participation sociale correspond « à la réalisation des habitudes de vie, c'est-à-dire les activités courantes et les rôles sociaux d'une personne. Une habitude de vie peut correspondre à une activité courante ou à un rôle social valorisé par la personne ou son contexte socioculturel selon ses caractéristiques (l'âge, le sexe, l'identité socioculturelle, etc.) » (Fougeyrollas, 2004, p.9). Les activités courantes incluent

« la communication, le déplacement, la nutrition, les soins personnels, les conditions corporelles et l'habitation » (Fougeyrollas, 2004, p.9). Par rôles sociaux, on entend « les responsabilités, les relations interpersonnelles, la vie communautaire, l'éducation, le travail, et les loisirs. » (Lorétan et Ampukunnel, 2019, Revue d'information sociale-REISO, 2019, <https://www.reiso.org/articles/themes/handicaps/4132-course-d-obstacles-avant-la-participation-sociale>). Autrement dit, la participation sociale représente l'implication de la personne dans l'accomplissement d'activités quotidiennes significatives incluant l'exécution des tâches relatives à ses besoins personnels, ainsi que son rôle social exercé dans la communauté. Il peut aussi s'agir de son implication dans l'accomplissement d'activités se déroulant dans son entourage, ou au sein de sa communauté de résidence, telles que des événements culturels, sportifs ou des activités de loisir. Ainsi, la participation sociale variera d'une personne à l'autre, selon ses caractéristiques, son contexte et les activités qu'elle entreprendra.

Selon le MDH-PPH2, la participation sociale chez les uFR résulte de l'interaction entre les facteurs personnels tels que le sexe, l'âge, les déficiences et les incapacités et les facteurs environnementaux tels des obstacles et des facilitateurs à la mobilité (Fougeyrollas, 2010, Réseau international sur le Processus de Production du Handicap-RIPPH. <https://ripph.qc.ca/modele-mdh-pph/le-modele/>). Chez les utilisateurs de fauteuils roulants (uFR), la participation sociale pourrait se traduire par leur implication, tant dans des activités courantes telles que la communication, la nutrition, les déplacements, les soins personnels, que par leurs rôles sociaux tels que les relations interpersonnelles, les responsabilités, l'éducation, le travail, les loisirs, la vie communautaire (Fougeyrollas, 2010, Réseau international sur le Processus de Production du Handicap-RIPPH. <https://ripph.qc.ca/modele-mdh-pph/concepts-cles/>). Par conséquent, un meilleur arrimage entre ces différents facteurs favoriserait leur participation sociale. Quelques exemples d'activités fréquemment mentionnées par certains utilisateurs de FRM (uFRM) sont d'aller à des rendez-vous, se rendre à la pharmacie, faire des courses, prendre part aux activités de loisirs ou de divertissements, telles qu'aller à la bibliothèque, aller à la pêche, assister à des événements culturels, des concerts et des spectacles (Kairy et al., 2014; Labbé et al., 2020; Raymond et al., 2008). La réalisation de ces activités peut être influencée par certains facteurs pouvant représenter soit un obstacle, soit un facilitateur (Smith et al., 2016).

Certains des facteurs identifiés, peuvent être en lien, avec le contexte d'utilisation du FR, notamment l'environnement (Smith et al., 2016), qui peut être physique, social ou communautaire, tel que décrit dans le MDH-PPH2 (Fougeyrollas, 2010, Réseau international sur le Processus de Production du Handicap-RIPPH. <https://ripph.qc.ca/modele-mdh-pph/concepts-cles/https://ripph.qc.ca/modele-mdh-pph/concepts-cles/>). À cet effet, l'environnement physique, a été identifié comme un obstacle majeur à la participation sociale des uFRM (Widehammar et al., 2019). D'autres facteurs, notamment en lien avec l'utilisateur lui-même, tels que les déficiences, les incapacités ainsi que d'autres caractéristiques personnelles (Fougeyrollas, 2010, Réseau international sur le Processus de Production du Handicap-RIPPH. <https://ripph.qc.ca/modele-mdh-pph/concepts-cles/https://ripph.qc.ca/modele-mdh-pph/concepts-cles/>), ont également été rapportés. Par exemple, chez un utilisateur présentant une atteinte neurodégénérative, une diminution de la force de préhension requise pour propulser un FRman pourrait justifier l'attribution d'un FRM (Smith et al., 2016).

1.1.2 Le fauteuil roulant motorisé

Le FRM a été développé pour des personnes chez qui l'usage d'un FRman est inadapté, à cause de leurs conditions physiques ou cliniques. En effet, les uFRM peuvent présenter des profils variés, dont des déficiences physiques pouvant être d'origine congénitale ou traumatique, secondaire à une pathologie ou au vieillissement, des troubles cognitifs, des déficiences sensorielles (par exemple, trouble visuel). Ainsi, les différents FRMs existants offrent diverses possibilités de contrôle, pouvant être adaptées au profil de chaque utilisateur. On distingue, entre autres, le contrôle par une manette de commande (*joystick*), par souffle et aspiration pour les personnes ne pouvant manipuler un joystick classique, par commande vocale, ou par commande occipital, par exemple (Guedira et al., 2016). Toutefois, malgré la variété des modalités de contrôle proposés, certains uFRM éprouvent tout de même des difficultés de conduite au quotidien à cause de plusieurs facteurs (Simpson, 2008). Quelques difficultés rapportées sont associées à des facteurs environnementaux, tels que l'accessibilité, à des facteurs propres au FR ou à son utilisateur, tels que la douleur et les aptitudes en FR (Smith et al., 2016). Circuler à travers la foule, naviguer dans des espaces restreints (par exemples, couloirs, allées de magasins,

ascenseurs, toilettes publiques/salles de bain trop étroites), franchir des portes étroites, la présence de certains obstacles statiques, tels que les escaliers et les crevasses sur le trottoir, représentent, entre autres, des exemples de barrières environnementales liées à l'accessibilité pouvant rendre difficile la mobilité en FRM (Kairy et al., 2014; Torkia et al., 2015). Par ailleurs, le profil clinique de l'utilisateur peut également rendre difficile la conduite du FRM. Par exemple, certains uFRM présentant un déficit cognitif pourraient éprouver de la difficulté à se servir du *joystick* ou avoir du mal à s'orienter (Rushton, Labbé, et al., 2017c). Par conséquent, ils doivent avoir recours aux services d'un proche ou d'un aidant afin de les assister et les accompagner dans la réalisation de certaines activités. Cependant, l'omniprésence d'une personne d'assistance peut parfois constituer un fardeau pour les proches-aidants qui se voient sollicités en permanence (Rushton, Labbé, et al., 2017c). Les difficultés de conduite présentées peuvent constituer un facteur de risque d'accident, de chute ou de blessure pour les utilisateurs. Avec l'avancement des technologies, des systèmes robotisés et intelligents sont de plus en plus intégrés aux FRMs afin de faciliter et d'assurer des déplacements plus sécuritaires et ainsi, rendre les utilisateurs plus autonomes dans leurs déplacements. Le fauteuil motorisé intelligent (FRMI) est alors proposé (Leaman et al., 2016; Leaman & La, 2017; Schwesinger et al., 2017).

1.1.3 La place du fauteuil roulant motorisé intelligent

Le FRMI est un FRM auquel sont rattachés des systèmes robotisés et intelligents, tels que des capteurs et un ordinateur, dans le but d'améliorer son fonctionnement et de faciliter son utilisation pour l'accomplissement d'activités de la vie quotidienne (Boucher et al., 2013). Développé pour répondre aux besoins des utilisateurs qui éprouvent des difficultés de conduite avec leur FRM traditionnel, le FRMI pourrait contribuer à améliorer leur qualité de vie (Leaman et al., 2016). Les prototypes de FRMIs existants sont proposés pour un double emploi : améliorer les conditions d'utilisation dans des environnements difficiles, mais aussi venir en appui aux personnes présentant des troubles et/ou déficiences de toutes sortes sur le plan physique, cognitif ou sensoriel (Leaman et al., 2016).

La littérature scientifique portant sur le développement d'une telle technologie fait état d'une variété d'études menées sur le sujet. En effet, certaines études proposent des FRMIs

pouvant être contrôlés, soit physiquement, par une manette de commande (Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018), soit par la voix (Malik et al., 2017), soit par des informations faciales (Pingali et al., 2014). D'autres études proposent des FRMIs équipés de capteurs et dotés de la capacité à prévenir les collisions, ou de la capacité à pouvoir naviguer de façon semi-automatique ou automatique, sans l'intervention de l'utilisateur (Hua et al., 2017a; Schwesinger et al., 2017). On retrouve également, dans la littérature, des prototypes de FRMIs pouvant être contrôlés par le cerveau, épargnant ainsi l'utilisateur d'effectuer toute manœuvre physique, ce qui pourrait être intéressant pour une certaine catégorie d'utilisateurs, notamment ceux présentant des incapacités physiques sévères, telles qu'une tétraplégie (Abiyev et al., 2016). Face au nombre important d'études existantes, à la variété des prototypes de FRMIs identifiés et à la diversité des populations étudiées, il serait important d'examiner dans quelle mesure les FRMIs proposés correspondent aux besoins réels des utilisateurs afin de s'assurer de poursuivre leur développement, en répondant le mieux possible aux besoins de ces derniers. Ainsi, il paraît pertinent d'effectuer un inventaire des connaissances sur le sujet afin de mieux comprendre les FRMIs qui ont été développés, la clientèle pour qui ils sont destinés, et puis de suggérer des recommandations pour faire progresser le développement de cette technologie. Pour ce faire, une étude sous la forme d'examen de la portée est envisagée.

Un examen de la portée est un exercice qui vise à explorer la littérature afin d'avoir une vue d'ensemble sur un sujet donné. Arksey et O'Malley (2005) suggèrent quatre raisons pouvant justifier la réalisation d'un examen de la portée: « (a) avoir une vue d'ensemble sur les recherches portant sur un sujet spécifique, (b) en préparation à la réalisation d'une revue systématique, (c) diffuser les connaissances scientifiques, issues des recherches dans un domaine spécifique, et (d) identifier les limites des études portant sur un sujet spécifique » (Arksey & O'Malley, 2005, p. 6).

Il est donc pertinent, dans un domaine en émergence, soit le développement des fauteuils roulants motorisés intelligent, de mener un examen de la portée afin d'avoir un portrait de ce qui se développe, afin de mieux orienter les études futures dans le domaine.

1.2 Organisation du mémoire

Ce mémoire est composé de neuf (09) chapitres et est organisé comme suit : (1) l'introduction dans laquelle est présentée la problématique et l'organisation du mémoire; (2) les objectifs de l'étude; (3) le cadre de référence ayant servi à l'organisation de certains chapitres, ainsi qu'à l'analyse et l'interprétation des résultats; (4) la recension des écrits qui donne un aperçu sur les technologies intégrées aux FRMIs; (5) la méthodologie de l'étude, qui comprend la présentation du type d'étude, les méthodes de sélection des études, d'extraction et d'analyse des données; (6) l'examen de la portée; (7) la présentation d'autres résultats pour répondre à l'objectif secondaire de l'étude; (8) la discussion générale, qui aborde certains aspects peu approfondis au chapitre 6, ainsi que certains résultats pertinents du chapitre 7; et (9) la conclusion.

Chapitre 2 : **OBJECTIFS DE L'ÉTUDE**

2.1.1 Objectif principal

L'objectif principal de ce mémoire était de mener un examen de la portée visant à explorer la littérature afin de mieux décrire la nature des études portant sur les FRMIs, d'identifier d'éventuelles lacunes, sur le plan méthodologique par exemple en lien avec le devis et les objectifs visés des différentes études existantes. Cette exploration permet de mieux comprendre dans quelle mesure les FRMIs proposés pourraient répondre aux besoins réels des utilisateurs.

2.1.2 Objectifs spécifiques de l'examen de la portée

De façon plus spécifique, il était question :

- i) De documenter les différentes technologies intégrées aux FRMIs existants
- ii) D'identifier les environnements dans lesquels les FRMIs ont été testés/utilisés (laboratoire, virtuel, réel, etc.)
- iii) D'examiner le profil des participants impliqués dans les études
- iv) De comprendre la perspective des utilisateurs
- v) D'identifier les limites des études existantes portant sur les FRMIs
- vi) De fournir des recommandations pour les recherches futures afin de combler les lacunes identifiées dans la littérature et mieux orienter le développement continu.

2.1.3 Objectif secondaire

L'objectif secondaire de ce mémoire était d'identifier d'autres usages possibles du FRMI, ainsi que d'autres technologies, ou accessoires intelligents proposés, soit pour améliorer le fonctionnement du FRMI, soit pour améliorer le confort des utilisateurs, ou encore, pour leur procurer plus d'autonomie.

Deux modèles théoriques, et un cadre conceptuel, ont servi à organiser certains chapitres de ce mémoire. Ils ont également servi à l'analyse et à l'interprétation des résultats. Ils feront donc l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 3 : CADRE DE RÉFÉRENCE

Ce chapitre décrit deux modèles théoriques et un cadre conceptuel ayant servi, à l'analyse et à l'interprétation des résultats obtenus.

La littérature scientifique permet d'identifier plusieurs modèles théoriques et cadres conceptuels pouvant être appliqués dans le cadre du développement des technologies en réadaptation (Cook & Polgar, 2014; Giesbrecht, 2013; Lai, 2017). Cette section décrit le cadre de référence, incluant deux modèles théoriques et un cadre conceptuel retenus dans le cadre de cette étude et qui ont notamment servi à l'analyse et à l'interprétation des résultats de la revue de la portée.

Certains modèles théoriques et cadres conceptuels proposent une démarche permettant d'impliquer l'utilisateur ciblé d'une technologie d'assistance¹ dans le processus de conception et de développement de ladite technologie, tel que suggéré par la conception centrée sur l'utilisateur (Usability.gov. *Improving the User Experience*. Consulté le 5 mai 2021; <https://www.usability.gov/what-and-why/user-centered-design.html>). D'autres modèles théoriques permettent de prédire si une technologie sera acceptée ou non par les utilisateurs, parmi lesquels le modèle d'acceptation de la technologie (Lai, 2017). Ils peuvent aussi orienter l'attribution d'une technologie d'assistance, tel que suggéré par le modèle de technologie d'assistance à l'activité humaine (Giesbrecht, 2013).

3.1.1 La conception centrée sur l'utilisateur

La conception centrée sur l'utilisateur, ou *User-Centered Design (UCD)*, voudrait que l'utilisateur soit au centre du développement d'un produit ou d'une nouvelle technologie, cette dernière devant être conçue et développée pour répondre à ses besoins (Usability.gov. *Improving the User Experience*. Consulté le 8 mars 2021; <https://www.usability.gov/what-and-why/user-centered-design.html>). L'objectif visé est donc de développer une technologie qui soit à la fois utile, utilisable et efficace pour les personnes à qui elle est destinée (Sauzin et al., 2017). L'UCD, qui se veut une approche pluridisciplinaire, est

¹ Le terme technologie d'assistance est employé par l'Organisation Mondiale (OMS) de la Santé pour désigner « tout produit, instrument, équipement ou technologie adaptée ou spécialement conçue pour améliorer le fonctionnement d'une personne handicapée » (Cook & Polgar, 2014, p. 2).

généralement itérative. Elle s'articule autour de trois phases principales : **une phase d'analyse** qui consiste à identifier les besoins ainsi que les attentes des utilisateurs finaux du produit; **une phase de conception** qui consiste à concevoir un premier prototype du produit sur la base des informations recueillies à l'étape précédente; et **une phase d'évaluation** qui vise à évaluer la satisfaction des utilisateurs suite à leur exposition à l'emploi du produit ainsi développé ou encore, à évaluer la satisfaction des utilisateurs en fonction des modifications apportées au prototype.

Dans le cadre du développement d'un FRMI, l'application de l'UCD consisterait à impliquer les utilisateurs au cours de trois phases (Usability.gov. *Improving the User Experience*. Consulté le 8 mars 2021; <https://www.usability.gov/what-and-why/user-centered-design.html>). Dans un premier temps, la phase d'analyse consisterait à identifier les potentiels utilisateurs, les différents contextes dans lesquels un FRMI pourrait être utilisé, les besoins et les attentes des utilisateurs, ainsi que les objectifs de participation sociale souhaités. Une fois les besoins des utilisateurs clairement identifiés, la transition vers la prochaine étape pourra alors être amorcée. Il sera donc question, dans un second temps, de la phase de conception. En effet, les informations recueillies à la phase d'analyse pourraient permettre de concevoir un premier prototype de FRMI. Dans le cas où il en existe déjà un, le prototype pourra alors être modifié, en tenant compte des besoins rapportés par les utilisateurs. Ce qui conduira à la troisième phase qui consisterait à faire évaluer le prototype par les utilisateurs. En effet, à cette étape du processus, les utilisateurs sont exposés à l'utilisation du FRMI dans les activités jugées pertinentes, entre autres par l'accomplissement d'activités signifiantes. À la suite de cette première exposition, leurs perceptions pourront être recueillies afin d'apporter de nouvelles modifications, le cas échéant, en fonction des besoins rapportés. Cette troisième phase pourrait également permettre d'évaluer la satisfaction des utilisateurs quant aux modifications apportées au prototype. La conception centrée sur l'utilisateur est en même temps un processus itératif, où l'on peut noter une navigation continue entre les différentes phases du processus jusqu'à ce que le développement soit achevé.

La figure 1 illustre les trois phases du processus d'une conception centrée sur l'utilisateur, adaptée à notre étude. L'objectif visé à chaque phase est en lien avec le développement d'un FRMI.

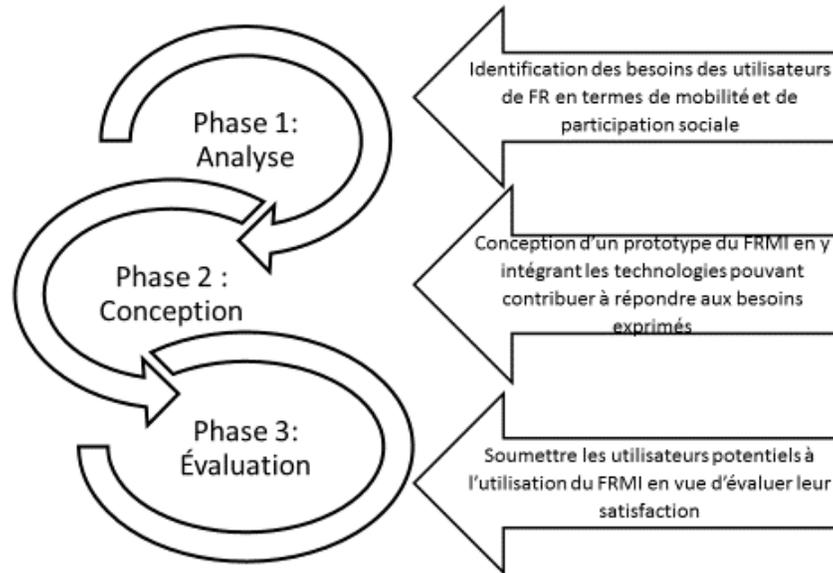


Figure 1. Différentes phases du *User-Centered Design*

(Usability.gov. *Improving the User Experience*. Consulté le 8 mars 2021; <https://www.usability.gov/what-and-why/user-centered-design.html>) appliquées au processus de développement d'un FRMI pour répondre aux besoins d'utilisateurs potentiels.

Dans la discussion de la revue de la portée, ce cadre conceptuel a permis de mettre en évidence l'importance d'impliquer les utilisateurs dans le processus de développement des FRMIs.

3.1.2 Le modèle de technologie d'assistance à l'activité humaine

Le modèle de technologie d'assistance à l'activité humaine (*Human Activity Assistive Technology model –HAAT*), développé par Cook et Polgar (1995), tire son origine de la théorie de la performance et du comportement humain (Arthanat et al., 2007). Le HAAT est un modèle théorique qui permet de comprendre l'importance que pourrait représenter une technologie d'assistance pour des personnes ayant des incapacités (Cook & Polgar,

2014). Les principales composantes de ce modèle théorique sont la personne, l'activité, la technologie d'assistance et le contexte.

Selon ce modèle, une technologie d'assistance a pour rôle de faciliter la réalisation d'une activité spécifique par un individu dans un contexte précis (Cook & Polgar, 2014). De façon plus simplifiée, une technologie d'assistance devrait être conçue, ou attribuée, dans le but de répondre au(x) besoin(s) de son utilisateur en tenant compte de ses capacités physiques, de l'activité qu'il aimerait accomplir ainsi que du contexte dans lequel cette activité sera réalisée.

Tenir compte de la personne implique de considérer : i) les fonctions physiques ainsi que les aptitudes (par exemple, type de déficience physique ou d'incapacité fonctionnelle, ancien ou nouvel utilisateur de la technologie d'assistance proposée), ii) les fonctions cognitives (par exemple, troubles de mémoire, de l'attention, du langage), et iii) les facteurs émotionnels de celle-ci.

Les fonctions physiques renvoient également aux fonctions motrices ou sensorielles de la personne (par exemple, déficience visuelle, trouble de l'audition).

L'activité fait référence aux tâches ou aux actions qu'une personne peut ou souhaite accomplir (Chapireau, 2001). Il est important de prendre en considération non seulement le type, mais aussi la durée ainsi que la fréquence de réalisation de l'activité désirée. Il pourrait s'agir d'activités en lien avec les soins personnels (par exemple, hygiène corporelle, habillement), d'activités de productivité, telles que le travail, les études, ou d'activités de loisirs, telles qu'aller à la pêche, assister à des spectacles (Raymond et al., 2008).

Le contexte, quant à lui, renvoie aux éléments en lien avec le contexte physique (par exemple, des caractéristiques environnementales, telles que l'accessibilité, les barrières environnementales, etc.), social (par exemple, la famille, les amis, etc.), culturel (par exemple, la communauté) ou institutionnel (par exemple, le travail, les études).

En somme, le modèle théorique HAAT présente la technologie d'assistance comme « un facilitateur pour une personne qui exerce une activité dans un contexte donné ». (Cook & Polgar, 2014, p. 10) .

Dans le cadre du présent mémoire portant sur les FRMIs, ce modèle théorique a principalement servi à l'analyse et à l'interprétation des résultats de l'examen de la portée.

Ainsi :

- La composante « personne » renvoie aux potentiels utilisateurs du FRMI qui peuvent présenter des profils cliniques variés avec des déficiences sur le plan physique, cognitif ou sensoriel.
- La composante « technologie » d'assistance renvoie au FRMI, ainsi qu'aux différentes technologies pouvant y être intégrées.
- La composante « activité » renvoie, soit aux tâches réalisées, soit aux actions exécutées, avec le FRMI, soit encore aux activités pouvant être accomplies avec un FRMI, selon les objectifs de participation sociale souhaités par les utilisateurs.

La composante « contexte » renvoie aux différents environnements de tests, dans lesquels les FRMIs proposés ont été utilisés pour les différentes études présentées.

La figure 2 illustre ce qui a été décrit précédemment, montrant les différentes composantes du modèle théorique HAAT, selon la définition opérationnelle du modèle théorique, formulée dans le cadre de ce mémoire.

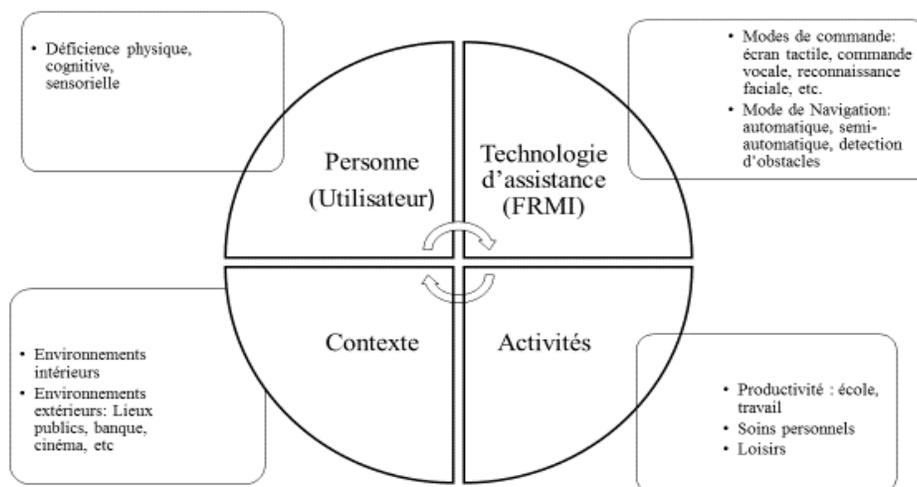


Figure 2. Illustration du modèle théorique Human Activity Assistive Technology

(Cook & Polgar, 2014), appliquée à l'utilisation potentielle d'un FRMI dans divers contextes, pour l'accomplissement d'activités de participation sociale et des rôles sociaux de la personne

3.1.3 Le modèle d'acceptation de la technologie

Le modèle d'acceptation de la technologie (*Technology Acceptance Model -TAM*) est un modèle théorique qui découle de la théorie de l'action raisonnée (*Theory of Reasoned Action –TRA*) de Ajzen et Fishbein (1967).

Le modèle théorique TAM (Figure 3), développé par Davis et collaborateurs (1989), permet de déterminer si une technologie sera acceptée ou non par l'utilisateur à qui elle est destinée (Lai, 2017). D'après ce modèle, une personne acceptera d'utiliser une nouvelle technologie si elle la perçoit comme étant à la fois utile (utilité perçue) et facile à utiliser (facilité d'utilisation perçue). Ces deux facteurs influenceront l'intention d'utiliser ladite technologie ainsi que la façon dont elle sera utilisée. L'utilité perçue renvoie au fait que la technologie pourrait permettre à son utilisateur d'améliorer ses performances. Par exemple, un utilisateur de FR pourrait percevoir le FRMI comme un outil pouvant lui permettre d'accomplir une gamme variée d'activités qu'il n'aurait pas été facile de mener avec un FRM traditionnel. La facilité d'utilisation perçue d'une technologie fait allusion à l'effort minimal requis pour son utilisation. Par exemple, certaines fonctionnalités du FRMI pourraient préserver l'utilisateur de fournir un effort musculaire important pendant la conduite.

Grâce à ce modèle, il est également possible d'identifier d'éventuelles modifications à apporter à la technologie afin qu'elle soit acceptée par l'utilisateur.

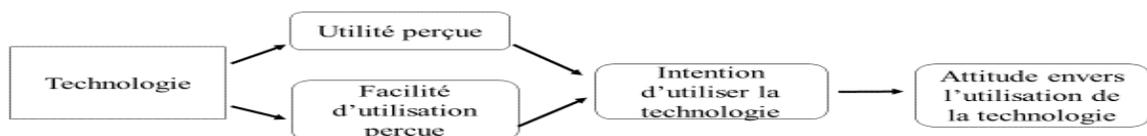


Figure 3. Modèle d'acceptation de la technologie (Lai, 2017) .

Dans la section résultats de l'examen de la portée, ce modèle théorique a permis de mettre en évidence des facteurs susceptibles d'influencer l'acceptation du FRMI.

Le chapitre suivant présente un survol des technologies intégrées au FRMI.

Chapitre 4 : **RECENSION SOMMAIRE DES TECHNOLOGIES INTÉGRÉES AUX FRMIs**

Ce chapitre présente un survol de la littérature, plus particulièrement des études portant sur l'état d'avancement technologique des FRMIs, afin de bien cerner ce qu'est le FRMI. Le chapitre 6 quant à lui examinera plus en profondeur la littérature sur les FRMIs afin de répondre à la question de recherche énoncée précédemment, soit dans quelle mesure est-ce que les prototypes de FRMI existants pourraient répondre aux besoins réels des utilisateurs.

Le concept technologie d'assistance (FRMI) du modèle théorique HAAT a servi à organiser la littérature examinée. Ainsi, les différentes technologies pouvant être intégrées au FRMI, soit les différentes modalités de contrôle, ainsi que les modes de navigation proposés, sont présentés dans ce chapitre.

Les FRMIs en cours de développement sont, pour la plupart, équipés de modalités de contrôle et de modes de navigation différents. Les modalités de contrôle font référence aux différentes possibilités de contrôler le FRMI. Les modes de navigation, quant à eux, renvoient aux différentes options de déplacement du FRMI. Par exemple, le déplacement en mode automatique, sans intervention humaine, ou semi-automatique, où le contrôle peut être partagé entre l'utilisateur et le FRMI (Guedira et al., 2016; Leaman & La, 2017).

4.1 Les modalités de contrôle du FRMI

Les FRMIs identifiés dans la littérature peuvent être contrôlés de plusieurs façons. Ils sont équipés, entre autres, de la manette de commande (*joystick*), qui peut être manuelle ou intelligente via un écran tactile (*touchscreen* ou *tactile display*), d'un système de commande vocale, ou de tout autre système utilisant des informations non-verbales (Kairy et al., 2014; Leaman et al., 2016).

L'écran tactile pourrait faciliter l'accès aux différentes fonctionnalités du FRMI, telles que la mise en marche ou l'arrêt du FR, le choix du mode de navigation, le réglage des paramètres de conduite et l'orientation du FR (Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018). L'écran tactile pourrait être approprié aux utilisateurs qui éprouvent des difficultés à

manipuler un *joystick* classique, à l'instar des personnes atteintes d'affections neuromusculaires (Guedira et al., 2019b; Kairy et al., 2014). Selon certains utilisateurs l'ayant testé, il serait plus avantageux qu'un *joystick* classique en ce qu'il contribuerait grandement à réduire l'effort musculaire requis pour manipuler un joystick manuel (Guedira et al., 2019; Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018).

Toutefois, même si l'écran tactile semble présenter un atout pour une certaine catégorie d'utilisateurs, il pourrait être inapproprié pour ceux qui présentent d'autres formes de déficits sévères les empêchant de se servir des membres supérieurs. À l'instar des personnes tétraplégiques, des personnes présentant une grande faiblesse musculaire (par exemple, des suites de myopathie) ou de celles présentant une spasticité au niveau des membres supérieurs. D'autres modalités de contrôle peuvent alors être indiquées, parmi lesquelles la commande par reconnaissance vocale (Malik et al., 2017; Masato et al., 2007; Simpson & Levine, 2002).

La commande par reconnaissance vocale repose sur un principe de reconnaissance vocale où l'utilisateur peut passer, verbalement, une commande au FRMI, sur la direction à prendre et celui-ci se déplace automatiquement dans la direction souhaitée. Le contrôle du FRMI par commande vocale pourrait procurer plus d'autonomie aux personnes âgées ou celles présentant une incapacité physique limitant l'utilisation d'une interface qui nécessite un certain niveau de contrôle moteur au niveau des membres supérieurs (Malik et al., 2017). Les uFR atteints de paralysie cérébrale ainsi que ceux qui présentent d'autres formes de handicap très sévères, pourraient également être comptés parmi les bénéficiaires (Faria et al., 2015; Masato et al., 2007).

Tout comme l'écran tactile, la commande par reconnaissance vocale pourrait présenter des limites. Il serait donc judicieux de penser à d'autres modalités de contrôle ne sollicitant ni l'usage des membres, ni la voix de l'utilisateur. Avec le développement des technologies, la commande par reconnaissance des expressions non verbales, telles que la reconnaissance faciale ou bien la reconnaissance des gestes de la main, serait une option envisageable.

Le contrôle du FRMI par **reconnaissance faciale** est un aspect qui suscite l'intérêt de la recherche axée sur le développement des FRMIs. Le développement de ce type de modalité de contrôle pour FR est un processus continu qui a évolué au fil des années, et a fait l'objet

de plusieurs études depuis environ deux décennies (Adachi et al., 1998; Ju et al., 2009; Luo & Xie, 2012; Pingali et al., 2014; Rabhi, Mrabet, & Fnaiech, 2018; Razali et al., 2010). Au fil des années, les recherches menées dans ce sens ont visé à améliorer continuellement cette modalité de contrôle.

