

Université de Montréal

Utilisation de la télé-réadaptation combinée à la réalité virtuelle non immersive pour  
la réadaptation du membre supérieur à la suite d'un accident vasculaire cérébral

*Par*

Dorra Rakia Allegue

Faculté de médecine

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (PhD)

en Sciences de la réadaptation

Décembre 2021

© Dorra Rakia Allegue, 2021



Université de Montréal

Sciences de la réadaptation / École de réadaptation / Faculté de médecine

---

*Cette thèse intitulée*

**Utilisation de la téléadaptation combinée à la réalité virtuelle non immersive pour  
la réadaptation du membre supérieur à la suite d'un accident vasculaire cérébral**

*Présenté par*

**Dorra Rakia Allegue**

*A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes*

**Danielle Levac**

Présidente-rapporteuse

**Dahlia Kairy**

Directrice de recherche

**Johanne Higgins**

Codirectrice

**Shalini Lal**

Membre du jury

**Jean-Francois Daneault**

Examineur externe



## Résumé

La réalité virtuelle et la télé-réadaptation sont deux technologies qui pourraient permettre d'avoir accès à des programmes de réadaptation stimulants et d'assurer un suivi aux survivants d'accident vasculaire cérébral (AVC) présentant des séquelles chroniques du membre supérieur. L'intégration de techniques motivationnelles et comportementales au cours du suivi est d'autant plus importante, face à la nature chronique de la maladie, pouvant permettre l'autonomisation des survivants d'AVC. Toutefois, l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et de la télé-réadaptation (VirTele) est peu explorée dans la littérature. Ainsi les objectifs de cette thèse étaient de : 1) Déterminer la faisabilité de VirTele pour la réadaptation du membre supérieur à domicile, auprès des survivants d'AVC en phase chronique; 2) Explorer l'efficacité préliminaire de VirTele sur la fonction motrice du membre supérieur, la quantité et la qualité d'utilisation du membre supérieur, la qualité de vie et la motivation, chez les survivants d'AVC, comparé aux traitements conventionnels prodigués à domicile; 3) Explorer les déterminants de l'intention et du comportement d'utilisation de VirTele; 4) Identifier les stratégies motivationnelles et comportementales utilisées par les cliniciens et explorer leur impact sur l'autonomisation des survivants d'AVC. Pour répondre à ces objectifs, trois études ont été réalisées. Premièrement, une étude de cas unique a évalué la faisabilité et l'efficacité préliminaire de VirTele, ainsi que les déterminants de l'intention et du comportement d'utilisation de la technologie, auprès d'un citoyen partenaire en phase chronique d'AVC. Deuxièmement, une évaluation des neuf premiers participants d'un essai clinique randomisé a exploré la faisabilité et l'efficacité préliminaire de VirTele, comparé à un traitement conventionnel. Troisièmement, une étude de cas multiples imbriquée à l'essai clinique randomisé a identifié les stratégies motivationnelles et comportementales utilisées par deux cliniciens au cours de l'intervention, ainsi que leur impact sur l'autonomisation de trois survivants d'AVC. Cette étude a aussi exploré plus en détail les déterminants d'utilisation de VirTele.

En résumé, les résultats de ces études confirment la faisabilité et la sécurité de prodiguer un programme de réadaptation à distance par VirTele. De plus, les résultats suggèrent que le

programme VirTele pourrait entraîner des effets comparables au programme standardisé conventionnel au niveau de la récupération du membre supérieur. La motivation autonome à s'engager au programme d'entraînement semble être plus élevée au cours de VirTele, tandis que l'amélioration de la qualité de vie n'a été observée que dans le groupe contrôle. Par ailleurs, des techniques de changement de comportement et techniques motivationnelles spécifiques à VirTele ont été intégrées par les cliniciens, au cours de l'intervention. Ces techniques auraient possiblement potentialisé l'autonomisation des survivants d'AVC, à travers une adhérence plus élevée au programme d'entraînement et une utilisation plus fréquente du membre supérieur. Enfin, la combinaison des résultats des trois études a permis de concevoir une image plus complète des déterminants de l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele par les survivants d'AVC et les cliniciens. En somme, les résultats de ces études soutiennent la pertinence de continuer les efforts de recherche dans le contexte de la réadaptation à la suite d'un AVC par la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation.

**Mots-clés :** accident vasculaire cérébral, réalité virtuelle, jeu vidéo, téléadaptation, membre supérieur, motivation, technique de changement de comportement, autonomisation.

## Abstract

Virtual reality and telerehabilitation are two technologies that could provide access to stimulating rehabilitation programs and follow-up for stroke survivors with chronic upper extremity sequelae. The integration of motivational and behavioral techniques during follow-up, is especially important given the chronic nature of the disease, which can empower stroke survivors. However, the combined use of virtual reality and telerehabilitation (VirTele) is not yet well understood. Thus the objectives of this thesis were to 1) Determine the feasibility of VirTele for home-based upper extremity rehabilitation in chronic stroke survivors; 2) Explore the preliminary efficacy of VirTele on upper extremity motor function, quantity and quality of upper extremity use, quality of life, and motivation, in stroke survivors compared to conventional treatment; 3) Explore the determinants of intention and use behavior of VirTele; 4) Identify the motivational and behavioral strategies used by clinicians and their impact on the empowerment of stroke survivors. To address these objectives, three studies were conducted. First, a single case study assessed the feasibility and preliminary efficacy of VirTele, as well as the determinants of intention and use behavior of the technology, with a citizen partner in the chronic phase of stroke. Second, an evaluation of the first nine participants in a randomized clinical trial explored the feasibility and preliminary efficacy of VirTele compared with conventional treatment provided at home. Third, a multiple case study embedded in the randomized clinical trial identified the motivational and behavioral strategies used by two clinicians during the intervention and their impact on empowerment of three stroke survivors. This study also explored in more detail the determinants of VirTele use.

In summary, the results of these studies support the feasibility and safety of delivering a remote rehabilitation program using VirTele. In addition, the results suggest that the VirTele program may result in effects comparable to the conventional standardized program in terms of upper extremity recovery. Autonomous-motivation to engage in the training program appeared to be higher during VirTele, whereas improvement in quality of life was only observed in the control group. In addition, behavioral change and motivational techniques specific to VirTele were incorporated by the clinicians during the intervention. These techniques may have enhanced the empowerment of stroke survivors through higher adherence to the training program and more

frequent use of the upper extremity. Finally, combining the results of the three studies allowed us to develop a more complete picture of the determinants of intention and use behavior of VirTele by stroke survivors and clinicians. In sum, the results of these studies support the relevance of continued research efforts in the context of stroke rehabilitation using virtual reality combined with telerehabilitation.

**Keywords:** stroke, virtual reality, video game, telerehabilitation, upper extremity, motivation, behavior change technique, empowerment.



# Table des matières

<b>Résumé .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>7</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>9</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>21</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>23</b>
<b>Liste des sigles et abréviations .....</b>	<b>25</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>29</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>31</b>
1.1. Défis de la prise en charge des séquelles chroniques du membre supérieur .....	31
1.2. Approche de réadaptation innovante.....	32
<b>2. Recension des écrits .....</b>	<b>35</b>
2.1. Généralités sur l'AVC.....	35
2.1.1. Définition et étiologies .....	35
2.1.2. Physiopathologie des déficits sensorimoteurs .....	36
2.1.3. Les déficits sensorimoteurs du membre supérieur .....	40
2.2. Mécanismes de récupération du membre supérieur et interventions disponibles .....	42
2.2.1. Récupération de la fonction motrice du membre supérieur atteint .....	42
2.2.2. La pratique clinique.....	43
2.2.3. La neuroplasticité et les nouvelles interventions en réadaptation .....	44
2.3. La réalité virtuelle.....	46
2.3.1. Définition.....	46
2.3.2. Caractéristiques d'un environnement virtuel .....	48

2.3.3.	L'immersion et le sentiment de présence.....	49
2.3.4.	Les catégories de la réalité virtuelle.....	49
2.3.5.	Les systèmes de réalité virtuelle .....	51
2.3.5.1.	Les systèmes commerciaux.....	51
2.3.5.2.	Les systèmes personnalisés .....	52
2.3.6.	Efficacité de la réalité virtuelle dans le contexte d'AVC .....	53
2.3.6.1.	Efficacité des jeux commerciaux par rapport aux systèmes personnalisés .....	53
2.3.6.2.	Efficacité de la réalité virtuelle par rapport au traitement conventionnel .....	54
2.3.7.	Raisonnement du choix de la réalité virtuelle comme outil de réadaptation .....	58
2.3.7.1.	La répétition .....	59
2.3.7.2.	La motivation .....	60
2.3.7.3.	Niveau de difficulté adapté.....	60
2.3.7.4.	Rétroaction augmentée multisensorielle .....	60
2.3.7.5.	Paradigme d'entraînement.....	61
2.3.7.6.	Stimulation cognitive .....	62
2.3.8.	Limites de la réalité virtuelle.....	63
2.4.	Programme d'intervention par la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation ....	63
2.4.1.	Supervision en direct de la performance lors des jeux.....	65
2.4.2.	Transfert des gains moteurs de l'environnement virtuel aux activités de la vie quotidienne .....	66
2.4.3.	Interaction entre le clinicien et le survivant d'AVC.....	68
<b>3.</b>	<b>Assise théorique.....</b>	<b>71</b>
3.1.	La théorie de l'autodétermination .....	71
3.1.1.	Mise en contexte.....	72

3.1.2.	Les principes sous-tendant la théorie de l'autodétermination .....	73
3.1.3.	L'entretien motivationnel .....	75
3.1.3.1.	Lien entre l'entretien motivationnel et les concepts de la théorie de l'autodétermination .....	76
3.1.3.2.	Techniques motivationnelles et techniques de changement de comportement 78	
3.1.3.3.	Évaluation de l'impact de l'entretien motivationnel .....	81
3.2.	La théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation de technologies.....	82
3.2.1.	Les principes sous-tendant la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie.....	82
3.2.2.	Définition opérationnelle des construits .....	84
<b>4.</b>	<b>Objectifs.....</b>	<b>87</b>
4.1.	Objectif général .....	87
4.2.	Objectifs spécifiques .....	87
<b>5.</b>	<b>Méthode .....</b>	<b>89</b>
5.1.	Article n°1. Optimization of Upper Extremity Rehabilitation by Combining Telerehabilitation With an Exergame in People With Chronic Stroke: Protocol for a Mixed Methods Study .....	90
5.1.1.	Avant-propos.....	92
5.1.2.	Abstract .....	93
5.1.3.	Introduction.....	94
5.1.3.1.	Background .....	94
5.1.3.2.	Increasing Training Intensity in Stroke Rehabilitation .....	95
5.1.3.3.	Study Objectives .....	96
5.1.4.	Methods .....	97

5.1.4.1.	Study Design.....	97
5.1.4.2.	Participant Selection and Recruitment Strategy .....	98
5.1.4.3.	Sampling.....	99
5.1.4.4.	Description of Interventions .....	100
5.1.4.4.1.	Experimental Group .....	100
5.1.4.4.1.1.	Telerehabilitation Component .....	100
5.1.4.4.1.2.	Virtual Reality Component .....	101
5.1.4.4.2.	Control Group.....	102
5.1.4.5.	Data Collection.....	103
5.1.4.5.1.	Quantitative Data .....	103
5.1.4.5.2.	Qualitative Data.....	106
5.1.4.6.	Data Analysis.....	106
5.1.4.6.1.	Quantitative Data Analyses .....	106
5.1.4.6.2.	Qualitative Data Analyses.....	107
5.1.5.	Results .....	107
5.1.6.	Discussion .....	108
5.1.6.1.	Study Design.....	108
5.1.6.2.	Data Collection.....	108
5.1.6.3.	Conclusions .....	109
5.1.7.	Acknowledgments.....	110
5.1.8.	Conflicts of Interest.....	110
5.1.9.	Abbreviations .....	110
5.1.10.	References.....	110
5.2.	Modifications apportées au protocole.....	117

5.2.1.	Recrutement des participants.....	117
5.2.2.	Durée d'interventions dans le cadre de l'essai clinique randomisé .....	117
5.2.3.	Mesures des résultats .....	118
5.3.	Éléments méthodologiques supplémentaires .....	121
5.3.1.	Plan d'études doctorales.....	121
5.3.2.	Assise philosophique .....	122
5.3.3.	Approche motivationnelle .....	123
<b>6.</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>125</b>
6.1.	Article n°2. A Personalized Home-Based Rehabilitation Program Using Exergames Combined With a Telerehabilitation App in a Chronic Stroke Survivor: Mixed Methods Case Study	126
6.1.1.	Avant-propos.....	128
6.1.2.	Abstract .....	130
6.1.3.	Introduction.....	131
6.1.3.1.	Background .....	131
6.1.3.2.	Objectives.....	133
6.1.4.	Methods .....	133
6.1.4.1.	Overview .....	133
6.1.4.2.	Participant.....	133
6.1.4.3.	VirTele Intervention Protocol .....	134
6.1.4.3.1.	Overview.....	134
6.1.4.3.2.	Exergame Sessions .....	135
6.1.4.3.3.	Gameplay Overview .....	136
6.1.4.3.4.	Telerehabilitation .....	137

6.1.4.3.5. Motivational Interviewing .....	138
6.1.4.4. Data Collection.....	139
6.1.4.4.1. Functional Performance and Self-reported Data.....	139
6.1.4.4.2. Qualitative Data.....	141
6.1.4.4.3. Feasibility Data .....	142
6.1.4.5. Data Analysis.....	142
6.1.5. Results .....	143
6.1.5.1. Functional Performance and Self-reported Data .....	143
6.1.5.2. Qualitative Data .....	145
6.1.5.2.1. Determinants of Behavioral Intention and Use Behavior of VirTele .....	145
6.1.5.2.1.1. Performance.....	145
6.1.5.2.1.2. Effort.....	146
6.1.5.2.1.3. Social Influence.....	146
6.1.5.2.1.4. Facilitating Conditions and Obstacles .....	146
6.1.5.2.2. Empowerment.....	147
6.1.5.3. Feasibility Data.....	149
6.1.5.3.1. Adherence to the VirTele Program .....	149
6.1.5.3.2. Technical Challenges and Adverse Events.....	150
6.1.6. Discussion.....	152
6.1.6.1. Principal Findings .....	152
6.1.6.1.1. Adherence to VirTele, Technical Challenges, and Preliminary Efficacy Results .....	152
6.1.6.1.2. Participant Motivation .....	154
6.1.6.1.3. Determinants of Behavioral Intention and Use Behavior of VirTele .....	155

6.1.6.1.4. Empowerment Indicators.....	156
6.1.6.2. Study Limitations .....	156
6.1.6.3. Future Research .....	157
6.1.6.4. Conclusions .....	158
6.1.7. Acknowledgments.....	158
6.1.8. Conflicts of Interest .....	158
6.1.9. Abbreviations .....	158
6.1.10. References.....	159
6.2. Article n°3. Rehabilitation of Upper Extremity by Telerehabilitation Combined With Exergames in Survivors of Chronic Stroke: Preliminary Findings From a Feasibility Clinical Trial. .....	166
6.2.1. Avant-propos.....	168
6.2.2. Abstract .....	169
6.2.3. Introduction.....	170
6.2.3.1. Exergames: types and efficacy.....	170
6.2.3.2. Telerehabilitation combined with exergames.....	172
6.2.4. Methods .....	173
6.2.4.1. Study design .....	173
6.2.4.2. Ethics approval.....	174
6.2.4.3. Participant selection and recruitment strategy.....	174
6.2.4.4. Intervention protocol.....	175
6.2.4.4.1. Experimental group .....	175
6.2.4.4.2. Control group .....	176
6.2.4.5. Outcomes measures .....	177

6.2.4.5.1. Overview.....	177
6.2.4.5.2. Feasibility indicators.....	177
6.2.4.5.3. Performance outcome measure .....	178
6.2.4.5.4. Self-reported questionnaires .....	179
6.2.4.6. Data analysis .....	179
6.2.5. Results .....	180
6.2.5.1. Overview .....	180
6.2.5.2. Feasibility indicators .....	183
6.2.5.2.1. Process indicators.....	183
6.2.5.2.2. Resources .....	183
6.2.5.2.3. Management .....	185
6.2.5.2.4. Scientific feasibility .....	186
6.2.5.3. Performance outcome measure .....	186
6.2.5.4. Self-reported questionnaires.....	187
6.2.5.4.1. MAL-30 Questionnaire .....	187
6.2.5.4.2. SIS-16 Questionnaire .....	189
6.2.5.4.3. TSRQ measure .....	190
6.2.6. Discussion.....	192
6.2.6.1. Feasibility and impact indicators .....	192
6.2.6.1.1. Feasibility indicators.....	192
6.2.6.1.1.1. Criteria of VirTele use.....	192
6.2.6.1.1.2. Dose of VirTele intervention .....	193
6.2.6.1.1.3. The optimal duration of VirTele intervention .....	194
6.2.6.1.1.4. Factors that may affect adherence to VirTele intervention.....	195



- 6.2.6.1.2. VirTele impact indicators.....195
- 6.2.6.2. Role of motivational interviewing.....196
- 6.2.6.3. Limitations and recommendations .....198
- 6.2.6.4. Conclusions .....198
- 6.2.7. Acknowledgments.....199
- 6.2.8. Conflicts of interest .....199
- 6.2.9. Abbreviations .....199
- 6.2.10. References.....200
- 6.3. Article n°4. Lessons Learned From Clinicians And Stroke Survivors About Using Telerehabilitation Combined With Exergames: Multiple Case Study .....207
- 6.3.1. Avant-propos.....209
- 6.3.2. Abstract .....210
- 6.3.3. Introduction.....211
- 6.3.3.1. VirTele: Virtual reality combined with telerehabilitation.....212
- 6.3.3.2. Sustaining gains through behavior modification and shared decision-making....  
.....213
- 6.3.4. Methods .....215
- 6.3.4.1. Study design .....215
- 6.3.4.2. Context.....215
- 6.3.4.3. Sampling strategy and participants .....215
- 6.3.4.4. Ethical considerations .....216
- 6.3.4.5. VirTele protocol .....216
- 6.3.4.6. Determinants of VirTele acceptability by end-users .....217
- 6.3.4.7. Data collection .....218

6.3.4.8.	Data analysis and processing .....	218
6.3.4.9.	Rigor .....	219
6.3.5.	Results .....	219
6.3.5.1.	Case description and comparison .....	221
6.3.5.2.	Determinants of VirTele use .....	224
6.3.5.2.1.	Performance .....	227
6.3.5.2.1.1.	Relative advantages.....	227
6.3.5.2.1.2.	Stroke survivors' perceptions of exergames .....	227
6.3.5.2.1.3.	Perceived change in use of affected arm .....	227
6.3.5.2.1.4.	Clinicians' role in VirTele context .....	227
6.3.5.2.1.5.	Instructions and demonstrations of exercises through technology ..	228
6.3.5.2.1.6.	Perceived limits of exergames and stroke survivors' experience .....	228
6.3.5.2.2.	Effort.....	228
6.3.5.2.3.	Social influence (only for stroke survivors) .....	229
6.3.5.2.4.	Contextual facilitators and challenges .....	229
6.3.5.3.	Clinicians' recommendations regarding the use of VirTele.....	229
6.3.6.	Discussion .....	230
6.3.6.1.	Principal findings.....	230
6.3.6.1.1.	Indicators of empowerment and support of psychological needs.....	231
6.3.6.1.2.	Determinants of VirTele use .....	232
6.3.6.2.	Comparison to prior work.....	233
6.3.6.3.	Limitations.....	234
6.3.6.4.	Conclusion.....	234
6.3.7.	Acknowledgments.....	235

6.3.8.	Conflicts of Interest .....	235
6.3.9.	Abbreviations .....	235
6.3.10.	References.....	236
<b>7.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>241</b>
7.1.	Faisabilité et efficacité préliminaire d'un programme de réadaptation par la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation.....	241
7.2.	Les ingrédients actifs d'un programme de réadaptation par réalité virtuelle non immersive combinée à la téléadaptation .....	246
7.2.1.	Rétroaction multisensorielle .....	246
7.2.2.	Rétroaction sur la performance et le résultat.....	247
7.2.3.	Espacement entre les séances d'exercices et réduction progressive de la rétroaction .....	249
7.2.4.	Dosage .....	250
7.2.5.	Stratégies motivationnelles et comportementales .....	252
7.3.	Les déterminants de l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele .....	254
7.4.	Limites du projet de recherche .....	262
7.5.	Implications pour la pratique clinique .....	262
7.5.1.	Technologies et expertises.....	262
7.5.2.	Stage de transfert de connaissances.....	263
7.6.	Perspectives et recherches futures.....	265
7.6.1.	Pistes d'amélioration des interventions en réalité virtuelle et téléadaptation .	265
7.6.1.1.	La rétroaction tactile et des forces d'interaction .....	265
7.6.1.2.	Apprentissage automatique .....	266
7.6.2.	Études futures .....	267
7.6.2.1.	Portrait des utilisateurs.....	267

7.6.2.2.	Mesures adaptées aux systèmes de téléadaptation .....	267
7.6.2.3.	Impact sur les fonctions cognitives.....	268
7.6.2.4.	Évaluation économique .....	268
<b>Conclusion</b> .....		<b>271</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....		<b>275</b>
<b>Annexe 1 : Operational definitions</b> .....		<b>297</b>
<b>Annexe 2 : Activités de transfert de connaissances</b> .....		<b>299</b>
<b>Annexe 3 : The predetermined qualitative coding scheme</b> .....		<b>304</b>
<b>Annexe 4 : A screenshot of the combined use of Jintronix and Reacts</b> .....		<b>306</b>
<b>Annexe 5 : Renouvellement du certificat d'éthique</b> .....		<b>307</b>
<b>Annexe 6 : Plan de discussion en entretien motivationnel</b> .....		<b>309</b>
<b>Annexe 7 : Screenshots of the Jintronix exergames</b> .....		<b>315</b>
<b>Annexe 8 : Guideline for motivational interviewing in the study</b> .....		<b>320</b>
<b>Annexe 9 : Case description</b> .....		<b>321</b>
<b>Annexe 10 : Clinicians' recommendations about using telerehabilitation combined with exergames</b> .....		<b>329</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> – Description of feasibility indicators outcomes (Article n°1).....	104
<b>Tableau 2.</b> – Functional performance and self-reported measures (Article n°2).....	143
<b>Tableau 3.</b> – Description of empowerment indicators in terms of capacities and behaviors (Article n°2).....	148
<b>Tableau 4.</b> – Time spent and the total number of repetitions achieved in the exergames (Article n°2).....	150
<b>Tableau 5.</b> – Sociodemographic data (Article n°3).....	182
<b>Tableau 6.</b> – Exergame sessions and activities performed by each participant receiving VirTele intervention (Article n°3).....	183
<b>Tableau 7.</b> – Frequency of use and time spent on GRASP in the control group (Article n°3).	185
<b>Tableau 8.</b> – Fugl Meyer Assessment -Upper extremity motor function score in the experimental and control group (Article n°3).....	187
<b>Tableau 9.</b> – Motor activity log scores in the experimental and control group (Article n°3)..	188
<b>Tableau 10.</b> – Stroke Impact Scale scores in the experimental and control group (Article n°3). ....	189
<b>Tableau 11.</b> – Treatment self-regulation scores in the experimental and control group (Article n°3). ....	191
<b>Tableau 12.</b> – Stroke survivor sociodemographic data (Article n°4).....	220
<b>Tableau 13.</b> – Indicators of empowerment and support of psychological needs (Article n°4).	221
<b>Tableau 14.</b> – Determinants of VirTele use (Article n°4). ....	224
<b>Tableau 15.</b> – Lessons learned about using telerehabilitation combined with exergames (Article n°4). ....	230



## Liste des figures

Figure 1. – Système nerveux central et périphérique.....	37
Figure 2. – Reconstruction tridimensionnelle de l'ensemble du système nerveux central.....	38
Figure 3. – Représentation du processus du changement de comportement en termes de la théorie de l'autodétermination, des techniques de changement de comportement et des techniques motivationnelles . ....	80
Figure 4. – Représentation de la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie.....	83
Figure 5. – Description of the outcome measurement time (Article n°1). ....	98
Figure 6. – Sommaire des articles scientifiques et chronologie du plan d'études. ....	122
Figure 7. – All phases of the Fish Frenzy task are depicted from (a) to (f) (Article n°2). ....	136
Figure 8. – All phases of running the exergames and the videoconference system simultaneously are depicted from left to right (Article n °2).....	137
Figure 9. – Factors that influence behavioral intention and use behavior of VirTele (Article n°2). ....	147
Figure 10. –Group allocation, follow up and data analysis (Article n°3).....	181
Figure 11. –Representation of the theoretical and technological components of the VirTele intervention .....	216
Figure 12. –Les déterminants d'intention et de comportement d'utilisation de VirTele de la perspective des survivants d'AVC. ....	255
Figure 13. –Les déterminants d'intention et de comportement d'utilisation de VirTele de la perspective des cliniciens.....	261





## Liste des sigles et abréviations

**AVC:** Accident vasculaire cérébral

**M1:** cortex moteur primaire

**2D:** dimension définit en termes de longueur et hauteur

**3D:** dimension définit en termes de longueur, hauteur, largeur et profondeur

**CAREN:** Computer assisted rehabilitation environment

**IREX:** Interactive rehabilitation exercise system 2D

**GRASP:** Graded repetitive arm supplementary program

**VirTele:** programme de réadaptation combinant la réalité virtuelle et la téléadaptation

**COVID-19:** Pandémie de coronavirus

**MCID:** Minimal Clinically Important Difference

**CCSMTL:** Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal



*A mes chers parents Nedra et Kamel qui ont toujours été là pour me soutenir, et qui ont été ma force pour surmonter toutes les difficultés, les mots ne suffiront pas pour vous exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Merci énormément...*



## Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ma directrice du projet de recherche, Prof. Dahlia Kairy, pour son accompagnement et pour la richesse de son enseignement. Je suis ravie d'avoir pu travailler avec son appui, car outre son soutien scientifique, elle a toujours été présente pour soutenir toutes les décisions prises en lien avec mon projet doctoral. Je la remercie pour toutes les opportunités qu'elle m'a offertes pour améliorer mes compétences et mes expertises dans mon domaine. Je la remercie également pour sa bienveillance et l'empathie qu'elle témoigne envers ses étudiants. J'en sors de cette expérience épanouie et fière de ce que j'ai accompli. Mes sincères remerciements sont adressés à Prof. Johanne Higgins, codirectrice du projet de recherche, pour son apport stimulant aux différents travaux de ce projet de thèse, pour tous ses conseils et commentaires qui m'ont permis d'envisager mon travail sous un autre angle. Je tiens à remercier particulièrement Prof. Shane Norman Sweet pour son apport pertinent à ce projet de thèse et pour son partage d'expertise. Je remercie notamment Prof. Philippe Archambault, Prof. François Michaud, Prof. William Miller et Prof. Michel Tousignant pour leurs commentaires envers les différents travaux de cette thèse.

Je tiens à remercier la mission universitaire de Tunisie et l'Université de Montréal pour la bourse d'admission, qui m'a permis d'entamer mes études doctorales au Canada. Je suis infiniment reconnaissante pour cette chance qui m'a ouvert la voie vers un avenir auquel je n'ai jamais pensé être possible. Merci encore à l'Université de Montréal pour les différents programmes de bourses et de support financier. Merci à l'école de réadaptation pour les bourses de rédaction et d'excellence. Merci au centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) pour la bourse doctorale et les bourses de rayonnement scientifiques. Merci au réseau provincial en recherche d'adaptation-réadaptation (REPAR) pour le soutien financier pour présentation à des événements scientifiques nationaux et internationaux. Merci au fonds de recherche du Québec – Santé (FRQ) pour la bourse Tremplin. Enfin, merci aux instituts de recherche en Santé du Canada (IRSC) pour la bourse de recherche.

Merci à tous mes collègues du CRIR et de l'Université de Montréal pour les échanges constructifs et les bons moments que nous avons partagés. Un merci particulier à Larissa Tavares, Haifa Akremi, Alexandre Monpère, Alejandro Hernandez, Nathalie Todam Nguepnang et Manuel Jose Escalona, je chéris notre amitié.

Je remercie également mon amie Naama Ouled pour tous les moments formidables que nous avons partagés et pour tes précieux conseils. Tu es une vraie source d'inspiration pour moi.

Finalement, je remercie mon mari Fares Omar qui m'a rejoint récemment dans mon aventure canadienne. Merci pour tous les sacrifices et pour ton soutien incessant. Merci d'avoir apporté des brins de douceur et de légèreté dans ma vie, j'en avais énormément besoin.

# 1. Introduction

L'accident vasculaire cérébral (AVC) représente la troisième cause de décès au Canada, et la première cause d'handicap fonctionnel chez l'adulte, comptant plus de 50 000 nouveaux cas chaque année, soit un cas toutes les 10 minutes (Ontario Stroke Network, s. d.). Plus de 300,000 Canadiens continuent de vivre avec les séquelles d'un AVC, en tant que maladie chronique (Agence de la santé publique du Canada, 2009). Ces séquelles peuvent toucher les membres supérieurs, les membres inférieurs et l'équilibre, limitant la réalisation des activités de la vie quotidienne (Agence de la santé publique du Canada, 2009). Les coûts directs (hospitalisations, frais des cliniciens, etc.) et indirects (perte de productivité, déplacements, etc.) liés à la maladie s'élèvent à 3,6 \$ milliards par année (Ontario Stroke Network, s. d.). On estime une augmentation de la prévalence des survivants d'AVC pouvant aller jusqu'à 726 000 en 2038 (Krueger et al., 2015), qui entrainera un énorme fardeau économique.

## 1.1. Défis de la prise en charge des séquelles chroniques du membre supérieur

La réadaptation à la suite d'un AVC débute souvent en milieu hospitalier (en soins aigus), suivi de la réadaptation intensive en centre de réadaptation, pour une durée variable, dépendamment des ressources et des besoins (Hebert et al., 2016). Les rapports sur les services offerts en réadaptation au Canada, montrent qu'il n'existe pas de consensus quant aux soins prodigués pour le membre supérieur atteint, et qu'ils varient en termes de durée, d'intensité et de types de traitement (Hebert et al., 2016). D'ailleurs, il est souvent rapporté que la réadaptation interne se concentre essentiellement sur la mobilité, la stabilité du tronc, l'équilibre et la marche (Loureiro et al., 2011), malgré qu'il existe des recommandations pour la réadaptation du membre supérieur (Hebert et al., 2016; Lanctôt et al., 2020).

Par ailleurs, les recommandations canadiennes pour les pratiques optimales de soin de l'AVC (version 2015, version 2019) (Hebert et al., 2016; Lanctôt et al., 2020) encouragent la mise en place du congé précoce accompagné de soutien, dont l'objectif est d'accélérer la transition de

l'hôpital au domicile, en recourant à des services de réadaptation communautaires (soins cliniques ambulatoires et externes, cliniques communautaires, centres récréatifs, etc.) (Hebert et al., 2016). L'avantage de ce programme est qu'il pourrait réduire le fardeau économique pour le système de santé et contribuer à l'amélioration de la performance des activités de la vie quotidienne (Fearon et al., 2012).

Toutefois, parmi les 60 % des survivants qui obtiennent un congé précoce, 11 % seulement accèdent aux services communautaires en réadaptation (Fondation des maladies du cœur et de l'AVC, 2014). En effet, ces services ne sont pas disponibles dans toutes les régions canadiennes et les ressources au niveau du système de santé sont limitées (Fondation des maladies du cœur et de l'AVC, 2014). Par conséquent, plusieurs survivants se retrouvent avec des séquelles chroniques au niveau du membre supérieur et 11,6 % seulement retrouvent une fonction motrice complète, après 6 mois suivant l'AVC (Kwakkel et al., 2003). Une récupération suboptimale de la fonction motrice du membre supérieur pourrait affecter la performance des activités de la vie quotidienne et limiter la participation sociale. En effet, plus de 59,5 % des survivants nécessitent de l'aide pour accomplir leurs activités de la vie quotidienne et 83,6 % rencontrent des difficultés à faire des activités qu'ils apprécient (Agence de la santé publique du Canada, 2009).

## **1.2. Approche de réadaptation innovante**

Étant donné les ressources limitées dans le système de santé, il est essentiel de développer des approches innovantes pour maximiser la réadaptation des séquelles du membre supérieur à la suite d'un AVC, tout en tenant compte de la réalité du contexte et des besoins des utilisateurs. La réalité virtuelle et la téléadaptation sont deux technologies qui pourraient permettre d'avoir accès à des programmes de réadaptation stimulants et d'assurer un suivi aux personnes qui en ont le plus besoin. Face à la nature chronique des séquelles, des techniques motivationnelles et comportementales pourraient être intégrées au cours des suivis, afin de susciter l'intérêt du survivant d'AVC envers son programme d'exercice et changer le comportement mal sain. En effet, le maintien des gains dépend de l'adhérence au programme d'exercice et du comportement de la personne vis-à-vis à son membre supérieur atteint (négligence et non-utilisation). Ainsi ce projet d'études doctorales vise à développer et évaluer la pertinence d'un tel programme dans le



but d'améliorer les services de réadaptation offerts en communauté, aux survivants d'AVC ayant des séquelles chroniques au niveau du membre supérieur.



## **2. Recension des écrits**

Afin de mieux comprendre les séquelles que peut entraîner l'AVC, les solutions disponibles et possibles avec la réalité virtuelle prodiguée par téléadaptation, une description détaillée des notions fondamentales de la maladie et du rôle que peuvent jouer les nouvelles technologies dans la réadaptation devraient être rapportées. Ainsi, la section suivante présente une recension des écrits qui s'articule autour de quatre thématiques : généralités sur l'AVC; mécanismes de récupération du membre supérieur et interventions disponibles; la réalité virtuelle; programme d'intervention par la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation. La partie généralité sur l'AVC présente des notions fondamentales au sujet de la maladie, soient l'étiologie, la physiopathologie des déficits sensorimoteurs et les déficits sensorimoteurs spécifiques au membre supérieur. La partie mécanisme de récupération du membre supérieure et interventions disponibles décrit les facteurs sous-tendant la récupération des déficits sensorimoteurs et présente l'éventail d'interventions offertes pour la réadaptation du membre supérieur. La partie sur la réalité virtuelle, présente une revue des concepts théoriques, des caractéristiques, des types de systèmes disponibles, d'efficacité, des éléments pouvant servir à la réadaptation, ainsi que des limites de la technologie. Enfin, la partie sur le programme d'intervention par la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation décrit les tâches possibles et l'effet attendu de l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et de la téléadaptation, dans le cadre de la réadaptation du membre supérieur à la suite d'un AVC.

### **2.1. Généralités sur l'AVC**

#### **2.1.1. Définition et étiologies**

L'AVC se produit suite à une interruption du flux sanguin dans une région du cerveau (OMS, s. d.). Le manque d'oxygène et de nutriments endommage le tissu cérébral, à l'origine de plusieurs séquelles neurologiques et sensorimotrices (OMS, s. d.).

Il y a deux grandes catégories d'AVC : l'ischémique et l'hémorragique. L'AVC ischémique se produit à la suite d'un blocage d'un vaisseau sanguin par un caillot. L'ischémie est principalement

causée par l'athérosclérose ou la thrombose (Li et al., 2017). Elle peut être transitoire (Vanderah et Gould, 2015, Chapitre 6), appelée aussi mini AVC (Heart and Stroke Foundation of Canada, 2016), causée par un blocage bref de l'artère par un petit caillot (Vanderah et Gould, 2015, Chapitre 6). Une fois dégagée, l'artère achemine de nouveau le flux sanguin n'entraînant aucun dommage aux tissus (Kandel et al., 2012, p. 1554). Par contre, lorsque l'ischémie est prolongée, les tissus neuronaux sont en déficience d'oxygène et de glucose, et ne peuvent éliminer les métabolites toxiques, tel que l'acide lactique (Kandel et al., 2012, p. 1554). L'ischémie de longue durée provoque une mort neuronale (Kandel et al., 2012, p. 1554).