L'étude d'Adachi et al. (1998) s'est intéressée à la possibilité de développer un système de reconnaissance faciale basé sur l'analyse et l'interprétation des expressions non-verbales, telles que la direction du regard de l'utilisateur pour faire avancer le FRMI. Selon le système proposé dans cette étude, le FRMI pourrait précisément se déplacer suivant l'orientation du regard de l'utilisateur. Par exemple, si ce dernier a le regard tourné à droite, le FRMI se déplacerait vers la droite. Cependant, afin d'assurer la sécurité de l'utilisateur, le système tient compte de certaines caractéristiques environnementales. En effet, équipé de capteurs, le FR est en mesure de détecter les obstacles, permettant ainsi d'éviter une collision si la direction souhaitée présente un risque d'accident (Adachi et al., 1998).

Dans le même ordre d'idée, Razali et al. (2010) ont également proposé un FRMI pouvant se déplacer en direction du regard de l'utilisateur. D'une part, équipé de caméras pour déterminer la direction fixée par l'utilisateur et, d'autre part, de capteurs laser pour détecter d'éventuels obstacles dans la zone ciblée par le regard, le FRMI est capable d'auto-générer une trajectoire afin d'atteindre la destination souhaitée tout en évitant les obstacles. En phase d'expérimentation, des tests effectués dans des environnements intérieurs contrôlés (en laboratoire) ont permis de démontrer la faisabilité d'un tel système de contrôle du FRMI basé sur le regard de l'utilisateur (Razali et al., 2010).

Dans leur étude, Ju et al. (2009) ont proposé un autre système de reconnaissance faciale basé sur l'inclinaison de la tête et la forme de la bouche pour déterminer la direction et faire avancer/arrêter le FRMI respectivement. Testé auprès de 34 participants, dont 17 sujets sains et 17 présentant des incapacités des suites de tétraplégie et d'ataxie, le système de reconnaissance faciale proposé dans cette étude s'est avéré efficace lorsqu'utilisé dans différents environnements contrôlés internes et externes. De plus, il présente l'avantage d'offrir à l'utilisateur la possibilité d'exécuter un minimum de mouvement pour faire fonctionner le FRMI. Les résultats obtenus ont montré qu'un tel système pourrait être adapté aux uFR présentant des incapacités très sévères (Ju et al., 2009b).

L'étude de Pingali et al. (2014) décrit un système de contrôle du FRMI basé sur les mouvements oculaires. Développé à l'intention des personnes présentant des formes de paralysie sévère (par exemple, tétraplégie), ou des personnes amputées, le système proposé utiliserait la technique de l'électro-oculographie, technique qui traite les signaux bioélectriques générés par les mouvements des yeux pour faire fonctionner le FRMI. Testé par un robot dans le cadre d'une étude ciblant la preuve de concept, le système proposé aurait fonctionné avec succès (Pingali et al., 2014). Un autre exemple d'information visuelle pouvant servir à contrôler le FRMI est **la reconnaissance des gestes de la main**. Dans leur étude, Rabhi et al. (2018) ont proposé une interface de commande de FR basée sur la reconnaissance des gestes de la main de l'utilisateur. Ici, il est prévu que le *joystick* visuel utilise un algorithme de reconnaissance visuelle couplé à de l'intelligence artificielle pour reconnaître, analyser et interpréter les mouvements de la main de l'utilisateur afin de contrôler le FRM.

Enfin, certains prototypes de FRMI proposent à la fois plusieurs modalités de contrôle différentes regroupées au sein d'une même interface, où le FRMI peut être contrôlé par le *joystick*, la commande vocale, les mouvements de la tête ou les expressions faciales. Il s'agit donc **d'une interface de commande multimodale** (Reis et al., 2010, 2009). Une telle interface serait adaptable au profil de chaque utilisateur et pourrait constituer un bon moyen de conduire le FRMI. Faria et al. (2012), dans une étude expérimentale, ont proposé une méthodologie pouvant aider à déterminer le profil d'un utilisateur qui utiliserait une interface de commande multimodale. Selon la méthodologie proposée, un assistant interactif pourrait permettre d'extraire des informations à partir d'un ensemble de tâches exécutées par un utilisateur de FR, de les analyser, afin de générer le profil de ce dernier. Ce qui pourrait ensuite permettre d'adapter l'interface de commande du FRMI en fonction du profil de chaque utilisateur (Faria et al., 2012).

En définitive, les différentes modalités de contrôle présentées ci-dessus constituent la catégorie d'interfaces de communication **Homme-machine (IHM)** (Leaman et La, 2017), qui sont des interfaces pouvant permettre à l'utilisateur de communiquer avec le FRMI par l'intermédiaire de différents dispositifs externes, en sollicitant l'action de différents muscles et nerfs périphériques (Faria et al., 2015). Bien qu'elles puissent contribuer à

faciliter le contrôle des FRMIs au sein d'une population variée, elles ne sont pas toujours appropriées à tous les profils d'utilisateurs (Brígida et al., 2012). Pour des personnes présentant des incapacités plus sévères pouvant affecter leur capacité à utiliser une IHM, l'interface de commande cerveau-machine pourrait être une solution.

L'interface cerveau-machine (ICM) permet d'établir une communication directe entre le cerveau et un dispositif externe (Guedira et al., 2016). Dans ce contexte, le FRMI étant le dispositif externe, une ICM pourrait permettre de le contrôler sans avoir besoin de le manipuler physiquement, c'est-à-dire sans solliciter l'action des membres supérieurs ou inférieurs, ou de toute autre partie du corps. Le mode de fonctionnement de ce type d'interface repose sur l'exploitation des signaux électriques émis par le cerveau de l'utilisateur, qui seront ensuite transformés en signaux de commande, pouvant être utilisés pour contrôler le FRMI (Abiyev et al., 2016). En effet, une connexion peut être établie entre l'utilisateur et le FR, par le biais d'un casque ou d'électrodes placées sur son cuir chevelu, afin de capter l'activité électrique émise par le cerveau (électroencéphalographie-EEG). Cependant, une contrainte associée à l'utilisation des ICMs est le niveau de concentration élevé requis de la part de l'utilisateur pour diriger le FR, ce qui pourrait l'empêcher d'interagir avec son entourage pendant son déplacement (Fan et al., 2008). Une proposition de solution a été faite dans l'étude de Fan et al. (2008). L'idée proposée consiste à utiliser l'ICM comme un « interrupteur cérébral » qui servirait à sélectionner une destination à atteindre, et ensuite, l'intelligence artificielle intégrée au FRMI prendrait le relais pour guider le FR vers une destination préalablement sélectionnée. Cette approche pourrait contribuer à libérer le cerveau pour d'autres tâches, accordant plus de flexibilité à l'utilisateur (Fan et al., 2008).

Une nouvelle tendance de l'ICM consiste en un contrôle cérébral à distance, où une connexion sans fil peut être établie entre le FRMI et l'utilisateur, contrairement aux ICMs conventionnels qui utilisent des connexions filaires (Rebsamen et al., 2010).

Somme toute, différentes options ont été proposées pour contrôler les FRMIs. Pour un fonctionnement optimal des FRMIs, des modes de navigation intelligents y sont également intégrés.

4.2 Les modes de navigation

Les modes de navigation font référence aux différentes manières proposées pour conduire le FRMI (Leaman & La, 2017). Les modes de navigation les plus répandus, qui peuvent parfois présenter des variantes, sont les modes semi-automatique et automatique.

Selon Pineau et al. (2010), les éléments essentiels qui constituent le mode de navigation automatique sont « la construction automatique des cartes, la localisation dans l'environnement, l'évitement d'obstacles et la planification automatique du trajet » (Pineau et al., 2010, p. 261). En mode automatique, le FRMI est en mesure d'auto-générer des commandes afin d'effectuer une tâche sans l'intervention de l'utilisateur. Les personnes ayant de la difficulté à user de leurs membres supérieurs pourraient trouver, en ce mode de navigation automatique, un meilleur moyen de conduire leur FRMI (Gionata et al., 2014). En plus, selon certains utilisateurs, le mode automatique pourrait faciliter l'exécution de certaines tâches complexes requises pour les manœuvres de stationnement (par exemple, conduite en marche arrière, accès à un ascenseur), ou pour se garer sous une table (Viswanathan et al., 2017), des activités nécessitant plusieurs manœuvres.

Le mode de navigation semi-automatique peut offrir un contrôle partagé entre l'utilisateur et le FRMI (Kairy et al., 2013, 2014; Poon et al., 2019). Ce dernier peut passer des commandes au FRMI, par le biais d'une interface de communication, d'un *joystick* physique, ou tactile.

Une particularité commune à ces deux modes de navigation est la capacité du FRMI à détecter et à éviter les obstacles, conférée par l'installation de capteurs (Boucher et al., 2013 ; Gao et al., 2008; Hua et al., 2017; Kairy et al., 2013; Rushton et al., 2015; H. Wang et al., 2013) et caméras (Kim, 2016; Ono et al., 2004a), qui peuvent être installés sur le FRMI. De plus, cette capacité pourrait contribuer à réduire les risques de chute ou d'accidents. En effet, certains accidents pouvant survenir lors des déplacements en FR seraient dus à de nombreuses manœuvres de compensation mis en place par les utilisateurs pour faire face à certains défis logistiques auxquels ils sont parfois confrontés (Rushton, Viswanathan, et al., 2017). D'autres capacités, parfois associées à ces deux modes de navigation, pourraient aussi contribuer à faciliter le déplacement des personnes en FR.

La capacité à suivre un trajet ou une cible pourrait permettre au FRMI de suivre une personne, une cible ou un trajet prédéterminé (Boucher et al., 2013; Hua et al., 2017b; Kairy et al., 2013, 2014). Une fois les paramètres préalablement définis, l'utilisateur n'aurait plus, ni à manipuler le FRMI, ni à se préoccuper d'une quelconque tâche de conduite. Un autre avantage que pourrait offrir cette capacité est de pouvoir ajuster sa vitesse à la vitesse de marche de son/ses accompagnateur(s), favorisant ainsi la socialisation (Kairy et al., 2013). De même, la capacité du FRMI à pouvoir planifier un trajet pourrait permettre de calculer une nouvelle trajectoire à emprunter, par exemple, pour contourner un obstacle (Zeng et al., 2008).

Ainsi, les modalités de contrôle et les modes de navigation du FRMI proposés sont destinés à améliorer la capacité et la sécurité, en termes de mobilité des personnes qui présentent des déficiences physiques, cognitives ou sensorielles.

En somme, les modalités du FRMI, les modes de navigation, ainsi que les fonctionnalités intelligentes qui y sont intégrés, pourraient contribuer à améliorer la mobilité des uFR et favoriser leur implication dans diverses activités de participation sociale.

La revue sommaire de la littérature présentée dans ce chapitre témoigne de la variété des études portant sur le développement des FRMIs. Elle permet également de souligner la variabilité des technologies utilisées pour le développement des FRMIs, ainsi que la rapidité avec laquelle celles-ci évoluent. Cependant, cette revue sommaire ne nous renseigne pas suffisamment sur la nature, ou sur les limites éventuelles de ces études, et encore moins, elle ne nous permet pas de savoir si les FRMIs proposés peuvent contribuer à combler les attentes des utilisateurs potentiels. Il s'avère donc important de faire un état des connaissances afin d'examiner dans quelle mesure les prototypes de FRMIs existants répondent aux besoins réels des utilisateurs afin de faire des recommandations pour orienter les futures études portant sur le développement d'une telle technologie.

Le chapitre qui suit présente l'examen de la portée mené à cet effet.

Chapitre 5 : MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre présente la méthodologie qui a été utilisée pour réaliser l'examen de la portée.

5.1 Type d'étude

L'étude présentée dans ce mémoire est un examen de la portée, encore appelé revue de la portée, généralement connu sous l'appellation de *scoping review*. C'est un exercice qui consiste à examiner la littérature scientifique portant sur un sujet spécifique afin d'en avoir une meilleure compréhension et, ainsi, mieux répondre à une question de recherche précise. Elle peut également permettre de mettre en évidence d'éventuelles lacunes d'études antérieures menées sur le sujet spécifique (Arksey & O'Malley, 2005).

En conformité avec les six étapes du cadre de réalisation des revues de la portée, proposées par (Arksey & O'Malley, 2005), et bonifiées par (Levac et al., 2010), cette revue a été réalisée suivant le cadre méthodologique proposé par le Joanna Briggs Institute (Peters et al., 2017) et rapportée suivant les éléments constitutifs du document « *Preferred Reported Items for Systematic Review and Meta-Analysis – Extension for scoping reviews* » (Tricco et al., 2018). L'état des connaissances des études portant sur les FRMIs, tel que présenté dans ce mémoire, met l'accent sur les aspects cliniques des utilisateurs en lien avec l'utilisation des FRMIs. Il s'intéresse particulièrement à établir un lien entre le profil clinique des utilisateurs et les différentes fonctionnalités proposées des FRMIs. Cette approche s'oppose ainsi à un point de vue technologique, qui décrirait les caractéristiques techniques et technologiques, y compris les algorithmes intégrés aux FRMIs.

Cette étude a été réalisée sur une période de 4 mois, soit de juin à septembre 2020.

5.2 Méthodologie de l'examen de la portée

Cette section décrit quatre des six étapes de réalisation d'un examen de la portée, telles que proposées par (Arksey & O'Malley, 2005). La cinquième étape, soit celle de la

présentation des résultats, est décrite en profondeur au chapitre 6. La 6^e étape, la consultation des experts, est également abordée au chapitre 6.

Étape 1 : Identification de la question de recherche

Un survol de la littérature et des échanges avec une équipe de recherche développant un FRMI ont permis de préciser la question de recherche. En effet, la diversité des études retrouvées dans la littérature offrait la possibilité d'aborder le sujet, soit d'un point de vue technologique, soit d'un point de vue clinique. La question de recherche principale était d'examiner dans quelle mesure les FRMIs existants correspondent aux besoins réels des utilisateurs. La réponse à cette question pourrait servir à orienter la poursuite du développement des FRMIs afin de développer une technologie qui réponde le mieux possible aux besoins des utilisateurs.

Étape 2 : Identification des études pertinentes

En collaboration avec une bibliothécaire universitaire spécialisée dans le domaine des sciences de la santé, la littérature scientifique ainsi que la littérature grise ont été explorées pour identifier les études pertinentes à inclure dans l'étude. Les bases de données suivantes ont été consultées : MEDLINE, EMBASE, CINAHL, *Web Of Science*, *Google Scholar*, *Journal of Social Robotics*, *IEEE.org*, *HRI Conference*. Afin d'inclure un échantillon assez représentatif de ressources portant sur le sujet, une recherche manuelle des références provenant d'autres articles a également été effectuée. Des ressources supplémentaires ont été recommandées par les autres co-auteurs, experts dans le domaine de la robotique et du développement des technologies appliquées en réadaptation, notamment les FR. Les sources retenues pouvaient être rédigées en français ou en anglais. Puisque le domaine de la recherche sur le FRMI est en constante évolution, aucune limite n'a été appliquée sur l'année de publication des études, et aucune restriction sur le devis de recherche ni sur le profil des participants ayant pris part aux études retrouvées dans la littérature n'a été imposée. Les tableaux 1 et 2 ci-dessous présentent, respectivement, la stratégie de recherche employée ainsi que les critères d'inclusion et d'exclusion des articles.

Les mots clés employés pour la recherche d'articles étaient : *wheelchair*, *intelligent*, *smart*, *navigation*, *planification*, *awareness*, *human awareness*.

Les opérateurs booléens « OR » et « AND » ont été utilisés pour combiner les mots clés. L'opérateur booléen « OR » a été utilisé pour les termes synonymes, et « AND » a été utilisé entre les concepts qui nous intéressaient, afin d'obtenir les résultats qui traitent de tous les concepts représentés par les mots clés.

Les troncatures *intelligen**, *wheel chair** et *aware** ont été utilisées pour raffiner la recherche afin d'augmenter les possibilités d'obtenir des résultats pertinents. Cette étape a conduit à l'identification de 938 articles.

Tableau 1. *Résumé de la stratégie de recherche*

| | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-----|-------------|-----|---------------|-----|-----------------|
| Mot clé | Wheelchair | AND | Intelligent | AND | Navigation | AND | Awareness |
| et opérateur booléen | | | | | | | |
| | OR | | OR | | OR | | OR |
| Synonyme | Wheel chair | AND | Smart | AND | Planification | AND | Human awareness |
| Troncature | Wheel chair* | | Intelligen* | | | | human aware* |

Tableau 2. Critères d'éligibilité des articles

| | |
|---------------------------------|---|
| | Contenir « Fauteuil roulant » ou « Wheelchair » dans le titre, le résumé et le texte intégral |
| | Traiter des technologies intelligentes intégrées aux fauteuils roulants |
| | Traiter des accessoires intelligents pour fauteuils roulants |
| Critères d'inclusion | Traiter des systèmes de navigation ou des modes de commande pour FRMIs |
| | Traiter des systèmes robotisés pouvant être adaptés au fauteuil roulant |
| | Langue de publication : Français ou anglais |
| | « Wheelchair » ou « fauteuil roulant » employé uniquement comme un exemple |
| Critères d'exclusion | « Wheelchair » ou « fauteuil roulant » apparaissant uniquement dans le résumé et pas dans le texte intégral |
| | Articles incomplets : par exemple, articles de conférences non détaillés, abrégés pour congrès. |

Une fois les études pertinentes identifiées, l'étape suivante a consisté à sélectionner celles qui répondaient aux critères d'inclusion et d'exclusion définis.

Étape 3 : Sélection des études

Les études ont été sélectionnées conformément aux critères d'inclusion et d'exclusion, et ce, afin de répondre aux objectifs spécifiques qui découlent de la question de recherche et du but de cet examen de la portée. L'étape de « filtrage » des articles a été effectuée sur *Covidence*². Cette étape a permis de supprimer 195 doublons. Les titres ainsi que les résumés des sources retenues ont été scrutés par les deux premières auteures (NT et AP),

² Covidence est un logiciel en ligne utilisé pour compiler, filtrer et synthétiser des sources extraites de diverses bases de données afin de réaliser une revue systématique ou un examen de la portée (Bhatnagar, s. d.)

conformément aux critères d'inclusion préalablement définis. 720 articles ont rempli les critères d'inclusions et étaient admissibles pour analyse. L'analyse des textes intégraux a été effectuée de façon indépendante par les deux premières auteures (NT et AP). Les conflits étaient résolus par consensus après discussion entre ces dernières sur les raisons ayant motivé les exclusions d'un côté comme de l'autre. Ce processus a conduit à la rétention de 41 articles éligibles pour la sélection des études et l'extraction des données. Le diagramme de flux présentant le processus d'identification, de sélection et d'inclusion des études sera présenté au chapitre 6.

Étape 4 : Extraction des données

Le modèle théorique *HAAT* a servi de base pour l'extraction des données. En effet, les éléments qui constituent ce modèle ont été exploités pour concevoir le tableau d'extraction des données (Annexe 1). Ce tableau a été conçu par NT et validé par AP, PA et DK. Le tableau d'extraction des données permettait de faire ressortir des informations sur les technologies intégrées aux FR, tels que les modes de navigation offerts, le profil des participants impliqués dans les études, les interventions menées ainsi que les environnements dans lesquels les tests ont été effectués, et, le cas échéant, les conclusions des études. L'extraction des données a été effectuée de façon indépendante par NT et AP. Le chapitre qui suit permet d'avoir un aperçu sur les études recensées dans la littérature en lien avec les objectifs de cet examen de la portée.

Chapitre 6 : **EXAMEN DE LA PORTÉE**

Ce chapitre présente dans un manuscrit la 5^e étape de réalisation d'un examen de la portée, soient les résultats.

6.1 Fauteuil roulant motorisé intelligent pour les utilisateurs et leurs aidants : Un examen de la portée

Par : Nathalie Todam Nguenpang, Adina M. Panchea, François Ferland, Philippe Archambault, Dahlia Kairy (Journal ciblé pour la soumission du manuscrit : *Disability and Rehabilitation- Assistive Technology*).

Nathalie Todam Nguenpang a été la principale responsable de chaque étape ayant conduit à la réalisation et à la rédaction de cet examen de la portée, de l'identification de la question de recherche à l'analyse, l'interprétation et la présentation des résultats.

Adina Panchea a participé à la sélection des études incluses dans cette étude (étape 3), ainsi qu'à l'extraction des données (étape 4). Elle a également agi à titre de consultante dans le domaine des études relevant du domaine de la robotique.

François Ferland a agi à titre de consultant en robotique et a participé à l'identification de la question de recherche. Il a également recommandé des ressources supplémentaires qui ont été incluses dans cette étude.

Philippe Archambault a supervisé et soutenu Nathalie Todam Nguenpang (première auteure) dans toutes les étapes qui ont conduit à la réalisation de cet examen de la portée. Il a agi à titre de consultant et d'expert en matière de fauteuils roulants appliqués en réadaptation. Il a également agi à titre de réviseur de ce manuscrit. Ses critiques et commentaires bien avisés ont permis d'approfondir les réflexions ainsi que l'interprétation des résultats présentés dans ce manuscrit.

Dahlia Kairy a supervisé et soutenu Nathalie Todam Nguenpang (première auteure) dans chacune des étapes qui ont conduit à la réalisation de cet examen de la portée. Elle a agi à titre d'experte en réadaptation. Son point de vue et ses commentaires bien avisés ont permis

de mieux structurer le manuscrit et d'approfondir les éléments de discussion en lien avec l'interprétation des résultats. Enfin, elle a été la principale réviseuse de ce manuscrit.

Fauteuil roulant motorisé intelligent pour les utilisateurs et leurs aidants : Un examen de la portée

Nathalie Todam Nguepnang^{1,2}, Adina M. Panchea³, François Ferland³, Philippe Archambault^{2,4}, Dahlia Kairy^{1,2}

Affiliations des auteurs :

1 : École de réadaptation, Faculté de Médecine, Université de Montréal, Québec, Canada

2 : Centre de Recherche Interdisciplinaire en Réadaptation du Montréal Métropolitain, Québec, Canada

3 : Laboratoire de robotique intelligente /interactive /intégrée / Interdisciplinaire, Institut interdisciplinaire d'innovation technologique, Département de génie électrique et génie informatique, Université de Sherbrooke, Québec, Canada

4: *School of Physical and Occupation Therapy, McGill University, Québec, Canada*

Adresse de correspondance de l'auteure : Nathalie Todam Nguepnang, Pt, candidate à la maîtrise en sciences de la réadaptation, Université de Montréal. Centre de Recherche Interdisciplinaire en Réadaptation du Montréal Métropolitain. Institut universitaire sur la réadaptation en déficience physique de Montréal (IURDPM). Pavillon Lindsay. 6363, Chemin Hudson, Montréal (Québec), Canada, H3S 1M9.

E-mail : nathalie.todam.nguepnang@umontreal.ca

6.2 Résumé

Objectif : Explorer la littérature pour examiner la nature des études portant sur le développement de fauteuils roulants motorisés intelligents (FRMIs) pour mieux comprendre dans quelle mesure les prototypes existants pourraient répondre aux besoins des utilisateurs, d'identifier les limites des études et de faire des recommandations pour mieux orienter le développement continu des FRMIs.

Méthode : Examen de la portée réalisé en conformité avec les six étapes du cadre de réalisation des revues de la portée, proposées par Arksey et O'Malley, (2005) et bonifiées par Levac et al., (2010), suivant le cadre méthodologique proposé par le *Joanna Briggs Institute* (Peters et al., 2017). Le rapport est basé sur les recommandations contenues dans la grille « *Preferred reported Items for Systematic Review and Meta-Analysis – Extension for Scoping Reviews* ». **Résultats** : 938 études ont été recensées et 41 retenues pour analyse. Les prototypes de FRMI proposés sont constitués de technologies susceptibles de faciliter le déplacement des utilisateurs présentant différents types d'incapacités sur les plans physique, cognitif ou sensoriel. Le FRMI pourrait améliorer la mobilité des utilisateurs, leur procurer de l'autonomie et favoriser leur participation sociale. Certains facteurs pouvant exercer une influence sur l'acceptation d'une telle technologie sont rapportés, tels que l'inhibition des capacités d'apprentissage des utilisateurs à la conduite du FRMI et la fiabilité du volet sécuritaire. Le point de vue de certains utilisateurs a permis de mettre en lumière l'importance de les impliquer dans le processus du développement des FRMIs. **Conclusion** : De futures études en vue d'améliorer les prototypes de FRMIs existants suivant les limites identifiées et selon les besoins réels des utilisateurs sont à envisager.

Mots clés : “Fauteuil roulant motorisé intelligent”- “utilisateurs de fauteuil roulant motorisé”- “proches-aidants.”- “Participation sociale” – Mode de navigation- Modalité de contrôle - Technologies.

6.3 Introduction

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), environ 1% de la population mondiale pourrait recourir à un FR comme moyen de déplacement (Bickenbach, 2011; Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018). En effet, le FR pourrait améliorer la mobilité de certaines personnes présentant une déficience physique, cognitive ou sensorielle (Smith et al., 2016). Il existe différents types de FR, tels que le fauteuil roulant manuel (FRman), le fauteuil roulant motorisé (FRM) ou électrique, et le fauteuil roulant motorisé intelligent (FRMI). Le choix d'un type de FR, par rapport à un autre, peut être guidé, non seulement par les caractéristiques spécifiques de chaque utilisateur, mais aussi par les besoins spécifiques en termes de mobilité et de participation sociale, c'est-à-dire l'accomplissement, au quotidien, d'activités significatives dans divers contextes. Par exemple, contrairement à un FRman, un FRM pourrait procurer, à certains utilisateurs, une certaine autonomie dans les déplacements et, par la même occasion, favoriser leur implication dans des activités sociales ou de loisirs, telles que rendre visite à des amis, aller à la pêche, se rendre à la bibliothèque, etc. (Labbé et al., 2020). Selon le profil clinique et le type de FR, un utilisateur peut posséder plus ou moins d'autonomie, et de fait, peut nécessiter ou non de l'assistance dans l'accomplissement des activités quotidiennes (Rushton, Labbé, et al., 2017b). Les FRMs ont été développés pour aider les personnes qui, en raison de leurs conditions physiques ou cliniques, éprouvent des difficultés de conduite avec leurs FRman (Simpson, 2008). Les uFRM peuvent présenter des profils variés, y compris des déficiences physiques congénitales ou traumatiques, secondaires à une pathologie ou au vieillissement, tels que des troubles cognitifs, des déficiences ou troubles sensoriels (par exemple, des troubles visuels). Ainsi, les FRMs existants offrent diverses possibilités de contrôle, pouvant être adaptées au profil de chaque utilisateur. On distingue, entre autres, le contrôle par une manette de commande (*joystick*), par souffle et aspiration pour les personnes ne pouvant manipuler un *joystick* classique, par commande vocale, par commande occipitale (Guedira et al., 2016). Toutefois, malgré la variété des modes de contrôle proposés, certains uFRM éprouvent tout de même des difficultés de conduite au quotidien, et ce, à cause de plusieurs facteurs (Simpson, 2008). Parmi ceux-ci, des facteurs liés à l'environnement, tels que l'accessibilité, sont parfois rapportés comme pouvant rendre difficile la mobilité. En l'occurrence, circuler à travers la foule, naviguer dans des espaces restreints (par exemple,

les couloirs, les allées dans les magasins, les ascenseurs, les toilettes publiques/salles de bain trop étroites), franchir des portes étroites, la présence de certains obstacles statiques, tels que les escaliers, les crevasses sur le trottoir (Kairy et al., 2014; Torkia et al., 2015). D'autres facteurs peuvent être propres à l'utilisateur du FRM, tels que la douleur et les aptitudes en FR (Smith et al., 2016). Par ailleurs, le profil clinique de l'utilisateur peut également rendre difficile la conduite du FRM. En effet, certains uFRM présentant un déficit cognitif pourraient éprouver de la difficulté à utiliser un *joystick*, ou avoir du mal à s'orienter (Rushton, Labbé, et al., 2017b). Les difficultés de conduite présentées peuvent constituer un facteur de risque d'accident, de chute ou de blessure pour les utilisateurs. Par conséquent, les utilisateurs font parfois appel à une tierce personne pour les assister dans la réalisation de certaines activités. Cependant, l'omniprésence d'une personne d'assistance peut parfois constituer un fardeau pour les proches-aidants qui se voient sollicités en permanence (Rushton, Labbé, et al., 2017b). Avec l'avancement des technologies, des systèmes robotisés et intelligents sont de plus en plus intégrés aux FRMs habituels pour en améliorer le fonctionnement et renforcer davantage la sécurité des utilisateurs. Le FRMI, qui intègre certaines de ces nouvelles technologies, a donc été proposé depuis plusieurs années, (Leaman et al., 2016; Leaman & La, 2017; Schwesinger et al., 2017).

Le FRMI est un FRM, auquel sont rattachés des systèmes robotisés, tels qu'un ordinateur, des capteurs, couplé à de l'intelligence artificielle, visant ainsi une amélioration de la qualité de vie des uFRM (Boucher et al., 2013; Leaman et al., 2016). Un survol de la littérature permet d'identifier l'existence d'une variété d'études portant sur le développement des FRMIs. Ainsi, les prototypes de FRMI proposés offrent différentes fonctionnalités. On peut noter des FRMIs pouvant être contrôlés physiquement par l'utilisateur, par l'intermédiaire d'une manette de commande (*joystick*) ou d'une interface à écran tactile (Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018). D'autres peuvent être contrôlés par la voix de l'utilisateur, destinés aux personnes qui sont dans l'incapacité d'utiliser un *joystick* (Malik et al., 2017). D'autres, encore, peuvent être contrôlés soit par le regard, soit par les expressions faciales de l'utilisateur (Pingali et al., 2014; Rabhi, Mrabet, & Fnaiech, 2018). Une caractéristique commune aux FRMIs proposés est la capacité à pouvoir détecter et éviter les obstacles. Certains FRMIs pourraient même fonctionner de manière

automatique, sans intervention de l'utilisateur (Schwesinger et al., 2017), ou de manière semi-automatique, visant un contrôle partagé avec l'utilisateur (Viswanathan et al., 2017a). Certaines études sont allées plus loin en proposant des FRMIs pouvant être contrôlés par le cerveau, dont le fonctionnement repose sur l'analyse et l'interprétation des signaux électriques émis par l'activité cérébrale de l'utilisateur (Abiyev et al., 2016). Des études visant à évaluer l'efficacité des différentes fonctionnalités proposées ont été menées auprès de participants, présentant des profils cliniques variés (Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018, Guedira et al., 2016, Montesano et al., 2010).

Face à la diversité des études identifiées, ainsi qu'à celle des populations étudiées, il s'avère important d'examiner la nature des études portant sur le développement des FRMIs, afin de mieux comprendre dans quelle mesure, les FRMIs existants pourraient correspondre aux besoins réels des utilisateurs. La finalité étant de s'assurer de poursuivre le développement des FRMIs, en répondant le mieux possible aux attentes des utilisateurs. Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, un examen de la portée a été réalisé.

6.4 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de cet examen de la portée étaient :

- i) De documenter les différentes technologies intégrées sur les FRMIs existants
- ii) D'identifier les environnements dans lesquels les FRMIs ont été testés/utilisés (laboratoire, virtuel, réel, etc.)
- iii) D'examiner le profil des participants impliqués dans les études
- iv) De comprendre la perspective des utilisateurs
- v) D'identifier les limites des études existantes portant sur les FRMIs
- vi) De fournir des recommandations pour les recherches futures afin de combler les lacunes identifiées dans la littérature et mieux orienter le développement continu

6.5 Cadre de référence

6.5.1 Le modèle de technologie d'assistance à l'activité humaine (*Human Activity Assistive Technology Model- HAAT*)

Selon ce modèle théorique, une technologie d'assistance (TA) devrait être conçue pour répondre au(x) besoin(s) de l'utilisateur, en tenant compte des caractéristiques de ce dernier, de l'activité qu'il aimerait accomplir avec la TA, ainsi que du contexte dans lequel cette activité sera réalisée (Cook & Polgar, 2014). Les principales composantes de ce modèle sont donc : la TA (le FRMI), la personne (l'utilisateur), l'activité (par exemple, des activités de participation sociale, telles que rendre visite à des amis, assister à un spectacle, aller à des rendez-vous, faire des courses), et le contexte (l'environnement). Ainsi, le FRMI devrait permettre, aux utilisateurs présentant des incapacités physiques, cognitives ou sensorielles, de prendre part à différentes activités de participation sociale, pouvant se dérouler dans des environnements variés, selon leurs besoins. Ce modèle théorique a servi de soutien pour l'analyse et l'interprétation des résultats de cet examen de la portée, notamment à organiser la section « résultats », et à soutenir la discussion de certains résultats présentés.