L'AVC hémorragique est causé par une rupture du vaisseau sanguin, qui peut s'initier à la surface du cerveau, comme dans le cas de ruptures d'anévrisme (des points de faiblesse au niveau des artères qui se brisent en cas d'étirement excessif) (Kandel et al., 2012, p. 1554). Elle peut aussi se manifester dans la vascularisation intracérébrale, causant parfois des hématomes qui, à leur tour, entraînent un blocage, induisant une ischémie (Kandel et al., 2012, p. 1554). L'hémorragie est le plus souvent liée à une hypertension artérielle, qui fragilise la paroi artérielle et par conséquent entraîne des ruptures d'anévrisme (Kandel et al., 2012).

Dans certains cas plus rares, l'AVC peut être causé par une infection, une tumeur ou une déformation (gonflement) dans le cerveau (Heart and Stroke Foundation of Canada, 2016). De même, une utilisation excessive de certaines drogues (p. ex. cocaïne) pourrait déclencher un AVC (Heart and Stroke Foundation of Canada, 2016).

### **2.1.2. Physiopathologie des déficits sensorimoteurs**

Le système nerveux comprend le système nerveux central et le système nerveux périphérique (Figure 1). Le système nerveux périphérique se compose de l'ensemble des nerfs crâniens et spinaux qui partent du cerveau et de la moelle épinière, respectivement, afin d'infiltrer toutes les parties du corps et assurer la transmission des messages nerveux entre celles-ci et le système nerveux central (Vanderah et Gould, 2015, Chapitre 1).

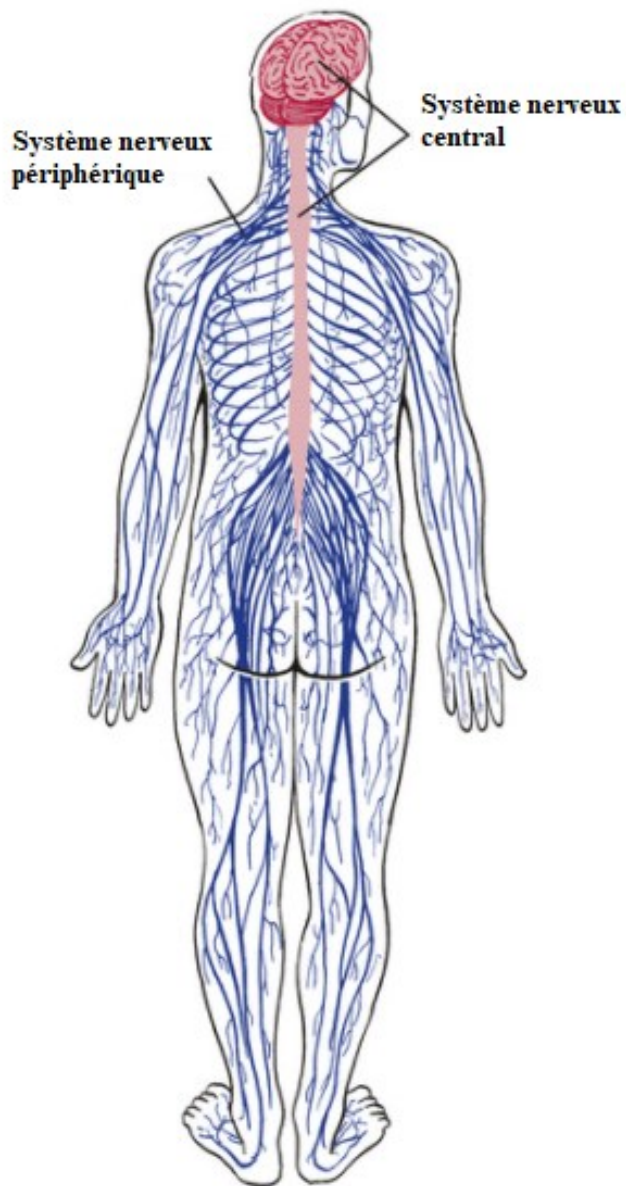


Figure 1. – Système nerveux central et périphérique<sup>1</sup>.

Le système nerveux central se compose du cerveau, protégé à l'intérieur du crâne et de la moelle épinière, située dans la colonne vertébrale (Vanderah et Gould, 2015, Chapitre 1). Le cerveau, quant à lui, comporte trois grandes parties : le cerveau antérieur (constitué par les deux hémisphères cérébraux séparés par le diencephale), le cervelet et le tronc cérébral (situé entre le cerveau antérieur et la moelle épinière) (Figure 2). Chaque hémisphère cérébral est divisé en plusieurs lobes, soient le lobe frontal, pariétal, occipital, temporal et limbique (Vanderah et Gould, 2015, Chapitre 3).

---

<sup>1</sup> Note. Adapté de «Nolte's The Human Brain E-Book: An Introduction to its Functional Anatomy», par T. Vanderah et D. J. Gould, 2015, Elsevier Health Sciences (Fig 1.1). © 2015 par Elsevier Health Sciences. Traduit avec permission.

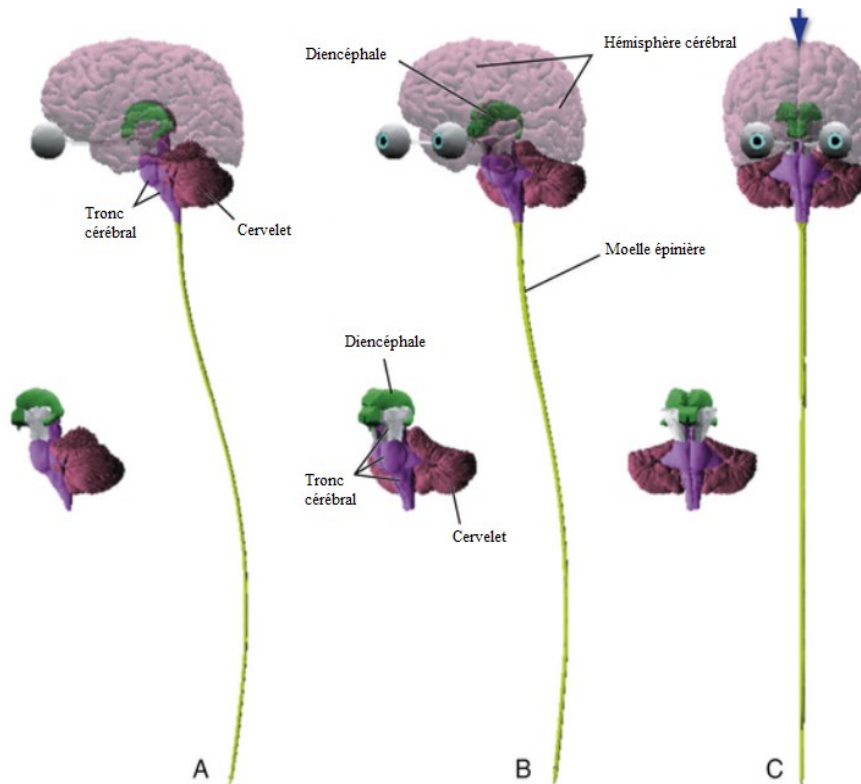


Figure 2. – Reconstruction tridimensionnelle de l'ensemble du système nerveux central<sup>2</sup>.

Vu du côté gauche (A), directement de face (C) et à mi-chemin entre (B). La flèche en C indique la fissure longitudinale qui sépare les deux hémisphères cérébraux.

Le lobe frontal est le siège des aires motrices incluant le cortex moteur primaire (M1) (mouvement volontaire), l'aire pré-motrice et l'aire motrice supplémentaire (planification et initiation du mouvement volontaire), l'aire de Broca (motricité en lien avec l'écriture et la parole) et le cortex préfrontal (fonctions exécutives) (Vanderah et Gould, 2015, Chapitre 3). Quant au lobe pariétal, il représente le siège des aires somatosensorielles incluant le cortex somatosensoriel primaire (S1) (responsable de la sensibilité tactile et proprioceptive) (Vanderah et Gould, 2015, Chapitre 3).

<sup>2</sup> Note. Adapté de «Nolte's The Human Brain E-Book: An Introduction to its Functional Anatomy», par T. Vanderah et D. J. Gould, 2015, Elsevier Health Sciences (Fig 1.2). © 2015 par Elsevier Health Sciences. Adapté avec permission.

Le système nerveux central contrôle la fonction motrice à travers différents mécanismes neuronaux segmentaires (moelle épinière) et supra-segmentaires (tronc cérébral) (Jabbour, 2014, p. 15). En fonction des informations périphériques provenant de différents récepteurs (musculaires, articulaires, cutanés, visuels, etc.), le système nerveux régule la commande motrice par la stimulation ou l'inhibition, afin d'ajuster le mouvement aux conditions environnementales (Jabbour, 2014, p. 15).

L'interaction entre le cortex cérébral et la moelle épinière se fait par la voie corticospinale, qui comprend une collection d'axones acheminant l'information relative au mouvement (Vanderah et Gould, 2015). Le cortex moteur primaire (M1) est à l'origine de la majorité des projections corticospinales (Vanderah et Gould, 2015). Ces projections contiennent des motoneurones supérieurs provenant des aires motrices, qui transmettent l'information, via des synapses, vers des motoneurones inférieurs en contact avec le système musculosquelettique (Vanderah et Gould, 2015). Les projections corticospinales proviennent notamment des aires pré-motrices, interconnectées avec M1, impliquées dans les stades préparatoires du mouvement et du cortex somatosensoriel primaire (S1), responsables de la sensibilité somatique (proprioceptive et tactile) (Vanderah et Gould, 2015).

Au niveau de la zone de transition du tronc cérébral à la moelle épinière, la voie corticospinale forme deux grandes collections d'axones, appelées pyramides (Vanderah et Gould, 2015). À la base des pyramides, environ 85 % des fibres de la voie corticospinale se décussent, ou se croisent de l'autre côté du tronc cérébral pour former le tractus corticospinal latéral (appelé décussation pyramidale) (Vanderah et Gould, 2015). À l'entrée de la moelle épinière, le tractus corticospinal latéral provoque un mouvement controlatéral à l'hémisphère du cerveau dont il est issu (Vanderah et Gould, 2015). Le reste des fibres du tractus corticospinal (15 %) qui ne se décussent pas, connues sous le nom de tractus corticospinal antérieur, continueront vers le bas dans la moelle épinière du côté ipsilatéral (Vanderah et Gould, 2015). Le tractus corticospinal latéral contrôle essentiellement les muscles des extrémités supérieures et inférieures, alors que le tractus corticospinal antérieur contrôle les muscles proximaux tels que les muscles du tronc, du cou et des épaules.

Une atteinte des motoneurones supérieurs, comme à la suite d'un AVC, pourrait expliquer les déficits moteurs (paralysie, faiblesse musculaire, incoordination) et déficits somatosensoriels (difficulté à détecter un mouvement articulaire ou à discriminer la direction du mouvement dans l'espace, déficits tactiles incluant le toucher et la discrimination), présents du côté controlatéral de l'hémisphère lésé.

Par ailleurs, l'atteinte de la voie pyramidale se traduit par une paralysie ou une parésie (paralysie partielle) des muscles contrôlés par la région lésée. La voie pyramidale a aussi pour fonction l'inhibition du tonus musculaire et des réflexes tendineux, et par conséquent, son atteinte peut entraîner de la spasticité, un clonus musculaire, une apraxie constructive, et le signe de Babinski (Wiesendanger, 1984).

À la suite d'un AVC, les cellules gliales incluant les microglies, les oligodendrocytes et les astrocytes jouent différents rôles en fonction des phases de la maladie (Xu et al., 2020). En phase aiguë, les microglies est parmi les premières cellules qui agissent lors d'une ischémie, en éliminant les cellules mortes, les synapses redondantes et les particules qui peuvent endommager le système nerveux central (Xu et al., 2020) Les microglies libèrent aussi des facteurs pro-inflammatoires et attirent les cellules immunitaires dans le site de la lésion (Xu et al., 2020). En phase chronique, les microglies ont plutôt un effet anti-inflammatoire, en produisant des cytokines protectrices tels que les facteurs neurotrophiques, responsables de la réparation neurale et la survie suite à une ischémie (Xu et al., 2020). À ce stade de la maladie les microglies activent les oligodendrocytes responsables de la remyélinisation des axones, aidant la récupération fonctionnelle (Xu et al., 2020). Par ailleurs, les astrocytes participent quant à eux au maintien de l'homéostasie et la réduction de la neuro-inflammation lors de la phase aiguë, et à la régénération des axones lors de la phase chronique facilitant la récupération fonctionnelle (Xu et al., 2020).

### **2.1.3. Les déficits sensorimoteurs du membre supérieur**

À la suite d'un AVC, les déficits sensorimoteurs du membre supérieur peuvent se manifester par une atteinte du tonus musculaire, de la faiblesse musculaire, des synergies musculaires anormales et des déficits somatosensoriels.



Tout d'abord, l'atteinte du tonus musculaire peut se traduire par de la flaccidité (diminution du tonus musculaire et perte des réflexes ostéotendineux) (Dietz et Sinkjaer, 2007), ou la spasticité « exagération des réflexes ostéotendineux résultant d'une hyperexcitabilité du réflexe d'étirement » (Lance, 1980), affectant les mouvements du membre supérieur et de la jambe et la mobilité (Heart and Stroke Foundation of Canada, 2016). Ensuite, la faiblesse musculaire est définie comme étant l'incapacité à produire un niveau de force musculaire normal (Bourbonnais et Niven, 1989). Parmi les changements physiologiques qui contribuent à la faiblesse musculaire, on cite la réduction du nombre d'unités motrices fonctionnelles allant jusqu'à 50 % (McComas et al., 1971), l'atrophie musculaire et la diminution de la fréquence de décharge des unités motrices agonistes (Rack et Westbury, 1969).

Par ailleurs, à la suite d'un AVC, des modifications dans le recrutement spatiotemporel des muscles atteints se produisent ce qui entraîne des synergies de mouvements anormaux (Cheung et al., 2009; Beer et al., 2007). Ces synergies se manifestent par une difficulté à contrôler la relation temporelle entre les muscles agonistes/antagonistes et l'incapacité d'activer ou désactiver, de manière sélective, les muscles produisant le mouvement (Bourbonnais et Niven, 1989; Cheung et al., 2009). Au niveau du membre supérieur parétique spastique, ces schèmes de mouvements se traduisent par la coactivation excessive entre les fléchisseurs du coude/abducteurs de l'épaule et les extenseurs du coude/adducteurs de l'épaule (Dewald et al., 1995).

Enfin, l'atteinte somatosensorielle (sensibilité tactile et proprioception) est très commune après à un AVC (Tyson et al., 2008). Les déficits tactiles peuvent s'exprimer en perte d'habileté à identifier/différencier la forme et la texture d'un objet parmi d'autres, mais aussi à discriminer la température, la douleur et le toucher à différentes zones sur la peau (Heart and Stroke Foundation of Canada, 2016; Tyson et al., 2008). La perte proprioceptive peut se traduire en des difficultés à détecter un mouvement du corps du côté atteint ou à discriminer la direction des mouvements du corps dans l'espace, tout en ayant les yeux fermés (Tyson et al., 2008).

En présence de déficits sensorimoteurs, les survivants d'AVC utilisent souvent des stratégies compensatoires, afin d'augmenter la mobilité du membre supérieur atteint et accomplir la tâche.

En effet les personnes hémiparétiques ont souvent tendance à fléchir le tronc et à étendre le coude pour atteindre des objets (Levin et al., 2002). Même si l'utilisation de stratégies compensatoires aide à accomplir des tâches, le renforcement et la répétition du schème pathologique affectera la performance du membre supérieur atteint, à long terme (oubli du mouvement correct) (Dickinson, 1985, cité dans Raghavan, 2015). De même, le recours à des stratégies compensatoires par l'utilisation du membre supérieur sain risque de pérenniser le syndrome de non-utilisation acquise, qui survient dès les premières heures suivant l'AVC par une réorganisation corticale au niveau des aires somatomotrices de l'hémisphère lésé (Oujamaa et al., 2009). Ce syndrome entraîne une désadaptation neuromusculaire auto acquise (Oujamaa et al., 2009), où la personne n'utilise plus le membre atteint dans les activités de la vie quotidienne, même s'il est capable de le bouger (Raghavan, 2015).

## **2.2. Mécanismes de récupération du membre supérieur et interventions disponibles**

### **2.2.1. Récupération de la fonction motrice du membre supérieur atteint**

La récupération des déficits sensorimoteurs, à la suite d'un AVC, dépend de plusieurs facteurs tels que l'âge, le volume et le siège de la lésion, l'état physique initial, et les caractéristiques sociales (support social, habitat, etc.) (Duncan et al., 1992). Selon l'étude de Duncan et al. (1992), la récupération spontanée de la fonction motrice du membre supérieur se produit essentiellement, durant les 30 premiers jours suivant l'AVC, quelle que soit la sévérité initiale de la maladie. De même, il a été démontré, qu'après 30 jours suivant l'AVC, les scores du *Fugl Meyer* (mesure des déficits sensorimoteurs du membre supérieur) pouvaient prédire la récupération optimale de la dextérité (*Action Research Arm Test*: mesure de la fonction motrice du membre supérieur) (Kwakkel et al., 2003) et prédire 86 % de la variance de la fonction motrice (Duncan et al., 1992). Entre autres, Duncan et al. (1992) suggèrent que les patients qui gardent des séquelles motrices légères ou modérées (*Fugl Meyer*), en phase aiguë (5 à 30 jours après l'AVC), seraient plus aptes à améliorer leur indépendance au niveau des activités de la vie quotidienne (Barthel Index Score),

contrairement aux survivants ayant des séquelles sévères (30 jours après l'AVC) dont 56 % seulement, retrouvent une indépendance normale (Duncan et al., 1992).