6.5.2 Le modèle d'acceptation de la technologie (*Technology Acceptance Model -TAM*)

Le modèle d'acceptation de la technologie est un modèle théorique qui sert principalement à prédire si une technologie sera acceptée ou non par les utilisateurs (Lai, 2017), et permet également d'identifier les modifications à y apporter, afin de la rendre acceptable par ces derniers, selon qu'elle soit perçue comme utile et facile à utiliser (Thakur et al., 2012).

L'utilité perçue renvoie au fait que son utilisation permette à l'utilisateur d'améliorer ses performances. Par exemple, un utilisateur de FR pourrait percevoir le FRMI comme un outil pouvant lui permettre d'accomplir une gamme variée d'activités qu'il ne l'aurait fait avec un FRM traditionnel.

La facilité d'utilisation perçue, quant à elle, fait référence au fait que l'utilisation de la technologie nécessite de fournir un effort minimal (Davis, 1993; Lai, 2017). Par exemple, certaines fonctionnalités du FRMI pourraient préserver l'utilisateur de fournir un effort important pendant la conduite. Grâce à ce modèle, il est également possible d'identifier d'éventuelles modifications à apporter à la technologie afin qu'elle soit acceptée par l'utilisateur.

Dans la section « discussion » de ce chapitre, ce modèle théorique a servi à l'interprétation de certains résultats, notamment pour souligner l'importance de proposer aux utilisateurs un FRMI qui soit facile à contrôler, en fonction du profil et des caractéristiques individuelles des utilisateurs potentiels.

6.6 Méthodologie

Un examen de la portée est un exercice qui vise à explorer la littérature afin d'avoir une vue d'ensemble sur un sujet donné (Arksey & O'Malley, 2005). Cet examen de la portée a été réalisée suivant le cadre méthodologique proposé par le Joanna Briggs Institute (Peters et al., 2017), et le rapport basé sur les recommandations contenues dans la grille « *Preferred reported Items for Systematic review and Meta-Analysis – Extension for scoping reviews* » (Tricco et al., 2018). Arksey et O'Malley (2005) suggèrent quatre raisons pouvant justifier la réalisation d'un examen de la portée : « (a) avoir une vue d'ensemble sur les recherches portant sur un sujet spécifique, (b) en préparation à la réalisation d'une revue systématique, (c) diffuser les connaissances scientifiques, issues des recherches dans un domaine spécifique, (d) identifier les limites des études portant sur un sujet spécifique » (Arksey & O'Malley, 2005, p. 6).

À la lumière des raisons précédentes, l'objectif visé par cet examen de la portée était d'explorer la littérature portant sur le développement des FRMIs, en vue de comprendre dans quelle mesure les prototypes existants pourraient répondre aux besoins des utilisateurs, afin d'identifier les limites des études et de faire des recommandations pour mieux orienter le développement continu des FRMIs.

Cette étude a été conduite suivant les six étapes de réalisation des revues de la portée proposées par Arksey et O'Malley (2005), et bonifiées par Levac et al. (2010). En effet, ces derniers ont apporté une description plus détaillée sur la démarche à effectuer à chaque étape précédemment décrite par Arksey et O'Malley (2005), ainsi que quelques recommandations. Par exemple, ils encouragent fortement d'adopter une approche pluridisciplinaire et itérative. Ils suggèrent également que l'étape 6, considérée comme facultative par Arksey et O'Malley (2005), soit une étape indispensable afin d'assurer la rigueur méthodologique des études (Levac et al., 2010).

Lorsqu'applicable, le niveau de maturité des technologies a été évalué et rapporté dans le tableau d'extraction des données (Annexe 1). L'échelle des niveaux de maturité technologique (Annexe 2) est une échelle qui permet d'évaluer, sur une échelle de 1 à 9, le niveau de maturité d'une technologie (NMT), selon son stade de développement. La technologie peut se présenter sous forme de modèle, de prototype ou de produit commercialisé.

6.6.1 Étape 1 : Identification de la question de recherche

Un survol de la littérature et des échanges avec une équipe de recherche développant un FRMI a permis de préciser la question de recherche. En effet, la diversité des études retrouvées dans la littérature offrait deux possibilités. Notamment, celles d'aborder le sujet d'un point de vue technologique, ou d'un point de vue clinique. La question de recherche principale était d'examiner dans quelle mesure les FRMIs existants pourraient répondre aux besoins réels des utilisateurs. La réponse à cette question pourrait servir à orienter la poursuite du développement des FRMIs afin de développer une technologie qui réponde le mieux possible aux besoins des utilisateurs.

6.6.2 Étape 2 : Identification des études pertinentes

En collaboration avec une bibliothécaire universitaire spécialisée dans le domaine des sciences de la santé, la littérature scientifique ainsi que la littérature grise ont été explorées pour identifier les études pertinentes à inclure dans l'étude. Les bases de données suivantes ont été consultées : MEDLINE, EMBASE, CINAHL, *Web Of Science*, *Google Scholar*, *Journal of Social Robotics*, *IEEE.org*, *HRI Conference*. Afin d'inclure un échantillon assez représentatif de ressources portant sur le sujet, une recherche manuelle des références provenant des articles a également été effectuée. Des ressources supplémentaires ont été recommandées par les autres co-auteurs, par ailleurs experts dans le domaine de la robotique et du développement des technologies appliquées en réadaptation, notamment les FRs. Les sources retenues pouvaient être rédigées en français ou en anglais. Puisque le domaine de la recherche sur le FRMI est en constante évolution, aucune limite n'a été appliquée sur l'année de publication des études, et aucune restriction sur le devis de recherche ni sur le profil des participants ayant pris part aux études retrouvées dans la littérature n'a été imposée. Les études publiées jusqu'à septembre 2020 ont été consultées.

Les tableaux 3 et 4 ci-dessous présentent, respectivement, la stratégie de recherche utilisée, ainsi que les critères d'inclusion et d'exclusion des articles.

Les mots clés employés pour la recherche des articles étaient les suivants : *wheelchair, intelligent, smart, navigation, planification, awareness, human awareness*.

Les opérateurs booléens « OR » et « AND » ont été utilisés pour combiner les mots clés. L'opérateur booléen « OR » a été utilisé pour les termes synonymes et « AND » a été utilisé entre les concepts qui nous intéressent afin d'obtenir les résultats qui traitent de tous nos concepts représentés par les mots clés.

Les troncatures *intelligen**, *wheel chair**, *aware** ont été utilisées pour raffiner la recherche afin d'augmenter les possibilités d'obtenir des résultats pertinents.

Cette étape a conduit à l'identification de 938 articles.

Stratégie de recherche MEDLINE

| | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|-----|-------------|-----|---------------|-----|-----------------|
| Mot clé et opérateur booléen | Wheelchair | AND | Intelligent | AND | Navigation | AND | Awareness |
| Synonyme | OR | | OR | | OR | | OR |
| | Wheel chair | AND | Smart | AND | Planification | AND | Human awareness |
| Troncature | Wheel chair* | | Intelligen* | | | | human aware* |

Critères d'inclusion

| | |
|-----------------------------|---|
| Critères d'inclusion | Contenir « Fauteuil roulant » ou « Wheelchair » dans le titre, le résumé et le texte intégral |
| | Traiter des technologies intelligentes intégrées aux fauteuils roulants |
| | Traiter des accessoires intelligents pour fauteuils roulants |
| | Traiter des systèmes de navigation ou des modes de commande pour FRMIS |
| | Traiter des systèmes robotisés pouvant être adaptés au fauteuil roulant |
| | Langue de publication : Français ou anglais |
| Critères d'exclusion | « Wheelchair » ou « fauteuil roulant » employé uniquement comme un exemple |
| | « Wheelchair » ou « fauteuil roulant » apparaissant uniquement dans le résumé et pas dans le texte intégral |
| | Articles incomplets : par exemple, articles de conférences non détaillés, abrégés pour congrès. |

Une fois les études pertinentes identifiées, l'étape suivante a consisté à sélectionner celles qui répondaient aux critères d'inclusion et d'exclusion définis.

6.6.3 Étape 3 : Sélection des études

Les études ont été sélectionnées conformément aux critères d'inclusion et d'exclusion, et ce, afin de répondre aux objectifs spécifiques de recherche qui découlent de la question de recherche et du but de cet examen de la portée.

L'étape de « filtrage » des articles a été effectuée sur *Covidence*³. Cette étape a permis de supprimer 195 doublons. Les titres, ainsi que les résumés des sources retenues, ont été évalués par les NT et AP en conformité avec les critères d'inclusion préalablement définis. 720 articles ont rempli les critères d'inclusions et étaient admissibles pour analyse. L'analyse des textes intégraux a été effectuée de façon indépendante par NT et AP. Les conflits étaient résolus par consensus après discussion entre ces dernières sur les raisons ayant motivé les exclusions d'un côté comme de l'autre.

Le processus d'identification, de sélection et d'inclusion des études est représenté par un diagramme de flux inspiré de la grille PRISMA, tel que le présente la figure 4 ci-dessous.

³ Covidence est un logiciel en ligne utilisé pour compiler, filtrer et synthétiser des sources extraites de diverses bases de données afin de réaliser une revue systématique ou un examen de la portée (Bhatnagar, s. d.)

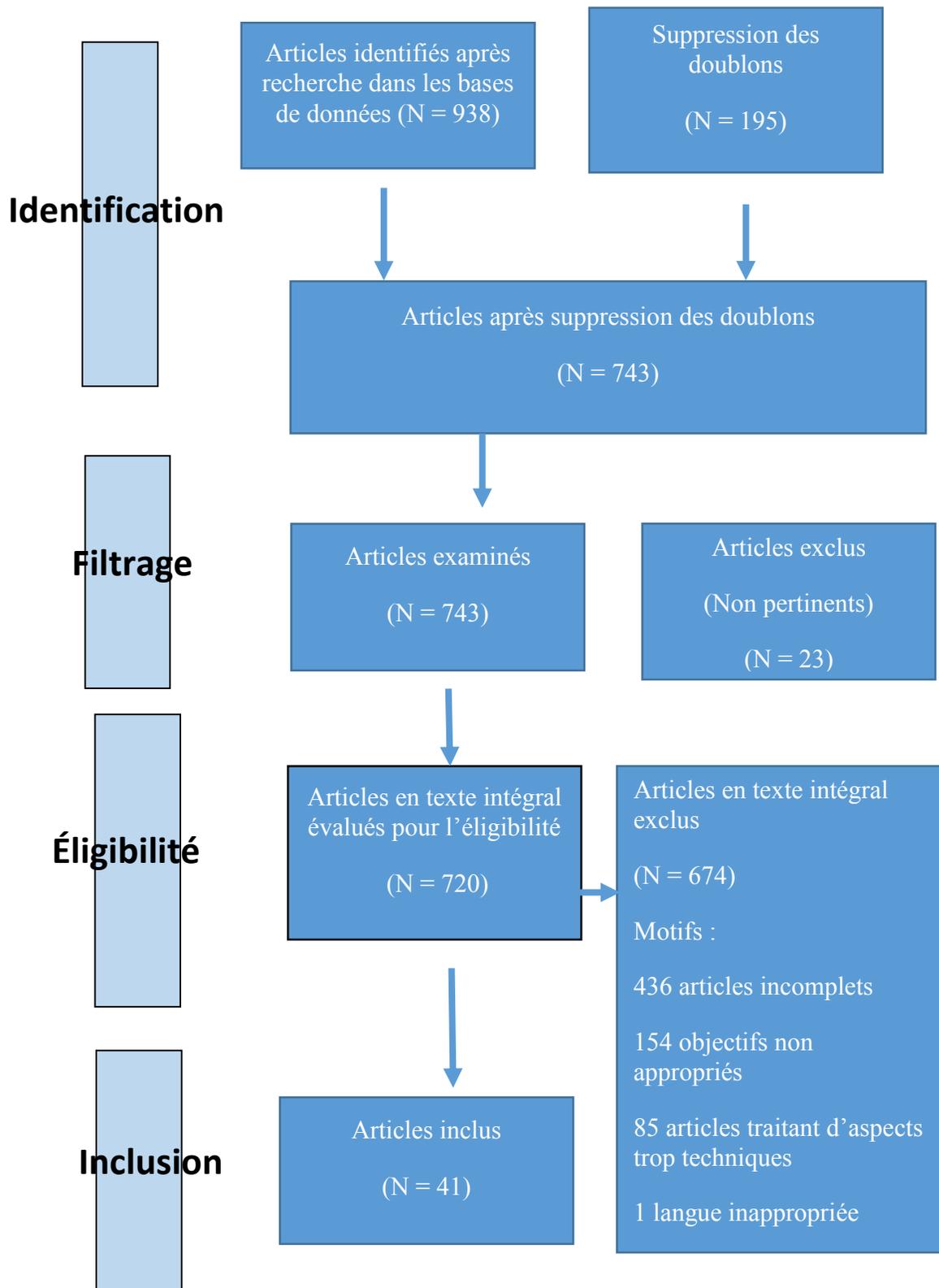


Figure 4. Processus d'identification et de sélection des études (Tricco et al., 2018)

6.6.4 Étape 4 : Extraction des données

Cette étape a consisté à rechercher, dans les études retenues, les éléments en lien avec les composantes du modèle théorique choisi et qui pouvaient contribuer à répondre aux objectifs de l'étude. Le modèle théorique « *Human Activity Assistive Technology* » -HAAT a servi de base pour l'extraction des données, l'analyse et l'interprétation des résultats. Certaines composantes de ce modèle théorique ont été exploitées pour concevoir le tableau d'extraction des données (Annexe 1). Par exemple, la composante « *Human* » représente soit l'utilisateur potentiel du FRMI, soit le profil des participants inclus dans les différentes études. La composante « contexte » représente l'environnement dans lequel le FRMI a été évalué dans les différentes études identifiées, qui pouvait être, selon le cas, un environnement réel, un environnement virtuel ou un environnement simulé (en laboratoire). La composante « *Assistive Technology* », quant à elle, représente, soit le FRMI, soit les différentes technologies pouvant y être intégrées. L'échelle des niveaux de maturité technologique (Annexe 2) a également servi à bonifier le tableau d'extraction des données. Ce tableau a été conçu par NT et validé par les co-auteurs AP, PA et DK. L'extraction des données a été effectuée de façon indépendante par NT et AP.

6.6.5 Étape 5 : Analyse et présentation des résultats

Cette étape a consisté à synthétiser les informations recueillies à l'étape précédente (étape 4). En effet, les informations recueillies à l'étape 4 ont été regroupées dans un tableau. Ces informations permettaient de mettre en évidence les différentes technologies intégrées aux FRMIs, y compris les modes de commande ainsi que les modes de navigation offerts, le profil des participants impliqués dans les études et/ou celui des potentiels uFRMI pouvant présenter des déficiences physiques, cognitives ou sensorielles, les environnements dans lesquels les tests ont été effectués, ainsi que les principales conclusions des études, le cas échéant.

6.6.6 Étape 6 : Consultation des experts

Une sixième étape, soit la consultation des experts, est en cours de réalisation. Dans un premier temps, cette étape a été entamée auprès des membres d'une équipe de recherche, experts dans le domaine de la robotique, de la réadaptation et du développement des FRs.

Cette première phase a consisté à présenter aux experts identifiés les résultats préliminaires, obtenus à l'étape 5, ce qui a permis de bonifier les résultats obtenus, et de formuler des recommandations préliminaires. Dans un deuxième temps, il est envisagé une consultation d'autres experts, notamment du domaine de la réadaptation, ayant un intérêt particulier dans le domaine du développement des FRs, en vue d'une validation des résultats ainsi que des recommandations préliminaires précédemment formulées, afin de rejoindre les acteurs clés impliqués dans le développement des FRs.

6.7 Résultats

Au total, 938 études ont été recensées, dont 67 provenant de MEDLINE, 105 d'EMBASE, 32 de CINAHL, 615 de WEB OF SCIENCE et 119 provenant de *Google Scholar*, *Journal of Social Robotics*, *IEEE.org*, *HRI Conference* et de sources additionnelles (recherche manuelle, recommandations). 743 études ont été obtenues, après élimination des doublons (195). 720 ont été évaluées pour l'éligibilité, et 41 études ont été retenues et incluses pour réaliser l'examen de la portée (figure 4). Les résultats présentés dans cette section ont été obtenus à la suite de l'extraction des données effectuée, en partie, suivant certaines composantes du modèle théorique HAAT. Les objectifs spécifiques de cette étude, présentés en introduction, ont servi à structurer la présentation des résultats.

Tableau 3. Tableau d'extraction des données de l'examen de la portée

| N | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie (selon les auteurs) | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
|---|---------------------------|---------------------------------|---|---|--|---|--|---|--|
| 1 | Abiyev R et al. (2016) | Transversale | ICM-Réseaux de neurones Flous (RNF) | Modèle | 6 | Utiliser les RNF pour classifier les signaux cérébraux et déterminer l'action de contrôle du FR | Simulation virtuelle Environnement réel | - | Les RNF pourraient servir à classifier les signaux EEG dans la conception des systèmes de contrôle basés sur le cerveau |
| 2 | Ben Taher et. (2016) | Transversale Quantitatif | Technique de contrôle fusionné du FRMI: Signaux EEG, Systèmes de suivi des mouvements oculaires et de la tête | Prototype | 6 | Améliorer le système de contrôle et de sécurité du FRMI | Simulation virtuelle en 3D Environnement réel (en laboratoire) | - | La technique de contrôle fusionnée présente une amélioration de 7.5% par rapport aux techniques de contrôle du FRMI à source unique |
| 3 | Boucher et al. (2013) | Transversale Quantitatif | - Logiciel pour navigation du FRMI dans des espaces restreints | Prototype | 8 | Assister les utilisateurs ayant des difficultés de FRM | Environnement réel | 8 sujets sains 9 utilisateurs de FR | Amélioration des performances des utilisateurs de FRM |

- Commande vocale

| | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------------|---|-----------|---|--|---|---|---|
| 4 | Faria et al. (2013) | Étude quasi-expérimentale | Interface de commande multimodale | Prototype | 7 | - | Environnement simulé (de laboratoire) Environnement réel | Sujets sains (n=46) | La facilité d'utilisation du FRMI est plus élevée dans un environnement réel que dans un environnement simulé |
| 5 | Faria et al. (2015) | Transversale Quantitatif | Commande vocale -Interface de commande multimodale | Prototype | 6 | Fournir une commande vocale adaptée à l'uFR | - | 11 uFR, atteints IMC. Moyenne d'âge = 27 ans | Le système de commande vocale proposé pourrait être adapté au profil de chaque uFR. |
| 6 | Gionata et al. (2014) | Étude de faisabilité | Navigation automatique Code de réponse rapide | Prototype | 7 | Favoriser le déplacement autonome des uFR dans un environnement domestique | Environnement réel intérieur | - | Les résultats des tests ont démontré la faisabilité d'une approche de navigation autonome basée sur un système de code de réponse rapide (QR) |

| | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|---|---|--|--|--|---|
| 7 | Guedira et al. (2016) | Exploratoire | Écran tactile | Prototype | 7 | Faciliter le pilotage d'un FRE | Environnements réels: intérieur, extérieur, terrains plats et accidentés | - | - |
| 8 | Guedira et al. (2019) | Transversale | Écran tactile | Prototype | 8 | Minimiser l'effort musculaire requis pour piloter un FRE | - | Enfants. 16 ans (n=11). Atteintes neuromusculaires : Amyotrophie spinale infantile, Encéphalopathie Dystrophie musculaire de Duchenne | Effort musculaire réduit |
| N | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie (selon les auteurs) | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
| 9 | Hua et al. (2017) | Quantitatif | Réseaux de neurones | Prototype | 6 | Utiliser le FRMI pour simuler une navigation humaine | Environnement intérieur de laboratoire | 1 sujet sain | Le fonctionnement du FRMI, lorsque contrôlé par les réseaux de neurones, est similaire à celui |

| | | | | | | | | | |
|----------|---------------------|-----------------------------|---|---|---|--|---|---|---|
| | | | | | | | | | d'un opérateur humain |
| 10 | Huang et al. (2019) | Transversale Quantitatif | Interface Homme-Machine, basée sur EOG Bras robotisé | Prototype | 7 | Assister les personnes blessées médullaires dans l'accomplissement des tâches d'auto-alimentation (par exemple, l'action de boire) | Environnement réel intérieur | 5 sujets sains : 22-29 ans 5 sujets paralysés (blessés médullaires) : 17-32 ans | Une IHM basée sur l'ÉOG pourrait permettre d'exécuter avec précision une tâche d'auto-alimentation à l'aide d'un bras robotisé pour FR |
| N | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
| 11 | Ju et al. (2009) | Transversale Quantitatif | Reconnaissance faciale Web camera | Prototype | 7 | Faciliter la conduite du FR | Environnements contrôlés : intérieur et extérieur | N=34 17 utilisateurs de FR présentant des incapacités : ataxie et tétraplégie 17 sujets sains, non-utilisateurs de FR | Interprétation précise et efficace de l'intention de l'utilisateur à partir des informations générées par les expressions faciales et les mouvements de la tête |
| 12 | Kairy et al. (2013) | Exploratoire | Navigation automatique et semi-automatique | Prototype | 7 | Aider les uFRM à surmonter certaines difficultés de conduite | Environnement réel (centre d'achat) | 12 utilisateurs de FRM | Le FRMI pourrait contribuer à surmonter les difficultés de |

| | | | | | | | | | |
|----------|------------------------|----------------------------|---|---|---|--|--|---|--|
| | | Qualitatif | | | | | | | conduite rencontrés par les uFRM |
| 13 | Kairy et al. (2014) | Exploratoire Qualitatif | Navigation automatique et semi-automatique | Prototype | 7 | Faciliter le déplacement des uFRM | Environnement réel (centre d'achat) | 12 utilisateurs de FRM 4 proches-aidants | Le FRMI pourrait contribuer à surmonter les difficultés de conduite rencontrés par les uFRM |
| 14 | Kim (2016) | Quantitatif | Détection et évitement d'obstacles Reconnaissance des situations | Prototype | 7 | Assurer le déplacement sécuritaire des uFR | - | - | Les deux technologies Fonctionnent avec efficacité avec 98% et 92 % de précision respectivement |
| N | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie (selon les auteurs) | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
| 15 | LoPresti et al. (2011) | Quantitatif | Drive Safe System (DSS): Système d'évitement de collisions | Prototype | 6 | Renforcer la sécurité de l'uFR pendant son déplacement | Environnement intérieur de laboratoire | - | Le DSS pourrait contribuer à éviter efficacement les obstacles : Il permet de ralentir progressivement le FRMI, avant de |

| | | | | | | | | | |
|----|-------------------------|-----------------------------|---|-----------|---|--|------------------------------|--|---|
| | | | | | | | | | s'arrêter face à un obstacle |
| | | | Commande vocale | Prototype | 6 | | | | Fonctionne bien dans un environnement silencieux |
| 16 | Malik et al. (2017) | Descriptive | | | | Faciliter la conduite du de FR, aux uFR incapables d'utiliser un joystick standard | Environnement de laboratoire | - | Commande difficile à saisir dans un environnement bruyant |
| 17 | Masato et al. (2007) | Transversale | Commande vocale | Prototype | 6 | Faciliter le contrôle du FR aux uFR incapables d'utiliser un joystick standard | Laboratoire | 15 sujets sains | Exécute une commande avec succès : 97-98 % |
| 18 | Montesano et al. (2010) | Transversale Devis mixte | - Écran tactile - Navigation automatique | Prototype | 8 | Faciliter la mobilité et procurer plus d'autonomie aux uFR présentant une déficience cognitive | Environnement réel (école) | Enfants. 11-16 ans (n=4) Infirmité motrice cérébrale (IMC) | Mobilité et autonomie améliorées |
| 19 | Ono et al. (2004) | - | Navigation automatique | Modèle | 5 | Mise en œuvre d'un programme de contrôle de robot mobile pouvant servir de base pour le | - | - | - |

développement d'un FRMI

| N | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie (selon les auteurs) | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
|----|--------------------------|---------------------------------|--|---|--|--|---|--|---|
| 20 | Oskoei & Hu (2013) | Rapport de recherche | - Joystick (physique et virtuel) - Système de prévention de collisions - Navigation automatique | Prototype | 7 | Faciliter la mobilité des aînés utilisateurs de FR | - | - | - |
| 21 | Pingali et al. (2014) | Preuve de concept | Électro- oculographie (analyse des informations oculaires) | Modèle | 5 | Faciliter le contrôle du FRMI aux utilisateurs incapables d'utiliser les modalités de contrôle conventionnels | Laboratoire | - | Preuve de concept développé avec succès |
| 22 | Pineau et al. (2010) | Transversale Quantitatif | Commande vocale | Prototype | 6 | Minimiser l'effort physique et cognitif requis pour conduire un FRMI | Laboratoire | Groupe 1 : Sujets sains (N=8) Groupe 2 : uFRM 31-85 ans (N=9) | Interaction avec l'utilisateur, pour valider des commandes avant de les exécuter |

| | | | | | | | | | |
|----|---------------------|-----------------------------|--|-----------|---|---|--|---|---|
| 23 | Rabhi et al. (2013) | Transversale | Joystick intelligent | Prototype | | Faciliter le contrôle du FRMI aux utilisateurs qui éprouvent des difficultés avec un joystick classique | Simulateur (laboratoire) | 1 patient | Le joystick intelligent proposé pourrait permettre, de surmonter les difficultés rencontrées avec un joystick classique |
| 24 | Rabhi et al. (2018) | | Algorithme de reconnaissance visuel : Système de Reconnaissance des gestes de la main | Prototype | 6 | Faciliter le contrôle du FRMI aux utilisateurs ne pouvant manipuler un joystick standard | Environnement virtuel en laboratoire | Patients présentant des pathologies de la main (n=3) | Effet escompté validé à l'issue des tests effectués auprès des participants |
| 25 | Rabhi et al. (2018) | Transversale Devis mixte | Écran tactile | Prototype | 6 | Minimiser l'effort musculaire requis pour conduire le FR | Simulation virtuelle Environnement réel | N=3. 15-66 ans IMC- Tétraplégie Myélopathie cervicale : spasticité, dyskinésie | Effort musculaire réduit |

| | | | | | | | | | |
|----|------------------------|-----------------------------|--|-----------|---|---|--|---|---|
| 26 | Razali et al. (2010) | Étude de faisabilité | Reconnaissance faciale Webcam | Prototype | 6 | Navigation automatique du FRMI | Environnement intérieur de laboratoire | - | Les tests effectués dans des environnements intérieurs en laboratoire ont démontré la faisabilité du système de reconnaissance facial proposé |
| 27 | Rebsamen et al. (2010) | Transversale Quantitatif | ICM | Prototype | 7 | Assurer le déplacement sécuritaire des utilisateurs des ICM | Laboratoire | Sujets sains (n=5) | L'ICM proposé aurait permis un déplacement efficace et sécuritaire des participants; et requiert un effort minimal pour contrôler le FRMI |
| 28 | Rushton et al. (2015) | Exploratoire Qualitatif | Navigation automatique et semi-automatique | Prototype | 7 | Améliorer le niveau d'autonomie des uFRM | Environnement réel (centre d'achat) | 12 uFRM 4 proches-aidants 12 cliniciens | Le FRMI pourrait contribuer à : - augmenter le niveau de participation sociale des uFR - réduire les risques d'accident pendant la participation sociale - |

| | | | | | | | | | |
|----------|---------------------------|-------------------------------|--|---|---|---|--|---|---|
| 29 | Rushton et al. (2017) | Transversale Qualitatif | Navigation automatique | Prototype | 8 | Procurer plus d'autonomie aux uFR | Environnement réel : résidence pour personnes âgées | Aînés présentant des troubles cognitifs légers à modérés (n=10) | Le mode de navigation automatique du FRMI pourrait contribuer à favoriser l'implication dans les activités de participation sociale |
| 30 | Sharma et al. (2012) | Transversale Quantitatif | Navigation semi-automatique Drive Safe System (DSS) | Prototype | 7 | Assurer un déplacement autonome et sécuritaire aux uFRM | Environnement contrôlé de laboratoire | Sujets sains (n=19) | Le DSS était en mesure de prévenir efficacement les collisions, de réduire leur nombre ainsi que leur gravité; contribuant ainsi à assurer la sécurité de l'utilisateur |
| N | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie (selon les auteurs) | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
| 31 | Schwesinger et al. (2017) | Transversale Quantitatif | Navigation automatique | Prototype | 8 | Déplacement automatique du FRMI | Environnement urbain | - | Au cours des tests, le système de navigation proposé, était en mesure de naviguer de façon automatique, en |

cartographiant les lieux, sur une distance de 12 km

N

| | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie (selon les auteurs) | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
|----|------------------------------|---------------------------------|--|---|--|---|--|--|---|
| 32 | Simpson et Levine (2002) | Transversale Quantitatif | Commande vocale + Assistance à la navigation (Détection d'obstacles) | Prototype | - | Faciliter la conduite du FRMI, et renforcer la sécurité de l'uFRMI | - | Sujets sains (n=6) 22-26 ans | Le système proposé pourrait contribuer à renforcer la sécurité des utilisateurs |
| 33 | Tang et al. (2018) | Transversale Quantitatif | ICM | Prototype | 8 | Faciliter le déplacement efficace des uFR présentant des profils variés | Environnement réel | N = 7 : 4 sujets sains 3 sujets présentant des déficiences physiques et cognitives | Le système exécute efficacement une commande passée par l'utilisateur et requiert un effort minimal |
| 34 | Viswanathan et al. (2011) | Étude pilote Quantitatif | - Vision par ordinateur - Méthode d'apprentissage machine | Prototype | 6 | Offrir une assistance à la navigation automatique aux uFR présentant des troubles cognitifs | Environnement contrôlé de laboratoire (centre de soin de longue durée) | Personnes âgées résidents d'un centre de soin de longue durée et présentant des troubles cognitifs (n=6). 66-97 ans | - Le système proposé pourrait procurer plus d'autonomie à la population étudiée - Le système proposé est capable de réduire le |

| N | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie (selon les auteurs) | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
|----|------------------------------|---------------------------------|--|---|--|---|--|--|---|
| | | | - Détection et Évitement d'obstacles | | | | | | nombre de collisions frontal lors du déplacement |
| 35 | Viswanathan et al. (2012) | Étude de cas Quantitatif | Assistance à la navigation et à l'évitement d'obstacles | Prototype | 6 | Offrir une assistance à la navigation automatique aux uFR présentant des troubles cognitifs | Environnement contrôlé de laboratoire (centre de soin de longue durée) | Résidents d'un centre de soin de longue durée (n=2). 91 et 95 ans. | Les résultats suggèrent de développer des technologies d'assistance adaptatives au caractéristiques individuelles des uFR atteints de troubles cognitifs |
| 36 | Viswanathan et al. (2017) | Transversale Qualitatif | Navigation automatique | Prototype | 8 | Procurer plus d'autonomie dans le déplacement des uFR | Environnements réels intérieurs et extérieurs | 10 aînés, uFRman et uFRM, présentant des troubles | Le mode de navigation automatique pourrait contribuer à accroître le sentiment de bien- |

| | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| | | (Approche par réflexion à haute voix) | | | | | | cognitifs légers à modérés | être, de sécurité et de confiance des uFR |
| 37 | R. Wang et al. (2011) | Longitudinale Devis mixte | Système de prévention de collisions | Prototype | 8 | Procurer un déplacement autonome et sécuritaire aux uFR | Environnement réel intérieur | Résidents de maison de retraite atteints de démence (n=6) | Selon les participants, un système de prévention de collision pour FR serait bénéfique pour la population étudiée |
| N | Référence | Type d'étude Devis | Technologie intégrée | Stade de développement de la technologie (selon les auteurs) | Niveau de maturité de la technologie (NMT) | Objectif primaire de la technologie | Contexte d'évaluation de la technologie | Participants à l'étude | Validation des effets de la technologie/ Principaux résultats /ou Principales conclusions des études |
| 38 | R. Wang et al. (2013) | Transversale Qualitatif | Évitement de collision | - | - | Faciliter le déplacement sécuritaire des uFRM et leur procurer plus d'autonomie | - | 29 uFRM 5 proches-aidants 10 cliniciens | - Le système d'évitement des collisions pourrait être utile aux uFR ayant une déficience visuelle - Le FRMI pourrait être inapproprié pour les personnes présentant des troubles cognitifs sévères |

| | | | | | | | | | |
|----|-------------------------|------------------------------|--|-----------|---|---|---------------------------------------|--|--|
| 39 | Wang, Xu, et al. (2013) | Transversale Quantitatif | Personal Mobility and Manipulation Appliance (PerMMA) : FRMI + deux bras robotisés | Prototype | 6 | Améliorer l'autonomie fonctionnelle des uFR | Environnement contrôlé de laboratoire | Personnes présentant des déficiences fonctionnelles aux membres supérieurs et inférieurs (n=15) | Les résultats ont démontré la facilité d'apprentissage et l'utilité du PerMMA pour la population étudiée |
| 40 | Zeng et al. (2008) | Transversale Quantitatif | Planificateur de trajet | Prototype | 7 | Planification de trajet collaborative entre l'utilisateur et le FRMI | Environnement réel en laboratoire | 15 sujets sains 23-32 ans | Les résultats des tests ont démontré l'efficacité d'une approche collaborative de planification de trajet entre l'utilisateur et le FR: les participants ont réussi à planifier un trajet, en interagissant en temps réel avec le FRMI |
| 41 | Zondervan et al. (2015) | Longitudinale Devis mixte | Interface Kinect pour contrôle de FRMI | Prototype | 9 | Faciliter l'entraînement à la conduite d'un FRM à une clientèle pédiatrique | Environnements réels | 8 thérapeutes 8 enfants présentant des pathologies cérébrales et musculaires | Le dispositif proposé serait un bon outil pour favoriser l'accès à l'entraînement à la conduite du FRM |

Acronymes utilisés

EEG : Électroencéphalogramme ; EOG : Électro-oculogramme ; FR : Fauteuil roulant ; FRM : Fauteuil roulant motorisé ; FRMI : Fauteuil roulant motorisé intelligent ; FRE : Fauteuil roulant électrique ; IHM : Interface Homme-Machine ; ICM : Interface Cerveau-Machine ; IMC : Infirmité motrice cérébrale ; uFR : Utilisateur de fauteuil roulant ; uFRM : Utilisateur de fauteuil roulant motorisé ; uFRMI : Utilisateur de fauteuil roulant motorisé intelligent ; uFRman : Utilisateur de fauteuil roulant manuel

6.8 Technologies intégrées aux FRMIs

Cette section décrit les différentes technologies intégrées aux prototypes de FRMIs recensés dans la littérature, leur but ainsi que l'effet escompté de certaines fonctionnalités proposées.

Les technologies intégrées aux FRMIs pouvaient regrouper les modalités de contrôle, les modes de navigation, ainsi que d'autres fonctionnalités pouvant être associées aux modes de navigations proposées, telles que la capacité de détection et d'évitement d'obstacles. Les modalités de contrôle renvoient aux différents moyens de commander le FRMI, tels que l'écran tactile, la commande vocale, la commande par les expressions non-verbales (Guedira et al., 2016). Les modes de navigation, quant à eux, renvoient aux différentes options de déplacement, telles que le déplacement en mode automatique ou semi-automatique (Ben Taher et al., 2016).

Cette section est organisée comme suit. Dans un premier temps, les différentes modalités de contrôle du FRMI sont présentées. Ensuite, les modes de navigation suivis d'autres fonctionnalités, telles que la capacité de détection et d'évitement d'obstacles sont présentés, de même que les avantages que cette capacité pourrait procurer aux utilisateurs présentant différents types de déficience. La capacité du FRMI à suivre une cible ou un trajet, ou encore, celle de planifier un trajet, est également présentée. Lorsqu'applicable, un accent est mis sur les effets escomptés de certaines de ces fonctionnalités.

6.8.1 Les modalités de contrôle

Les modalités de contrôle proposées peuvent être regroupées en deux grands types d'interfaces de commande à savoir l'Interface Homme-Machine (IHM) et l'Interface Cerveau-Machine (ICM).

6.8.1.1 Les Interfaces Homme-Machine

Les IHM peuvent permettre à l'utilisateur de communiquer avec le FRMI par l'intermédiaire de différents dispositifs externes, en sollicitant l'action de différents muscles et nerfs périphériques (Faria et al., 2015). L'écran tactile, la commande vocale et

la commande par les expressions non-verbales représentent des exemples d'IHM pouvant être utilisées pour contrôler un FRMI (Guedira et al., 2016; Ju et al., 2009a; Malik et al., 2017; Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018).

6.8.1.1.1 Écran tactile

L'interface à écran tactile pourrait convenir aux personnes qui éprouvent de la difficulté à manipuler un *joystick* classique (Guedira et al., 2016).

L'étude transversale de Montesano et al. (2010), visait à évaluer un FRMI avec une interface de commande à écran tactile intelligent, auprès d'enfants scolarisés, atteints de paralysie cérébrale modérée (n=4). Les participants à l'étude étaient tous des utilisateurs expérimentés de FRMan n'ayant jamais utilisé un FRM auparavant. À la suite de séances virtuelles d'entraînement à l'utilisation de l'interface proposée, le FRMI a été utilisé par les participants à l'étude pour circuler dans différents environnements de leur école. Les résultats ont démontré que l'interface de commande tactile intelligent proposée pouvait faciliter la conduite du FRMI. En effet, les participants à l'étude pouvaient interagir intuitivement avec le FRMI, et se déplacer en toute autonomie (Montesano et al., 2010). Cependant, de tels résultats observés chez des non-utilisateurs de FRM pourraient susciter des interrogations. Notamment quant à l'influence que pourraient avoir l'environnement de test (par exemple, un environnement connu et familier vs. un environnement public) ainsi que le devis de l'étude (étude transversale vs. longitudinale) sur le niveau de performance obtenu.

Dans le même ordre d'idées, un nouveau *joystick* intelligent à écran tactile est proposé par Rabhi et al. (2018). Afin d'évaluer le *joystick* en cours de développement, des tests ont été effectués, d'abord en simulation virtuelle, et ensuite, en environnement réel auprès de trois participants. Ils présentaient des incapacités motrices, survenues des suites d'une paralysie cérébrale pour les uns, de tétraplégie post-traumatique et de myélopathie cervicale pour les autres, et ayant entraîné, sur le plan fonctionnel, une spasticité et une dyskinésie. À l'issue d'entrevues et de questionnaires administrés après les tests, les participants à l'étude ont rapporté un niveau de satisfaction élevé, après avoir utilisé le *joystick* proposé. Selon ces derniers, un écran tactile intelligent pourrait être un moyen pratique et utile pour conduire le FRMI. Selon eux, l'écran tactile pourrait également contribuer à réduire l'effort

musculaire requis, au niveau des membres supérieurs, pour conduire un FR (Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018). Toutefois, l'on ne sait pas si des tests effectués auprès d'utilisateurs présentant une déficience cognitive produiraient des résultats similaires et aboutiraient aux mêmes conclusions.

L'étude de Guedira et al. (2019), quant à elle, visait à évaluer l'efficacité d'une interface tactile auprès d'uFR atteints de maladies neuromusculaires. L'âge moyen des 11 participants à l'étude était de 16 ans. Neuf d'entre eux étaient atteints de dystrophie musculaire de Duchenne, et les deux autres, d'encéphalopathie et d'amyotrophie spinale infantile. En vue d'évaluer la performance de l'interface tactile proposée, les participants ont été soumis à une évaluation cinématique. Au cours de l'expérimentation, il leur était demandé d'exécuter une série de cinq tâches prédéfinies, dont trois étaient tirées du *Wheelchair Skills Test* (Dahlousie University. Faculty of Medicine. Wheelchairs Skills Program. Consulté le 5 mai 2021. <https://wheelchairskillsprogram.ca/fr/>), un test clinique visant à évaluer les capacités en FR. Ces derniers devaient exécuter les tâches en se servant, tour à tour, de leurs *joysticks* respectifs, et ensuite, du *joystick* à écran tactile proposé. Les résultats ont démontré qu'une telle interface pourrait contribuer à réduire l'effort physique nécessaire pour conduire un FR, en comparaison au *joystick* classique (Guedira et al., 2019).

Cependant, bien qu'il ait été démontré une indication de l'écran tactile pour certains utilisateurs, d'autres, cependant, pourraient avoir du mal à s'en servir, s'ils ne peuvent pas user de leurs membres supérieurs pour manipuler un écran tactile. D'autres modalités de contrôle, telles que la commande vocale, pourraient être envisagées.

6.8.1.1.2 Commande vocale

La commande vocale pour FR pourrait constituer une alternative intéressante pour certains utilisateurs présentant des incapacités motrices sévères, affectant les membres supérieurs ou inférieurs (Hou et al., 2020). Pour certains uFRM atteints de tétraplégie, elle apparaît comme une modalité de contrôle pratique (Clark & Roemer, 1977; Leaman et al., 2016).

L'étude de Masato et al. (2007) décrit un système de commande vocale destiné aux uFR ayant des incapacités physiques, avec perte de contrôle moteur de leurs membres supérieurs. Testé en milieu expérimental auprès d'une quinzaine de sujets sains (des étudiants), le système proposé pouvait reconnaître et exécuter avec succès (taux de réussite de 97 à 98 %) une commande passée par l'utilisateur. Le système de reconnaissance vocale proposé dans cette étude utilise « un analyseur de reconnaissance grammaticale » préalablement intégré au FR. Ainsi, en réaction à un ensemble de commandes vocales prédéfinies, le FR exécute, de façon précise, des actions spécifiques correspondantes. Par exemple, à la commande « *tomare* » (en japonais), le FR doit s'arrêter (Masato et al., 2007). Dans l'étude de Malik et al. (2017), aux commandes vocales « *front* » ou « *back* », le FR se déplace respectivement vers l'avant ou vers l'arrière (Malik et al., 2017). Des études similaires ont également été menées.

Dans l'étude de Faria et al. (2015), une commandes vocale prédéfinie pouvait être associée à différents synonymes. Pour faire avancer le FR par exemple, les commandes vocales « *Front* », « *Go* » ou « *Forward* » en anglais, pouvaient être utilisées (Faria et al., 2015). À l'issue des tests effectués auprès de onze uFR atteints de paralysie cérébrale (*cerebral palsy*), ayant entraînée des incapacités motrices sévères, les résultats de cette étude ont suggéré que la commande vocale pourrait faciliter la conduite du FR à une telle population.

Toutefois, même si la commande vocale est perçue comme une modalité de contrôle pratique, il est important de souligner quelques enjeux non négligeables pouvant y être associés. La lenteur dans l'exécution de la commande ainsi qu'un faible niveau de précision sont parfois rapportés (Guedira et al., 2016; Simpson & Levine, 2002). En plus, l'utilisation dans un environnement bruyant pourrait causer des interférences susceptibles de nuire à l'exécution d'une commande passée par l'utilisateur (Masato et al., 2007). En effet, une commande involontaire provenant de l'utilisateur lui-même, ou bien de son environnement immédiat, une commande mal interprétée, aboutissant à l'exécution d'une action non souhaitée, pourraient constituer des risques d'accident pour l'utilisateur (Guedira et al., 2016; Malik et al., 2017). Afin de pallier ces différents inconvénients rapportés, quelques pistes de solutions sont suggérées.

Simpson et Levine (2002) ont proposé d'intégrer, au FR commandé par la voix, un système d'assistance à la navigation associé à une fonction d'évitement d'obstacles. Les résultats des tests, effectués auprès de six sujets sains, ont permis de conclure que la commande vocale, combinée à la capacité à éviter les obstacles, pourrait contribuer à assurer la sécurité de l'utilisateur de FR. En effet, en cas d'exécution d'une commande non souhaitée, pouvant exposer ce dernier à un risque de collision, le FR s'arrêterait avant même de heurter un obstacle (Simpson & Levine, 2002).

Pineau et al. (2010), quant à eux, ont développé un système de commande vocale capable de distinguer les interférences provenant de l'environnement immédiat de l'utilisateur, des commandes réelles passées par celui-ci (Pineau et al., 2010). Le système proposé, testé en milieu expérimental auprès de 17 participants, dont 8 sujets sains et 9 uFRM, pouvait permettre une interaction en temps réel avec l'utilisateur, par exemple, en demandant à ce dernier de répéter une commande mal saisie (Pineau et al., 2010).

Toutefois, cette modalité de contrôle du FRMI pourrait être inappropriée dans certaines circonstances (telles que dans des lieux publics, ou dans un environnement bruyant), voire pour d'autres profils d'utilisateurs (par exemple, les personnes ayant perdu l'usage de la parole). Dans ce cas, le recours à d'autres modalités de contrôle du FRMI, telles que la commande par des expressions non-verbales, seraient à préconiser.

6.8.1.1.3 Reconnaissance des expressions non-verbales

Parmi les modalités de contrôle du fauteuil roulant par reconnaissance des expressions non-verbales présentées dans la littérature figurent la reconnaissance faciale et la reconnaissance des gestes de la main. Le contrôle du FRMI par le système de reconnaissance faciale serait approprié pour les utilisateurs ayant des incapacités sévères, telles que l'ataxie ou la tétraplégie qui entraînent respectivement un manque de coordination des mouvements volontaires et une paralysie des quatre membres (Ju et al., 2009b; Pingali et al., 2014). Un tel système utilise les informations générées par les expressions du visage de l'utilisateur pour faire fonctionner le FRMI. Par exemple, la direction du fauteuil roulant pourrait être déterminée par l'inclinaison de la tête, tandis que

la mise en marche ou l'arrêt du FR pourrait être déterminé par la forme de la bouche de l'utilisateur (Ju et al., 2009b).

L'étude de Ju et al. (2009), menée auprès de 34 participants, dont 17 sujets sains et 17 autres présentant des incapacités des suites de tétraplégie et d'ataxie, aurait permis de tester l'efficacité d'un tel système. Les résultats des tests, effectués en laboratoire dans des environnements internes et externes, ont permis de démontrer que le système serait en mesure d'interpréter, avec précision, l'intention de l'utilisateur, à partir d'informations générées soit par les expressions de son visage, soit par les mouvements de sa tête. De plus, avec un tel système, l'utilisateur est amené à effectuer très peu de mouvements, ce qui représente un avantage (Ju et al., 2009b).

Un autre système de reconnaissance faciale proposé utilise le regard de l'utilisateur, ainsi que les mouvements de la tête de ce dernier, pour déterminer la direction du FR. Équipé de capteurs et de caméras rattachés au FR, le système pourrait être en mesure de détecter et d'éviter des obstacles pendant la navigation. Ici, le FR peut se déplacer en direction du regard de l'utilisateur (Razali et al., 2010). Enfin, d'autres systèmes de reconnaissance faciale basés sur les informations visuelles de l'utilisateur ont été identifiés. Développé à l'intention des personnes paralysées (tétraplégie), le système en phase d'expérimentation proposé par Pingali et al. (2014) utilise une technique l'électro-oculographie (EOG)⁴ qui traite les signaux bioélectriques générés par les mouvements des yeux pour faire fonctionner le FRMI (Pingali et al., 2014).

Dans l'étude de Kim (2016), un système de navigation pour FRMI, qui utilise des capteurs visuels, et offrant les fonctions de détection-évitement d'obstacles et de reconnaissances de situations, est proposé. Par rapport à la fonction de détection-évitement d'obstacles, le FRMI est équipé de capteurs visuels et de capteurs à ultrasons, pouvant détecter les obstacles, décrire leurs positions ainsi que leurs tailles, et planifier une nouvelle trajectoire, afin de les éviter. La fonction de reconnaissance de situations, quant à elle, pourrait analyser les images provenant de l'environnement, notamment leur forme et leur texture, afin d'identifier et d'éviter d'éventuelles situations potentiellement dangereuses pour

⁴ Une technique utilisée pour mesurer le potentiel de repos de la rétine (Pingali et al., 2014).

l'utilisateur. Des images prises dans divers environnements intérieurs et extérieurs ont permis de tester, en laboratoire, la validité du système de navigation proposé. Les résultats des tests ont démontré que le système pouvait fonctionner efficacement, avec des niveaux de précision de 98% et de 92% pour la détection-évitement d'obstacles et la planification de trajet, respectivement (Kim, 2016).

Concernant le système de reconnaissance des gestes de la main, les prototypes de FRMIs qui en disposent, utiliseraient un algorithme visuel pour reconnaître et interpréter les mouvements de la main afin de contrôler le FRMI. Rabhi et al. (2018) pensent que ce système pourrait être approprié aux uFR, qui sont dans l'incapacité de manipuler un *joystick* classique, ou bien à ceux qui, à cause d'une pathologie de la main (une dystonie, par exemple), ne peuvent pas s'en servir. La validité d'un tel système aurait été démontrée, à la suite des tests, réalisés en laboratoire. Les tests étaient réalisés à l'aide d'un simulateur auprès de trois uFR présentant une spasticité et une dyskinésie, et ayant affecté le contrôle moteur de la main (Rabhi, Mrabet, & Fnaiech, 2018).

Ainsi, la variété des IHM pourrait bénéficier aux utilisateurs présentant différents types d'incapacités. En revanche, malgré la variété des modalités de contrôles proposées, il peut s'avérer, qu'à cause des particularités individuelles, certains profils d'utilisateurs ne soient pas en mesure d'en profiter. Ainsi, les Interfaces Cerveau-Machine (ICM) pourraient constituer une option à considérer.

6.8.1.2 L'interface cerveau-machine

Grâce à une ICM adaptée au FR, les signaux électriques émis par le cerveau (électroencéphalogramme-EEG) peuvent être transformés en signaux de commande, pouvant ensuite être utilisés pour contrôler le FRMI, sans que l'utilisateur n'ait à le manipuler physiquement (Abiyev et al., 2016). Ainsi, les signaux EEG de l'utilisateur pourraient être captés à l'aide d'électrodes placées sur son cuir chevelu (Fan et al., 2008), ou à l'aide d'un casque. Ces signaux pourraient ensuite être analysés, traités et transmis au FRMI, afin d'exécuter une commande (Li et al., 2013). Cependant, l'efficacité d'un tel système de contrôle du FRMI, pourrait dépendre de l'état émotionnel de l'utilisateur (Li et al., 2013).

Par ailleurs, l'effort cognitif requis pour passer une commande, ainsi qu'une utilisation prolongée, pourraient occasionner de la fatigue chez l'utilisateur, ce qui représente une limite pour les ICM conventionnelles (Rebsamen et al., 2010). Pour tenter de pallier une telle limite, Rebsamen et al. (2010) ont proposé une version améliorée de l'ICM pouvant permettre de contrôler le FRMI par la pensée. Le système de contrôle présenté dans cette étude offre, à l'utilisateur, la possibilité de choisir une destination parmi un ensemble de lieux prédéfinis qui lui sont proposés à travers un écran connecté à son FRMI. Il lui suffirait donc de sélectionner, en pensant à une destination et d'y focaliser son attention, afin d'activer les signaux EEG. Le FRMI pourrait alors, générer une trajectoire pour atteindre la destination souhaitée. Testé en laboratoire auprès de 5 sujets sains, l'ICM proposé aurait permis aux participants à l'étude d'atteindre avec succès les différentes destinations sélectionnées, situées à différents niveaux d'un immeuble de 5 étages (Rebsamen et al., 2010). Cependant, la petite taille de l'échantillon pourrait constituer une limite éventuelle à la généralisation de ces résultats. De plus, des tests effectués auprès de sujets sains ne sauraient refléter la performance réelle d'utilisateurs potentiels (ayant des déficiences) d'une telle modalité de contrôle du FRMI.

Dans le même ordre d'idées, l'étude de Tang et al. (2018) présente un FRMI pouvant être actionné par le cerveau, dont le mode de fonctionnement combine des technologies de robotique et d'intelligence artificielle. Le but visé est de répondre aux besoins de mobilité d'utilisateurs présentant des profils cliniques variés., en leur proposant une technologie efficace et facile d'utilisation, pour la réalisation de diverses activités de la vie quotidienne, dans différents environnements. Afin d'évaluer l'efficacité du système proposé, des tests ont été effectués auprès des participants à l'étude (n=7), parmi lesquels quatre sujets sains et trois autres présentant des déficiences physiques et cognitives. Après avoir bénéficié d'une séance d'entraînement à l'utilisation du système, des tests ont été effectués. Le scénario expérimental consistait, entre autres, à utiliser le système d'ICM proposé pour se déplacer dans divers environnements, et de réaliser des tâches telles que se diriger vers une table, entrer et sortir à travers une porte. Les résultats des tests ont démontré que le système pourrait exécuter efficacement des commandes passées par l'utilisateur (Tang et al., 2018).

Ainsi, les sections précédentes permettent d'avoir un aperçu sur le fonctionnement des IHM et ICM, qui représentent les différentes possibilités de contrôler les FRMIs. Ces interfaces pourraient correspondre aux besoins d'une population variée. D'autres fonctionnalités du FRMI, telles que les modes de navigation ou de fonctionnement, pourraient aussi contribuer à répondre à certains besoins des différents bénéficiaires potentiels du FRMI.

La section qui suit décrit les effets escomptés de certaines fonctionnalités proposées pour améliorer le fonctionnement du FRMI.

6.8.2 Effets escomptés des fonctionnalités intelligentes du FRMI

Certaines fonctionnalités proposées du FRMIs ont été développées dans le but d'atteindre certains objectifs spécifiques. Par exemple, elles pourraient contribuer à faciliter le déplacement des personnes présentant différents types d'incapacités sur le plan physique, cognitif ou sensoriel, comme les modes de navigation semi-automatique et automatique, ou la capacité à éviter les obstacles.

6.8.2.1 Modes de navigation semi-automatique et automatique

Cette section présente les modes de navigation semi-automatique et automatique proposés du FRMI. Certaines études, menées auprès d'utilisateurs potentiels, décrivent les effets escomptés de certaines fonctionnalités pouvant être associés à ces deux modes de navigation.

En mode semi-automatique, le FRMI pourrait exécuter des actions suivant une commande passée par l'utilisateur (Ben Taher et al., 2016). En effet, l'utilisateur pourrait passer des commandes au FRMI par le biais des différentes IHM proposées. À d'autres moments, le FRMI pourrait naviguer sans avoir besoin de commandes transmises par l'utilisateur. En mode automatique, le FRMI pourrait fonctionner sans l'intervention de l'utilisateur, en générant, par lui-même, des commandes afin d'exécuter une commande, ou de se rendre à une position. Il suffirait, à l'utilisateur, de donner une première commande, telle qu'indiquer une destination sur une carte. Une fois les données de la commande introduites au FRMI via l'interface de communication (par exemple, écran tactile), le système de

navigation automatique pourrait se charger de planifier une trajectoire sur une carte que le FRMI devra suivre pour arriver à destination (Oskoei & Hu, 2013; Zeng et al., 2008).

Puisqu'en mode automatique le FRMI pourrait être en mesure d'effectuer certaines commandes sans intervention humaine, les utilisateurs pourraient se passer de l'assistance d'un tiers. De fait, ce mode de navigation pourrait contribuer à rendre plus autonomes dans leurs déplacements certains utilisateurs atteints d'IMC présentant des incapacités motrices (Montesano et al., 2010). Les personnes âgées, présentant diverses déficiences suite au vieillissement, ainsi que les uFR ayant perdu l'usage de leurs membres supérieurs, pourraient voir leur mobilité s'améliorer grâce au système de navigation autonome offert par certains FRMIs (Gionata et al., 2014a; Oskoei & Hu, 2013).

Dans l'étude de Rushton et al. (2017), trois modes de conduite intelligente du FRMI (mode de correction de la vitesse, mode de correction de direction et de vitesse, mode de conduite automatique), étaient proposés aux uFRman ou de FRM (n=10), résidants dans des centres de soins de longue durée. Il leur était demandé d'utiliser le FRMI pour effectuer cinq scénarios de conduite tirés d'une série de trente tâches d'évaluation de conduite dans un environnement interne. Les scénarios consistaient, par exemple, à effectuer des manœuvres pour entrer dans un ascenseur, tourner à 180 degrés en sortant d'un ascenseur, se garer au bord d'une table, tourner à gauche et à droite à une intersection. Des entrevues, réalisées auprès des participants, ont révélé que le mode de conduite automatique pourrait favoriser leur implication dans la réalisation d'activités de participation sociale, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de leurs lieux de résidence (Rushton, Viswanathan, et al., 2017). Les activités pouvant avoir lieu à l'intérieur incluent, par exemple, rendre visite à des amis, aller à la cafétéria, se rendre à leurs séances d'exercice ou de physiothérapie, assister aux cours de musique, aller à la piscine, etc. Les activités d'extérieur rapportées étaient, par exemple : aller à la banque, rendre visite à la famille ou à des amis, aller faire des courses, se rendre à des rendez-vous (Rushton, Viswanathan, et al., 2017).

L'étude de Viswanathan et al. (2017), menée auprès d'une clientèle similaire, rapporte également le point de vue des utilisateurs quant à d'autres modes de navigations du FRMI. Les trois modes proposés étaient : le mode de sécurité de base, le mode de correction de la direction et le mode de conduite automatique. Après quelques séances d'entraînement, les

participants étaient invités à utiliser le FRMI proposé pour effectuer des tâches, telles qu'entrer et sortir d'un ascenseur, se garer entre deux chaises autour d'une table, stationner en arrière contre un mur, descendre dans un couloir en tournant à gauche et à droite à une intersection, effectuer des manœuvres à travers un parcours d'obstacles. Des entrevues semi-structurées, réalisées auprès des participants à l'étude, ont révélé que les modes de navigation proposés pourraient contribuer à accroître en eux le sentiment de bien-être, de fierté, de confiance et de sécurité (Viswanathan et al., 2017a).

Certaines fonctionnalités pourraient parfois être associées au mode de navigation automatique du FRMI. Il s'agit, d'une part, de la capacité à éviter les obstacles, qui pourrait contribuer à minimiser les risques d'accidents et de blessures, car elle pourrait permettre au FRMI de se déplacer en évitant les obstacles statiques et dynamiques rencontrés le long du trajet (Kairy et al., 2014; LoPresti et al., 2011; Ono et al., 2004b; Oskoei & Hu, 2013; Viswanathan et al., 2011; Wang, Gorski, et al., 2011; Wang, Korotchenko, et al., 2013).

D'autre part, la capacité à suivre une cible pourrait permettre, à l'utilisateur de FRMI, de suivre une personne, un groupe de personnes ou une cible, sans avoir à contrôler physiquement le FRMI. LoPresti et al. (2011) ont développé un système d'évitement de collisions pour FRM, le « *Drive Safe System-DSS* ». Le but visé par le système proposé est de protéger l'utilisateur de FRM contre toutes manœuvres pouvant présenter des risques d'accident. Il agit en annulant les manœuvres potentiellement dangereuses, grâce à un système d'évitement automatique de collision, de suivi automatique de mur ou de franchissement des portes. Dans cette étude, la performance du système proposé a été évaluée avec un FRM, se déplaçant sur une trajectoire rectiligne en avant et en arrière. Les résultats des tests, effectués dans un environnement interne contrôlé, ont démontré qu'en présence d'un obstacle, le DSS était en mesure de l'éviter, en suivant, sur une distance d'environ 15 cm, un mur de couloir, de ralentir et d'arrêter progressivement le FRM (LoPresti et al., 2011).

En plus d'avoir différents modes de navigation, la capacité du FRMI à détecter et à éviter les obstacles pourrait, de manière plus spécifique, présenter des avantages pour les potentiels utilisateurs ayant divers profils. Les prototypes de FRMIs dotés de cette capacité pourraient être équipés de capteurs (Boucher et al., 2013; Gao et al., 2008; Hua et al.,

2017b; Kairy et al., 2013; Poon et al., 2019; H. Wang, Xu, et al., 2013) et/ou de caméras (Kim, 2016; Ono et al., 2004b).

6.8.2.2 Détection et évitement d'obstacles

Cette section présente un aperçu des avantages que pourrait procurer la capacité du FRMI à détecter et à éviter les obstacles pour les utilisateurs présentant différentes sortes de déficience.

Pour les uFR présentant une déficience physique, la capacité du FRMI à détecter et à éviter les obstacles pourrait permettre, par exemple, aux personnes ayant perdu le contrôle moteur du bras, ou à celles présentant une limitation dans l'amplitude des mouvements du cou, d'effectuer des manœuvres de conduite en marche arrière de façon sécuritaire (Wang, Korotchenko, et al., 2013). En effet, au quotidien, les uFRMIs pourraient être amenés à effectuer des manœuvres de conduite en marche arrière. Cette tâche est parfois sollicitée pour effectuer des manœuvres de stationnement ou pour entrer dans un ascenseur (Kairy et al., 2014). Pour effectuer une telle manœuvre, l'utilisateur est amené à tourner la tête afin de s'assurer qu'il ne court pas le danger de heurter un obstacle. La capacité du FRMI à détecter et à éviter les obstacles préviendrait l'utilisateur d'un éventuel risque de collision et, en même temps, simplifierait l'exécution de la manœuvre.

Ainsi, les uFRM ayant des difficultés à utiliser ou à contrôler leurs membres supérieurs, et pouvant être exposés aux risques de collisions ou de chutes pendant la conduite, pourraient trouver, en la capacité de détection d'obstacle du FRMI, un moyen de prévention des accidents (Rushton, Viswanathan, et al., 2017).

Chez les personnes présentant des troubles visuels, la capacité de jugement et d'appréciation des distances, ainsi que de détection d'obstacles potentiels, peut être compromise. La capacité du FRMI à pouvoir détecter les obstacles pourrait leur être d'une grande importance, puisqu'elle pourrait contribuer à éviter des collisions et d'éventuels accidents au cours de leurs déplacements (Sharma et al., 2012; Wang, Korotchenko, et al., 2013).

Pour faciliter davantage la mobilité et l'orientation des personnes ayant une déficience visuelle, Sharma et al. (2012) ont proposé un système de prévention de collisions, le *DSS*.

Le système proposé pouvait combiner la capacité de détection d'obstacles à une canne blanche dans le but de prévenir les collisions pendant le déplacement en FR. Les participants à cette étude étaient des sujets sains ($n = 19$), non uFR, et portant un bandeau sur les yeux, pour simuler les caractéristiques des personnes malvoyantes. À la suite des séances d'entraînement, leur ayant permis de se familiariser aux différentes fonctionnalités du DSS et de la canne blanche, il leur était demandé, entre autres tâches, d'utiliser séparément, puis simultanément, le DSS et une canne blanche, pendant leur déplacement en FR, pour déterminer la position des obstacles rencontrés sur leur parcours, et pour arrêter le FR, respectivement. Les résultats ont démontré que le DSS pouvait contribuer à assurer une mobilité autonome et sécuritaire à la population visée, contrairement à une canne blanche, dont le champ de détection d'obstacles pouvait être limité (Sharma et al., 2012).