Cela dit, les études indiquent qu'il existe un potentiel d'amélioration même des années après un AVC (Duncan et al., 1992; Heart and Stroke Foundation of Canada, 2016; Hebert et al., 2016), bien que les services de réadaptation soient généralement fournis aux phases aiguës et subaiguës. Certaines études proposent que la récupération spontanée puisse se poursuivre de 3 à 6 mois post AVC (Grefkes et Fink, 2020). Il est donc important de promouvoir les opportunités de réadaptations auprès des survivants, afin de maximiser le potentiel de récupération, quel que soit le temps après l'AVC ou la sévérité des déficits.

### **2.2.2. La pratique clinique**

Dans le contexte d'AVC, les techniques de réadaptation ont énormément évolué, allant de techniques sensorimotrices (p. ex. Bobath(Bobath, 1970), Brunstromm(Brunnstrom, 1966)) et centrées sur les déficiences (p. ex. *Arm BASIS* training (Platz, 2004), entraînement par robot assisté actif contre résistance (Stein et al., 2004), etc.) vers des techniques plus focalisées sur la répétition de tâches fonctionnelles (p. ex. entraînement par robot assisté actif aidé (Stein et al., 2004), thérapie par contrainte). D'ailleurs, concernant la réadaptation du membre supérieur, les recommandations canadiennes pour les pratiques optimales de soins de l'AVC (Hebert et al., 2016), privilégient les thérapies basées sur la répétition fonctionnelle, telles que l'électrostimulation neuromusculaire fonctionnelle (ciblée sur les muscles du poignet et de l'avant-membre supérieur), la thérapie par contrainte traditionnelle (60 heures, six heures par jour, 10 jours consécutifs) (Oujamaa et al., 2009) ou modifiée (moins intense en termes de temps de contrainte, de thérapie et fréquence) (Dawson et al., 2013, p. 38), la thérapie par miroir (traitement complémentaire pour la fonction motrice), et l'imagerie mentale.

Pour les séances de réadaptation ambulatoire et/ou communautaire, les recommandations canadiennes pour les pratiques optimales de soins de l'AVC suggèrent une durée de 45 min par jour, d'une fréquence de 2 à 5 fois par semaine pour une période de 2 mois au minimum (Hebert et al., 2016). L'intensification de la prise en charge du membre supérieur atteint en termes de volume horaire est d'une importance majeure pour l'amélioration de la

fonction motrice (Oujamaa et al., 2009; Weiss et al., 2014). Toutefois, aucun consensus n'existe quant au nombre d'heures nécessaires pour l'entraînement et la durée varie entre 15 heures (Laver et al., 2017) et 25 heures (Oujamaa et al., 2009).

En outre, les recommandations canadiennes pour les pratiques optimales de soins de l'AVC proposent le *Graded Repetitive Arm Supplementary Program* (GRASP), programme d'entraînement supplémentaire, afin d'augmenter l'utilisation active et fonctionnelle du membre supérieur atteint entre les séances de réadaptation (Dawson et al., 2013; Hebert et al., 2016). Le GRASP pourrait être utilisé comme programme complémentaire pour la réadaptation du membre supérieur, permettant aux survivants d'AVC de poursuivre des exercices en communauté. Le GRASP inclut des exercices de renforcement du membre supérieur et de la main (p. ex. poids pour le poignet de 0,5 à 1 lb, pinces, épingles), de mobilisation (p. ex. étirements, mobilisations actives et passives) et de motricité grossière et fine (p. ex. logos, cubes en bois, bâtons, ballon de tennis, ballon en mousse, etc.), à trois niveaux de difficulté (Harris et al., 2009).

Dans l'ensemble, les évidences préconisent les thérapies qui sont engageantes, répétitives, adaptées au niveau d'atteinte, spécifiques à la tâche et qui encouragent l'utilisation du membre supérieur atteint dans des tâches fonctionnelles, reproductibles dans les activités de la vie quotidienne, quel que soit le stade de la maladie (aigu, post-aigu ou chronique) (Hebert et al., 2016). Pour optimiser la récupération, l'entraînement doit être également adapté pour répondre aux besoins des individus. Cependant, l'accès à des programmes de réadaptation intensifs, continus et adaptés correspondant aux capacités et aux préférences de la personne reste limité.

### **2.2.3. La neuroplasticité et les nouvelles interventions en réadaptation**

La neuroplasticité se traduit entre autres par la capacité des neurones à modifier de façon durable l'efficacité de leurs transmissions synaptiques, à travers la création de nouvelles connexions ou l'élimination des connexions inactives (Weiss et al., 2014, Chapitre 3). La neuroplasticité se produit tout le long de la vie humaine et elle semble être modulée par des facteurs tels que l'âge, le sexe, la maladie du cerveau, le système neuromodulateur et la fonction inhibitrice (Voss et al., 2017). L'étude de Shaffer (2016) suggère que cinq facteurs essentiels contribuent à une

neuroplasticité positive soient l'exposition à un environnement riche en stimuli, le défi, l'exercice physique, la nutrition et la réduction du stress.

Dans le contexte d'une lésion cérébrale, la neuroplasticité permet la récupération fonctionnelle du membre supérieur grâce à plusieurs mécanismes incluant la réorganisation corticale (Cramer et al., 2011). La réorganisation peut se traduire par une désactivation des parties du cerveau qui ne sont pas lésées ou un déplacement des zones d'activation autour de la région lésée (Cramer et al., 2011). Elle peut aussi prendre forme d'une activité au sein de l'hémisphère ipsilésionnel, controlésionnel ou même inter hémisphérique (Cramer et al., 2011). Cette réorganisation est facilitée par l'entraînement moteur basé sur la répétition et la pratique variée (Cramer et al., 2011).

Plusieurs des nouvelles interventions de réadaptation développées dans le contexte d'AVC, exploitent la neuroplasticité post lésionnelle (Oujamaa et al., 2009). Selon la revue de Oujamaa et al. (2009), ces interventions sont utilisées soit d'une manière à stimuler le cortex moteur lésé (entraînement intensif du membre parétique, l'imagerie mentale, les mouvements bimanuels, la stimulation magnétique cérébrale à haute fréquence, la stimulation transcranienne à courant direct) ou d'une manière à inhiber l'hémisphère sain (thérapie par contrainte avec contention du membre supérieur sain, la stimulation magnétique cérébrale à basse fréquence sur le cortex moteur sain, anesthésie du membre sain) (Oujamaa et al., 2009). Des interventions mixtes ont notamment été décrites par la revue, telles que l'électrostimulation fonctionnelle, la robotique (entraînement uni ou bilatéral) et la réalité virtuelle (Oujamaa et al., 2009). Une revue plus récente de Hatem et al. (2016), suggère deux interventions supplémentaires à celles décrites par Oujamaa et ses collègues, incluant la musicothérapie (entraînement moteur synchronisé à des stimulations auditives) et la prise de médicaments tels que les antidépresseurs et l'injection intramusculaire du Botulinum Toxine.

En somme, l'effet de ces nouvelles approches réside essentiellement dans l'augmentation des informations sensorielles acheminées au niveau des neurones afin de faciliter leur recrutement et/ou favoriser des réponses motrices adaptées aux tâches fonctionnelles. D'ailleurs, les études en neuroscience encouragent la pratique intense (répétition intensive), spécifique à la tâche et

centrée sur le besoin, dans un environnement riche en stimuli (Weiss et al., 2014). Parmi les nouvelles approches thérapeutiques, la réalité virtuelle permet cette mise en situation et semble gagner du terrain sur le domaine de la réadaptation, dans le contexte d'AVC (Weiss et al., 2014).

## **2.3. La réalité virtuelle**

### **2.3.1. Définition**

Dans le cadre de cette thèse, la définition de la réalité virtuelle retenue est celle de Sisto et al. (2015) qui la présente comme «la technologie de l'information qui génère des informations sensorielles artificielles ou simulées, permettant aux individus d'interagir avec ou à l'intérieur d'un environnement tri dimensionnel (3D)» (Sisto et al., 2015). Ma et Zheng (2011) ajoutent à cette définition : « Grâce à l'infographie 3D via des périphériques d'entrée et de sortie, les utilisateurs pensent qu'ils perçoivent réellement des informations sensorielles, similaires à celle du monde réel ». En effet, l'expérience à travers la réalité virtuelle est à la fois visuelle, auditive et parfois haptique lorsqu'elle implique un retour sensoriel tactile ou de la résistance à la force (Weiss et al., 2014). Elle est constituée de capteurs de mouvements (camera, capteurs sensoriels, etc.), d'un plan de projection (écran d'ordinateur, télévision, casque, etc.) et d'un algorithme d'interaction entre usager et environnement virtuel (interface/ application) (Weiss et al., 2014).

La réalité virtuelle a été tout d'abord introduite par Morton Heilig en 1958, sous forme d'une machine à stimuli synthétique (Sensorama) simulant la conduite d'une moto à Brooklyn (Buckley et Conomos, 2020, p. 363). Sensorama consistait en une cabine à siège et un volant mobile, entouré de hautparleurs stéréo, et contenant un émetteur d'odeur (essence et pizza), où la personne devait s'asseoir et porter des lunettes stéréoscopiques pour vivre l'expérience (Buckley et Conomos, 2020, p. 363). Par la suite, Ivan Sutherland a introduit le concept 3D et les simulations graphiques en 1965 et a proposé l'idée de projeter des images à partir d'un ordinateur sur des lunettes virtuelles (Buckley et Conomos, 2020, p. 363; Sutherland, 1965). Il a d'ailleurs inventé le premier modèle de visiocasque en 1968 (Buckley et Conomos, 2020, p. 363).

Depuis l'introduction de la réalité virtuelle par Morton Heilig en 1958 (Buckley et Conomos, 2020, p. 363) suivi par Ivan Sutherland en 1965 (Sutherland, 1965), cette technologie a connu une expansion énorme dans plusieurs domaines.

La réalité virtuelle a été, en premier lieu, explorée dans le domaine de l'amusement sous forme de « jeux vidéo » et par la suite elle a été utilisée dans plusieurs domaines incluant la santé, le domaine militaire, l'éducation, la construction et l'ingénierie (Virtual Reality Society, 2017). Dans le domaine de la santé, la réalité virtuelle est appliquée dans plusieurs sphères (entraînement, traitement des problèmes de santé, diagnostique, chirurgie robotique, traitement de phobie, traitement du syndrome post-traumatique, etc.) (Weiss et al., 2014). Dans le domaine de la réadaptation, la réalité virtuelle est utilisée dans plusieurs champs incluant, les mesures/ le diagnostic (analyse interactive des données de l'imagerie par résonance magnétique ou la tomographie), l'entraînement des fonctions déficitaires cognitive et sensorimotrice (p. ex. jeux vidéo sérieux, jeux vidéo actives), l'assistance « télérobot » ou le divertissement (Holden et Todorov, 2002).

Toutefois, aucun consensus existe quant aux définitions de la réalité virtuelle (variable selon le champ d'application) et appellations attribuées aux technologies de la réalité virtuelle, dans le domaine de la santé (Deutsch, 2021). Par conséquent, les termes « environnement virtuel », « jeux vidéo », « jeux sérieux », « exergames » « jeux vidéo actif » sont souvent utilisés de manière interchangeable dans la littérature (Deutsch, 2021). Plus récemment, Levin (2021) a suggéré le terme « Réadaptation virtuelle » comme appellation commune de la réalité virtuelle appliquée en réadaptation et la définit comme : « toute interaction physique ou cognitive en temps réel, dans un environnement artificiel généré par un ordinateur ou un appareil mobile qui apparaît et procure un sentiment similaire aux événements et objets du monde réel ». Cette définition est semblable à celle proposée par Sisto (2015) mais elle englobe toutes les technologies de l'information (ordinateur et appareil mobile) et ne tient pas compte de l'infographie employée 2D (dimension définie en termes de longueur et hauteur) ou 3D (dimension définie en termes de longueur, hauteur, largeur et profondeur). En outre, Deutsch et al. (2021) ont suggéré le terme « jeux vidéo actifs » pour désigner les systèmes à but

thérapeutique (p. ex. Jintronix qui vise la réadaptation après un AVC) et le terme « exergame » pour désigner les jeux visant le maintien de l'activité physique et le bien être (eg, Wii system (Nintendo, 2014)). Par ailleurs, la réalité virtuelle ne doit pas être confondue avec la réalité augmentée (Baus et Bouchard, 2014). En contraste avec la réalité virtuelle, qui projette un environnement totalement artificiel, la réalité augmentée projette le monde physique tel qu'il est et auquel elle introduit ou superpose des éléments virtuels (des images 2D ou 3D, effet sonore, etc.) (Baus et Bouchard, 2014).

### **2.3.2. Caractéristiques d'un environnement virtuel**

Au niveau opérationnel, l'environnement virtuel devrait répondre à trois critères importants. Le premier étant sa capacité à capturer la forme et la cinématique de l'utilisateur et des objets (Weiss et al., 2014). En deuxième lieu, les modes d'interaction entre l'utilisateur et l'environnement virtuel devraient permettre un ensemble de mouvements reproductibles dans le monde réel (Weiss et al., 2014). Le troisième point se centre sur sa capacité d'induire, à l'utilisateur, un sentiment de présence au monde virtuel, peu importe son degré d'immersion (Weiss et al., 2014, Chapitre 4) (point abordé dans la partie suivante).

Cela dit, la conception artistique ne peut être négligée, car elle doit offrir un milieu semblable au monde réel (par exemple, en plein cœur du centre-ville ou en pleine nature). Cette émulation du monde réel est qualifiée d'écologiquement valide. D'un autre côté, dans les environnements plus ludiques qui ne tentent pas d'émuler un monde réel, l'utilisateur incarne un avatar dans un monde de fantaisie, comme dans le cas d'un système de réalité virtuelle basé sur le récit d'Alice aux pays des merveilles (Tsoupikova et al., 2013).

Par ailleurs, l'interaction entre l'utilisateur et l'environnement virtuel peut se faire à travers différents types de capteurs sensoriels portables ou non portables (Kim et al., 2020). Les capteurs portables incluent les gants de données (accéléromètre, capteurs électromagnétiques de position et de rotation de la main, senseurs des doigts, etc.) et les exosquelettes du membre supérieur et de la main (senseurs de force, de la position articulaire ou de la synergie musculaire) (Kim et al., 2020). Les capteurs non portables comprennent les caméras (à détection de profondeur (du corps



ou de la main), à base de marqueurs réfléchissants, etc.) et les contrôleurs (manette, souris, clavier, etc.) (Kim et al., 2020).

### **2.3.3. L'immersion et le sentiment de présence**

Slater et Wilbur (1997) distinguent deux caractéristiques importantes de la réalité virtuelle soient l'immersion et le sentiment de présence. L'immersion est en lien avec la technologie utilisée et décrit le niveau auquel l'environnement virtuel est capable de créer une illusion réaliste du monde physique de l'utilisateur (Slater et Wilbur, 1997). L'immersion est donc liée aux modalités sensorielles substituées (gout, odorat, visuel auditif et tact) dans l'environnement virtuel et la fidélité de suivi des mouvements (Levin, 2021). Alors que le sentiment de présence reflète les comportements et l'état psychologique de la personne qui peut être influencée ou non par la technologie (Levin, 2021). En d'autres termes, l'immersion peut être utilisée comme référence pour attribuer une description objective et quantifiable de ce qu'un système de réalité virtuelle fournit alors que la présence est un état de conscience, reflétant le sentiment subjectif qu'une personne a d'être présente dans l'environnement virtuel (même si elle sait qu'elle ne l'est pas) (Slater et Wilbur, 1997). Bien que l'environnement virtuel immersif vise à procurer chez l'utilisateur un sentiment de présence, ce dernier peut tout aussi ressentir de la présence dans un milieu non immersif. Ce point a d'ailleurs fait débat au cours de la conférence internationale sur la réalité virtuelle (2017, 2019, 2021), entre les chercheurs qui demeurent convaincus que la sensation de présence peut être ressentie par la personne quel que soit le degré d'immersion dans l'environnement virtuel et ceux qui associent le sentiment de présence qu'aux environnements virtuels immersifs (utilisant le visiocasque).

### **2.3.4. Les catégories de la réalité virtuelle**

Par ailleurs, Ma et Zheng (2011) suggèrent trois catégories de réalité virtuelle reparties selon le degré d'immersion; immersives, semi-immersives et non immersives. Dans la réalité virtuelle immersive, la personne utilise un visiocasque ou « *Head-Mounted Display* », afin de créer cette impression d'appartenance totale au monde virtuel. Le visiocasque peut être utilisé en combinaison avec un exosquelette robotique du membre supérieur ou de la main, afin d'ajouter une rétroaction antigravitaire (assister) ou de force (résister au mouvement), rendant

l'expérience encore plus réaliste. À titre d'exemple, il y'a le système « *Personal Haptic Interface Mechanism* » (Sensable technologies Inc, États-Unis) qui génère de la force et de la rétroaction proprioceptive (vibration) au niveau de la main, afin d'interagir avec des objets virtuels et les ressentir (Coninx et al., 2009; Ma et Zheng, 2011; Massie et Salisbury, 1994). L'interaction avec l'environnement immersif peut se faire à travers différentes technologies incluant les gants de données, des exosquelettes, une caméra, un joystick et une souris 3D (Ma et Zheng, 2011).

Dans la réalité virtuelle non immersive, la personne est placée devant un environnement virtuel, projeté sur des écrans d'ordinateur ou de télévision, tels que les jeux vidéo Nintendo Wii Fit (Nintendo, Japon) (Nintendo, 2014), Xbox 360 Kinect program (Microsoft, États Unis) (Microsoft, s. d.) ou Sony Playstation EyeToy games (Sony Computer Entertainment, Japon) (Playstation wiki, s. d.). L'interaction se fait à travers un clavier, une souris, une manette ou une caméra Kinect (Ma et Zheng, 2011).