Toutefois, bien que la capacité du FRMI à pouvoir détecter et éviter les obstacles semble jouer un rôle important sur la sécurité des utilisateurs, les résultats de l'étude menée par Viswanathan et al. (2017) auprès de personnes âgées ($n=10$), ont révélé que cette capacité pourrait être davantage bénéfique aux personnes présentant une déficience visuelle, qu'à celles présentant une déficience cognitive sévère (Viswanathan et al., 2017a).

Les avis sont divergents quant à l'avantage que pourrait procurer la capacité du FRMI à détecter et à éviter les obstacles, particulièrement pour les personnes présentant une déficience cognitive. D'un côté, elle pourrait être bénéfique pour des personnes qui auraient de la difficulté à acquérir de nouvelles aptitudes de conduite (Wang, Korotchenko, et al., 2013). Cette fonction pourrait également contribuer à améliorer l'autonomie des aînés qui ne peuvent pas se servir d'un FRM (Viswanathan et al., 2012). D'un autre côté, certains aidants et prescripteurs estiment que cette fonction pourrait être inappropriée pour les personnes présentant une déficience cognitive sévère en raison de l'altération de leur capacité de jugement et d'interprétation des fonctionnalités d'un tel système (Wang, Korotchenko, et al., 2013).

Les résultats qui précèdent ont permis de mettre en lumière quelques technologies pouvant être rattachées au FRMI pour en améliorer le fonctionnement. Chaque technologie proposée tente de répondre aux besoins d'une clientèle spécifique. Ainsi, on pourrait dire qu'à chaque profil d'utilisateurs correspond une technologie spécifique. Cependant, bien

que les FRMIs proposés pourraient avoir un écho favorable auprès des utilisateurs cibles, il est possible que les technologies pouvant y être rattachées ne puissent pas toujours répondre à l'objectif visé, par défaut d'efficacité. Afin d'évaluer l'efficacité des technologies proposées, certaines études ont effectué des tests dans différents environnements. La section qui suit présente quelques exemples d'études menées en laboratoire ainsi qu'en milieu de vie réels.

6.9 Environnements de test

Cette section présente les environnements dans lesquels les FRMIs ont été utilisés dans différentes études pour effectuer des tests. Le cas échéant, une description des activités réalisées, par les participants pendant les tests, est faite. D'après le modèle théorique HAAT (Cook & Polgar, 2014) présenté dans la section méthodologie, le contexte d'utilisation du FRMI est illustré, dans le cadre de la présente étude, par les différents environnements de test. Certaines études ont effectué des tests dans des environnements contrôlés en laboratoire, d'autres en milieu de vie réels, en fonction de l'objectif visé par chaque étude.

L'étude de Ju et al. (2009) décrite précédemment a permis d'évaluer l'efficacité d'un système de reconnaissance faciale. Des tests ont été effectués en laboratoire, dans des environnements intérieurs et extérieurs, impliquant à la fois des sujets sains (n=17) et des sujets présentant des incapacités (n=17). La capacité du système proposé, à savoir de détecter les expressions faciales en fonction de la luminosité, a été évaluée dans deux circonstances distinctes : en journée (à la lumière du jour), et en soirée (une fois la nuit tombée). Les scénarios de tests prédéfinis étaient effectués dans les deux circonstances, et le temps mis pour accomplir les différentes tâches était noté pour fins de comparaison. Les résultats ont démontré que les tests effectués en journée dans un environnement interne ont nécessité un temps de réalisation plus court que ceux réalisés en soirée, dans un environnement externe (Ju et al., 2009b).

Pour évaluer le DSS, un système de prévention de collision, Sharma et al. (2012), ont effectué des tests dans un environnement interne contrôlé, en laboratoire. Le DSS développé est proposé pour assister les uFR présentant une déficience visuelle ou ayant une limitation dans l'amplitude des mouvements du cou, des déficiences qui pourraient par

exemple les empêcher de retourner la tête pour effectuer une manœuvre de marche arrière. Les participants (n=19) étaient des sujets sains, portant un bandeau sur les yeux, pour simuler la caractéristique principale de la population cible. Il leur était demandé de se déplacer en FR, et d'atteindre une destination, guidés uniquement par le son d'une musique, provenant d'un coin de la salle d'expérimentation. Pendant leur déplacement vers la destination, il leur était demandé d'utiliser, tour à tour, une canne blanche, le DSS, et ensuite, les deux simultanément, pour scanner l'environnement, dans le but de détecter et éviter d'éventuels obstacles présents sur le trajet. Les résultats des tests ont démontré que, contrairement à la canne blanche utilisée seule, le DSS pourrait contribuer à réduire significativement aussi bien le nombre de collisions que leur gravité (Sharma et al., 2012).

Kairy et al. (2014), ainsi que Rushton et al. (2015), quant à eux, ont rapporté une étude qui consistait à présenter aux participants, à travers une capsule vidéo, une démonstration des fonctionnalités intelligentes potentielles du FRMI et à recueillir, par la suite, leurs points de vue. Dans cette vidéo, le FRMI était utilisé en environnement réel dans un centre d'achat très fréquenté. Les fonctionnalités d'évitement d'obstacles du FRMI, de stationnement automatique et de suivi d'une cible, étaient présentées aux participants. Des entrevues semi-dirigées, menées auprès des participants à l'étude, ont révélé que le FRMI pourrait aider à surmonter certaines difficultés de conduite, rencontrées par certains uFRM, telles que circuler à travers la foule, effectuer des manœuvres de marche en arrière, contribuant ainsi à améliorer leur mobilité et à favoriser leur participation sociale (Rushton et al. 2015).

Les études de Rushton et al. (2017) et Viswanathan et al. (2017), décrites dans la section précédente, illustrent l'utilisation du FRMI dans un milieu de vie réel. Ces études ont été menées auprès d'aînés présentant des troubles cognitifs modérés à sévères et résidant dans des centres de soins de longue durée. Les participants (n=10) étaient invités à utiliser le FRMI pour effectuer, au quotidien, des activités significatives, se déroulant dans différents environnements au sein de leurs centres de résidence. Les activités réalisées avec le FRMI incluaient, par exemples, aller à la cafétéria, se rendre à la piscine, assister à des séances de physiothérapie et assister à des cours de musique (Rushton, Viswanathan, et al., 2017; Viswanathan et al., 2017a).

Enfin, dans une étude de cas menée par Schwesinger et al. (2017) un système de navigation pouvant permettre à un FRMI de circuler dans des environnements urbains est proposé. Le système proposé était basé sur un service de cartographie pouvant générer des cartes de repères à grande échelle, qui seraient ensuite utilisées pendant le déplacement. Des tests menés auprès d'un sujet sain ont permis de démontrer que, grâce au système proposé, le FRMI pouvait être en mesure de naviguer de façon complètement autonome, sur une distance d'environ 12 km (Schwesinger et al., 2017).

Ainsi, des études de FRMIs ont été menées en laboratoire et en milieux de vie réels, impliquant tout aussi bien des sujets sains que des uFR présentant diverses déficiences.

Toutefois, quel que soit le milieu dans lequel les prototypes de FRMI sont testés, il demeure pertinent de s'intéresser au point de vue des utilisateurs potentiels afin d'évaluer les performances de la technologie proposée. La section suivante s'attarde plus précisément sur le point de vue des utilisateurs au regard de l'utilisation d'un FRMI au quotidien.

6.10 La perspective des utilisateurs

La perspective des utilisateurs, telle que présentée dans cette section, reflète la perception des uFR, de leurs aidants et parfois, de certains cliniciens, quant à l'utilisation d'un FRMI. Les composantes clés du TAM, modèle théorique visant à prédire l'acceptation d'une technologie, ont servi à regrouper les opinions des utilisateurs, selon qu'ils perçoivent le FRMI comme étant une technologie utile ou facile à utiliser.

6.10.1 Utilité perçue du FRMI

En fonction du type de technologie intégrée et/ou des fonctionnalités intelligentes proposées, le FRMI pourrait être perçue comme étant utile ou non, par les utilisateurs.

Selon certains utilisateurs, la capacité du FRMI à détecter et à éviter les obstacles pourrait contribuer à réduire les risques de collision, de chute ou d'accidents parfois observés chez les uFRM (Kairy et al., 2014; Rushton, Viswanathan, et al., 2017; Torkia et al., 2015; R. H. Wang et al., 2011). Cette capacité est également perçue, par d'autres utilisateurs, comme étant essentielle (Rushton, Viswanathan, et al., 2017), étant donné le but visé, qui serait d'assurer un déplacement sécuritaire des utilisateurs (Wang, Korotchenko, et al., 2013).

L'utilité perçue de la capacité du FRMI à suivre un trajet ou une cible est, cependant, discutée. Alors que certains utilisateurs la perçoivent comme pouvant présenter un double avantage, d'autres estiment qu'elle ne leur serait pas nécessairement utile. D'une part, grâce à la capacité du FRMI à éviter les obstacles, l'utilisateur pourrait être épargné, non seulement d'effectuer une quelconque manœuvre de conduite pouvant lui porter préjudice, mais aussi, il pourrait être soulagé de la fatigue, qui s'installe parfois au bout d'une conduite prolongée chez certaines personnes (Rushton et al. 2015). Pour cause, une conduite prolongée pourrait nécessiter, de la part de l'utilisateur, une grande concentration, ce qui peut occasionner du stress ou de l'anxiété. En effet, l'effort de concentration fourni, par ce dernier pendant la conduite pour éviter les accidents, pourrait favoriser l'installation de la fatigue (Rushton, Viswanathan, et al., 2017). Selon certains auteurs (Viswanathan et al., 2017a), la capacité du FRMI à pouvoir détecter et éviter les obstacles pourrait s'avérer particulièrement bénéfique pour les personnes présentant des troubles cognitifs, parfois associés à une perte d'orientation, à une perte de mémoire, à une altération de l'attention, voire à de l'agitation. Selon les participants à l'étude de Rushton et al. (2015), la capacité du FRMI à détecter et éviter les obstacles pourrait offrir plus de flexibilité lors des déplacements et, par la même occasion, favoriser la socialisation. Par exemple, une fois mise en marche, l'utilisateur n'aura plus à focaliser son attention uniquement sur la conduite. Il pourrait profiter de son environnement pendant son déplacement (contempler le paysage autour de lui, regarder à travers les vitrines dans un centre d'achat), discuter librement avec la/les personne[s] qui l'accompagne[nt], et ce, sans avoir à se préoccuper du contrôle du FRMI (Rushton et al. 2015). Par ailleurs, l'impact potentiel que pourrait avoir le FRMI sur les autres a été mentionné. Par exemple, la capacité du FRMI à suivre un trajet ou une cible pourrait permettre d'éviter une certaine lassitude chez les proches-aidants, en allégeant, en partie, l'assistance continue qu'ils devraient apporter par leur présence auprès de l'utilisateur (Rushton et al. 2015).

D'autre part, une remarque fréquemment rapportée est le fait que certaines fonctionnalités intelligentes du FRMI ne soient pas toujours pertinentes pour tous et pour toutes. En effet, selon des participants à l'étude de Kairy et al. (2014), la capacité du FRMI à suivre un trajet ne serait pas nécessairement utile pour eux, car ils estiment pouvoir être capables d'exécuter cette tâche sans l'assistance intelligente offerte par le FRMI (Kairy et al., 2014).

Dans une étude menée auprès de 200 cliniciens visant, entre autres, à recueillir leur point de vue sur l'avantage que pourrait procurer un FRMI aux utilisateurs, ces derniers ont rapporté que les modes de navigation semi-automatique et automatique du FRMI pourraient être bénéfiques aux personnes qui éprouvent des difficultés à conduire leur FRM. Il a également été rapporté que le mode de navigation automatique pourrait être très utile dans certaines situations, notamment dans des situations d'extrême fatigue, voire dans une situation où la condition clinique de l'utilisateur venait à se détériorer (Fehr et al., 2000).

D'autres points de vue d'utilisateurs ont révélé que les modes de navigation semi-automatique et automatique pourraient faciliter l'exécution de certaines tâches couramment sollicitées au quotidien. Par exemple, des manœuvres de conduite en marche arrière (pour le stationnement ou pour entrer dans un ascenseur), pour se garer autour d'une table, ou pour circuler dans des espaces restreints (couloirs, les allées dans les magasins, etc.) ou encore, pour circuler à travers une foule ou bien des lieux de forte fréquentation (Kairy et al., 2014; Viswanathan et al., 2017a).

Grâce à ces fonctionnalités et des avantages qu'elles pourraient procurer, le FRMI est perçu, par certains utilisateurs présentant des troubles d'ordre neurologiques et musculo-squelettiques, comme pouvant améliorer leur mobilité (Kairy et al., 2014).

6.10.2 Facilité d'utilisation perçue du FRMI

Les participants à l'étude de Rabhi et al. (2013) ont rapporté qu'un *joystick* intelligent à écran tactile pourrait leur permettre d'accéder plus aisément aux différentes fonctionnalités d'un FRMI, car ils auraient besoin d'utiliser uniquement leur doigt pour manipuler l'écran tactile, fournissant ainsi un effort musculaire moins important pour conduire leur FRMI, comparativement à un *joystick* classique. Interrogés sur leur satisfaction, les participants à l'étude ont estimé qu'un tel dispositif leur serait très utile et pratique à 91% et 94% respectivement et 89% parmi eux seraient prêts à s'en servir à nouveau (Rabhi et al., 2013).

Par contre, l'étude de Zondervan et al. (2015) rapporte que certains uFR perçoivent une certaine complexité dans l'utilisation d'un FRMI, ce qui pourrait les empêcher de s'en servir (Zondervan et al., 2015).

De plus, certaines études ont aussi identifié des facteurs pouvant influencer négativement l'acceptation du FRMI (Kairy et al., 2014; Zondervan et al., 2015; Wang, Korotchenko, et al., 2013).

6.10.3 Facteurs pouvant influencer négativement l'acceptation du FRMI

La question de confiance a été identifiée comme facteur pouvant exercer une influence négative sur l'acceptation du FRMI (Kairy et al., 2014). À cet effet, certains utilisateurs ont évoqué de la méfiance à l'idée de céder le contrôle total de la conduite au FRMI, par exemple, en activant le mode de conduite automatique. Ils estiment qu'ils seraient plus à l'aise s'ils pouvaient avoir un minimum de contrôle du FR (Wang, Korotchenko, et al., 2013) et, par la même occasion, approuver, au préalable, toute action entreprise par le FRMI.

Dans le même ordre d'idées, d'autres préoccupations, d'ordre sécuritaire, ont été rapportées (Kairy et al., 2014; Zondervan et al., 2015). En l'occurrence, il s'agit de la capacité du FRMI à anticiper sur les actions des utilisateurs, cette dernière ne faisant pas toujours l'unanimité. Pour les-uns, la fonction de détection d'obstacles et de prévention de collisions pourrait conférer au FRMI un volet sécuritaire, tandis d'autres émettent des réserves. Par exemple, certains pensent qu'ils seraient plus en confiance d'avoir un système de détection d'obstacles s'ils sont avertis par un système d'alerte en cas de dysfonctionnement du FRMI (Kairy et al., 2014). D'autres utilisateurs ont exprimé leur inquiétude quant à la capacité du FRMI à considérer certaines caractéristiques environnementales, comme des obstacles à éviter. Notamment les vitrines, les escaliers, les trous /crevasses sur le trottoir, les objets de petite taille représentent des exemples d'obstacles potentiels qui pourraient passer inaperçus pour le FRMI, selon certains utilisateurs (Zondervan et al., 2015).

L'inhibition des capacités d'apprentissage des utilisateurs a également été identifiée comme un facteur pouvant limiter l'acceptation du FRMI (Viswanathan et al., 2017a). En effet, pour certaines personnes, utiliser les fonctionnalités intelligentes offertes par un FRMI pour effectuer des tâches qu'elles auraient été capables de faire en se servant de leurs fonctions résiduelles pourrait, d'une part, entraîner une perte progressive de leurs habiletés

fonctionnelles, et d'autre part, affecter négativement le développement des aptitudes motrices nécessaires à la conduite d'un FRM standard (Zondervan et al., 2015).

Enfin, le coût élevé associé à son acquisition pourrait aussi affecter l'acceptation d'un FRMI (Zondervan et al., 2015).

6.11 Discussion

À notre connaissance, et jusqu'à preuve du contraire, cet examen de la portée est le premier du genre qui s'intéresse à analyser la littérature afin de comprendre, entre autres, dans quelle mesure les FRMIs existants pourraient correspondre aux besoins réels des utilisateurs.

Les résultats qui précèdent indiquent qu'il pourrait être pertinent de tenir compte de la perception des utilisateurs quant à l'utilisation d'un FRMI, afin de perfectionner le développement d'une technologie qui corresponde à leurs besoins réels. D'une part, les avantages perçus ainsi que l'utilité que pourrait procurer une telle technologie pour l'accomplissement des activités significatives au quotidien ont été présentés. D'autre part, les utilisateurs ont exprimé des craintes spécifiques en lien avec leurs attentes en termes d'efficacité, de confiance et de sécurité. De même, les personnes qui possèdent un maximum d'autonomie en FR s'estiment capables de contrôler elles-mêmes leur conduite et n'ont besoin de recourir aux fonctionnalités intelligentes qu'en cas de fatigue, d'extrême urgence ou si leur condition venait à s'aggraver. Tandis que d'autres écrits rapportent que ces fonctions ne sont pas toujours adaptées à toutes sortes d'incapacités.

Dans la section qui suit seront analysés les avantages et les inconvénients des FRMIs, en fonction des résultats rapportés. Quelques suggestions pour pallier ces inconvénients sont proposées, le cas échéant.

6.11.1 Les modalités de contrôle du FRMI : Avantages, inconvénients et pistes de solution

Les modalités de contrôle intégrées aux FRMIs proposent des commandes via un écran tactile, par commande vocale, par reconnaissance faciale ou via des informations visuelles, présentant chacune des avantages et des inconvénients.

Contrôler un FRMI via un écran tactile pourrait certes contribuer à réduire l'effort musculaire requis pour la conduite, mais pourrait aussi représenter une source de distraction pour l'utilisateur. En effet, ce dernier pourrait, de façon inconsciente, être amené à fixer continuellement l'écran pendant la conduite, ce qui pourrait l'exposer à des risques de collision ou de chute. Dans le souci d'assurer la sécurité de l'utilisateur dans de telles circonstances, un dispositif de cadrage du positionnement de la main sur l'interface tactile pourrait limiter les circonstances de distraction. Par exemple, le dispositif proposé par Guedira et al. (2016) comporte des repères pouvant permettre à l'utilisateur de positionner convenablement ses doigts sur l'écran tactile, sans nécessairement avoir besoin de le fixer. Ainsi, celui-ci pourrait se déplacer plus aisément avec son FRMI, en se concentrant non pas sur l'écran tactile, mais sur la conduite et sur le trajet à parcourir. Les mêmes auteurs sont allés plus loin, en équipant le dispositif d'un système d'alerte sonore ou vibratoire, qui se déclencherait en cas de déviation des doigts de l'interface tactile, ce qui permettrait à l'utilisateur de s'ajuster (Guedira et al., 2016).

Une autre solution, pour pallier le risque d'accident, pourrait être de conduire le FRMI en mode automatique, lorsque l'utilisation de l'écran tactile est envisagée. En effet, tel que présenté dans certaines études (Boucher et al., 2013; Kairy et al., 2014), ce mode de conduite pourrait offrir la possibilité de détecter et d'éviter automatiquement des obstacles pendant le déplacement, contribuant ainsi à renforcer la sécurité de l'utilisateur.

Par ailleurs, certains utilisateurs, présentant une faiblesse musculaire importante, pourraient éprouver de la difficulté à maintenir de façon prolongée, sur l'écran tactile, la pression nécessaire pour que l'action du toucher puisse être détectée par le FRMI comme étant une commande à exécuter, tel que souligné par (Guedira et al., 2019b). Pour cette catégorie d'utilisateurs, de même que pour ceux présentant d'autres types de déficiences, d'autres modes de commande, telles que la commande vocale, la reconnaissance faciale ou la reconnaissance des gestes de la main, pourraient être préconisés.

La commande vocale pourrait être appropriée à un nombre élevé d'uFR, à l'instar des personnes présentant des incapacités physiques sévères, de type tétraplégie, ayant entraîné une perte du contrôle moteur de leurs membres, contribuant ainsi, à réduire l'effort physique requis pour conduire un FR (Simpson & Levine, 2002). Cependant, cette modalité

de contrôle pourrait aussi présenter des limites, telles que présentées précédemment. Le système de reconnaissance vocale proposé par (Pineau et al., 2010) pourrait représenter une alternative intéressante pour pallier à ces limites. L'effet escompté par ce système est celui d'assurer une certaine résistance aux interférences provenant de l'entourage de l'utilisateur, de manière à ce que le FRMI ne puisse capter que les commandes provenant de l'utilisateur seul. D'autres facteurs, tels que la lenteur du système de commande vocale, la fatigue que la commande pourrait engendrer chez certains utilisateurs, constituent également des limites associées à cette modalité (Guedira et al., 2016). L'enjeu de la prononciation de certains mots pourrait également avoir une influence sur une commande passée par l'utilisateur, et possiblement interférer sur l'action à exécuter. Par exemple, des homophones, tels que « *Write* » ou « *Right* » en anglais, dont la prononciation est semblable, pourraient apporter de la confusion sur l'action à exécuter (Malik et al., 2017). Dans ce cas, bien situer le contexte d'utilisation de chaque mot, ou même, donner davantage de précision sur une commande, pourrait contribuer à éliminer une telle confusion. Par exemple, « *Turn right* », au lieu de « *Right* ». Une autre incompatibilité, non des moindres, pourrait provenir de l'utilisation de la commande vocale dans des lieux publics silencieux, action pouvant représenter une gêne pour l'utilisateur, voire être mal perçu par d'autres usagers.

Une interface de commande multimodale pouvant combiner d'autres modalités de contrôle appropriées, telle que proposé par (Reis et al., 2015), pourrait représenter une alternative. En effet, une telle interface pourrait, par exemple, permettre, soit de privilégier une modalité de contrôle par rapport à une autre, en fonction des circonstances d'utilisation du FRMI, soit d'adapter l'interface de commande au profil de chaque utilisateur, tel que proposé dans l'étude de (Brígida et al., 2012).

Cependant, les inconvénients rapportés associés à l'utilisation de la commande vocale, soulèvent un questionnement, en lien avec le but visé par une technologie d'assistance, tel que défini dans le modèle théorique HAAT (Cook & Polgar, 2014). Tel que présenté dans le HAAT, le contexte est un facteur important à prendre en considération lors de l'utilisation d'une technologie d'assistance, le FRMI dans le cas présent. Et donc, le FRMI

devrait faciliter à son utilisateur la réalisation d'activités de participation sociale souhaitées indépendamment du contexte.

Pour un utilisateur chez qui la commande vocale est la modalité de contrôle la mieux adaptée, les limites d'une telle modalité de contrôle du FRMI pourrait entraver certains aspects de sa participation sociale. Cet utilisateur pourrait alors solliciter l'assistance d'un tiers, de qui il sera à nouveau dépendant pour l'accomplissement de certaines tâches ou activités. Et pourtant, l'un des buts visés par les FRMIs est de procurer aux utilisateurs le maximum d'autonomie possible. Tout ceci remet en question la valeur ajoutée que pourrait apporter un FRMI. En effet, quelle serait l'utilité d'une telle technologie si, malgré les différentes fonctionnalités intelligentes proposées pour améliorer la mobilité des utilisateurs, ces derniers, dans certaines circonstances, sont amenés à solliciter l'assistance d'un tiers ? Cette interrogation souligne la pertinence de considérer à la fois le profil clinique et les besoins des utilisateurs en termes de participation sociale lors de la conception, du développement ou de l'attribution d'un FR tel que suggéré par l'UCD, une approche de conception centrée sur l'utilisateur, où ce dernier sera au centre du développement du FRMI (Usability.gov. *Improving the User Experience*. Consulté le 8 mars 2021; <https://www.usability.gov/what-and-why/user-centered-design.html>). L'avantage que pourrait conférer cette approche serait d'obtenir, en fin de compte, un FRMI qui corresponde véritablement aux besoins de la clientèle pour qui il est développé.

Enfin, la reconnaissance des informations visuelles, telle la reconnaissance des gestes de la main, tout comme la reconnaissance faciale, a été présentée comme un autre moyen pouvant permettre de contrôler le FR par les personnes chez qui les modalités de contrôle précédents ne fonctionneraient pas. le principal avantage d'une telle modalité de contrôle est qu'il requiert, de la part de l'utilisateur, un effort minimal, puisque le seul effort requis serait, soit d'effectuer des gestes avec la main (Rabhi, Mrabet, & Fnaiech, 2018), soit d'incliner la tête ou d'effectuer des mouvements avec la bouche (Ju et al., 2009a), soit tout simplement, de laisser le FRMI capter et analyser certaines informations oculaires (Adachi et al., 1998; Pingali et al., 2014). Toutefois, la question suivante pourrait être posée : à quel point, peut s'étendre l'efficacité de telles modalités de contrôle, notamment, en ce qui concerne la précision dans l'interprétation des informations visuelles recueillies ? Par exemple, on pourrait se demander quelle serait l'influence de la luminosité sur la détection

et l'analyse des informations nécessaires pour le bon fonctionnement du FRMI. C'est d'ailleurs ce que semble suggérer les résultats de l'étude de (Ju et al., 2009b, 2009a). En effet, les résultats de cette étude montrent que le système semble être plus efficace lorsque les conditions de luminosité sont optimales.

Avec l'avancement des technologies, et compte tenu de la diversité ainsi que de la sévérité de certaines déficiences parfois observées chez les uFR, ces IHM représentent sans doute des technologies prometteuses, à perfectionner et à vulgariser, afin de faciliter l'usage du FRMI aux personnes présentant diverses incapacités.

Par ailleurs, l'ICM pourrait être une solution idoine pour faciliter le contrôle du FRMI pour les utilisateurs ayant perdu les aptitudes motrices de leurs membres. Toutefois, ce type d'interface demande que l'utilisateur présente un état émotionnel stable afin d'assurer un contrôle efficace, action qui demande une concentration conséquente, ce qui pourrait engendrer de la fatigue chez l'utilisateur. En plus de la concentration requise, le système est connu pour avoir un temps de réaction peu rapide (Guedira et al., 2016). Une autre limitation des ICM est en lien avec son utilisation dans des milieux de vie réels (en dehors du laboratoire). En effet, certains facteurs provenant de l'entourage de l'utilisateur, tels que les bruits soudains, des sons plus forts, ou encore, le changement de luminosité, pourrait causer des interférences, et exercer une influence sur la réponse attendue. De même, d'autres facteurs en lien avec l'utilisateur lui-même, tels que les contractions musculaires et le clignement des yeux, pourraient occasionner d'importants signaux d'électroencéphalographie (EEG) susceptibles de rendre la commande difficile à filtrer. Il serait donc important d'en tenir compte, dans les futurs développements des FRMIs.

6.11.2 Alternatives pour renforcer la sécurité des uFRMI

Bien que les FRMIs pourraient offrir la possibilité de se déplacer de façon automatique, sans l'intervention de l'utilisateur, cette possibilité pourrait, tout de même, créer de la méfiance chez certains utilisateurs. Ces derniers pourraient se sentir en insécurité face à l'idée de céder le contrôle total de la conduite au FRMI, par exemple pour planifier un trajet. Ceci renforce l'idée de développer un système de commande collaboratif tel que suggéré dans l'étude de (Wang, Mihailidis, et al., 2011), où le contrôle pourrait être partagé entre l'utilisateur et le FRMI.

La capacité de détection et d'évitement d'obstacles, quant à elle, pourrait être utile à une gamme variée d'utilisateurs. Par exemple, les uFR présentant, soit une altération de leurs capacités cognitives, soit une capacité limitée à tourner la tête pour effectuer une manœuvre de conduite en marche arrière, soit une déficience visuelle, pourraient trouver un intérêt particulier en cette fonctionnalité. Grâce à la capacité à prévenir les accidents pouvant survenir pendant les manœuvres de conduite, cette fonction pourrait également contribuer à assurer la sécurité des utilisateurs. Toutefois, même si elle est perçue comme utile, il n'en demeure pas moins qu'elle pourrait présenter des limites. Une limite, que l'on pourrait souligner, est la (possible) défaillance de la fonction où la sécurité des usagers ne serait plus garantie. Une solution à envisager, dans ce type de situation, serait d'équiper le FRMI d'un système d'alerte qui émettrait un signal (visuel, sonore ou autre) pour prévenir l'utilisateur dans le cas d'un éventuel dysfonctionnement. À cet effet, des participants à l'étude de (Kairy et al., 2013) ont mentionné qu'un tel dispositif contribuerait à renforcer leur sécurité, car ils auraient plus d'assurance avec le FRMI.

Pour les personnes ayant de la difficulté à effectuer une marche arrière (pour le stationnement, l'entrée dans un ascenseur, etc.), une proposition visant à renforcer la capacité à détecter et à éviter les obstacles, pourrait être d'équiper le FRMI d'une caméra de recul, ou d'un système de détection d'angles morts comme dans certains véhicules. En dehors de la caméra, la présence de capteurs pourrait également renforcer la sécurité des utilisateurs pendant les manœuvres et pourrait accroître leur confiance envers le FRMI. Cette option commence à être explorée, par des développeurs de la technologie *Braze Mobility*, qui proposent des systèmes de détection d'angles morts pour FRs, afin de s'assurer de la sécurité des utilisateurs et d'accroître leur confiance pendant les déplacements. Les dispositifs de sécurité proposés par *Braze Mobility* pourraient détecter systématiquement les obstacles et avertir la personne en FR par des alertes, dans le but de l'aider à prévenir d'éventuelles collisions (*Braze Mobility*. Consulté le 5 mai 2021. *Blind Spot Sensors for Wheelchairs*. <https://brazemobility.com/>).

Somme toute, le FRMI pourrait procurer de l'autonomie, faciliter la mobilité et favoriser la participation sociale des utilisateurs, notamment le fait de pouvoir prendre part aux activités qui se déroulent au sein de leurs communautés (Viswanathan et al., 2017a). En effet, les fonctionnalités intelligentes du FRMI pourraient permettre de combler certains

besoins des uFRM en matière de mobilité et de participation sociale. La capacité à éviter les obstacles lui attribuerait un volet sécuritaire, tandis que la capacité à suivre une cible ou un trajet prédéterminé procurerait, dans une certaine mesure, une bonne autonomie. En outre, l'association de ces deux fonctionnalités pourrait offrir, à l'utilisateur, plus de flexibilité dans ses déplacements.

6.11.3 Profil des participants et implication pour la recherche

Le profil clinique des participants ayant été impliqués dans les études sur le FRMI est assez représentatif de la clientèle cible pour qui le FRMI est développé. Les participants présentaient des déficiences d'ordre physique, cognitif et sensoriel, et possédaient, parfois, une certaine expérience d'utilisation de FRM. Impliquer des personnes représentant un spectre de différentes incapacités pourrait permettre d'évaluer l'adéquation des modes de fonctionnement (modalités de contrôle, modes de navigation) du FRMI par rapport aux besoins spécifiques des utilisateurs.

Il est important, de continuer à impliquer les utilisateurs cibles dans le développement des FRMIs. En effet, impliquer ces utilisateurs serait essentiel afin de pouvoir, de façon adéquate, documenter leurs performances et aptitudes à se servir du FRMI en fonction de leurs capacités respectives. Puisque les utilisateurs se serviraient du FRMI pour accomplir des activités significatives, il serait également possible, à l'issue des tests, d'identifier leurs besoins réels en termes de mobilité et de participation sociale. Ainsi, on pourrait en tenir compte, dans le processus continu de développement de la technologie pour, par exemple, raffiner ou adapter les différentes interfaces de commande ou modes de fonctionnement selon les besoins des utilisateurs. Une telle démarche, dans laquelle les besoins des utilisateurs servent à orienter le développement d'une technologie, fait appel à une approche de conception centrée sur l'utilisateur, tel que présenté précédemment. Cette approche pourrait permettre d'avoir des implications directes sur les résultats d'une recherche, à savoir, développer un FRMI utile pour les utilisateurs cibles, et qui réponde à des besoins spécifiques exprimés par ces derniers.

Impliquer des sujets sains pourrait refléter le point de vue d'utilisateurs novices pouvant apporter de nouvelles informations pertinentes, exemptes de tout biais de jugement ou de perception, en vue d'améliorer le développement du FRMI. L'implication de sujets sains

pour évaluer l'efficacité de certaines technologies intégrées au FRMI pourrait aussi offrir, la possibilité de recruter un nombre important de participants, tel que dans l'étude de (Sharma et al., 2012). Ceci permettrait de tester, dans un premier temps, les technologies proposées avant de soumettre les utilisateurs réels. Dans certaines circonstances, le processus de recrutement des utilisateurs réels, pour prendre part à des études, est parfois long, en raison des difficultés rencontrées pour les contacter, ou encore, à cause des troubles de mobilité pouvant limiter leurs capacités à se déplacer vers les centres de recherches. Par conséquent, faire appel aux sujets sains pourrait permettre d'obtenir une rétroaction plus rapide en vue d'améliorer le développement d'une technologie (Zeng et al., 2009). Cependant, il demeure important d'inclure les utilisateurs réels dans les études, d'autant plus que leur point de vue est essentiel, pour s'assurer de développer une technologie (le FRMI), qui soit à la hauteur de leurs attentes.

6.11.4 Environnements de test et implication pour la recherche

Dans les études recensées, la plupart des tests étaient réalisés en laboratoire et quelques-uns en milieux naturels (environnements de vie réels). Dans les deux cas, la finalité est non seulement d'évaluer les fonctionnalités des FRMIs, mais également de recueillir des informations sur une éventuelle utilisation en contexte réel afin de pouvoir contribuer à améliorer son fonctionnement.

En laboratoire, des dispositifs sont aménagés pour reproduire des situations de vie réelle suivant des scénarios représentatifs des activités de la vie quotidienne. Des tâches représentant des environnements internes (franchir les portes, emprunter un ascenseur, effectuer différentes manœuvres avec le FR, etc.) et externes (chaussée, trottoir, surfaces instables, différents types de revêtement du sol, obstacles à éviter, etc.) peuvent être exécutées. Les tests en laboratoire peuvent être réalisés en prélude à des tests en milieux écologiques. Ils serviront alors à déceler d'éventuels défauts ou dysfonctionnement, de les corriger et de raffiner le prototype. Un avantage que l'on pourrait tirer des tests effectués en laboratoire est le fait que tout se déroule dans un environnement contrôlé. Ainsi, la sécurité des participants serait assurée, car les risques d'accidents sont minimisés. L'environnement de laboratoire pourrait aussi permettre de recueillir des données sur la

performance avec le FRMI, qui ne seraient pas nécessairement possibles dans un milieu moins contrôlé.

Cependant, réaliser les tests avec le FRMI en milieux écologiques pourrait être le meilleur moyen d'évaluer son efficacité réelle, c'est-à-dire d'évaluer si le FRMI permet à l'utilisateur d'atteindre l'objectif voulu. L'étude de Faria et al. (2013) suggère, à cet effet, que le FRMI serait plus facile à utiliser lors des tests effectués en environnement réel, qu'en laboratoire, dans un environnement simulé (Faria et al., 2013).

6.11.5 Acceptation du FRMI par les utilisateurs

Différents facteurs pourraient influencer l'acceptation des FRMIs, ainsi que leur utilisation éventuelle, tel que présenté dans le modèle théorique d'acceptation de la technologie (Lai, 2017). Le TAM, tel que décrit précédemment, pourrait servir à encadrer les futurs développements des FRMIs afin d'assurer leur acceptation.

La question de confiance, envers certaines technologies, ou fonctionnalités proposées du FRMI, telles que la capacité à éviter les obstacles, la capacité à suivre une cible / un trajet, représente un facteur susceptible d'exercer une influence négative sur l'acceptation d'un FRMI. L'installation sur tous les FRMIs, de capteurs de haute précision, tels que les capteurs Lidar (Vanessa Marrazi 4 Août 2019. Qu'est-ce que la technologie LiDAR ? Le Blog génération robots. <https://blog.generationrobots.com/fr/qu-est-ce-que-la-technologie-lidar/>), avec un champ détection assez large, pourrait constituer une piste de solution, afin d'augmenter la confiance et la sécurité des utilisateurs. D'ailleurs, Wang et al. (2011) ont suggéré d'envisager un FRMI dont la capacité à détecter les obstacles serait davantage fiable. L'idée serait que les capteurs installés au FRMI puissent détecter, de manière fiable, tous les obstacles potentiels, de taille et de grosseur variable, du sol jusqu'à hauteur de la tête du conducteur (Wang, Gorski, et al., 2011). Toutefois, la fiabilité du volet sécuritaire, attribuée à ces fonctionnalités du FRMI, est tout de même remise en question. On touche ici à une question éthique, voire philosophique : est-ce que l'humain doit toujours contrôler la machine ou la machine peut-elle anticiper les désirs/besoins des êtres humains au point que ceux-ci se confient entièrement à elle, sans contrôle ? La pertinence d'un tel questionnement n'est pas à ignorer, dans le contexte où le développement de l'intelligence

artificielle évolue rapidement. Des débats autour des voitures intelligentes, pouvant anticiper sur les actions de l'automobiliste, ont et continuent d'alimenter les esprits (Fleetwood, 2017; Nyholm, 2016).

Pour répondre aux besoins exprimés par les utilisateurs potentiels, quant à la possibilité de pouvoir décider, en toute liberté de conscience, quel mode de fonctionnement choisir tel que rapporté par les participants à l'étude de Kairy et al. (2014), un système de commande collaboratif, pourrait être une solution pertinente. Cette idée est également mentionnée dans d'autres études (Ghorbel et al., 2018; Zeng et al., 2008).

Certains auteurs, à l'instar de Reis et al. (2010), ont souligné la pertinence de considérer une interface de contrôle multimodale. Une telle interface combine à la fois différentes modalités de contrôle et pourrait permettre aux différentes catégories d'utilisateurs de se servir d'un FRMI sans qu'il ne soit personnalisé (Reis et al., 2010). En effet, selon certains utilisateurs, une interface multimodale serait un moyen très pratique pour contrôler et conduire un FRMI (Faria et al., 2013).

En appliquant les critères d'utilité perçue et de facilité d'utilisation perçue du modèle théorique TAM, le FRMI devrait permettre à l'utilisateur de gérer ses activités de la vie quotidienne, de manière plus simple et de pouvoir accéder à des activités plus diverses, qui lui sont significatives, qu'avec un FRM. Ceci implique une facilité d'accès aux fonctionnalités, y compris une facilité d'apprentissage de son utilisation (entraînement), la clarté des commandes de navigation ainsi qu'une aisance d'interaction entre l'interface de communication et son utilisateur (l'ergonomie). Un cas de figure concret servira à mieux illustrer la pertinence de ces deux critères (utilité et facilité d'utilisation perçues) dans la pratique. En effet, un uFRM pourrait être contraint de limiter sa fréquence de sorties et de participation. Pour cause, la conduite du FRM demande beaucoup de concentration et d'attention à la fois pour éviter les obstacles potentiels pendant le déplacement, ainsi minimiser les risques d'accidents de conduite. Ce genre de situation pourrait être surmontée en utilisant un FRMI. Dans ce cas particulier, certaines fonctionnalités intelligentes du FRMI, jugées essentielles par des uFRM, pourraient offrir la possibilité, non seulement de se déplacer de façon sécuritaire et autonome, mais aussi d'accéder à une gamme variée d'activités de participation. Il s'agit, en l'occurrence, de la capacité à détecter et à éviter

les obstacles du FRMI qui, une fois activée suivant un principe de commande simple et adapté au profil clinique de l'utilisateur, pourrait contribuer à réduire les risques de chute et d'accident (Kairy et al., 2014; Rushton, Viswanathan, et al., 2017; Torkia et al., 2015).

La remarque selon laquelle certaines fonctionnalités du FRMI pourraient ne pas être toujours adaptées aux différentes conditions des utilisateurs rappelle une fois de plus, l'importance d'impliquer les utilisateurs dans toutes les phases de développement du FRMI, tel que proposé par le UCD.

Dans le cadre du développement des FRMIs, tel qu'identifié dans cette revue, peu d'études retrouvées dans la littérature tiennent compte des besoins des utilisateurs dans le processus de conception et de développement des FRMIs. Quelques-unes, lorsque c'est le cas, impliquent parfois les utilisateurs réels, généralement à la phase d'évaluation, où les utilisateurs sont soumis à l'usage des prototypes dans des contextes à but expérimental (Montesano et al., 2010; Rabhi, Mrabet, Fnaiech, et al., 2018; Rushton, Viswanathan, et al., 2017; Viswanathan et al., 2017b). Il serait souhaitable, dans la mesure du possible, de les impliquer plus en amont (phases d'analyse et de conception), afin de garantir une technologie (FRMI) qui soit développée pour servir efficacement les utilisateurs finaux.

Concernant le coût élevé associé à l'acquisition d'un FRMI, son acceptation pourrait être influencée par les politiques de santé en vigueur, pouvant être considérées comme des « conditions facilitatrices » en faveur de l'acquisition ou non d'un FRMI, selon le cas. En effet, le fait que ces politiques facilitent ou non le processus d'attribution d'un tel équipement (FRMI), ou même le fait que le coût d'acquisition d'un FRMI soit abordable pour les personnes qui en ont besoin, ou encore que les frais soient pris en charge ou non par le système d'assurance maladie, voire par les assurances privées, pourrait influencer positivement ou négativement l'acceptation du FRMI.

En résumé, les études identifiées dans la littérature rapportent, pour la plupart, des expériences avec le FRMI, en phase d'évaluation. La plupart de celles-ci présentent des utilisateurs qui prennent part à l'évaluation des prototypes de FRMI en les utilisant, soit en laboratoire, soit en milieux réels. À la fin de ces expérimentations, leur point de vue est souvent recueilli à travers des entrevues semi-dirigées. Certaines de ces études ont permis, grâce à cette démarche impliquant les utilisateurs, d'identifier les modifications à apporter

aux prototypes de FRMI, ce qui a conduit à l'amélioration des prototypes ou au développement des technologies en essayant de répondre au mieux aux besoins des utilisateurs (Guedira et al., 2019a, 2016; Kairy et al., 2013, 2014). Cependant, il aurait également été pertinent d'inclure des utilisateurs dans les phases antérieures afin de développer des prototypes qui tiennent compte, non seulement des expériences et/ou point de vue des ingénieurs, des chercheurs ou des développeurs, qui pourraient ne pas être sensibilisés parfois à la réalité vécue des utilisateurs finaux.

6.12 Limites et recommandations

Cette section rapporte, dans un premier temps, les limites de la littérature sur le développement des FRMIs. Dans un deuxième temps, elle propose des recommandations sur la base des limites identifiées.

6.12.1 Limites identifiées dans la littérature

Même si le point de vue des uFRM, par rapport à l'utilisation potentielle d'un FRMI, est rapporté dans la littérature recensée, celui des proches-aidants semble être peu rapporté dans la littérature.

De même, il ressort que très peu d'études ont été menées en milieux écologiques avec des utilisateurs finaux des FRMIs pour accomplir des activités significatives, ce qui limite la généralisation des résultats uniquement à certains milieux et à certaines activités.

De plus, peu d'études se sont intéressées à développer un FRMI doté d'une interface de commande multimodale ou d'un système de contrôle collaboratif pour tenter de répondre aux différents besoins des différents utilisateurs.

Enfin, on peut noter l'absence de différents types de devis d'études pour explorer l'efficacité des FRMI pour améliorer la mobilité, la sécurité et le niveau d'autonomie, telles que des études pouvant démontrer l'efficacité des FRMIs.

6.12.2 Recommandations préliminaires

Afin d'orienter de futures études sur le développement des FRMIs, qui est un processus continu, l'accent pourrait être mis sur les points suivant pour améliorer la technologie :

1. Développer un système de contrôle collaboratif pouvant permettre un contrôle partagé des commandes, entre l'utilisateur et le FRMI. Un tel système donnerait la possibilité, à l'utilisateur, de sélectionner une fonctionnalité de son choix, en fonction de ses besoins.
2. Développer une interface de commande multimodale compatible à différents types d'incapacités. En effet, l'idée serait de rendre le FRMI accessible à tous, en offrant, sur une même interface, plusieurs moyens de le contrôler.
3. Impliquer les utilisateurs potentiels de FRMI, dans toutes les phases du processus de développement des FRMIs. Ceci implique de prendre en considération, dès la phase de conception, leurs besoins en termes de mobilité, de participation sociale, par exemple, afin de développer un FRMI qui réponde mieux à leurs attentes.
4. Impliquer les proches-aidants dans les études impliquant les utilisateurs potentiels de FRMI. Le point de vue des proches-aidants pourrait être très pertinent et pourrait contribuer à guider le développement des FRMIs. En effet, ces derniers sont bien placés pour apporter davantage de précisions sur les besoins des utilisateurs, qui seraient, pour certains, dépendants de leurs assistances.
5. Effectuer les tests avec des utilisateurs réels / cibles en milieux écologiques. Cette phase permettrait de mieux évaluer le fonctionnement du FRMI, dans diverses situations et différents contextes de la vie réelle, pendant l'accomplissement des activités quotidiennes. Elle pourrait également permettre d'identifier d'éventuelles modifications à apporter au prototype de FRMI afin qu'il puisse répondre aux besoins des utilisateurs.
6. Développer une interface de commande de FRMI appropriée pour les personnes présentant une déficience visuelle. Le but visé serait d'améliorer l'autonomie et de renforcer la sécurité de cette catégorie d'utilisateurs, qui se serviraient d'un FRMI.
7. Effectuer des études expérimentales, telles que des études randomisées, en impliquant des participants présentant différentes incapacités, afin d'évaluer l'efficacité des FRMIs, par rapport au FRM.

6.13 Forces et Limites de l'étude

Cette étude comporte des forces, mais aussi, certaines limites.

6.13.1 Forces de l'étude

Afin d'assurer la rigueur scientifique, cet examen de la portée a été réalisé suivant le cadre méthodologique proposé par le Joanna Briggs Institute (Peters et al., 2017), et le rapport basé sur les recommandations contenues dans la grille « *Preferred reported Items for Systematic review and Meta-Analysis – Extension for scoping reviews* » (Tricco et al., 2018). Cette étude a connu la participation d'une équipe multidisciplinaire, composée d'experts en ingénierie robotique et en réadaptation. En effet, les résultats de l'étude ont été partagés et analysés par les membres de de cette équipe, qui travaille sur le développement d'un FRMI.

6.13.2 Limites de l'étude

- L'absence d'une évaluation de la qualité méthodologique des études retenues dans la revue pourrait soulever des questionnements quant à leur pertinence. Par contre, dans le cadre d'une revue de la portée, l'objectif principal est d'explorer la littérature afin de documenter, de façon générale, ce qui est fait dans un domaine de recherche. Ainsi, une évaluation de la qualité méthodologique des études incluses semble moins essentielle à ce stade.
- Certaines études auraient peut-être échappé à la sélection des études pertinentes, à cause du fait qu'il n'existe pas une terminologie standardisée pour les FRMIs. Toutefois, le fait d'avoir bénéficié de l'assistance d'une bibliothécaire spécialisée en sciences de la santé, au cours de la phase de recherche bibliographique, a certainement contribué à réduire cet impact.
- Avec l'évolution rapide des technologies, certaines technologies, en cours de développement, n'ont peut-être pas pu être identifiées, car n'ayant pas encore fait l'objet d'une publication.

6.14 Conclusion

Cet examen de la portée permet d'avoir un aperçu sur les aspects cliniques des études portant sur le développement des FRMIs. Les résultats obtenus suggèrent que les différentes IHM et ICM identifiés dans la littérature sont des modalités de contrôle des FRMIs pouvant répondre à certains besoins d'une population présentant différentes sortes

d'incapacités. En plus de ces modalités de contrôle, les différents modes de fonctionnement proposés pourraient contribuer à améliorer la mobilité, procurer de l'autonomie et favoriser la participation sociale de certains utilisateurs présentant des profils cliniques variés. Cependant, le point de vue des potentiels bénéficiaires du FRMI impliqués dans les études a permis de mettre en évidence des facteurs pouvant exercer une influence sur l'acceptation d'une telle technologie. Ainsi, certains utilisateurs ont exprimé le souhait d'avoir, sur leur FRMI, certaines fonctions qui seraient plus adaptées à leurs conditions. Enfin, la littérature révèle, d'une part, que plusieurs études ont été menées en laboratoire avec des sujets sains et quelques fois des personnes présentant des déficiences physiques, cognitives ou sensorielles d'autre part, elle indique que très peu d'études ont été menées en milieux écologiques, impliquant les utilisateurs réels.

Ces résultats soulignent l'importance de mener de futures études en milieux écologiques avec des utilisateurs réels utilisant le FRMI pour accomplir des activités significatives. Leur point de vue pourrait permettre d'améliorer le développement des FRMIs afin de développer une technologie qui puisse répondre le mieux à leurs besoins.

6.15 Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt.

6.16 Remerciements

Nous tenions à adresser nos chaleureux et sincères remerciements à :

Myrian Grondin, bibliothécaire universitaire spécialisée en sciences de la santé, qui nous a guidés et assistés pendant la phase de recherche documentaire.

Anne-Marie Hébert, PhD. ès ergonomie, professionnelle de recherche à l'Université de Montréal, pour son expertise en recherche sur le développement des FRMIs.

Chapitre 7 : **RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES**

Ce chapitre présente les résultats de l'objectif secondaire, à savoir l'identification d'autres technologies intelligentes pouvant contribuer à bonifier certaines fonctionnalités du FRMI afin de procurer davantage d'autonomie aux utilisateurs, ou encore pour améliorer leur confort. Dans ce chapitre, sont également présentés les usages possibles du FRMI, notamment en clinique. Les études présentées ont été sélectionnées en raison de certains résultats jugés pertinents, et n'ayant pu être mentionnés au chapitre précédent, n'étant pas directement en lien avec les objectifs de l'examen de la portée.

7.1 Autres technologies

Cette section présente un aperçu non-exhaustif de quelques technologies intelligentes, développées afin d'améliorer le confort des uFR, leur procurer plus d'autonomie et faciliter l'exécution de certaines tâches.

7.1.1 Assistance par bras robotisé pour fauteuil roulant

L'étude d'Abdullah et al. (2018) propose deux accessoires amovibles, des bras robotisés, pouvant être fixés au FR, pour assister l'utilisateur pour l'ouverture des portes. Le premier est un bras droit, muni d'une roue, tandis que le second bras, en forme d'arc, est muni de plusieurs roues. Ces deux accessoires sont proposés pour pousser des portes depuis un FR, afin de les ouvrir. Des tests de simulation réalisés avec chacun des bras proposés auraient démontré que le bras en forme d'arc a une meilleure capacité à pousser les portes, en termes de rapidité dans l'exécution de la tâche. De plus, la force requise est réduite de moitié en comparaison de l'accessoire en forme de bras droit (Abdullah & Mohammed, 2018).

Huang et al. (2019), quant à eux, présentent un bras robotisé intelligent, développé pour assister les uFR dans des tâches d'auto-alimentation, notamment dans l'action boire. Le bras robotisé proposé fonctionne à l'aide des signaux d'électro-oculogramme (EOG), une technique utilisée pour mesurer le potentiel de repos de la rétine. Le système d'EOG pourrait analyser et traiter des mouvements oculaires, tels que le clignement des paupières et le haussement des sourcils, les convertir en commandes, afin de contrôler aussi bien le

FRMI que le bras robotisé, à travers une IHM. Dix participants ont pris part à cette étude, parmi lesquels on retrouve cinq sujets sains et cinq patients présentant des lésions médullaires graves. Ils ont été soumis à un ensemble de trois tests, constitués chacun d'une série de plusieurs essais, réalisés dans un environnement de laboratoire, simulant certaines conditions de la vie réelle. Les tests consistaient respectivement à : (a) évaluer la performance du système d'EOG, (b) simuler une action habituellement exécutée au quotidien (se déplacer vers une table avec le FRMI, tout en évitant les obstacles, attraper une bouteille à l'aide du bras robotisé, boire son contenu à l'aide d'une paille, et enfin redéposer la bouteille sur la table après avoir bu), (c) et évaluer la précision avec laquelle le système d'EOG analyse les signaux correspondant aux différents mouvements oculaires. Les résultats des tests ont démontré qu'une IHM, basée sur les signaux EOG, pourrait permettre de contrôler efficacement un FRMI, ainsi qu'un bras robotisé, pour assister les uFR dans l'action de boire (Huang et al., 2019).

7.1.2 Coussins intelligents pour les uFR

Des systèmes de détection des zones de pression en vue de la prévention de l'apparition de plaies de pression chez les uFR sont proposés dans la littérature (Ahmad et al., 2019; Ma et al., 2017; Tavares et al., 2020). Par exemple, dans leur étude, Ahmad et al. (2019) ont proposé un coussin intelligent pour FRMI, pouvant mesurer la pression exercée sur une surface assise. Le coussin était équipé de capteurs de pressions imprimés afin de détecter les différentes postures d'une personne en FR. Afin d'évaluer l'efficacité des capteurs proposés, des tests de stabilité, de répétitivité, de dérive et de flexion ont été réalisés dans différentes conditions environnementales pour mesurer les variations de pression durant différentes postures assises. Les résultats ont révélé que les capteurs pouvaient permettre de détecter, avec un niveau de précision élevé (80%), la répartition de la pression durant différentes postures assises. Selon les auteurs, un tel coussin pourrait contribuer à la prévention de l'apparition de plaies de pression chez les uFR (Ahmad et al., 2019).

7.1.3 Technologie pour faciliter le transfert du FRMI vers une automobile

L'étude de Gao et al. (2008) présente un système automatisé pouvant permettre à un uFRMI conducteur d'automobile de se passer de l'aide d'un accompagnateur pour effectuer le transfert du FRMI à bord de son véhicule, et pour ranger son FRMI dans le

coffre du véhicule, une fois installé au volant. Le défi principal du système proposé était de pouvoir commander à distance le FRMI, afin de le fixer, de manière automatique, à une plateforme élévatrice, située à l'arrière du véhicule. La prochaine étape consistait alors à contrôler la plateforme afin de faire entrer le FRMI dans le coffre du véhicule. L'efficacité du système proposé a été évaluée par des utilisateurs potentiels, dans différentes conditions, dans des environnements opérationnels intérieurs et extérieurs. Des tests de fiabilité, effectués pendant deux jours dans des environnements extérieurs ont démontré un niveau de fiabilité très élevé du système proposé, de l'ordre de 97% (Gao et al., 2008).

7.2 Autre usage du FRMI

7.2.1 Le FRMI utilisé comme outil d'entraînement à la conduite de FRM

Selon certaines études, le FRMI pourrait servir de modalité d'entraînement à la conduite d'un FRM (McGarry et al., 2012; Nisbet et al., 1996; Zondervan et al., 2015). L'étude de Mc Garry et al. (2012) présente une étude de cas multiple où un FRMI était utilisé pour entraîner séparément quatre enfants atteints d'IMC à la conduite d'un FRM. Présentant des troubles moteurs ainsi qu'une déficience cognitive modérée à sévère, ils étaient initialement déclarés inéligibles à l'utilisation d'un FRM. Durant 8 semaines, ces enfants étaient soumis à un programme d'entraînement à la conduite du FRMI. Le programme consistait en deux séances d'entraînement par semaine, d'une durée d'une heure chacune, visant à encourager les aptitudes de conduite des participants. Les paramètres de conduite et d'apprentissage pouvaient être ajustés en fonction de l'évolution des aptitudes des participants à l'étude. Ainsi, les paramètres suivants pouvaient être activés l'un après l'autre : « suivre une ligne », « détection d'obstacle » et « conduite sans détection d'obstacles ». Les séances d'entraînement, menées durant les quatre premières semaines du programme, se sont déroulées dans une grande salle, représentant l'environnement de test. Par la suite, les séances se sont déroulées dans un environnement plus opérationnel, notamment dans une école, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Des données quantitatives et qualitatives recueillies à la fin du programme suggèrent que le FRMI pourrait contribuer à faciliter l'apprentissage de la conduite d'un FRM, améliorer le niveau d'autonomie au cours du déplacement en FRM, et contribuer à développer des habiletés de conduite chez les enfants IMC qui utilisent un FRM.

7.2.2 Dispositif d'entraînement intelligent

Zondervan et al. (2015) ont développé le « *Kinect-Wheelchair Interface Controlled (KWIC)* », un dispositif d'entraînement intelligent muni d'une interface d'apprentissage pouvant transformer un FRman en un FRM. Le but visé par ce dispositif est de faciliter, à la fois aux thérapeutes et aux patients, les activités d'entraînement à la conduite du FR. Afin d'évaluer l'efficacité de la nouvelle interface d'apprentissage proposée, par rapport à un FR de démonstration classique, une étude de faisabilité a été conduite sur un an, au sein d'une clinique de réadaptation, auprès d'enfants atteints de la paralysie cérébrale (n=8), et

de 8 ergothérapeutes. Sous la supervision des thérapeutes, les enfants étaient soumis, avec leurs FRs respectifs, à des activités d'entraînement à la conduite du FR. Deux modes d'entraînement étaient proposés. Le premier mode, qui offrait un jeu vidéo stationnaire pouvant être projeté sur un écran mural ou sur une table, pouvait permettre aux apprenants de conduire leurs FRs dans un environnement réel, en les faisant pivoter sur place pour contrôler le jeu. Le second mode pouvait offrir aux thérapeutes la possibilité de guider les apprenants dans l'exécution de certaines commandes ou manœuvres de conduite, en utilisant des gestes naturels, tels que tendre les bras en l'avant pour faire arrêter le dispositif. Des données quantitatives et qualitatives, recueillies auprès des participants à l'issue des différents tests effectués, ont révélé que, selon les thérapeutes, le KWIC pouvait contribuer à assurer un entraînement sécuritaire, ainsi qu'à réduire le temps dédié à l'apprentissage de la conduite du FR chez une clientèle pédiatrique. Le KWIC aurait également permis aux thérapeutes de prendre en charge plus de patients qu'il n'aurait été possible avec un FR de démonstration classique (Zondervan et al., 2015).

7.3 Connexion sans fil pour suivi et accompagnement à distance

Des technologies sont proposées afin de promouvoir une interaction naturelle entre les uFR et leur entourage, par exemple les personnes qui les accompagnent pendant leurs déplacements. Pingali et al. (2019) ont proposé un système pouvant permettre à un accompagnateur de suivre, à distance, une personne en FR, grâce à un système de commande par capteurs ultrasoniques. Le système proposé pourrait permettre d'établir une connexion sans fils entre l'uFR et son accompagnateur, dans le but de favoriser la communication pendant le déplacement. Le suivi pourrait s'opérer sans que l'utilisateur n'ait besoin de contrôler physiquement le FRMI. Des tests visant à évaluer le système ont été effectués dans un environnement simulé, en laboratoire, soumettant deux personnes non-utilisatrices de FR (l'un jouant le rôle d'utilisateur, et l'autre celui d'accompagnateur), à l'utilisation du système proposé. Le protocole expérimental consistait à assurer un suivi côte-à-côte, entre l'accompagnateur et l'uFR. L'accompagnateur était équipé d'une balise d'accompagnement : un boîtier constitué d'un capteur ultrasonique, attaché autour de la taille, tandis que des récepteurs étaient fixés au FRM, ce dernier étant contrôlé par un *joystick*. Il était demandé, à chacun, de suivre une trajectoire rectiligne statique,

matérialisée au sol par deux lignes parallèles distantes de 90 cm, pendant six secondes. Les résultats des tests ont démontré que le système d'attache ultrasonique était capable d'assurer un suivi d'accompagnement à distance, tout en favorisant la communication entre un uFRM et son accompagnateur (Pingali et al., 2019).

En somme, les résultats complémentaires présentés dans ce chapitre permettent de mettre en lumière d'autres technologies et accessoires pouvant être intégrés au FRMI afin d'améliorer l'autonomie, la sécurité et le confort des uFR. Ces résultats suggèrent également d'autres usages possibles d'un FRMI, notamment en clinique dans le cadre des programmes d'apprentissage à la conduite des FRMs.

Chapitre 8 : **DISCUSSION**

La littérature portant sur le développement des FRMIs rend compte d'une technologie en constante évolution qui pourrait contribuer à améliorer l'autonomie des utilisateurs. En effet, on peut identifier diverses technologies et accessoires pouvant y être rattachés afin de les rendre adaptés aux besoins des utilisateurs, tels que le témoignent les résultats présentés dans les chapitres 6 et 7. Ce chapitre sera donc consacré à la discussion des principaux résultats obtenus. Dans un premier temps, la valeur ajoutée que pourrait apporter le FRMI pour améliorer la participation sociale des uFR qui éprouvent des difficultés avec leurs FRs habituel en raison de certaines barrières environnementales est discutée. Ensuite, est discuté l'importance d'utiliser des cadres conceptuels et /ou modèles théoriques, ainsi que de la recherche collaborative, pour encadrer le développement des FRMIs. La notion d'innovation responsable est abordée dans la section suivante, avec une emphase sur certains critères pouvant servir à évaluer la responsabilité du FRMI en tant qu'innovation. Les technologies les plus prometteuses, l'impact de cette étude pour la réadaptation, ainsi que les recommandations pour leur développement, sont ensuite abordés.

8.1 Accessibilité et participation sociale des uFR, la valeur ajoutée du FRMI

L'accessibilité pourrait représenter, soit un obstacle, soit un facilitateur, à la participation sociale des uFRMI. Tel que mentionné au chapitre d'introduction, les activités de participation sociale des uFR peuvent varier selon les objectifs visés. Le modèle théorique HAAT (Cook & Polgar, 2014) précise que ces activités peuvent être en lien avec les soins personnels, la productivité, ou le loisir. Toutefois, les FRs (FRman, FRM) ne permettent pas toujours une pleine participation sociale tel que souhaité par certains utilisateurs. Notamment la difficulté à conserver une interaction naturelle (converser avec un accompagnateur, contempler son entourage) avec son entourage pendant le déplacement en FR (Pingali et al., 2019), tout en le propulsant manuellement ou en le contrôlant physiquement à l'aide d'un *Joystick* . Du point de vue de l'accessibilité, certaines caractéristiques de l'environnement physique extérieur pourraient constituer des obstacles

à la mobilité des uFR (FRman, FRM) et les contraindre à réduire leurs fréquence de sortie, et par conséquent, exercer une influence négative sur leur participation sociale (Widehammar et al., 2019). Certains facteurs liés aux saisons, en l'occurrence les conditions climatiques défavorables, par exemple, la présence de la boue en temps de pluie, de glace ou de neige sur les trottoirs, ont été rapportés (Meyers et al., 2002; Ripat et al., 2018).

Ces obstacles pourraient représenter des risques pour la sécurité des utilisateurs, car ils sont parfois à l'origine de collisions, de chutes et d'autres accidents (Hoenig et al., 2003).