La réalité virtuelle semi-immersive entraîne un sentiment d'appartenance plus important que la réalité virtuelle non immersive, qui peut être intensifié par le recours à des projections graphiques de haute qualité (un projecteur grand écran, plusieurs télévisions), p. ex. Computer Assisted Rehabilitation Environment (CAREN) (*Home*, s. d.) (Motek Medical Computer Assisted Rehabilitation Environment). Dans la technologie CAREN, de grands écrans sont placés à 300 ° autour du sujet, avec 40 ° en dessous et 60 ° au-dessus du niveau des yeux, et des perturbations peuvent être appliquées en utilisant un tapis roulant et des objets virtuels, afin de simuler une marche dans la nature sur une piste accidentée (Ma et Zheng, 2011; Weiss et al., 2014). La sensation de présence dans la réalité virtuelle semi-immersive peut être encore plus intensifiée à travers l'ajout d'une rétroaction haptique, tel est le cas des interfaces de jeux utilisées en combinaison avec d'autres technologies. A titre d'exemple, CyberGlove/ Cybergrasp (immersion corporation, États-Unis) (Weiss et al., 2014), gant combiné à un exosquelette, qui permet de détecter la position de la main à travers des senseurs et générer de la force pour simuler des mouvements de prise, de transport et de placement d'un objet virtuel par la main (CyberGlove Systems LLC, s. d.) ou Pneu Wrex, exosquelette qui permet une grande amplitude de mouvement

du membre supérieur dans un espace 3D pour simuler un nettoyage de vitrine, conduite de voiture ou jouer au basket (Reinkensmeyer et al., 2012).

### **2.3.5. Les systèmes de réalité virtuelle**

#### 2.3.5.1. Les systèmes commerciaux

Parmi les systèmes de réalité virtuelle commerciaux, on note quelques marques reconnues à l'échelle mondiale, telles que *Nintendo Wii* (Nintendo, 2014), Sony Playstation EyeToy games (Playstation wiki, s. d.), et la Xbox 360 Kinect program (Microsoft, s. d.). *Nintendo Wii* requiert un contrôleur manuel sans-fil afin de produire les mouvements d'un avatar sur écran. Les deux autres utilisent des caméras *Kinect*, capables de détecter les mouvements du corps et les projeter sur un plan tridimensionnel, à travers des capteurs infrarouges. Toutes ces interfaces présentent une solution simple pour la capture de mouvements en temps réel, et ce, à un faible coût (la *Xbox 360* coûte US\$ 250) (Yates et al., 2016). Ces avantages encouragent leur adoption en études cliniques, surtout si des interventions à domicile sont envisagées.

Selon Yates et al. (2016), malgré les résultats encourageants escomptés par l'utilisation des systèmes de réalité virtuelle commerciaux comme mode d'intervention pour le membre affecté à la suite d'un AVC, la plupart des études manquent de robustesse (taille d'échantillon petit, durée d'intervention inégale entre le groupe contrôle et expérimentale, etc.). Plusieurs d'entre elles négligent d'incorporer une évaluation de suivi après la fin de traitement et n'appliquent aucune standardisation dans la sélection d'outils de mesure cliniques (14 échelles ont été recensées). En outre, les systèmes commerciaux manquent de souplesse au niveau du paramétrage afin de personnaliser les exercices proposés, p. ex. ajuster l'amplitude articulaire et la vitesse du mouvement, modifier la durée de l'exercice (Yates et al., 2016). Ceci est d'autant plus important, étant donné les conditions facilitatrices de la neuroplasticité nécessitent de la pratique variée et de la répétition intense (Cramer et al., 2011). Des conditions facilement reproductibles dans le monde virtuel lorsque les systèmes offrent plus de choix dans les paramétrages (sélection du membre supérieur à travailler, précision du mouvement, activités à accomplir, nombre de répétition, durée, vitesse et amplitude du mouvement) (Weiss et al., 2014).

Par ailleurs, il est difficile d'aboutir à des résultats concluants permettant une prise de décision clinique en lien avec les systèmes commerciaux (Yates et al., 2016), d'autres études s'avèrent nécessaires.

#### 2.3.5.2. Les systèmes personnalisés

Les systèmes de réalité virtuelle personnalisés sont généralement conçus dans le cadre de la recherche et utilisent la fine pointe technologique pour créer l'environnement virtuel (p. ex. CAREN ou Interactive Rehabilitation Exercise System 2D (IREX) (Gesture Tek, Canada) (*IREX / Gesturetek Health, s. d.*). Comparées aux systèmes de réalité virtuelle commerciaux, ces technologies offrent un paramétrage personnalisé plus adapté aux besoins de la clientèle, et proposent des activités plus pertinentes, tout en tenant compte des difficultés que peut rencontrer la clientèle visée (p. ex. des mouvements limités au membre supérieur suite à un AVC). En effet dans ces environnements, les conditions de la pratique impliquent des mouvements similaires à ceux du monde physique, permettant des activités spécifiques à la tâche (IREX : placer des boîtes dans différentes étagères, attraper un ballon à la place d'un gardien de foot, jongler des ballons, etc.) et une répétition intense du mouvement, favorisant les conditions de la neuroplasticité (Weiss et al., 2014).

Par ailleurs, les systèmes de réalité virtuelle personnalisés peuvent être dispendieux (p. ex. le prix du système IREX peut coûter plus de US\$ 15,000) et accessibles qu'à travers des centres de réadaptation spécialisés (p. ex. CAREN nécessite un grand espace et une supervision) (Lohse et al., 2014). Cela dit, il existe des systèmes de réalité virtuelle personnalisés commerciaux plus accessibles à la population et qui nécessitent seulement une caméra Kinect pour capturer les mouvements, en plus de l'ordinateur et l'accès à internet (Kim et al., 2020), tels que Doctor Kinetic (Doctor Kinetic, Pays-bas), SaeboVR (Saebo, États-Unis), VirtualRehab (Evolv, Espagne) et Jintronix (Jintronix, Canada). Toutefois, seul le jeu SaeboVR permet un accès complètement autonome à l'utilisateur, le reste des systèmes nécessitent la supervision d'un clinicien afin d'ajuster le protocole d'entraînement (choix des exercices et réglages des paramètres de difficulté).

Parmi ces systèmes, le jeu vidéo Jintronix (Canada) (<https://jintronix.com/>) a été spécialement conçu pour la réadaptation post AVC et nécessite un ordinateur (accès à la plateforme de jeu),

une caméra Kinect et l'internet. Ce jeu propose différents d'exercices pour les membres supérieurs, les membres inférieurs et l'équilibre avec différents paramétrages de difficulté (intensité, durée, répétition, précision du mouvement, etc.), réglables à distance par un clinicien. En effet, le clinicien peut suivre la progression de la personne à travers des enregistrements en ligne (durée de jeux, scores dans chaque jeu, pourcentage de compensation), accessibles à travers un profil sécurisé, afin d'ajuster le niveau de difficulté ou changer les exercices. Ce jeu est de plus en plus utilisé en pratique clinique au Canada et aux États-Unis (Neuro-Concept, s. d.). D'ailleurs à l'hôpital juif de réadaptation à Laval (Montréal, Canada), un espace a été spécialement consacré aux jeux vidéo, proposant aux patients ambulatoires et hospitalisés, des séances hebdomadaires de jeux Jintronix. De même, la clinique neuroconcept (Montréal, Canada) propose les services de physiothérapeutes pour un protocole d'entraînement à travers Jintronix (Neuro-Concept, s. d., p.). Cela dit le potentiel d'un tel jeu pour optimiser la réadaptation lorsqu'installé au domicile du patient (accès continu au jeu, répétition en masse, etc.) n'a pas encore été examiné.

### **2.3.6. Efficacité de la réalité virtuelle dans le contexte d'AVC**

Dans le contexte de la réadaptation post AVC, plusieurs métaanalyses rapportent les résultats en lien avec l'utilisation de la réalité virtuelle, mais seulement une (Lohse et al., 2014) compare l'efficacité des jeux commerciaux à celle des systèmes de réalité virtuelle personnalisés et quelques-unes (Aminov et al., 2018; Laver et al., 2011, 2015, 2017; Lohse et al., 2014; Maier et al., 2019; Saposnik et Levin, 2011) évaluent l'efficacité de la réalité virtuelle sur la récupération du membre supérieur atteint. Les métaanalyses permettent de suivre les tendances qui émanent des études, d'identifier les biais des études dont les résultats étaient considérés comme favorables ou de comparer les résultats observés avec le seuil de signification et les méthodes statistiques utilisées (Fortin, 2010).

#### **2.3.6.1. Efficacité des jeux commerciaux par rapport aux systèmes personnalisés**

Dans la métaanalyse de Lohse et al. (2014), l'efficacité des jeux commerciaux a été comparée à celle des systèmes personnalisés, dans le contexte d'AVC, à travers 24 essais cliniques randomisés. Les auteurs sont arrivés à des résultats non concluants, suite au nombre insuffisant d'études évaluant l'efficacité des jeux commerciaux (4 études ont été recensées). Par ailleurs, les

auteurs ont constaté que les systèmes de réalité virtuelle quel que soit le type (commerciaux versus personnalisés) ou le temps post AVC, entraînaient une amélioration significative par rapport au traitement conventionnel. Cette amélioration a été observée sur trois catégories de mesures, selon la classification internationale du fonctionnement, soient la fonction du corps (3 études de jeux commerciaux (58 participants) et 13 études de systèmes réalité virtuelle personnalisés (401 participants);  $p < ,001.$ ), l'activité (4 études de jeux commerciaux (75 participants) et 18 études de systèmes réalité virtuelle personnalisés (479 participants);  $P < ,001$ ) et la participation sociale ( $P = ,04$ ). Toutefois, il est important de noter que les mesures liées à la participation sociale ont été recensées que dans des études incluant des systèmes de réalité virtuelle personnalisés (3 études, 74 participants au total).

De même les auteurs de cette méta-analyse, nous préviennent qu'il existe beaucoup de variabilité au niveau des interventions de la réalité virtuelle (durée, intensité, composantes, etc.). Tout d'abord, certaines des interventions de réalité virtuelle ont été prodiguées en conjonction avec un traitement standard, ce qui engendre un déséquilibre de dosage entre le groupe intervention et le groupe contrôle. Ensuite, le rôle du thérapeute dans chaque intervention n'a pas été clairement défini ce qui délimite la fidélité de l'intervention et sa reproduction par d'autres chercheurs et ainsi la comparaison entre les différentes approches. Enfin, les auteurs mettent en évidence le manque de mesures en lien avec la motivation, qui peut jouer un rôle important sur l'adhérence et l'engagement du participant vers son programme d'exercice.

#### 2.3.6.2. Efficacité de la réalité virtuelle par rapport au traitement conventionnel

L'efficacité de la réalité virtuelle comparée au traitement conventionnel, dans le contexte de la récupération motrice du membre supérieur atteint à la suite d'un AVC, a fait l'objet d'étude de plusieurs méta-analyses (Aminov et al., 2018; Laver et al., 2011, 2015, 2017; Lohse et al., 2014; Maier et al., 2019; Saposnik et Levin, 2011). Dans la méta-analyse de Saposnik et Levin (2011), la recension des écrits entre 1966 et 2010, a permis d'identifier 12 études, dont 5 essais cliniques randomisés et 7 études d'observations, incluant 195 participants au total. Dans cette revue, Saposnik et Levin (2011) ont démontré une différence significative, au niveau de la fonction motrice du membre supérieur (*Fugl Meyer, Wolf Motor Function*: test de la fonction motrice du

membre supérieur), en faveur de la réalité virtuelle, que ce soit au niveau des essais cliniques ( $p < ,02$ ) ou des études observationnelles ( $p < ,001$ ). Cette différence a été observée indépendamment des types de systèmes de réalité virtuelle (système de réalité virtuelle personnalisé versus jeux commerciaux) ou du degré d'immersion. De même, une amélioration significative au niveau des activités de la vie quotidienne (*Wolf Motor Function Test*, *Motor Activity Log*: mesure la qualité et la quantité d'utilisation du membre supérieur) a été démontrée dans les études d'observations seulement ( $P < ,001$ ).

Par ailleurs, les résultats de la méta-analyse de Laver et al. (2011) (19 essais cliniques randomisés et quasi randomisés, 565 participants au total) et sa mise à jour en 2015 (Laver et al., 2015) (37 essais cliniques randomisés, 1019 participants au total), sont en accord avec les résultats de Saposnik et Levin (2011). En effet les deux méta-analyses ont démontré un impact statistiquement significatif de la réalité virtuelle sur la fonction motrice et l'activité du membre supérieur (*Motor Assessment Scale*: mesure de la fonction motrice du membre supérieur, *Action Research Arm Test*, *Wolf Motor Function Test*) sans aucun impact sur la force de préhension au niveau de la main (*Nine Hole Peg Test*: mesure de la dextérité fine des doigts, *Box and Block Test* : mesure de la dextérité manuelle grossière). En plus, un effet modéré au niveau des activités de la vie quotidienne (*Functional Independence Measure*: mesure de l'incapacité fonctionnelle, *Barthel Index* : mesure le niveau d'indépendance fonctionnelle, etc.) a été observé. Toutefois dans la dernière méta-analyse de Laver et al. mise à jour en 2017 (72 essais cliniques randomisés et quasi randomisés incluant 2470 participants), les résultats ne démontrent aucune différence significative au niveau de la fonction motrice du membre supérieur (*Motor Assessment Scale* (membre supérieur), *Action Research Arm Test*, *Wolf Motor Function Test*), entre les groupes recevant la réalité virtuelle et le groupe contrôle (traitement conventionnel ou sans intervention). Toutefois, les auteurs ont constaté une différence significative sur la fonction motrice lorsque la réalité virtuelle est prodiguée en supplément au traitement conventionnel. De même, une différence significative a été observée au niveau des activités de la vie quotidienne (*Functional Independence Measure*, *Barthel Index*, etc.) lorsque la réalité virtuelle est comparée au traitement conventionnel. Toutefois, il est important de noter que les résultats de la méta-analyse de 2017 est basée sur des évidences de faible qualité selon l'annotation du système *Grading of*

(<https://www.gradeworkinggroup.org/>). En plus, le problème de surdosage en faveur des interventions basées sur la réalité virtuelle est encore présent, donc ce n'est pas clair si c'est la réalité virtuelle ou le fait que ça augmente le dosage de l'intervention qui fait que ça entraîne des effets positifs.

Face aux limites des revues précédentes, Aminov et al. (2018) ont réexaminé les évidences scientifiques en lien avec la réalité virtuelle (33 essais cliniques randomisés contrôlés, 971 participants au total et 492 participants en réalité virtuelle), incluant l'impact sur la fonction motrice du membre supérieur (p. ex. *Fugl Meyer*), l'activité (p. ex. *Box and Blocks Test*) et la participation sociale (p. ex. *Motor Activity Log*). Les résultats de la méta-analyse montrent une efficacité statistiquement significative des deux approches de la réalité virtuelle (système de réalité virtuelle personnalisé et les systèmes commerciaux) comparable ou supérieure au traitement conventionnel, au niveau de la fonction et la structure du corps (Hedge's  $g = 0,41$ ; Intervalle de confiance à 95 % : 0.28-0.55;  $p < ,01$ ) et l'activité (Hedge's  $g = 0,47$ ; Intervalle de confiance à 95 % : 0.34-0.60,  $p < ,01$ ), sans aucun effet significatif sur la participation sociale. Les auteurs ont aussi rapporté une taille d'effet moyenne faible pour les systèmes commerciaux (Hedge's  $g = 0,33$ ; Intervalle de confiance à 95 % : 0,14-0,51,  $p < ,01$ ) et une taille d'effet moyenne modérée pour les systèmes de réalité virtuelle personnalisés (Hedge's  $g = 0,58$ ; Intervalle de confiance à 95 % : 0,41-0,76,  $p < ,01$ ). Durant les périodes de suivi (quatre à six semaines et de huit à 26 semaines), les auteurs ont observé des effets faibles à moyens au niveau de la fonction et de l'activité et des effets petits et non significatifs de la participation sociale ( $p = ,48$ ), conformément aux résultats prépost.

En outre, l'analyse des modérateurs n'a montré aucune différence significative dans les résultats globaux des interventions ayant un groupe contrôle avec ou sans intervention ( $p = ,83$ ), entre les études de qualité moyenne et élevée selon l'échelle *Physiotherapy Evidence Database* ( $p = ,98$ ), et entre les études avec une taille d'échantillon faible et élevée ( $p = ,41$ ) (Aminov et al., 2018). De même, les facteurs tels que la durée d'entraînement, le temps depuis l'AVC et le niveau de dosage



des interventions en réalité virtuelle ne semblent avoir aucun impact sur les résultats globaux (Aminov et al., 2018).

Par ailleurs, l'environnement virtuel offre plusieurs avantages, comparés au traitement conventionnel (répétitions intenses, rétroaction sur l'activité, motivation, etc.), ce qui pourrait expliquer l'efficacité de ces interventions, dans plusieurs métaanalyses (Ahn et Hwang, 2019; Aminov et al., 2018; Lee et al., 2019; Lohse et al., 2014; Maier et al., 2019; Saposnik et Levin, 2011). Plusieurs études en neuroscience mettent en évidence la capacité de la réalité virtuelle à stimuler l'apprentissage moteur dans le contexte d'AVC (Merians et al., 2009, 2014; Weiss et al., 2014). D'ailleurs, Maier et al. (2019) expliquent l'efficacité supérieure des systèmes de réalité virtuelle personnalisés par rapport aux systèmes commerciaux (fonction du membre supérieur ( $P = .004$ ) et activité ( $P = .0002$ )), par la présence davantage d'éléments favorisant la neuroplasticité (dans plus de 50 % des études utilisant la réalité virtuelle personnalisée). À titre d'exemple, ces éléments peuvent inclure de la pratique variable, pratique intense, de la rétroaction (score, encouragement, visualisation en temps réel de la main, etc.), difficulté croissante ou pratique spécifique à la tâche (Maier et al., 2019).

En sommes, les évidences en lien avec l'efficacité de la réalité virtuelle sont variables et la littérature nécessite plus d'essais cliniques méthodologiquement robustes, afin de pouvoir mener des comparaisons fiables, dans le cadre de métaanalyses visant à évaluer l'efficacité de la réalité virtuelle, dans le contexte d'AVC. Cela dit, l'environnement virtuel semble avoir le potentiel d'optimiser l'apprentissage moteur, grâce à ses éléments constitutifs, malgré la difficulté de maintenir les gains dans le temps (effet faible à moyen). Subséquemment, les sections suivantes traitent des éléments de la réalité virtuelle qui pourraient contribuer à l'apprentissage moteur et l'amélioration de la fonction motrice du membre supérieur atteint, à la suite d'un AVC, et examine des stratégies de changement de comportement qui pourraient contribuer au maintien des gains à long terme.