Dans un environnement physique extérieur, les obstacles peuvent être identifiés sur le plan de l'architecture, de l'urbanisme, des éléments du milieu naturel et des saisons (Meyers et al., 2002; Smith et al., 2016; Widehammar et al., 2019). Par exemple, par rapport à l'architecture, l'absence de rampes d'accès ou d'ascenseurs dans certains bâtiments et édifices (Smith et al., 2016) peut constituer une entrave à la mobilité des uFR. Parfois, les habitations sont concernées par ce problème d'accessibilité, au point où certains uFR doivent renoncer à rendre visite à des proches, par exemple (Smith et al., 2016). D'autres facteurs limitants, tels que les points d'accès au transport en commun et le revêtement du sol, sont également rapportés (Meyers et al., 2002; Smith et al., 2016). Sur le plan de l'urbanisme et des éléments du milieu naturel, par exemple la présence d'obstacles sur la chaussée et la présence du gazon dans les parcs, qui peut rendre difficile la mobilité en FR, l'absence des trottoirs aménagés pour l'accès en FR ainsi que l'absence de stationnements adaptés (Meyers et al., 2002), sont des facteurs susceptibles d'entraver la mobilité des uFR.

Plusieurs éléments de l'environnement physique intérieur pourraient également constituer des obstacles à la mobilité des uFR. La majorité concerne un espace qui serait trop étroit pour manœuvrer le FR. Par exemple, il pourrait s'agir de l'espace dans les salles de bains à domicile, ou dans les lieux publics qui peut être très restreint, des cabines d'habillage trop étroites, des allées ou couloirs dans les magasins et centres d'achat trop étroits, de la disposition de certains articles ou panneaux publicitaires dans les allées des magasins (Meyers et al., 2002; Smith et al., 2016). Parallèlement, la hauteur du mobilier des comptoirs et des tables dans les restaurants parfois non adaptée aux personnes en FR, est aussi identifiée comme obstacle à la mobilité intérieure en FR (Meyers et al., 2002).

La participation sociale des uFR pourrait donc être réduite à cause de l'accessibilité limitée. Ainsi, palier aux obstacles liés à l'accessibilité pourrait contribuer à améliorer le niveau de participation sociale des uFR. Cependant, la résolution des problèmes de mobilité dans des environnements intérieurs et extérieurs pourrait, dans certaines situations, s'avérer insuffisante pour améliorer la participation sociale des uFR. Dans certains cas, le FRMI pourrait contribuer à surmonter certaines difficultés environnementales liées à l'accessibilité. En effet, selon le HAAT (Cook & Polgar, 2014) afin d'être une technologie d'assistance utile pour l'utilisateur, le FRMI devrait donc faciliter la réalisation d'une activité, lorsqu'utilisé dans des contextes variés. Par exemple, les différentes modalités de contrôle, destinées aux utilisateurs présentant diverses déficiences sur le plan physique, sensoriel ou cognitif, pourraient contribuer à faciliter leur mobilité (Leaman et al., 2016). Les modes de navigation automatique ou semi-automatique (Pineau et al., 2010; Schwesinger et al., 2017) ainsi que les fonctionnalités intelligentes pourraient contribuer à faciliter la mobilité des utilisateurs. Ces fonctionnalités qui confèreraient au FRMI des capacités, telles que détecter et éviter les obstacles pendant le déplacement (Sharma et al., 2012 ; Viswanathan et al., 2011), suivre une cible ou un trajet, anticiper sur les actions de l'utilisateur, par exemple en planifiant un trajet afin d'éviter les obstacles (Kairy et al., 2013, 2014) pourraient tout aussi bien contribuer à surmonter certains obstacles en lien avec l'accessibilité. En effet, en évitant les obstacles, le FRMI pourrait ainsi contribuer à minimiser les risques de collision, de chute ou d'accident, facteurs qui représentent un enjeu principal susceptible de nuire à la mobilité des uFR (Smith et al., 2016). De plus, le FRMI pourrait favoriser le sentiment d'autonomie chez les utilisateurs, qui pourraient alors se passer de l'assistance d'un proche pour leurs déplacements. Ceux-ci pourraient voir leur fréquence de sortie augmenter, car ils auraient davantage de flexibilité dans leurs déplacements, ce qui pourrait conduire à une meilleure participation sociale et alléger le « fardeau » ressenti par les proches-aidants (Rushton, Kairy, Archambault, Pituch, Torkia, Fathi, et al., 2015).

Bien que le FRMI pourrait contribuer à optimiser la flexibilité dans les déplacements chez les utilisateurs, des interrogations demeurent : les différentes fonctionnalités intelligentes du FRMI pourraient-elles permettre aux utilisateurs d'acquérir un niveau d'autonomie suffisant ? Jusqu'à quel point un FRMI pourrait-il améliorer la participation sociale des

utilisateurs ? Des méthodes de recherche collaborative, et les modèles théoriques pouvant être appliqués dans le cadre du développement des technologies en réadaptation, pourraient donc contribuer à encadrer le développement des FRMIs, afin qu'ils puissent contribuer à assurer aux utilisateurs un niveau de participation sociale optimal.

8.2 Contributions théoriques et méthodologiques de l'étude dans le développement des FRMIs

Cette étude fait ressortir l'importance de la recherche collaborative, ainsi que la pertinence d'utiliser certains modèles théoriques et cadres conceptuels, dans le processus du développement des FRMIs, afin d'optimiser la participation sociale des utilisateurs.

Dans le cadre du développement du FRMI, le UCD (Usability.gov. *Improving the User Experience*. Consulté le 8 mars 2021; <https://www.usability.gov/what-and-why/user-centered-design.html>) pourrait prendre la forme d'une approche collaborative, multidisciplinaire, itérative, qui ferait appel à l'expertise combinée des utilisateurs potentiels (utilisateurs réels, proches-aidants), d'ingénieurs, et de professionnels de la réadaptation (chercheurs, cliniciens). Ainsi, à la phase d'analyse, les besoins des utilisateurs réels seraient recueillis, selon leurs caractéristiques respectives (par exemple, le profil clinique, le type de déficience), ou selon leurs objectifs de participation sociale souhaités (par exemple, les activités dont la réalisation pourrait être facilitée avec le FRMI). Cependant, il serait pertinent d'inclure les utilisateurs expérimentés de FRM dans le processus d'UCD. Leur point de vue pourrait permettre de mieux comprendre ce qui est techniquement possible de ce qui ne l'est pas. Contrairement aux utilisateurs peu expérimentés qui connaissent moins bien les limites ou contraintes de la technologie, et qui pourraient avoir des attentes irréalistes envers la technologie proposée.

La phase de conception pourrait faire appel à l'expertise d'ingénieurs pour concevoir et développer, en collaboration avec des professionnels de la réadaptation, et parfois sous le regard des utilisateurs, soit un premier prototype du FRMI, soit une technologie à y intégrer pour adresser le(s) besoin(s) exprimé(s) par les utilisateurs. Une fois le prototype développé, la transition vers la troisième étape deviendrait possible, avec un retour auprès des utilisateurs pour évaluer le prototype proposé, afin de déterminer à quel point il répond aux besoins initialement exprimés. Cette phase d'évaluation pourrait permettre d'apporter

des modifications au prototype développé, en vue d'en améliorer le fonctionnement ou les performances. À la suite des différents tests effectués, il peut arriver que de nouveaux besoins soient exprimés. Ainsi, le processus, qui se veut itératif, repassera par toutes les étapes nécessaires, jusqu'à l'obtention du produit final désiré : un FRMI pouvant répondre aux besoins réels des utilisateurs présentant des profils variés. Il convient de remarquer que l'utilisateur est sollicité à chacune des étapes du processus.

Puisque les utilisateurs seraient impliqués dans toutes les étapes du développement du FRMI, certains critères, susceptibles d'influencer son acceptation (soit l'utilité perçue et la facilité d'utilisation perçue), tels que le suggère le modèle théorique d'acceptation de la technologie (Lai, 2017), pourront être adressés. Enfin, si le FRMI permet aux utilisateurs présentant des profils variés, avec des déficiences physiques, cognitives ou sensorielles, d'accéder à une gamme variée d'activités dans différents contextes (environnements), tel que suggéré par le modèle théorique HAAT (Cook & Polgar, 2014)), cela pourrait constituer, une avancée vers son acceptation.

Il est important de noter que de nouvelles technologies sont continuellement développées pour améliorer le confort, tels que les coussins intelligents (Ahmad et al., 2019) et l'autonomie des uFR (Gao et al., 2008; Pingali et al., 2019). Afin de s'assurer que ces technologies répondent véritablement aux besoins réels des utilisateurs cibles, il s'avère important d'adopter une approche de conception centrée sur l'utilisateur (Usability.gov. *Improving the User Experience*. Consulté le 8 mars 2021; <https://www.usability.gov/what-and-why/user-centered-design.html>), tel qu'illustré précédemment. Certains auteurs ont décrit la manière dont cette approche a été utilisée dans leurs études pour développer des technologies dans le but de répondre à des besoins précis de certaines catégories d'utilisateurs (Rothgangel et al., 2017; Sauzin et al., 2017). La conception centrée sur l'utilisateur renforce ainsi la pertinence d'encourager la recherche collaborative dans le processus de développement des FRMIs.

Le recours à l'UCD, ainsi qu'aux modèles théoriques TAM et HAAT (Cook & Polgar, 2014 ; Lai, 2017), pour encadrer le développement d'un FRMI pourrait donc contribuer à son acceptation. Le respect de certains autres critères, en lien avec l'innovation responsable

des technologies en santé, pourrait également contribuer à l'acceptation du FRMI par les utilisateurs cibles.

8.3 Innovation responsable en santé et acceptation du FRMI : Inclusion, enjeu économique et éthique

Considérant l'évolution rapide des technologies qui pourraient être éventuellement intégrées aux FRMIs, plusieurs autres facteurs, tels que des enjeux d'ordre économique et éthique, sont importants à prendre en considération dans le cadre d'une innovation responsable.

L'innovation responsable en santé (IRS), « consiste en un effort collaboratif, dans lequel les parties prenantes s'engagent à clarifier et à respecter un ensemble de principes, valeurs et exigences éthiques, économiques, sociales et environnementales; lorsqu'elles conçoivent, financent, produisent, distribuent, utilisent et mettent au rencart des solutions sociotechniques ; pour répondre aux besoins et aux défis des systèmes de santé de manière pérenne », traduction libre de (Pacífico Silva et al., 2018, p. 5). Selon l'outil d'évaluation des critères de responsabilité d'une innovation en santé, développé par Sylvia et al. (2020 - Annexe 3), l'inclusivité, la valeur économique, ainsi que les enjeux éthiques sont considérés, entre autres, comme étant des critères de responsabilité d'une innovation (Silva et al., 2020).

8.3.1 Inclusion et enjeu économique

Parmi les objectifs à viser pour atteindre une IRS, l'inclusion semble être un critère important dans le cadre du développement du FRMI. En effet, pour que ce critère soit atteint, il est recommandé d'impliquer toutes les parties prenantes tout au long du processus de développement d'une innovation (Pacífico Silva et al., 2018), soit le FRMI, dans le cas actuel. Ce critère rejoint l'importance de mener une recherche collaborative, appuyée sur une approche de conception centrée sur l'utilisateur, tel que discuté à la section précédente. Cependant, en plus d'impliquer les utilisateurs finaux du FRMI, les ingénieurs et les professionnels de la réadaptation, l'implication d'autres parties prenantes, telles que les décideurs, certains acteurs et responsables des systèmes de santé, ou des organismes payeurs (par exemple, les compagnies d'assurance, régime d'assurance publique), pourrait

permettre d'avoir une opinion sur la valeur économique du FRMI (Pacífico Silva et al., 2018). Notamment, le coût associé à son acquisition. Leur opinion pourrait contribuer à réduire le coût de production, par exemple, en suggérant l'utilisation de matériaux, de technologies ou d'équipements peu coûteux, ce qui pourrait, en retour avoir un impact sur le prix à l'achat. Des négociations avec les compagnies d'assurance, en vue d'une éventuelle prise en charge partielle ou totale des frais liés à l'achat d'un FRMI, une stratégie de tarification basée sur la capacité à payer de chaque utilisateur, peuvent représenter des démarches susceptibles d'influencer positivement l'acceptation du FRMI. D'autant plus que le coût élevé lié à l'acquisition d'une telle technologie a été mentionné comme un facteur pouvant influencer négativement l'acceptation du FRMI par les utilisateurs (Zondervan et al., 2015).

8.3.2 Enjeu éthique

La pertinence questionnée de certaines fonctionnalités du FRMI pourrait soulever une préoccupation d'ordre éthique, telle qu'identifiée dans les études recensées. Le but visé par le FRMI est de procurer aux utilisateurs un maximum d'autonomie. Cependant, pour certains utilisateurs potentiels, l'usage de certaines fonctions intelligentes, par exemple le mode de navigation automatique du FRMI, pourrait contribuer à réduire leur niveau d'autonomie réel, c'est-à-dire autonomie sans assistance du FRMI (Fehr et al., 2000; Kairy et al., 2013, 2014). En effet, le risque d'inhibition de leurs capacités résiduelles a été rapporté (Fehr et al., 2000; Kairy et al., 2014; Zondervan et al., 2015). La capacité que pourrait avoir le FRMI d'anticiper sur certaines actions de l'utilisateur (par exemple, pour planifier un trajet) suscite également de la méfiance chez certains utilisateurs (Kairy et al., 2014). Dans chacun des cas mentionnés, le niveau d'autonomie de l'utilisateur pourrait être menacé, ce qui pourrait engendrer de la frustration, dans certaines situations (Viswanathan et al., 2017; Zondervan et al., 2015).

La question se pose donc, de savoir jusqu'à quel point le FRMI devrait prendre le contrôle sans toutefois porter atteinte aux valeurs morales, ainsi qu'aux capacités fonctionnelles de l'utilisateur ? Ceci soulève donc un enjeu éthique non négligeable. Un système de contrôle collaboratif du FRMI, tel que discuté précédemment au chapitre 6, pourrait contribuer à atténuer le sentiment de frustration que pourraient ressentir certains utilisateurs face à

certaines fonctions intelligentes du FRMI. L'IRS (Silva et al., 2020) recommande d'ailleurs, lors du développement d'une technologie, de trouver des moyens pour amoindrir les enjeux éthiques que pourraient poser l'utilisation d'une technologie.

Ainsi, afin de développer des FRMIs qui soient à la fois utiles, utilisables et acceptés par les utilisateurs cibles, et répondant à leurs besoins réels, peut-être serait-il pertinent de développer un guide de pratique, regroupant des recommandations précises, visant l'encadrement des recherches portant sur le développement des FRMIs, quelle que soit l'approche de recherche envisagée (technologique ou clinique).

8.4 Les technologies les plus prometteuses

Différentes technologies visant à faciliter la conduite du FRMI pour les utilisateurs présentant diverses déficiences ont été présentées aux chapitres 6 et 7. Certes, ces technologies ont été développées pour répondre aux besoins des différentes catégories d'utilisateurs visées. Toutefois, quelques-unes se distinguent, par leur tendance à optimiser chez l'utilisateur un sentiment d'autonomie, ou à le préserver de fournir un effort important pendant la conduite du FRMI. Il s'agit particulièrement de certaines modalités de contrôle, modes de navigation, ou accessoires.

Parmi les modalités de contrôle du FRMI présentées précédemment, la reconnaissance faciale (Ju et al., 2009a) requiert peu d'intervention de la part de l'utilisateur. En effet, cette technologie analyserait simplement les informations provenant des expressions faciales de l'utilisateur, telles que la forme de la bouche, l'inclinaison de la tête, pour contrôler le FRMI et faire exécuter une commande souhaitée. L'avantage réside dans le fait que plusieurs catégories d'utilisateurs, incluant ceux présentant des déficits sévères, pourraient en bénéficier, contrairement à d'autres modalités de contrôle, telles que l'écran tactile, ou la commande vocale, qui nécessitent une intervention active de l'utilisateur pour passer une commande.

La technique de l'électro-oculogramme (EOG), traite les informations oculaires de l'utilisateur afin d'activer le fonctionnement du FRMI (Huang et al., 2019; Pingali et al., 2014). C'est une technologie qui requiert également un effort minimal de la part de l'utilisateur.

Les ICM où le FRMI pourrait être contrôlé, directement à partir des signaux électriques émis par le cerveau, et recueillis à partir d'un casque ou d'électrodes placés sur le cuir chevelu de l'utilisateur (Abiyev et al., 2016) constituent, également, une technologie passive, qui nécessite peu d'interventions de la part de l'utilisateur, si ce n'est de contrôler le FRMI par la pensée.

Cependant, il n'est pas exclu, qu'en ce qui concerne ces deux modalités de contrôle, certains mouvements naturels du visage, tels que le clignement des paupières et d'autres mouvements de la tête, soient interprétés comme des commandes à exécuter, ce qui pourrait conduire à l'exécution d'une action non voulue, pouvant potentiellement représenter des risques d'accident pour l'utilisateur.

Enfin, le bras robotisé (Abdullah & Mohammed, 2018), présenté comme un accessoire pouvant être fixé au FRMI, pourrait bénéficier à tout uFR, incapable de faire usage de ses membres supérieurs, à cause d'une atteinte musculaire très avancée d'origine traumatique (blessé médullaire) ou neurologique (maladie de Parkinson, accident vasculaire cérébral, myopathie), par exemple. Diverses possibilités sont d'ailleurs offertes pour contrôler un bras robotisé afin de permettre aux uFR présentant toutes sortes d'incapacités de bénéficier d'avantages liés à son utilisation. Ainsi, selon le profil de l'utilisateur, le *joystick*, la commande occipitale, la commande par souffle et aspiration, ou autres, pourraient être utilisés (Brose et al., 2010). Une telle technologie pourrait donc contribuer à accroître l'autonomie des uFR, dans la mesure où elle faciliterait l'exécution des tâches les plus simples aux plus complexes de la vie quotidienne, telles que présenté dans l'étude de (Beaudoin et al., 2019).

Concernant les modes de navigation et les technologies pouvant y être associés, la capacité du FRMI à détecter les obstacles et à éviter les collisions, semble être une technologie commune à tous les FRMIs identifiés. La capacité à détecter et à éviter les obstacles, conférée par l'installation des capteurs au FRMI, pourrait représenter un avantage considérable pour la sécurité des utilisateurs (Kairy et al., 2014; McGarry et al., 2012; Zondervan et al., 2015). Selon (McGarry et al., 2012), la capacité du FRMI à s'arrêter automatiquement face à un obstacle représente un avantage pouvant contribuer à faciliter l'entraînement à la conduite du FRM auprès d'une clientèle pédiatrique qui présente des difficultés à contrôler un *joystick*. Les modes de navigation automatiques et semi-

automatiques pourraient procurer plus de flexibilité aux utilisateurs pendant le déplacement, soulager le fardeau de l'aidant, voire faciliter la socialisation (Kairy et al., 2014; Rushton, Labbé, et al., 2017a; Viswanathan et al., 2017b).

Cependant, en cas de dysfonctionnement de ces technologies, la sécurité des utilisateurs pourrait être compromise. Aussi, serait-il intéressant d'affiner davantage leur développement afin d'en assurer un fonctionnement optimal. Il demeure tout de même primordial que la sécurité des utilisateurs soit garantie en de telles circonstances (en cas de dysfonctionnement). Des alternatives telles qu'avoir la possibilité de revenir à un mode de contrôle manuel du FRMI, activer un mode d'arrêt d'urgence avoir un téléphone pour appeler de l'aide, pourraient alors leur être proposées.

Par ailleurs, le recours au mode de navigation automatique pourrait soulever un enjeu éthique non négligeable. En effet, proposée pour procurer à l'utilisateur un maximum d'autonomie, cette fonctionnalité du FRMI (navigation automatique) pourrait-elle plutôt produire l'effet inverse de celui escompté : entraîner une perte progressive de l'autonomie naturelle de l'utilisateur, du fait de la non-utilisation prolongée de ses aptitudes fonctionnelles encore existantes ? Ceci rappelle, une fois de plus, la pertinence de prendre en considération les critères de responsabilité d'une innovation lors du développement des technologies en santé, tel que suggéré par (Pacífico Silva et al., 2018) pour tenter de mitiger les effets d'un tel enjeu.

Le but visé par le FRMI étant d'optimiser le sentiment d'autonomie chez l'utilisateur, la reconnaissance faciale, l'EOG, les ICM, le bras robotisé et la navigation automatique pourraient être considérés comme les technologies les plus prometteuses, d'une part, en raison des avantages multiples qu'elles pourraient offrir aux utilisateurs, ainsi qu'à leurs aidants, le cas échéant. D'autres part, leur efficacité a été démontrée dans les différentes études (cf. chapitres 6 et 7). Même s'il s'avère nécessaire de poursuivre leur développement en vue d'atteindre un niveau de fonctionnement et de fiabilité optimal, leur efficacité a tout de même été démontrée dans les différentes études recensées.

8.5 Impacts de cette étude pour la réadaptation

L'impact potentiel que pourrait avoir cette étude pour la réadaptation pourrait concerner aussi bien les services en réadaptation, notamment au niveau du processus d'attribution du

FRMI, que les utilisateurs potentiels de FRMI. En effet, par rapport aux services en réadaptation, la diversité des technologies présentées précédemment pourrait conduire à la nécessité de développer les connaissances des cliniciens à travers des formations spécifiques, à l'installation, ainsi qu'à l'utilisation des technologies disponibles, par exemple, l'installation et l'utilisation des ICM. Ceci pourrait également suggérer le développement de nouvelles techniques d'entraînement, ou de nouvelles méthodes d'évaluation des utilisateurs potentiels du FRMI.

Quant aux utilisateurs potentiels, le FRMI pourrait, tel que discuté précédemment, contribuer à améliorer leur mobilité, et surtout, à accroître leur autonomie, et ainsi, favoriser leur implication dans l'accomplissement des activités de participation sociale souhaitées.

8.6 Recommandations

Au terme de cette étude, les recommandations suivantes peuvent être faites pour la recherche, le développement des technologies, et pour la clinique :

1. Développer une plateforme, ou un guide de pratique, pour contribuer à encadrer sur les plans théoriques et méthodologiques la recherche portant sur le développement des FRMIs. Cette plateforme, ou guide de pratique pourrait regrouper entre autres, des recommandations relatives aux différentes étapes à suivre, depuis la phase de conception, jusqu'à la commercialisation des FRMIs.
2. Privilégier une approche de conception centrée sur l'utilisateur, telle que l'UCD, comme cadre conceptuel, pour guider le développement des FRMIs. Cela permettrait d'identifier en amont, et d'anticiper sur les besoins des utilisateurs, afin de développer un FRMI, dont les caractéristiques et les fonctionnalités pourront répondre au maximum aux besoins exprimés.
3. Réaliser des études longitudinales randomisées, en impliquant des utilisateurs réels, présentant divers types de déficiences, afin de démontrer, sur le long terme, l'efficacité du FRMI, par rapport à un FRM, lorsqu'utilisé dans l'accomplissement de différentes activités quotidiennes significatives pour les utilisateurs, dans divers contextes (environnements) et milieux écologiques.

4. Réaliser des études longitudinales, afin de démontrer, l'efficacité des différentes technologies pouvant être intégrées au FRMI.
5. Développer un outil d'évaluation des critères de responsabilité des FRMIs, visant à assurer le développement responsable des FRMIs, afin qu'ils répondent à un maximum de critères de responsabilités des IRS.
6. Développer une grille de vérification, visant à évaluer si les FRMIs en cours de développement, ou déjà existants, respectent les recommandations formulées dans le guide de pratique proposé, pour encadrer la recherche sur le développement des FRMIs.
7. Promouvoir des activités de vulgarisation, et de transfert de connaissance, afin de faciliter l'acceptation du FRMI en réadaptation, aussi bien par les utilisateurs que par les cliniciens.

Chapitre 9 : CONCLUSION

Cet examen de la portée et réflexions sur le développement, l'évaluation et l'utilisation des FRMIs permettent d'avoir un aperçu des études sur le développement des FRMIs en lien avec les incapacités et les besoins des utilisateurs, et de faire ressortir certaines pistes pour les développements à venir. D'après les résultats des travaux recensés, le FRMI apparaît comme une technologie prometteuse, conçue et développée, soit pour compenser les incapacités des utilisateurs, ou renforcer leurs capacités résiduelles. Les technologies intégrées aux FRMIs visent à accroître le niveau d'autonomie des personnes présentant une incapacité physique, sensorielle ou cognitive. En effet, les FRMIs identifiés proposent des modes de commandes et de navigation variés pouvant faciliter le déplacement des utilisateurs en fonction de leurs profils cliniques, et plusieurs nouvelles technologies sont en cours de développement qui pourraient s'intégrer aux FRMIs afin de contribuer à augmenter le niveau d'autonomie et de sécurité.

La littérature permet aussi de mettre en lumière la pertinence d'impliquer les utilisateurs dans le processus de développement des FRMIs afin de mieux comprendre leurs besoins qui pourraient ne pas avoir été pris en considération. Une telle démarche vise à assurer le développement d'une technologie qui réponde mieux à leurs attentes et leurs besoins. Les recommandations formulées, au terme de cette étude, pourront contribuer à orienter les recherches portant sur le développement des FRMIs, vers des aspects peu ou non encore explorés, dans le but ultime d'améliorer la participation sociale et la qualité de vie des uFR, ou des personnes ayant des déficiences physiques, cognitives ou sensorielles.

Références

- Abdullah, S. J., & Mohammed, J. S. (2018). Modeling and Simulation of Two Wheelchair Accessories for Pushing Doors. *Assistive Technology*, 30(4), 165-175. <https://doi.org/10.1080/10400435.2017.1293193>
- Abiyev, R. H., Akkaya, N., Aytac, E., Günsel, I., & Çağman, A. (2016, septembre 29). *Brain-Computer Interface for Control of Wheelchair Using Fuzzy Neural Networks* [Research Article]. BioMed Research International; Hindawi. <https://doi.org/10.1155/2016/9359868>
- Adachi, Y., Kuno, Y., Shimada, N., & Shirai, Y. (1998). Intelligent wheelchair using visual information on human faces. *Proceedings. 1998 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Innovations in Theory, Practice and Applications (Cat. No.98CH36190)*, 1, 354-359 vol.1. <https://doi.org/10.1109/IROS.1998.724645>
- Ahmad, J., Andersson, H., & Sidén, J. (2019). Screen-Printed Piezoresistive Sensors for Monitoring Pressure Distribution in Wheelchair. *IEEE Sensors Journal*, 19(6), 2055-2063. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2885638>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Arthanat, S., Bauer, S. M., Lenker, J. A., Nochajski, S. M., & Wu, Y. W. B. (2007). Conceptualization and measurement of assistive technology usability. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 2(4), 235-248. <https://doi.org/10.1080/17483100701343665>
- Beaudoin, M., Lettre, J., Routhier, F., Archambault, P. S., Lemay, M., & Gélinas, I. (2019). Long-term use of the JACO robotic arm: A case series. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 14(3), 267-275. <https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1428692>
- Ben Taher, F., Ben Amor, N., Jallouli, M., Ben Hammouda, A., & Dghim, O. (2016). A multi levels data fusion approach for an electric wheelchair control. *Biomedical Engineering Letters*, 6(4), 234-241. <https://doi.org/10.1007/s13534-016-0227-1>

- Bhatnagar, N. (s. d.). *Guides : Covidence: Screening and Data Extraction*. Consulté 15 mars 2021, à l'adresse <https://hslmcmaster.libguides.com/c.php?g=710650&p=5063777>
- Bickenbach, J. (2011). The world report on disability. *Disability & Society*, 26(5), 655-658.
- Boucher, P., Atrash, A., Kelouwani, S., Honoré, W., Nguyen, H., Villemure, J., Routhier, F., Cohen, P., Demers, L., Forget, R., & Pineau, J. (2013). Design and validation of an intelligent wheelchair towards a clinically-functional outcome. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 10(1), 58. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-58>
- Brígida, M., Faria, B., Vasconcelos, S., Luís, P., Reis, L., & Lau, N. (2012). A methodology for creating intelligent wheelchair users' profiles. *ICAART 2012 - Proceedings of the 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 1. <https://doi.org/10.5220/0003749701710179>
- Brose, S. W., Weber, D. J., Salatin, B. A., Grindle, G. G., Wang, H., Vazquez, J. J., & Cooper, R. A. (2010). The Role of Assistive Robotics in the Lives of Persons with Disability. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 89(6), 509-521. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3181cf569b>
- Chapireau, F. (2001). La classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé. *Gerontologie et societe*, 24(99), 37-56. <https://doi.org/10.3917/gs.099.0037>
- Clark, J. A., & Roemer, R. B. (1977). Voice controlled wheelchair. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 58(4), 169-175.
- Cook, A. M., & Hussey, S. M. (2002). *Assistive Technologies :Principles and practice*. Elsevier.
- Cook, A. M., & Polgar, J. M. (2014). *Assistive Technologies- E-Book : Principles and Practice*. Elsevier Health Sciences.
- Course d'obstacles avant la participation sociale*. (s. d.). Consulté 3 mars 2021, à l'adresse <https://www.reiso.org/articles/themes/handicaps/4132-course-d-obstacles-avant-la-participation-sociale>

- Davis, F. D. (1993). User acceptance of information technology : System characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38(3), 475-487. <https://doi.org/10.1006/imms.1993.1022>
- Fan, T. L., Ng, C. S., Ng, J. Q., & Goh, S. Y. (2008). A Brain-Computer Interface with Intelligent Distributed Controller for Wheelchair. In N. A. Abu Osman, F. Ibrahim, W. A. B. Wan Abas, H. S. Abdul Rahman, & H.-N. Ting (Éds.), *4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2008* (p. 641-644). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69139-6_160
- Faria, B. M., Reis, L. P., & Lau, N. (2015). A Methodology for Creating an Adapted Command Language for Driving an Intelligent Wheelchair. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 80(3), 609-623. <https://doi.org/10.1007/s10846-015-0194-2>
- Faria, B. M., Vasconcelos, S., Reis, L. P., & Lau, N. (2013). Evaluation of distinct input methods of an intelligent wheelchair in simulated and real environments : A performance and usability study. *Assistive Technology: The Official Journal of RESNA*, 25(2), 88-98. <https://doi.org/10.1080/10400435.2012.723297>
- Faria, B. M., Vasconcelos, S., Reis, L. P., & Lau, N. (2012). A METHODOLOGY FOR CREATING INTELLIGENT WHEELCHAIR USERS' PROFILES. *Proceedings of the 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 171-179.
- Fehr, L., Langbein, W. E., & Skaar, S. B. (2000). Adequacy of power wheelchair control interfaces for persons with severe disabilities : A clinical survey. *Journal of rehabilitation research and development*, 37(3), 353-360. <https://doi.org/PMID:10917267>
- Fleetwood, J. (2017). Public Health, Ethics, and Autonomous Vehicles. *Am J Public Health*, 107(4), 532-537. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303628>
- Fougeyrollas. (2004). Développement humain, handicap et changement social. Définition de la participation sociale selon le PPH. *Revue internationale sur les concepts, les définitions et les applications*, 13(1-2), 9.
- Fougeyrollas, P., Cloutier, R., Bergeron, H., St-Michel, G., Côté, J., Côté, M., Boucher, N., Roy, K., & Rémillard, M.-B. (1998). *Classification québécoise : Processus de*