### **2.3.7. Raisonement du choix de la réalité virtuelle comme outil de réadaptation**

Contrairement aux exercices prescrits par le physiothérapeute en clinique, les mouvements en environnement virtuel ne sont pas contraints par les limites du monde physique tels que conduire une moto, contrôler un vaisseau spatial, magasiner, etc. De plus, cet environnement offre une perspective ludique et ajoute une touche plus amusante aux exercices offerts en clinique.

D'un point de vue thérapeutique, la réalité virtuelle possède des caractéristiques communes avec l'entraînement en réadaptation. Les variables impliquées dans l'apprentissage moteur, comme par exemple activité spécifique à la tâche ou la répétition abondante de mouvements, sont souvent semblables aux variables programmées dans l'environnement virtuel (Levin, 2011).

Comme toute approche thérapeutique, il est essentiel de connaître les différentes modalités d'application de la réalité virtuelle et l'influence de ces modalités sur l'apprentissage moteur. Ceci est dans le but d'optimiser les avantages qui pourraient découler de cette technologie et d'en faire profiter la population visée.

L'apprentissage moteur est défini comme étant l'ensemble des processus internes liés à la pratique ou à l'expérience, entraînant des changements permanents de la performance de mouvements (Schmidt, 1988, cité dans Shishov et al. 2017). D'un point de vue physiologique, ce processus résulte de changements neuroplastiques qui se produisent dans le cerveau (Weiss et al., 2014). Ces changements impliquent la formation de nouvelles connexions ou l'élimination de connexions inactives entre les neurones (Weiss et al., 2014). Des technologies telles que la réalité virtuelle possèdent l'avantage de permettre un nombre élevé de répétitions, dans un environnement qui encourage le participant à augmenter la durée et l'intensité des activités, ce qui résulte en une pratique optimale des mouvements (Weiss et al., 2014). La réalité virtuelle semble représenter une excellente méthode pour optimiser l'apprentissage moteur et le phénomène de la neuroplasticité. Dans le contexte d'un AVC, son utilisation pourrait notamment faciliter la récupération motrice des membres atteints, puisque la neuroplasticité se produit même en présence de lésions cérébrales (Jang et al., 2005; Kiper et al., 2016; Pekna et al., 2012).

Le choix des éléments à inclure dans la réalité virtuelle pour la réadaptation post AVC doit refléter les conditions qui peuvent stimuler la neuroplasticité. Ces conditions incluent un nombre de répétitions élevé, la motivation, un niveau de difficulté adapté, des paradigmes d'entraînements variés et une rétroaction augmentée multisensorielle.

#### 2.3.7.1. La répétition

C'est justement sur la question de dosage où la réalité virtuelle prend tout son avantage, comparé au traitement conventionnel. Pour les près de 39 répétitions d'exercice actives ou 12 répétitions de mouvements fonctionnels, effectuées durant une séance typique de physiothérapie (Lang et al., 2007), le même patient peut effectuer de 600 à 800 répétitions d'une activité, au sein d'une séance d'une heure en environnement virtuel (incluant ou non des systèmes robotiques) (Merians et al., 2014; Weiss et al., 2014, Chapitre 7).

L'importance de la répétition et de l'intensité dans la récupération motrice post AVC (phase chronique) a été démontrée dans le contexte de la thérapie du mouvement induit par la contrainte (Adamovich et al., 2009). Cette thérapie implique une pratique intense (de répétition élevée) orientée sur la tâche, du membre supérieur atteint (Schweighofer et al., 2009). Son application pendant 12 jours chez des patients AVC a entraîné une expansion corticale qui a duré 6 mois après la fin d'intervention (Adamovich et al., 2009). Cette expansion serait probablement l'origine de la récupération fonctionnelle du membre supérieur atteint (Schweighofer et al., 2009). Selon Monteiro-Junior et al. (2016) ce mécanisme de récupération résulte, tout d'abord, de la potentialisation à long terme (l'augmentation de longue durée de la transmission synaptique entre deux neurones stimulés en même temps), induite par la sollicitation de la même région cérébrale impliquée dans le mouvement répété. Ensuite, les exercices promeuvent la tension musculaire, à l'origine de la sécrétion et de la synthèse de facteurs trophiques (BDNF, IGF-1, VEGF) (Ploughman et al., 2009). Ces facteurs trophiques migrent vers le cerveau, par les vaisseaux sanguins et entraînent à leur tour une potentialisation neuroplastique (Monteiro-Junior et al., 2016).

#### 2.3.7.2. La motivation

La motivation joue un rôle essentiel dans l'engagement du patient à poursuivre son programme de réadaptation (Weiss et al., 2014). Dans ce cas, la réalité virtuelle est idéale pour augmenter et susciter l'intérêt et la motivation des usagers, en offrant des scénarios variés, stimulants et amusants. Ces scénarios peuvent aller de la simple prise d'un objet virtuel (Calabrò et al., 2017) à une expérience d'envol ou de lévitation dans un monde sans force gravitationnelle (Weiss et al., 2014). Une étude employant un système de réalité virtuelle comme approche de réadaptation chez une cohorte de sujets post-AVC, note une augmentation du temps de jeu au cours des 14 journées d'intervention (Mouawad et al., 2011). La durée moyenne de jeu par participant passe de 30 minutes, au cours des premières sessions, à 180 minutes, vers la fin des 14 jours (Mouawad et al., 2011), illustrant bien l'impact de la motivation dans ce contexte. Grâce à la composante ludique de la réalité virtuelle, l'utilisateur reste motivé et impliqué dans son programme. Mais en plus, il serait capable d'accomplir une pratique intense, sans se rendre compte du temps passé et de l'effort qu'impliquent les mouvements exécutés (Calabrò et al., 2017).

#### 2.3.7.3. Niveau de difficulté adapté

Les évidences scientifiques mettent l'accent sur le fait que l'apprentissage de nouvelles capacités motrices est essentiel pour induire une plasticité fonctionnelle et renforcer les connexions neurales (Adamovich et al., 2009). En partant de ce principe, les exercices prodigués pour la réadaptation post AVC doivent être régulièrement modifiés en termes d'intensité et de difficulté pour s'aligner aux capacités fonctionnelles du patient, de manière à ce que les exercices ne soient ni trop faciles, ni trop difficiles. Dans un environnement virtuel, les variables telles que l'intensité (durée et nombre de répétitions), la vitesse et l'amplitude du mouvement, nécessaires à l'exécution des différents exercices, peuvent être facilement régulées pour répondre à ce besoin (Weiss et al., 2014).

#### 2.3.7.4. Rétroaction augmentée multisensorielle

La rétroaction augmentée se définit comme étant un retour sur la performance en temps réel (rétroaction implicite) et sur les résultats (rétroaction explicite) (Weiss et al., 2014, Chapitre 3). Dans la réalité virtuelle, cette rétroaction peut être visuelle (score d'un jeu, le nombre de

mouvements réussis versus non réussis), auditive (indiquant si le mouvement a entraîné un bon ou un mauvais résultat) ou même tactile (force de résistance ou de facilitation au mouvement). Si elle est proprioceptive, comme dans le cas d'un membre supérieur robotique, le mouvement perçu serait plus réaliste et activerait davantage les réseaux sensorimoteurs (Robertson et Roby-Brami, 2010). De même, la rétroaction auditive et visuelle qui reflète les interactions avec les objets virtuels semble contribuer à l'activation des aires corticales impliquées dans l'intention et la planification motrice des mouvements (Calabrò et al., 2017).

Dans l'essai clinique randomisé contrôlé de Subramanian et al. (2013), la comparaison entre deux interventions de magasinage en environnement physique et virtuel, équivalentes en termes de pratique, d'intensité, et de la rétroaction tactile, pour rééduquer le membre supérieur atteint après un AVC, ne montre aucune différence significative entre les deux interventions. Toutefois, les auteurs ont constaté une amélioration plus importante de la fonction motrice et une réduction de la compensation, dans le groupe utilisant la réalité virtuelle. Les auteurs attribuent ce résultat à l'impact de la rétroaction immédiate sur la performance et le résultat (encouragement, indication sur le mouvement réussi et score), présente seulement dans l'environnement virtuel.

En somme, la rétroaction augmentée multisensorielle présente dans la réalité virtuelle semble contribuer aux changements neuroplastiques nécessaires à la récupération motrice du membre supérieur atteint à la suite d'un AVC (Weiss et al., 2014). De même, la capacité de la rétroaction à diriger l'attention du patient vers la tâche à exécuter (p. ex. réussir un jeu, placer des objets sur des étagères, attraper des objets, etc.) sans pour autant se concentrer sur les mouvements qu'implique cette tâche (p. ex. abduction de l'épaule et flexion du coude), semble optimiser l'apprentissage moteur (Weiss et al., 2014).

#### 2.3.7.5. Paradigme d'entraînement

L'entraînement du membre supérieur atteint chez un survivant d'AVC peut se faire de façon globale (travail bilatéral / travail du membre supérieur et de la main en même temps) ou analytique (p. ex. main seulement). L'environnement virtuel offre la possibilité d'exercer dans les deux paradigmes d'entraînement en fonction de la capacité de la personne et de ses préférences. Les évidences dans le contexte de la réalité virtuelle montrent que la performance du membre

supérieur atteint chez un survivant d'AVC serait meilleure suite à un entraînement bilatéral ou un entraînement qui implique l'utilisation du membre supérieur et de la main de façon simultanée (Merians et al., 2009). En effet dans l'étude de Merians et al. (2009), le groupe de participants ayant pratiqué les exercices de membre supérieur et de la main séparément ont enregistré une amélioration de 14 % sur le *Wolf Motor Function Test* et un changement de 9 % sur *Jebsen-Taylor Hand Function Test* (un test chronométré de la fonction de la main et de la dextérité). Alors que le groupe qui a accompli les exercices de la réalité virtuelle en utilisant le membre supérieur et la main ensemble a eu un changement plus important de 23 % au *Wolf Motor Function Test* et 29 % au *Jebsen-Taylor Hand Function Test* (Merians et al., 2009). De même, il semblerait que l'entraînement bilatéral (main atteinte et saine) augmenterait les scores de *Wolf Motor Function Test*, de 82 % et 95 % chez deux sujets sévèrement atteints (scores *Wolf Motor Function Test* de 180 et 146 secondes en préentraînement) (Merians et al., 2009).

Par conséquent, l'entraînement de la main et du membre supérieur de façon simultanée, dans un environnement virtuel, serait plus efficace dans l'amélioration de la performance suite à un AVC. En présence de séquelles sévères, le recours à l'entraînement bilatéral pourrait être plus approprié.

#### 2.3.7.6. Stimulation cognitive

Les jeux proposés par la plupart des interfaces de l'environnement virtuel requièrent de la personne une capacité de raisonnement durant la répétition des mouvements tels que l'activité de magasinage où il faut saisir le bon produit (CAREN) ou la manipulation d'objet qui lui permet d'interagir avec le monde virtuel (Jintronic). Ceci rend l'activité de réadaptation plus pertinente pour les utilisateurs. Ainsi, l'environnement virtuel peut être considéré comme étant stimulant d'un point de vue physique, mais aussi cognitif (Weiss et al., 2014). L'étude réalisée par Nithianantharajah et Hannan (2006) démontre qu'un environnement enrichi par des activités pertinentes augmente la capacité de raisonnement à travers des changements neuroplastiques au sein du cortex cérébral et facilite l'apprentissage et les performances cognitives suite à une lésion cérébrale.

### **2.3.8. Limites de la réalité virtuelle**

Tout d'abord, une conception d'environnement virtuel trop ambitieuse sur le plan graphique risque de perturber son rôle en tant qu'outil de rééducation motrice. En effet, une attention devrait être portée sur la simplicité de l'environnement puisqu'une surabondance de stimuli visuels ou auditifs pourrait nuire l'expérience de patients ayant des déficits d'attention en plus de leurs atteintes motrices (Levac et al., 2012).

De plus, l'exposition aux systèmes immersifs de la réalité virtuelle pourrait être à l'origine du « mal virtuel », d'un déséquilibre postural et d'une altération de la coordination oculomotrice (Holden et Todorov, 2002). Ces effets peuvent s'avérer dangereux chez les survivants d'AVC (risque de chute). De plus, les survivants d'AVC présentent souvent des atteintes du muscle du tronc et du contrôle postural, rendant très difficile à gérer le poids supplémentaire du visiocasque, au niveau de la tête (Holden et Todorov, 2002).

Ensuite, les plateformes commerciales, bien que peu coûteuses et faciles à intégrer en recherche, ne permettent pas une personnalisation des exercices. Ce manque de flexibilité pourrait expliquer l'avantage des systèmes personnalisés.

Enfin, les systèmes de réalité virtuelle personnalisés sont souvent accessibles qu'à travers des centres de réadaptations spécialisés, ce qui risque de délimiter les avantages que pourrait apporter une telle technologie. Afin d'optimiser l'utilisation de la réalité virtuelle personnalisée, une utilisation de la technologie au domicile du participant semble plus avantageuse qu'une utilisation en clinique (temps limité, accès discontinu), dans le but de maximiser la pratique et la répétition du mouvement.

## **2.4. Programme d'intervention par la réalité virtuelle combinée à la télé-réadaptation**

Afin de maximiser les avantages des systèmes de réalité virtuelle personnalisés, un accès continu à ces technologies semble nécessaire. Si une séance de réalité virtuelle permet d'effectuer entre 600 et 800 répétitions d'activité (Merians et al., 2014), alors l'installation de la technologie au

domicile de la personne, avec un accès illimité aux exercices, pourrait entraîner une répétition en masse, favorisant les changements neuroplastiques. Par ailleurs, la réadaptation à domicile est de plus en plus encouragée face aux difficultés rencontrées en lien avec la distance à parcourir pour accéder aux soins et le manque de ressources au niveau du système de santé. S'ajoute à cela le contexte actuel lié à la pandémie de coronavirus COVID-19 rend cette approche une obligation, voire la seule alternative sécuritaire, permettant la continuité des soins, sans le risque de contracter le virus.

La télésanté est de plus en plus intégrée dans la pratique clinique pour réduire le nombre de visites et faciliter la coordination des soins et la consultation des thérapeutes à distance (Tellier, 2015). La télésanté est définie comme étant « La prestation de soins de santé à distance au moyen des technologies de l'information et de la communication » (Commission de l'éthique en science et en technologie, 2014). Ces technologies incluent généralement des systèmes permettant une communication audio-vidéo utilisés à des fins de consultations, de suivi clinique et de surveillance à distance (Commission de l'éthique en science et en technologie, 2014). Dans la littérature, les thèmes de télémédecine et de télésanté sont fréquemment utilisés de façon interchangeable (Tellier, 2015). Toutefois, la télésanté est un terme qui est plus large que la télémédecine (Commission de l'éthique en science et en technologie, 2014; Tellier, 2015). La téléadaptation, dans ce cas, forme l'un des multiples domaines exploités par la télésanté et se réfère à la « Téléconsultation en réadaptation » (Commission de l'éthique en science et en technologie, 2014). Elle a pour but « d'améliorer l'efficacité, la disponibilité, l'accessibilité et la continuité des services de réadaptation » (Commission de l'éthique en science et en technologie, 2014).

Dans le contexte d'utilisation de la réalité virtuelle comme outil de réadaptation à domicile, le recours à la téléadaptation permettrait un suivi continu du programme d'exercice basé sur les jeux, et la continuité des soins en phase chronique d'AVC. Cette approche de réadaptation en réalité virtuelle est peu exploitée dans la littérature. Pourtant, une telle approche comporte plusieurs avantages tels que la supervision en direct de la performance lors des jeux, transfert des gains acquis dans l'environnement virtuel aux activités de la vie quotidienne, l'opportunité



d'échanger avec le survivant d'AVC et l'intégration d'une approche motivationnelle au programme de réadaptation.

#### **2.4.1. Supervision en direct de la performance lors des jeux**

Certains systèmes de réalité virtuelle personnalisés permettent l'enregistrement des données de santé liées au programme d'exercices, incluant les types de jeux accomplis, les scores de performances, le temps passé sur les jeux et le pourcentage de compensation. C'est à partir de ces données que le clinicien pourrait adapter le plan de traitement aux besoins du participant et faire le suivi de sa progression. Toutefois, les scores de performance sont relatifs aux données collectées à travers les capteurs ou la caméra Kinect. Par exemple, dans le jeu Jintronix, la caméra Kinect est capable de détecter un certain pourcentage de compensation essentiellement en lien avec la position du tronc (détecter une flexion du tronc au cours d'un exercice de flexion de l'épaule). Cela dit le participant pourrait potentiellement compenser sans que ça soit détecté par la caméra et pourrait utiliser différents schèmes pathologiques pour réussir un exercice. Ainsi un score élevé ne reflète pas forcément une performance correcte de l'activité et la seule manière de contourner ce problème est la supervision en temps réel de la performance, par un clinicien.

En combinant la télé-réadaptation à la réalité virtuelle, le clinicien pourrait observer la performance du survivant en direct au cours d'un jeu et regarder le jeu en même temps, afin de s'assurer de la bonne exécution des tâches et de détecter toute compensation ou schème pathologique. De même, le clinicien pourrait donner des instructions et des conseils importants au survivant, durant les jeux, par exemple pour corriger la posture, la position du membre supérieur, et observer la qualité des mouvements du membre supérieur atteint. Dans les études utilisant des systèmes de réalité virtuelle pour la rééducation à domicile (Adie et al., 2017; Cikajlo et al., 2012; Gauthier et al., 2017; Linder et al., 2015; Mouawad et al., 2011; Piron et al., 2002; Standen et al., 2017), la supervision n'est pas toujours assurée ou n'est pas clairement définie (Mouawad et al., 2011; Standen et al., 2017), et lorsqu'elle est proposée, elle se fait par téléphone (Adie et al., 2017; Gauthier et al., 2017; Linder et al., 2015) et rarement par supervision synchronisée lorsque le participant exécute les jeux (Cikajlo et al., 2012; Piron et al., 2002).