- production du handicap / RIPPH / SCCIDH*,
<https://eduq.info/xmlui/handle/11515/19396>
- Gao, C., Miller, T., Spletzer, J. R., Hoffman, I., & Panzarella, T. (2008). Autonomous docking of a smart wheelchair for the Automated Transport and Retrieval System (ATRS). *Journal of Field Robotics*, 25(4-5), 203-222. <https://doi.org/10.1002/rob.20236>
- Ghorbel, M., Pineau, J., Gourdeau, R., Javdani, S., & Srinivasa, S. (2018). A Decision-Theoretic Approach for the Collaborative Control of a Smart Wheelchair. *International Journal of Social Robotics*, 10(1), 131-145. <https://doi.org/10.1007/s12369-017-0434-7>
- Giesbrecht, E. (2013). Application of the Human Activity Assistive Technology model for occupational therapy research. *Australian Occupational Therapy Journal*, 60(4), 230-240. <https://doi.org/10.1111/1440-1630.12054>
- Gionata, C., Francesco, F., Alessandro, F., Sabrina, I., & Andrea, M. (2014a). An inertial and QR code landmarks-based navigation system for impaired wheelchair users. In *Ambient Assisted Living* (p. 205-214). Springer.
- Gionata, C., Francesco, F., Alessandro, F., Sabrina, I., & Andrea, M. (2014b). An Inertial and QR Code Landmarks-Based Navigation System for Impaired Wheelchair Users. In S. Longhi, P. Siciliano, M. Germani, & A. Monteriù (Éds.), *Ambient Assisted Living* (p. 205-214). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01119-6_21
- Guedira, Y., Dervin, D., Brohm, P.-E., Farcy, R., & Bellik, Y. (2019a). Evaluation d'une Interface Tactile pour le Pilotage de Fauteuils Roulants Electriques pour des Personnes Atteintes de Maladies Neuromusculaires. *Journal d'Interaction Personne-Système*, 8.
- Guedira, Y., Dervin, D., Brohm, P.-E., Farcy, R., & Bellik, Y. (2019b). Evaluation d'une Interface Tactile pour le Pilotage de Fauteuils Roulants Electriques pour des Personnes Atteintes de Maladies Neuromusculaires. *Journal d'Interaction Personne-Système*, 8(1), 85-122. <https://doi.org/Id: hal-02393416>

- Guedira, Y., Farcy, R., & Bellik, Y. (2016). Interface Tactile pour le Pilotage de Fauteuils Roulants Electriques. *Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, 230-236. <https://doi.org/10.1145/3004107.3004132>
- Hoening, H., Landerman, L. R., Shipp, K. M., & George, L. (2003). Activity Restriction Among Wheelchair Users. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(9), 8. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2003.51408.x>
- Hou, T., Appannah, Y., & Chelladurai. (2020). Arduino based voice controlled wheelchair. *Journal of Physics: Conference Series*, 1432, 012064. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1432/1/012064>
- Hua, B., Hossain, D., Capi, G., Jindai, M., & Yoshida, I. (2017a). Human-like Artificial Intelligent Wheelchair Robot Navigated by Multi-Sensor Models in Indoor Environments and Error Analysis. *Procedia Computer Science*, 105, 14-19.
- Hua, B., Hossain, D., Capi, G., Jindai, M., & Yoshida, I. (2017b). Human-like Artificial Intelligent Wheelchair Robot Navigated by Multi-Sensor Models in Indoor Environments and Error Analysis. *Procedia Computer Science*, 105, 14-19. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.181>
- Huang, Chen, Y., Zhang, Z., He, S., Zhang, R., Liu, J., Zhang, Y., Shao, M., & Li, Y. (2019). An EOG-based wheelchair robotic arm system for assisting patients with severe spinal cord injuries. *Journal of Neural Engineering*, 16(2), 026021. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aafc88>
- Ju, J. S., Shin, Y., & Kim, E. Y. (2009a). Intelligent wheelchair using head tilt and mouth shape. *Electronics letters*, 45(17), 873-875.
- Ju, Shin, Y., & Kim, E. Y. (2009b). Intelligent wheelchair (IW) interface using face and mouth recognition. *Proceedings of the 14th international conference on Intelligent user interfaces*, 307-314. <https://doi.org/10.1145/1502650.1502693>
- Kairy, D., Archambault, P., Rushton, P. W., Pituch, E., El Fathi, A., Torkia, C., Stone, P., Routhier, F., Forget, R., & Demers, L. (2013). Users' perspectives of intelligent power wheelchair use for social participation. *Conference Proceeding RESNA 36th International Conference on Technology and Disability, Bellevue*.
- Kairy, D., Rushton, P. W., Archambault, P., Pituch, E., Torkia, C., El Fathi, A., Stone, P., Routhier, F., Forget, R., Demers, L., Pineau, J., & Gourdeau, R. (2014). Exploring

- Powered Wheelchair Users and Their Caregivers' Perspectives on Potential Intelligent Power Wheelchair Use : A Qualitative Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 2244-2261. <https://doi.org/10.3390/ijerph110202244>
- Kim, E. Y. (2016). Wheelchair Navigation System for Disabled and Elderly People. *Sensors*, 16(11), 1806. <https://doi.org/10.3390/s16111806>
- Labbé, D., Mortenson, W. B., Rushton, P. W., Demers, L., & Miller, W. C. (2020). Mobility and participation among ageing powered wheelchair users : Using a lifecourse approach. *Ageing & Society*, 40(3), 626-642. <https://doi.org/10.1017/S0144686X18001228>
- Lai, P. C. (2017). The literature review of technology adoption models and theories for the novelty technology. *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 14(1), 21-38. <https://doi.org/10.4301/s1807-17752017000100002>
- Leaman, J., et La, H. M. (2017). A Comprehensive Review of Smart Wheelchairs : Past, Present, and Future. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(4), 486-499. <https://doi.org/10.1109/THMS.2017.2706727>
- Leaman, J., La, H. M., et Nguyen, L. (2016). Development of a smart wheelchair for people with disabilities. *2016 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI)*, 279-284. <https://doi.org/10.1109/MFI.2016.7849501>
- Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies : Advancing the methodology. *Implementation Science*, 5(1), 69. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
- Li, M., Zhang, Y., Zhang, H., & Hu, H. S. (2013). An EEG based control system for intelligent wheelchair. *Applied Mechanics and Materials*, 300, 1540-1545. <https://doi.org/10.4028/>
- LoPresti, E. F., Sharma, V., Simpson, R. C., & Mostowy, L. C. (2011). Performance testing of collision-avoidance system for power wheelchairs. *J Rehabil Res Dev*, 48(5), 529-544. <https://doi.org/DOI:10.1682/JRRD.2010.01.0008>

- Luo, Y., & Xie, Y. (2012). The design and implementation of a gesture-driven system for intelligent wheelchairs based on the orientation histogram method. In *Software Engineering and Knowledge Engineering: Theory and Practice* (p. 109-113). Springer.
- Ma, C., Li, W., Gravina, R., & Fortino, G. (2017). Posture Detection Based on Smart Cushion for Wheelchair Users. *Sensors*, *17*(4), 719. <https://doi.org/10.3390/s17040719>
- Malik, M. I., Bashir, T., & Khan, O. F. (2017). Voice controlled wheel chair system. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, *6*(6), 411-419.
- Masato, Takeshi Saitoh, & Ryosuke Konishi. (2007). Voice Controlled Intelligent Wheelchair. *SICE Annual Conference 2007*, 336-340. <https://doi.org/10.1109/SICE.2007.4421003>
- McGarry, S., Moir, L., & Girdler, S. (2012). The Smart Wheelchair : Is it an appropriate mobility training tool for children with physical disabilities? *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, *7*(5), 372-380. <https://doi.org/10.3109/17483107.2011.637283>
- Meyers, A. R., Anderson, J. J., Miller, D. R., Shipp, K., & Hoenig, H. (2002). Barriers, facilitators, and access for wheelchair users : Substantive and methodologic lessons from a pilot study of environmental effects. *Social science & medicine*, *55*(8), 1435-1446.
- Montesano, L., Diaz, M., Bhaskar, S., & Minguéz, J. (2010). Towards an Intelligent Wheelchair System for Users With Cerebral Palsy. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *18*(2), 193-202. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2009.2039592>
- Nisbet, P., Craig, J., Odor, P., & Aitken, S. (1996). 'Smart' wheelchairs for mobility training. *Technology and Disability*, *5*(1), 49-62. <https://doi.org/10.3233/TAD-1996-5107>
- Nyholm, S. (2016). The Ethics of Accident-Algorithms for Self-Driving Cars : An Applied Trolley Problem? *Ethic Theory Moral Prac*, *2016*(19), 1275-1289. <https://doi.org/10.1007/s10677-016-9745-2>

- Ono, Y., Uchiyama, H., & Potter, W. (2004a). A mobile robot for corridor navigation : A multi-agent approach. *Proceedings of the 42nd annual Southeast regional conference*, 379-384. <https://doi.org/10.1145/986537.986629>
- Ono, Y., Uchiyama, H., & Potter, W. (2004b). A mobile robot for corridor navigation : A multi-agent approach. *Proceedings of the 42nd annual Southeast regional conference*, 379-384.
- Oskoei, M. A., & Hu, H. (2013). *ROS based Multi-sensor Navigation System for a Commercial Wheelchair*. <https://doi.org/10.1.1.459.6314> ISSN 1744 - 8050
- Pacifico Silva, H., Lehoux, P., Miller, F. A., & Denis, J.-L. (2018). Introducing responsible innovation in health : A policy-oriented framework. *Health Research Policy and Systems*, 16(1), 90. <https://doi.org/10.1186/s12961-018-0362-5>
- Peters, M. D., Godfrey, C., McInerney, P., Baldini Soares, C., Khalil, H., & Parker, D. (2017). Chapter 11 : Scoping reviews. *Joanna Briggs Institute Reviewer's Manual. The Joanna Briggs Institute*.
- Pineau, J., Atrash, A., Kaplow, R., & Villemure, J. (2010). On the Design and Validation of an Intelligent Powered Wheelchair : Lessons from the SmartWheeler Project. In J. Angeles, B. Boulet, J. J. Clark, J. Kövecses, & K. Siddiqi (Éds.), *Brain, Body and Machine* (p. 259-268). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16259-6_20
- Pingali, Dubey, S., Shivaprasad, A., Varshney, A., Ravishankar, S., Pingali, G. R., Polisetty, N. K., Manjunath, N., & K.V, P. (2014). Eye-gesture controlled intelligent wheelchair using Electro-Oculography. *2014 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2065-2068. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2014.6865572>
- Pingali, Lemaire, E. D., & Baddour, N. (2019). Ultrasonic Tethering to Enable Side-by-Side Following for Powered Wheelchairs. *Sensors*, 19(1), 109. <https://doi.org/10.3390/s19010109>
- Poon, J., Cui, Y., Valls Miro, J., & Matsubara, T. (2019). Learning from demonstration for locally assistive mobility aids. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 3(3), 255-268. <https://doi.org/10.1007/s41315-019-00096-1>

- Rabhi, Mrabet, M., & Fnaiech, F. (2018). Intelligent Control Wheelchair Using a New Visual Joystick. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018, 1-20. <https://doi.org/10.1155/2018/6083565>
- Rabhi, Mrabet, M., Fnaiech, F., & Gorce, P. (2013). Intelligent joystick for controlling power wheelchair navigation. *3rd International Conference on Systems and Control*, 1020-1025. <https://doi.org/10.1109/ICoSC.2013.6750981>
- Rabhi, Mrabet, M., Fnaiech, F., Gorce, P., Miri, I., & Dziri, C. (2018). Intelligent Touchscreen Joystick for Controlling Electric Wheelchair. *IRBM*, 39(3), 180-193. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2018.04.003>
- Raymond, É., Université Laval, Institut sur le vieillissement et la participation sociale des aînés, Centre d'excellence sur le vieillissement de Québec, Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale (Québec), Direction régionale de la santé publique, & Institut national de santé publique du Québec. (2008). *La participation sociale des aînés dans une perspective de vieillissement en santé : Réflexion critique appuyée sur une analyse documentaire*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.deslibris.ca/ID/216238>
- Razali, T., Zhu, R., Yoshinori, K., & Yoshinori, K. (2010). Smart Wheelchair Navigation Based on User's Gaze on Destination. In D.-S. Huang, M. McGinnity, L. Heutte, & X.-P. Zhang (Éds.), *Advanced Intelligent Computing Theories and Applications* (p. 387-394). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14831-6_52
- Rebsamen, B., Guan, C., Zhang, H., Wang, C., Teo, C., Ang, M. H., & Burdet, E. (2010). A Brain Controlled Wheelchair to Navigate in Familiar Environments. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 18(6), 590-598. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2010.2049862>
- Reis, Braga, R. A. M., Sousa, M., & Moreira, A. P. (2010). IntellWheels MMI : A Flexible Interface for an Intelligent Wheelchair. In J. Baltes, M. G. Lagoudakis, T. Naruse, & S. S. Ghidary (Éds.), *RoboCup 2009 : Robot Soccer World Cup XIII* (p. 296-307). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-11876-0_26
- Reis, L. P., Braga, R. A., Sousa, M., & Moreira, A. P. (2009). IntellWheels MMI : A flexible interface for an intelligent wheelchair. *Robot Soccer World Cup*, 296-307.

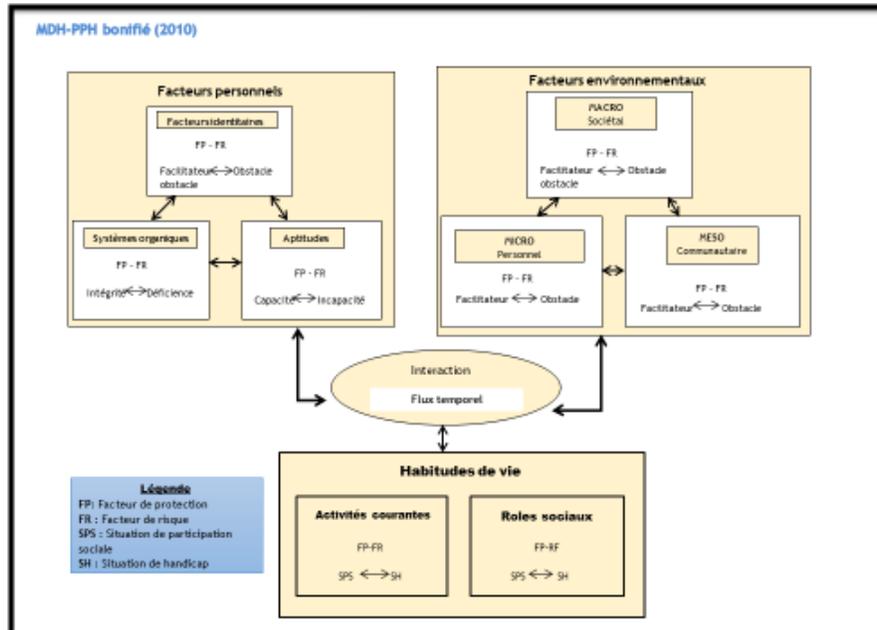
- Reis, L. P., Faria, B. M., Vasconcelos, S., & Lau, N. (2015). Multimodal interface for an intelligent wheelchair. In *Informatics in Control, Automation and Robotics* (p. 1-34). Springer.
- Ripat, J., Borisoff, J. F., Grant, L. E., & Chan, F. H. N. (2018). Patterns of community participation across the seasons : A year-long case study of three Canadian wheelchair users. *Disability and Rehabilitation*, *40*(6), 722-731. <https://doi.org/10.1080/09638288.2016.1271463>
- Rothgangel, A., Braun, S., Smeets, R., & Beurskens, A. (2017). Design and Development of a Telerehabilitation Platform for Patients With Phantom Limb Pain : A User-Centered Approach. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, *4*(1), e6761. <https://doi.org/10.2196/rehab.6761>
- Rushton, Kairy, D., Archambault, P., Pituch, E., Torkia, C., Fathi, A. E., Stone, P., Routhier, F., Forget, R., Pineau, J., Gourdeau, R., & Demers, L. (2015). The potential impact of intelligent power wheelchair use on social participation : Perspectives of users, caregivers and clinicians. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, *10*(3), 191-197. <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.907366>
- Rushton, Labbé, D., Demers, L., Miller, W. C., Mortenson, W. B., & Kirby, R. L. (2017a). Understanding the Burden Experienced by Caregivers of Older Adults Who Use a Powered Wheelchair : A Cross-Sectional Study. *Gerontology and Geriatric Medicine*, *3*, <https://doi.org/10.1177/2333721417703736>
- Rushton, P. W., Kairy, D., Archambault, P., Pituch, E., Torkia, C., El Fathi, A., Stone, P., Routhier, F., Forget, R., & Pineau, J. (2015). The potential impact of intelligent power wheelchair use on social participation : Perspectives of users, caregivers and clinicians. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, *10*(3), 191-197.
- Rushton, Viswanathan, P., Wang, R. H., Miller, W. C., Clarke, L. H., & Team, C. R. (2017). Intelligent power wheelchair use in long-term care : Potential users' experiences and perceptions. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, *12*(7), 740-746. <https://doi.org/10.1080/17483107.2016.1260653>

- Sauzin, D., Vigouroux, N., & Vella, F. (2017). Usability of JACO Arm Interfaces Designed with a User-Centred Design Method. *Studies in health technology and informatics*, 242, 573-582. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-798-6-573>
- Schwesinger, D., Shariati, A., Montella, C., & Spletzer, J. (2017). A smart wheelchair ecosystem for autonomous navigation in urban environments. *Autonomous Robots*, 41(3), 519-538. <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9549-1>
- Sharma, V., Simpson, R., LoPresti, E., & Schmeler, M. (2012). Driving backwards using a semi-autonomous smart wheelchair system (DSS) : A clinical evaluation. *Applied Bionics and Biomechanics*, 9(4), 347-365.
- Silva, H. P., Lefebvre, A.-A., Oliveira, R. R., & Lehoux, P. (2020). Fostering Responsible Innovation in Health : An Evidence-Informed Assessment Tool for Innovation Stakeholders. *International Journal of Health Policy and Management*, 1. <https://doi.org/10.34172/ijhpm.2020.34>
- Simpson, & Levine. (2002). Voice control of a powered wheelchair. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 10(2), 122-125. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2002.1031981>
- Simpson, R. C. (2008). How many people would benefit from a smart wheelchair? *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 45(1), 53-72. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2007.01.0015>
- Smith, E. M., Sakakibara, B. M., & Miller, W. C. (2016). A review of factors influencing participation in social and community activities for wheelchair users. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 11(5), 361-374.
- Tang, J., Liu, Y., Hu, D., & Zhou, Z. (2018). Towards BCI-actuated smart wheelchair system. *BioMedical Engineering OnLine*, 17(1), 111. <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0545-x>
- Tavares, C., Domingues, M. F., Paixão, T., Alberto, N., Silva, H., & Antunes, P. (2020). Wheelchair pressure ulcer prevention using FBG based sensing devices. *Sensors*, 20(1), 212. <https://doi.org/10.3390/s20010212>
- Thakur, R., Hsu, S. H., & Fontenot, G. (2012). Innovation in healthcare : Issues and future trends. *Journal of Business Research*, 65(4), 562-569.

- Torkia, C., Reid, D., Korner-Bitensky, N., Kairy, D., Rushton, P. W., Demers, L., & Archambault, P. S. (2015). Power wheelchair driving challenges in the community : A users' perspective. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 10(3), 211-215. <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.898159>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., ... Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) : Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467-473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Viswanathan, P., Little, J. J., Mackworth, A. K., & Mihailidis, A. (2011). Navigation and obstacle avoidance help (NOAH) for older adults with cognitive impairment : A pilot study. *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 43-50. <https://doi.org/10.1145/2049536.2049546>
- Viswanathan, P., Little, J. J., Mackworth, A., & Mihailidis, A. (2012). *An intelligent powered wheelchair for users with dementia : Case studies with NOAH (Navigation and Obstacle Avoidance Help)* (p. 42-47) [Technical Report]. AAAI Fall Symposium -.
- Viswanathan, P., Zambalde, E. P., Foley, G., Graham, J. L., Wang, R. H., Adhikari, B., Mackworth, A. K., Mihailidis, A., Miller, W. C., & Mitchell, I. M. (2017a). Intelligent wheelchair control strategies for older adults with cognitive impairment : User attitudes, needs, and preferences. *Autonomous Robots*, 41(3), 539-554. <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9568-y>
- Wang, Gorski, S. M., Holliday, P. J., & Fernie, G. R. (2011). Evaluation of a Contact Sensor Skirt for an Anti-Collision Power Wheelchair for Older Adult Nursing Home Residents With Dementia : Safety and Mobility. *Assistive Technology*, 23(3), 117-134. <https://doi.org/10.1080/10400435.2010.541406>
- Wang, H., Xu, J., Grindle, G., Vazquez, J., Salatin, B., Kelleher, A., Ding, D., Collins, D. M., & Cooper, R. A. (2013). Performance evaluation of the personal mobility and

- manipulation appliance (PerMMA). *Medical engineering & physics*, 35(11), 1613-1619.
- Wang, Korotchenko, A., Clarke, L. H., Ben Mortenson, W., & Mihailidis, A. (2013). Power Mobility with Collision Avoidance for Older Adults: User, Caregiver and Prescriber Perspectives. *Journal of rehabilitation research and development*, 50(9), 1287-1300. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2012.10.0181>
- Wang, Mihailidis, A., Dutta, T., & Fernie, G. R. (2011). Usability testing of multimodal feedback interface and simulated collision-avoidance power wheelchair for long-term-care home residents with cognitive impairments. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 48(7), 801-821. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2010.08.0147>
- Wang, R. H., Gorski, S. M., Holliday, P. J., & Fernie, G. R. (2011). Evaluation of a contact sensor skirt for an anti-collision power wheelchair for older adult nursing home residents with dementia: Safety and mobility. *Assistive Technology*, 23(3), 117-134.
- Widehammar, C., Lidström, H., & Hermansson, L. (2019). Environmental barriers to participation and facilitators for use of three types of assistive technology devices. *Assistive Technology*, 31(2), 68-76. <https://doi.org/10.1080/10400435.2017.1363828>
- Zeng, Q., Burdet, E., & Teo, C. L. (2009). Evaluation of a collaborative wheelchair system in cerebral palsy and traumatic brain injury users. *Neurorehabilitation and neural repair*, 23(5), 494-504. <https://doi.org/10.1177/1545968308323692>
- Zeng, Q., Teo, C. L., Rebsamen, B., & Burdet, E. (2008). Collaborative path planning for a robotic wheelchair. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 3(6), 315-324.
- Zondervan, D. K., Secoli, R., Darling, A. M., Farris, J., Furumasu, J., & Reinkensmeyer, D. J. (2015). Design and Evaluation of the Kinect-Wheelchair Interface Controlled (KWIC) Smart Wheelchair for Pediatric Powered Mobility Training. *Assistive Technology*, 27(3), 183-192. <https://doi.org/10.1080/10400435.2015.1012607>

Annexe 1 : Modèle de Développement Humain-Processus de Production du Handicap 2



Annexe 2 : Échelle des niveaux de maturité technologique

5/18/2021

Échelle des niveaux de maturité technologique de SIC - Solutions innovatrices Canada



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

[Canada.ca](#) → [Innovation, Sciences et Développement économique Canada](#) → [Programmes](#)
→ [Solutions innovatrices Canada](#)

Échelle des niveaux de maturité technologique de SIC

Les niveaux de maturité technologique (NMT) sont les diverses étapes du développement précommercial. Les définitions des NMT 1 à 9 ainsi que leurs descriptions et des exemples figurent ci-dessous.

Brève définition et description : L'étape de développement de composant(s)/sous-système(s), ou du système dans son ensemble, et les mesures de la capacité de rendement du système.

Exemples d'activités : Les activités qui ont lieu lorsque la technologie en est au niveau en question. Généralement, les activités d'un niveau sont terminées avant le passage au niveau suivant.

| <u>NMT. (niveaux de maturité technologique)</u> | Brève définition | Description | Exemples d'activités |
|---|---|---|---|
| 1 | Observation et consignation des principes de base. | Niveau le plus bas de maturité technologique. La recherche scientifique commence à être convertie en recherche et développement (R et D) appliqués. | Les activités pourraient inclure des études sur les propriétés de base d'une technologie. |
| 2 | Formulation du concept technologique ou de l'application. | Début de l'invention. Une fois les principes de base observés, il s'agit d'inventer les applications pratiques. Les applications sont hypothétiques et il se peut que des hypothèses ne s'appuient sur aucune preuve ni aucune analyse détaillée. | Les activités sont limitées à des études analytiques. |

| NMT (niveaux de maturité technologique) | Brève définition | Description | Exemples d'activités |
|--|--|--|---|
| 3 | Fonction critique analytique et expérimentale et/ou validation de principe caractéristique. | La R et D active est lancée. Cela comprend des études analytiques et en laboratoire visant à valider physiquement les prédictions analytiques des divers éléments de la technologie. | Les activités incluent des composants qui ne sont pas encore intégrés ou représentatifs. |
| 4 | Validation de composant(s)/sous-système(s) et/ou du processus en laboratoire. | Les composants technologiques de base sont intégrés pour valider le bon fonctionnement commun. | Les activités incluent l'intégration en laboratoire de matériel « spécial ». |
| 5 | Validation de composant(s)/sous-système(s) et/ou de processus semi-intégrés dans un environnement simulé. | Les composants technologiques de base sont intégrés, aux fins d'essais dans un environnement simulé. | Les activités incluent l'intégration de composants en laboratoire. |
| 6 | Démonstration du système et/ou du processus prototype dans un environnement simulé. | Un modèle ou un prototype qui représente une configuration quasi souhaitée. | Les activités incluent l'essai d'un modèle ou prototype dans un environnement simulé ou de laboratoire. |
| 7 | Système prototype prêt aux fins de démonstration dans un environnement opérationnel approprié (forme, ajustage et fonction). | Le prototype est prêt pour la démonstration dans un environnement opérationnel et est situé au niveau opérationnel prévu. | Les activités incluent l'essai du prototype sur le terrain dans un environnement opérationnel réel. |

| NMT (niveaux de maturité technologique) | Brève définition | Description | Exemples d'activités |
|--|--|---|--|
| 8 | Technologie réelle mise au point et qualifiée par des essais et des démonstrations. | Il est prouvé que la technologie fonctionne dans sa forme finale et dans les conditions prévues. | Les activités incluent des essais de mise au point et des évaluations afin d'établir si elle répond aux exigences opérationnelles. |
| 9 | Validation de la technologie réelle par le déploiement réussi dans un contexte opérationnel. | Application concrète de la technologie dans sa forme finale et dans des conditions réelles, comme celles s'appliquant au cours des essais et des évaluations opérationnels. | Les activités incluent l'utilisation de l'innovation dans des conditions de conduite opérationnelle. |

Définitions

Validation de principe :

Démonstration analytique et expérimentale de concepts matériels/logiciels qui peuvent ou non être incorporés dans les unités opérationnelles ou les développements subséquents.

Modèle :

Forme fonctionnelle d'un système, à échelle réduite, de spécifications opérationnelles identiques ou semblables. Les modèles seront suffisamment robustes pour permettre la démonstration des capacités techniques et opérationnelles requises du système final.

Prototype :

La première représentation précoce du système qui offre les fonctions et le rendement attendus du produit final. Les prototypes seront suffisamment robustes pour permettre la démonstration des capacités techniques et opérationnelles requises du système final.

Environnement de laboratoire :

environnement qui ne reflète d'aucune manière l'environnement auquel il est prévu que le système, sous-système(s) ou composant(s) (matériel ou logiciel) soit soumis pendant son exploitation. Les essais dans un environnement de laboratoire visent uniquement à démontrer les principes sous-jacents du rendement technique (fonctions) sans égard à l'impact de l'environnement.

Environnement simulé :

Le(s) système(s), sous-système(s) ou composant(s) n'ont pas tous besoin d'être exploités dans l'environnement opérationnel pour satisfaire aux exigences de marge de rendement. Un environnement simulé peut simuler un environnement opérationnel, ou des éléments clés de celui-ci, afin de permettre d'établir si une innovation est prête pour un essai, qui n'a pas nécessairement lieu dans un environnement opérationnel. Il s'agit d'un environnement qui vise particulièrement à imposer un « stress » sur la technologie en question.

Environnement opérationnel :

L'environnement dans lequel le produit final sera exploité. Pour les logiciels, l'environnement sera défini par la plateforme opérationnelle.

Date de modification :

2020-01-28

Annexe 3 : Cadre conceptuel pour l'innovation responsable en santé

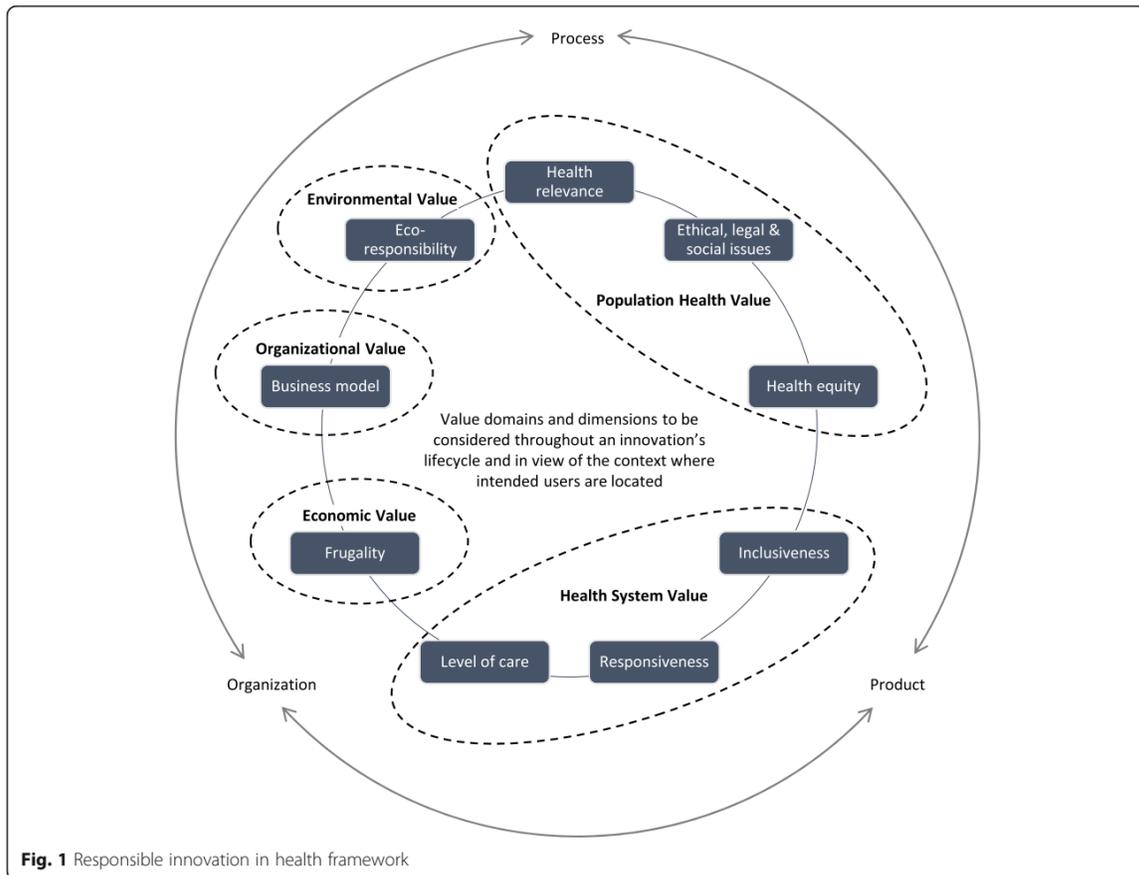


Figure 5. Responsible innovation in health framework

Responsible innovation in health framework de “Introducing responsible innovation in health: a policy-oriented framework,” par Pacifico et al. (2018), *Health Research Policy and Systems*, 16(90), p.9 <https://doi.org/10.1186/s12961-018-0362-5>

Annexe 4 : Stratégie de recherche *MEDLINE* utilisée pour l'examen de la portée

| Mots clés | Stratégie de recherche |
|--|--|
| “wheelchair”, “intelligent” “smart” | ((intelligen* or smart) adj2 (wheelchair* or wheel chair*)).ab,kw,ti. |

Annexe 5 : Stratégie de recherche utilisée pour l'examen de la portée dans les autres bases de données consultées

| Mots clés | Stratégie de recherche |
|---|---|
| "wheelchair", "intelligent" "smart" | ((intelligen* or smart) adj2 (wheelchair* or wheel chair*)).ab,kw,ti. |
| | OR |
| "navigation" "planification", "awareness", "human aware" | ((navigation* or planification) adj2 (awareness* or human aware*)).ab,kw,ti. |