La supervision de la performance en temps réel pourrait mieux orienter le survivant sur la bonne manière d'exécuter l'exercice, afin de le reproduire correctement quand il est seul (sans supervision). De même elle permet au clinicien d'ajuster les paramètres de difficulté de façon adéquate et de tester le programme d'exercices auprès du survivant, pour s'assurer qu'il ne soit ni trop difficile ni trop facile.

Il est essentiel de rappeler que la réalité virtuelle pourrait constituer une alternative motivante pour augmenter l'adhérence à un programme d'exercices, auprès des survivants d'AVC. Toutefois, une répétition de mouvements incorrecte, en sollicitant des schèmes pathologiques, ne contribuera pas à l'amélioration des déficits du membre supérieur. Au contraire, ce type de répétition renforce le schème pathologique et la régression de la performance. Ainsi, la composante de la télé-réadaptation pourrait bien se compléter à un programme d'exercice basé sur la réalité virtuelle, afin de maximiser le potentiel d'une telle technologie et assurer le suivi et le bon déroulement des séances de jeux.

#### **2.4.2. Transfert des gains moteurs de l'environnement virtuel aux activités de la vie quotidienne**

Par ailleurs, les systèmes de réalité virtuelle personnalisés utilisant la caméra Kinect et visant la réadaptation du membre supérieur, proposent que des exercices de mouvements contrôlés pour l'épaule et le coude, sans trop solliciter la main. Par exemple, la caméra Kinect utilisée avec le jeu Jintronix ne détecte pas pour l'instant la main et les doigts, et par conséquent, aucun exercice spécifique pour la main n'est proposé. En plus, les systèmes de réalité virtuelle personnalisés utilisant la Kinect seulement, sans exosquelette, n'incluent pas de rétroaction tactile ou proprioceptive, qui est une composante importante dans la rééducation du membre supérieur atteint. En effet, les informations somatosensorielles semblent contribuer à l'apprentissage moteur (Weiss et al., 2014).

Une solution face aux limites des systèmes de réalité virtuelle personnalisés utilisant la Kinect et visant la réadaptation du membre supérieur, pourrait être l'intégration de la télé-réadaptation. En effet, la télé-réadaptation permet l'accès au milieu naturel du survivant, à partir duquel le clinicien

pourrait proposer des exercices et/ou activités, en se basant sur les ressources disponibles, afin de travailler la motricité fine de la main (saisir, tenir, pincer, etc.). De plus, ces activités sont essentielles afin de transférer les gains acquis dans l'environnement virtuel à l'environnement physique et poursuivre les exercices/activités, même après la fin d'intervention.

En effet, le transfert des gains acquis dans la réalité virtuelle aux activités de la vie quotidienne pose un défi dans le domaine de la cybersanté. Ce défi est essentiellement lié au manque de retour sensoriel ou de rétroaction tactile ou proprioceptive avec la réalité virtuelle et du matériel adapté aux mouvements humains (Schmid et al., 2016). Dans l'étude de Schmid et al. (2016) qui a utilisé le jeu Yougrabber (YouRehab, Suisse) comme méthode d'entraînement bimanuel post AVC (capture de mouvement par caméra), beaucoup de patients ont rapporté leur frustration quant aux limites de leur performance dans les activités de la vie réelle comparée à celle achevée en réalité virtuelle. En effet, malgré la réussite d'exécution des exercices proposés par le jeu, un écart existe entre les scores élevés du jeu et la qualité réelle du mouvement. Pourtant, l'étude de Viau et al. (2004) ne montre aucune différence au niveau des données cinématiques de mouvements fonctionnels du membre supérieur (atteinte, saisie et libération d'un ballon), exécutés dans un environnement physique et virtuel, chez 7 survivants d'AVC en phase chronique. La performance du mouvement dans les deux conditions montrait des similitudes au niveau des paramètres spatiaux (extension du poignet, relation angulaire épaule/coude, ouverture de la prise) et temporels (vitesse du mouvement) (Viau et al., 2004). Ceci suggère qu'il est possible de transférer les gains fonctionnels acquis dans le monde virtuel au monde physique. Cela dit, le retour sensoriel que ce soit dans le monde physique ou virtuel est important pour assurer l'apprentissage moteur.

Par ailleurs Weiss et al. (2014, p. 38) établissent 9 recommandations pour maximiser l'apprentissage moteur dans les interventions basées sur la réalité virtuelle. Parmi ces recommandations, les auteurs encouragent les cliniciens à se focaliser sur les compétences mises en pratique durant la séance des jeux, et d'identifier des stratégies pour transférer leur utilisation dans le contexte réel et les activités de la vie quotidienne. Ces stratégies peuvent inclure des rappels au survivant des similitudes des mouvements de l'environnement virtuel avec

l'environnement physique. Cela peut impliquer par exemple des séances de réflexion (rechercher des idées) avec le survivant afin d'identifier des similitudes entre les activités de réalité virtuelle et les compétences fonctionnelles requises dans les activités de la vie quotidienne. Les auteurs suggèrent notamment d'ajouter des adaptations thérapeutiques pour faciliter la généralisation des activités virtuelles à la vie quotidienne. La téléadaptation est dans ce cas une bonne approche pour mettre en application ces stratégies. Le clinicien aurait pour fonction principale d'accompagner le survivant durant son programme d'exercice et de promouvoir le transfert des gains acquis à travers la réalité virtuelle vers les activités de la vie quotidienne (Holden et Todorov, 2002).

### **2.4.3. Interaction entre le clinicien et le survivant d'AVC**

La relation thérapeutique a pour objectif de favoriser le bien-être et la santé de l'individu et elle recourt à des connaissances, des expertises professionnelles et de la compassion pour la cultiver et l'entretenir (Ordre des infirmières et infirmiers de l'Ontario, 2019, p. 3). De plus, la qualité de la prise en charge d'un patient dépend énormément de la confiance, du respect et la complicité qui règnent entre le soignant et le soigné (Ordre des infirmières et infirmiers de l'Ontario, 2019). Depuis bien longtemps, le clinicien et le patient s'inscrivaient dans une relation hiérarchique, que l'on pourrait qualifier de « paternaliste » (Folcher, 2012). Le clinicien avait le statut de « maître », possédant le savoir médical et le patient, quant à lui, avait un statut « d'ignorant », soumis aux règles et au discours du professionnel pour pouvoir guérir (Folcher, 2012). Toutefois, avec l'apparition d'innombrables sources d'informations (l'internet, la télévision, systèmes de télécommunications), cette relation a évolué et le clinicien n'est plus le seul détenteur du savoir médical (Folcher, 2012). Le patient a appris à forger son propre opinion sur son état de santé et à discuter des alternatives thérapeutiques avec son clinicien (Folcher, 2012). Il est même encouragé de reconnaître le patient en tant expert de sa maladie, ayant la capacité de participer aux décisions prises en lien avec son programme de soins (Assaad et al., 2018).

Dans le contexte d'une utilisation à domicile d'un système de réalité virtuelle personnalisé, l'intégration de la téléadaptation pourrait permettre une prise de décision partagée, entre le clinicien et le survivant d'AVC, en lien avec le programme d'exercice (choix de jeux, niveau de

difficulté, etc.). Cette prise de décision partagée pourrait responsabiliser et renforcer les capacités de la personne à autogérer ses exercices et ses activités. Pour cela, une approche telle que l'entretien motivationnel (Hardcastle et al., 2016), pourrait être intégrée aux rencontres par vidéoconférences, afin de motiver le survivant d'AVC à adhérer à son programme d'exercice en réalité virtuelle et l'encourager à solliciter plus le membre supérieur atteint dans les activités de la vie quotidienne (dans l'optique de transfert des gains). L'entretien motivationnel est une approche centrée sur la personne et vise un changement de comportement positif, à travers une relation de partenariat avec le clinicien qui reconnaît le point de vue de la personne, soutient son autonomie et priorise son bien-être (Hardcastle et al., 2016). Des techniques motivationnelles (prise de décision partagée, collaboration, respect de l'autonomie du participant, etc.) et des techniques de changement de comportements (l'établissement d'objectif, la planification d'action, revue des objectifs, rétroaction sur le comportement, etc.), peuvent être utilisées pour potentialiser la motivation vers le comportement visé (adhérence au programme d'exercice, utilisation plus fréquente du membre supérieur atteint) (Hardcastle et al., 2016).

Les outils disponibles via les systèmes de réalité virtuelle et la téléadaptation (supervision en direct, partage de documents, image, vidéo, vidéoconférence) facilitent l'échange entre le survivant d'AVC et le clinicien. Entre autres, le développement d'une relation de partenariat basée sur le partage d'information et la confiance. La participation du survivant d'AVC dans les différentes phases du processus décisionnel lié à son plan de traitement pourrait contribuer à une meilleure compréhension du fonctionnement de l'environnement virtuel et des principes de l'apprentissage moteur. Ceci pourrait contribuer à une meilleure adhérence aux exercices et l'autonomisation du survivant, facilitant l'atteinte de ses objectifs. La définition retenue de l'adhérence dans le contexte de cette thèse est celle proposée par Hearnshaw et Lindenmeyer, (2006) qui la conceptualise comme étant le degré auquel la personne suit le plan de soins développé en collaboration avec le thérapeute. Même si les termes « adhérence » et « compliance » sont souvent utilisés de façon interchangeable dans la littérature, il semble y avoir un consensus que l'adhérence reflète une perspective moins paternaliste (Fawcett, 2020) que la compliance qui se définit comme : « le degré auquel le comportement d'une personne coïncide avec les recommandations des traitements prescrits » (Jay et al., 1984). D'où l'intérêt de retenir

le terme « adhérence » qui est plus conforme avec l'intervention proposée dans le cadre de cette thèse.

En résumé, la combinaison innovante de la télé-réadaptation et de la réalité virtuelle semble avoir du potentiel pour maximiser la réadaptation à distance du membre supérieur atteint, chez les survivants d'AVC, tout en tenant compte de la réalité du contexte et des besoins des utilisateurs. En effet, la télé-réadaptation pourrait permettre une supervision en direct de la performance lors des jeux (détection des compensations et des schèmes pathologiques), composante souvent manquante dans les études utilisant des systèmes de réalité virtuelle à domicile. De même, la télé-réadaptation offre l'opportunité au clinicien d'échanger avec le survivant et d'intégrer une approche motivationnelle et comportementale dans l'intervention. Une telle approche pourrait motiver le survivant d'AVC à adhérer à son programme d'exercice et à intégrer plus le membre supérieur atteint dans les activités de la vie quotidienne, pouvant faciliter le transfert des gains moteurs acquis dans l'environnement virtuel aux activités de la vie quotidienne. Depuis septembre 2016, notre équipe de recherche explore l'utilisation combinée de la réalité virtuelle personnalisée non immersive et la télé-réadaptation pour la réadaptation du membre supérieur atteint à domicile auprès de survivants d'AVC en phase chronique.

### **3. Assise théorique**

À notre connaissance, aucune étude dans le domaine de la réalité virtuelle, dans le contexte de la réadaptation post AVC, ne propose une théorie motivationnelle qui sous-tend son intervention (motivation de l'adhérence aux jeux ou l'utilisation du membre supérieur atteint dans les activités quotidiennes). D'autant plus, cette approche pourrait faciliter le maintien des gains à long terme. La littérature en changement de comportement encourage l'application de théories dans le cadre d'une intervention pour maximiser son efficacité dans l'atteinte du comportement de santé désiré. Dans le cadre de cette thèse, la théorie de l'autodétermination (une théorie motivationnelle) (Deci et Ryan, 2000) a été intégrée afin d'informer l'intervention proposée, basée sur l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et la téléadaptation.

Dans l'optique où nous cherchons à comprendre les facteurs qui peuvent influencer l'intention et le comportement d'utilisation combinée de la réalité virtuelle et la téléadaptation, la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation des technologies (Venkatesh et al., 2003) a été utilisée afin d'informer la collecte et l'analyse des données.

Ainsi, cette section de la thèse présente les principes sous-tendant les deux théories : la théorie de l'autodétermination et la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation des technologies ; et examine la manière de les intégrer dans le projet de thèse afin d'informer une intervention, basée sur l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et la téléadaptation, ainsi que la collecte et l'analyse des données.

#### **3.1. La théorie de l'autodétermination**

Dans cette section, une mise en contexte en lien avec la littérature en changement de comportement est réalisée. Ensuite, des définitions des principes sous-tendant la théorie de l'autodétermination sont présentées. Subséquemment, des exemples d'intégration des concepts de la théorie de l'autodétermination au cours de l'intervention sont présentés. Enfin, l'évaluation de l'impact que peut avoir l'approche motivationnelle sur l'autonomisation du survivant d'AVC est examinée, en termes d'autonomie, de compétence, et de connectivité.

### 3.1.1. Mise en contexte

Dans le domaine de la psychologie de la santé, quatre comportements de santé font l'objet de plusieurs études incluant le tabagisme, la consommation excessive de l'alcool, le régime alimentaire sain et l'activité physique (Conner et Norman, 2017). Une intervention en changement de comportement se focalise sur l'analyse des habitudes et des comportements du client et utilise des moyens tels que l'écoute et la discussion basée sur des modèles théoriques, pour aboutir à des comportements de santé sains (manger sain, faire des exercices, faire des activités, etc.) (Kelly et Barker, 2016; Painter et al., 2008).

Les stratégies de changement du comportement (p. ex. établissement d'objectif, planification d'action, résolution de problèmes) ont été mises en œuvre dans les interventions de promotion de l'activité physique pour améliorer la motivation, l'adhérence aux exercices et le maintien des gains (Carraro et Gaudreau, 2013; Michie et al., 2009; Miller, 2013). Étant donné que les gains obtenus au cours de la réadaptation ne sont pas toujours maintenus à long terme (Lindsay et al., 2010), et compte tenu de la nature chronique de l'AVC, de telles approches de changement du comportement devraient être intégrées aux programmes de réadaptation externes ou communautaires. Ces stratégies pourraient optimiser la motivation des survivants d'AVC de continuer à faire de l'exercice et à utiliser le membre supérieur dans les activités quotidiennes (p. ex. s'habiller, manger, etc.).

La théorie de l'autodétermination (*Self-determination Theory*), une théorie motivationnelle, est souvent intégrée aux approches comportementales afin de promouvoir l'adhérence aux activités physiques (Teixeira et al., 2012). Elle a fait l'objet de plusieurs études expérimentales visant une meilleure adhérence aux exercices (Fortier et al., 2007, 2011; Silva et al., 2010). Les interventions informées par la théorie de l'autodétermination sont souvent prodiguées à travers des rencontres en personnes, par téléphone ou par courriel électronique, auprès d'une population diversifiée; personnes saines, obèses, ayant une maladie cardiaque, ou en soins internes (Teixeira et al., 2012). Plus récemment, une intervention de changement de comportement basée sur la théorie de l'autodétermination a été prodiguée par téléadaptation, afin d'améliorer l'adhérence aux exercices auprès des personnes ayant eu une lésion médullaire (Sweet et al., 2017).



Malgré le succès des interventions basées sur la théorie de l'autodétermination pour la promotion de l'activité physique, aucune étude n'a appliqué cette approche pour informer des interventions de réadaptation basées sur la réalité virtuelle, auprès de survivants d'AVC.

### **3.1.2. Les principes sous-tendant la théorie de l'autodétermination**

La théorie de l'autodétermination (*Self Determination Theory*) stipule que la motivation autonome, le développement optimal du bien-être et de la performance ne peuvent être atteints qu'en respectant les trois besoins psychologiques innés de la personne soient l'autonomie, la connectivité et la compétence (Deci et Ryan, 2000). L'autonomie ou la volition se réfère à la capacité de la personne à organiser son comportement selon ses propres aspirations et valeurs (Deci et Ryan, 2000). La connectivité est référée au sentiment d'appartenance et le désir d'être soutenu (Deci et Ryan, 2000). La compétence est associée à la capacité de la personne à atteindre ses objectifs et à aboutir au changement (Deci et Ryan, 2000).

La théorie de l'autodétermination part du principe que la motivation autonome concerne l'engagement actif dans des activités que la personne trouve intéressantes, et qu'en retour ces activités promeuvent son développement. Cet engagement actif nécessite des « nutriments » pour le maintenir, et ce par la satisfaction des trois besoins psychologiques (Deci et Ryan, 2000). Autrement dit, l'intérêt qu'une personne a pour une activité dépend du degré d'accomplissement des besoins psychologiques, lors de son engagement. Selon Deci et Ryan (2000), l'être humain a naturellement tendance à poursuivre des objectifs ou achever des changements, qui permettent la satisfaction de ses trois besoins psychologiques.

Lors d'un processus de changement de comportement, une personne est apte à adopter un nouveau comportement si ce dernier est en cohérence avec chacun de ces trois besoins. En d'autres termes, si la personne est autonome dans sa prise de décision, elle se sent soutenue par son entourage et dans le développement de ses compétences, elle sera plus motivée à adopter un nouveau comportement. De même lorsqu'une personne reçoit une rétroaction positive quant à sa capacité à aboutir à un changement, elle sera plus motivée à le réaliser. En outre, la théorie de l'autodétermination conceptualise deux grands types de motivation : (a) la motivation autonome, où la personne effectue une activité parce qu'elle l'intéresse, et (b) la motivation

contrôlée, où la personne effectue une activité pour atteindre certains résultats (une récompense, éviter la culpabilité, orgueil, etc.)(Deci et Ryan, 2000).

Selon Deci et Ryan (2000), il existe deux processus régulateurs prédictifs d'un bon ou mauvais maintien d'un comportement : le comportement émanant d'une motivation autonome et l'internalisation d'une motivation contrôlée (extrinsèque).

La motivation autonome implique la participation autonome des personnes à des activités qui les intéressent et l'adoption d'un comportement cohérent avec leurs valeurs et leurs aspirations internes (Deci et Ryan, 2000). Quant à la motivation contrôlée, elle émane d'aspirations externes, telles que la satisfaction d'une tierce personne sans être vraiment convaincu des décisions prises. Les comportements qui émanent de la motivation contrôlée s'éloignent généralement des trois besoins psychologiques, et par conséquent risquent d'altérer le bien-être et l'atteinte des objectifs (Deci et Ryan, 2000). Toutefois, une motivation contrôlée peut être internalisée, et ceci selon Deci et Ryan (2000) : « en essayant de transformer les mœurs et les demandes externes à des valeurs personnellement approuvées et autorégulées ». Plus les personnes acceptent ces autorégulations, plus elles seront intégrées à la société (Deci et Ryan, 2000). Cette internalisation peut se produire à différents niveaux : régulation externe, introjection, et intégration (Deci et Ryan, 2000).

La régulation externe correspond au niveau le plus bas du processus régulateur et qui contribue à des changements de court terme (Deci et Ryan, 2000). Au cours de ce processus, la personne se comporte de manière à ce qu'elle obtienne une récompense ou évite une punition, ses choix sont sous le contrôle de certaines conséquences et non pas selon ses propres désirs (Deci et Ryan, 2000). L'introjection décrit une motivation contrôlée régulée par des pressions internes, où la personne agit de manière à éviter le sentiment de culpabilité ou agit par fierté (Deci et Ryan, 2000). L'intégration des régulations externes correspond à l'état où la personne est en accord avec les nouveaux changements et son comportement autorégulé devient autonome (Deci et Ryan, 2000). Il est tout aussi possible que la personne n'exprime aucune intention de changer et ceci décrit l'amotivation.

Par ailleurs, des études antérieures (McEwan et Sweet, 2012; Ryan et Deci, 2000) ont montré que l'implantation d'un environnement respectant les trois besoins psychologiques prédisait une plus grande motivation autonome chez les personnes, qui se manifestait par une meilleure adhérence aux exercices. Une méta-analyse récente sur les interventions informées par la théorie de l'autodétermination (Ntoumanis et al., 2021) a révélé des effets petits à moyens sur les la santé physique (condition physique et fonctionnement, poids, pression artérielle, etc.) à la fin de l'intervention et pendant la période de suivi (variant d'une semaine à 30 mois après l'intervention).

Dans l'optique où nous cherchons à favoriser la motivation autonome du survivant d'AVC et à solliciter son intérêt pour son plan de traitement, la théorie de l'autodétermination pourrait aider à atteindre un tel objectif. La section suivante décrit les stratégies utilisées pour développer une intervention informée par la théorie de l'autodétermination, en utilisant la réalité virtuelle combinée à la télé-réadaptation.

### **3.1.3. L'entretien motivationnel**

L'intégration de la théorie de l'autodétermination, dans le contexte d'une utilisation combinée de la réalité virtuelle et la télé-réadaptation, peut être pertinente pour motiver les survivants d'AVC de continuer à faire de l'exercice et à utiliser leur membre supérieur dans les activités quotidiennes, pouvant faciliter le maintien des gains après la fin de l'intervention.

Conformément à la théorie de l'autodétermination, l'entretien motivationnel (Miller, 2013) pourrait être intégré à la réalité virtuelle combinée à la télé-réadaptation pour s'assurer que le respect de l'autonomie, le soutien de compétence et soutien moral soient systématiquement intégrés dans l'intervention. Autrement dit, l'entretien motivationnel pourrait être incorporé afin de mettre en application les concepts théoriques et les valeurs sous-tendant la théorie de l'autodétermination, et ce à travers des techniques motivationnelles et comportementales. Bien que la théorie de l'autodétermination et l'entretien motivationnel aient été développés indépendamment, une ressemblance existe entre eux (Miller et Rollnick, 2012). La revue systématique et méta-analyse de O'Halloran et al. (2014) (10 essais cliniques randomisés contrôlés) a montré des effets positifs de l'entretien motivationnel sur les mesures de l'activité physique

(accéléromètre, pedomètre, questionnaire auto rapporté, test de marche, etc.), auprès de personnes ayant des maladies chroniques (sclérose en plaque, atteintes cardiovasculaires, etc.). Pareillement, la revue systématique de Nuss et al. (2021) a indiqué une amélioration des mesures de l'activité physique (questionnaires autorapportés) et des mesures de la santé (indice de masse corporelle, pression artérielle et taux du cholestérol) suite à des interventions basées sur l'entretien motivationnel. Selon les auteurs (Nuss et al., 2021), l'entretien motivationnel est une technique efficace pour augmenter la motivation autonome pour s'engager dans une activité physique, quel que soit la méthode avec laquelle la technique est prodiguée (face à face, par téléphone ou par internet).

Dans la prochaine section, tout d'abord, le lien entre les concepts de la théorie de l'autodétermination et les valeurs de l'entretien motivationnel sera présenté. Par la suite, les principales techniques utilisées au cours de l'entretien motivationnel sont décrites. Enfin l'évaluation de l'impact que peut avoir l'entretien motivationnel sur l'autonomisation du survivant d'AVC est décrite en termes des trois besoins psychologiques de la théorie de l'autodétermination.

#### 3.1.3.1. Lien entre l'entretien motivationnel et les concepts de la théorie de l'autodétermination

Selon Miller et Rollnick (2013, cité dans Hardcastle et al., 2016), l'entretien motivationnel est basé sur quatre valeurs, soient la collaboration, l'évocation, l'autonomie et la compassion. Tout d'abord, la collaboration consiste en la prise de décision partagée, c'est-à-dire la participation du clinicien et du patient à toutes les phases du processus décisionnel, y compris la sélection des modalités de traitement et l'établissement des objectifs (Hardcastle et al., 2016). En cohérence avec la théorie de l'autodétermination, l'entretien motivationnel aspire à respecter les choix de la personne et ses décisions par rapport à son plan de traitement, pour s'assurer que le changement de comportement soit basé sur une motivation autonome et non contrôlée (sous pression, satisfaction d'une tierce personne, culpabilité, etc.).

Ensuite, l'évocation est en lien avec la façon avec laquelle le changement est évoqué (Hardcastle et al., 2016). Le participant est invité à identifier par lui-même les avantages et les inconvénients

du statu quo et du changement. L'idée est de faire appel aux perceptions de la personne, pour susciter son intérêt, en vue de changer le comportement « malsain » (p. ex. ne pas adhérer au programme d'exercice, négliger le membre supérieur atteint) et prendre une décision autonome. Il l'est aussi du rôle du clinicien de faire comprendre à la personne l'importance des exercices proposés par les jeux et d'expliquer comment ils pourraient contribuer à améliorer ses capacités fonctionnelles et son impact sur sa qualité de vie. Par l'évocation, l'adhérence au programme d'exercices devient un comportement autonome, reflétant un intérêt réel du participant à changer le comportement mal sain.

En outre, le respect de l'autonomie du participant est prôné par l'entretien motivationnel. En accord avec la théorie de l'autodétermination, le participant est libre de décider et choisir les modalités liées à son plan de traitement (choix de jeux, niveau difficulté, types d'activités). Selon la théorie de l'autodétermination, plus le survivant est autonome dans ses décisions, plus il serait impliqué dans l'accomplissement de ses exercices et moins il se sentirait obligé de les faire, suite à sa maladie. Il est important de clarifier qu'il ne s'agit pas de laisser les survivants seuls à prendre des décisions liées à leur santé, sans aucune intervention du clinicien. Pour faire des choix autonomes, le survivant est soutenu par le clinicien, informé sur les modalités d'intervention, avec un langage simple sans aucune terminologie complexe et n'est pas mis sous pression pour choisir une option bien particulière du traitement (Deci et Ryan, 2017). Le participant devrait avoir la possibilité de considérer chacune des options possibles (types d'entraînement lors des jeux : endurance, renforcement, souplesse, types d'activités pour le membre supérieur, etc.) (Deci et Ryan, 2017). Il devrait se sentir soutenu dans sa capacité à accomplir ses objectifs, en cohérence avec le principe de compétence de la théorie de l'autodétermination.

Enfin, la compassion ou faire preuve d'empathie est une valeur prônée par l'entretien motivationnel, mais aussi par la théorie de l'autodétermination en lien avec le besoin psychologique de la connectivité. En effet, l'encouragement, le retour positif et l'empathie, à travers la valorisation et le retour réflexif, peuvent motiver le survivant à s'impliquer davantage dans le programme d'exercices et mieux performer. Malgré l'échec, le clinicien devrait toujours soutenir le survivant et l'encourager à persévérer sans douter de ses capacités à atteindre ses

objectifs. Selon le principe de la connectivité, plus la personne se sent non jugée et comprise, plus elle se sentira à l'aise et motivée à accomplir les tâches demandées (Deci et Ryan, 2000).

### 3.1.3.2. Techniques motivationnelles et techniques de changement de comportement

Au cours de l'entretien motivationnel, différentes techniques sont utilisées, en vue de motiver le participant à changer son comportement malsain. Ces techniques peuvent être réparties en techniques comportementales et techniques motivationnelles.

Tout d'abord, les techniques comportementales, le plus souvent présentées comme des techniques de contenu, reflètent les connaissances et informations fournies aux participants afin de favoriser le changement de comportement (Hardcastle et al., 2016). Entre autres, ces techniques comportementales se composent de techniques spécifiques à l'entretien motivationnel (p. ex. l'évaluation de l'importance de changer d'une échelle de 0 à 10, évaluation de la confiance en soi d'une échelle de 0 à 10, etc.) (Hardcastle et al., 2016) et de 16 techniques de changement de comportement de Michie et al. (2013). Une technique de changement de comportement se définit comme étant : « une composante observable, reproductible et irréductible d'une intervention, désignée pour altérer ou rediriger le processus causal qui régule le comportement » (Michie et al., 2013). Michie et al. (2013) propose une taxonomie de 93 techniques réparties en 16 catégories qui peuvent servir de références lors de la conception des composantes d'une intervention de changement de comportement telles que, 1.1 l'établissement d'objectif; 1.4 planification de l'action; 9.2 avantages et inconvénients, etc. Dans le cadre d'une utilisation combinée de la téléadaptation et la réalité virtuelle, seulement les techniques de changement de comportement ont été incluses comme étant des techniques comportementales au cours de l'entretien motivationnel.

Ensuite, les techniques motivationnelles (ou relationnelles) reflètent le style interpersonnel de l'intervenant ou sa façon d'interagir avec le client, afin d'appliquer les techniques comportementales (Hardcastle et al., 2016). Ces techniques peuvent consister à résumer les dires du participant (vous éprouvez... mais aussi vous ressentez... ), à poser des questions ouvertes (comment puis-je vous aider ? Quel changement comptez-vous faire ?), à affirmer les dires du

client (reconnaitre les efforts et les difficultés rencontrées par le client), et faire preuve d'écoute réflexive (répéter, reformuler, et paraphraser sans porter de jugement) (Hardcastle et al., 2016). De même, il est important de demander la permission du client avant de discuter d'un sujet en particulier (Seriez-vous d'accord pour que nous parlions de votre utilisation quotidienne de votre membre supérieur atteint ?) et valoriser son autonomie et sa capacité à prendre des décisions (savez-vous comment peut-on résoudre ce problème ?) (Hardcastle et al., 2016).

Enfin, la Figure 3 présente les techniques motivationnelles et comportementales (techniques de changement de comportement de Michie et al. (2013)) qui pourraient être incorporées à l'entretien motivationnel, dans le cadre d'une intervention par la téléadaptation combinée à la réalité virtuelle, afin d'optimiser la motivation autonome du survivant d'AVC et l'aboutissement des comportements désirés.

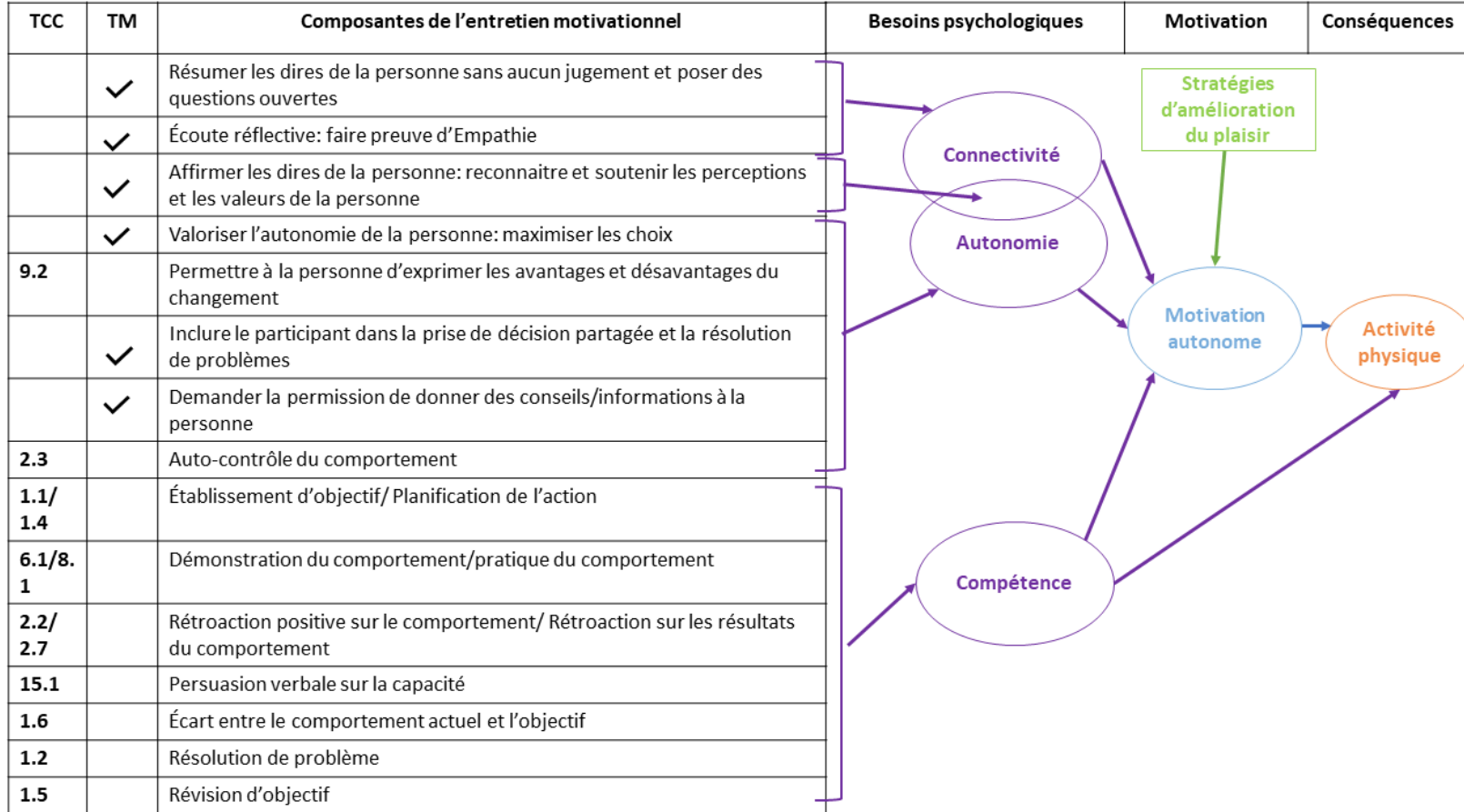


Figure 3. – Représentation du processus du changement de comportement en termes de la théorie de l'autodétermination, des techniques de changement de comportement et des techniques motivationnelles<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Note. Adapté de « The physical activity counselling (PAC) randomized controlled trial: Rationale, methods, and interventions », par M. S. Fortier, W. Hogg, T. L. O'Sullivan, C. Blanchard, R. D. Reid, R. J. Sigal, P. Boulay, E. Doucet, S. Sweet, E. Bisson et J. Beaulac. 2007, *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(6), p.1177. ©Canadian Science Publishing. Adapté avec permission



### 3.1.3.3. Évaluation de l'impact de l'entretien motivationnel

Dans le cadre d'une intervention basée sur la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation, l'entretien motivationnel a pour but d'optimiser la motivation autonome du survivant d'AVC, pour atteindre ses objectifs, soient l'adhérence au programme d'exercice et le changement de son comportement vis-à-vis à l'utilisation de son membre supérieur atteint durant les activités quotidiennes. Parallèlement, la sollicitation du survivant dans les décisions prises en lien avec son programme et son autoresponsabilisation par rapport à la gestion de ses exercices pourrait contribuer à son autonomisation. Il est donc intéressant d'évaluer l'impact que pourrait avoir l'entretien motivationnel, dans le cadre d'une intervention basée sur la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation sur l'autonomisation du survivant d'AVC. La définition retenue de l'autonomisation est celle de Aujoulat et al. (2007) :

... une expérience complexe de changement personnel. Elle est guidée par le principe de l'autodétermination et peut être facilitée par les prestataires de soins de santé s'ils adoptent une approche de soins centrée sur le patient et reconnaissent l'expérience, les priorités et les craintes des patients.

Cette définition est cohérente avec les principes psychologiques de la théorie de l'autodétermination. Par conséquent, les trois besoins psychologiques de la théorie peuvent servir d'indicateurs d'autonomisation chez le survivant d'AVC. Entre autres, lorsque ce dernier manifeste des comportements autonomes (p. ex. adhère au programme de jeux, participe aux décisions prises en lien avec le traitement), reconnaît avoir été soutenu dans le développement de ses compétences (p. ex. reconnaît avoir reçu des explications pour la réalisation des exercices, plan d'action pour l'intégration du membre supérieur dans les activités quotidiennes) et articule une connectivité avec son clinicien ou tout intervenant impliqué dans son plan de traitement (p. ex. se sent non jugé, se sent à l'aise, se sent compris).

## **3.2. La théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation de technologies**

Dans cette section, les principes sous-tendant la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation des technologies sont décrits, suivi par des définitions opérationnelles de la théorie, ainsi que des exemples visant à décrire, de façon concrète, les facteurs qui influencent l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et la téléadaptation.

### **3.2.1. Les principes sous-tendant la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie**

Dans la littérature des technologies de l'information et de la communication, plusieurs modèles théoriques, tirés du domaine de la psychologie sociale, ont été utilisés et/ou développés, afin de mieux comprendre le mécanisme d'adoption d'une nouvelle technologie au niveau individuel (Venkatesh et al., 2003). Plusieurs modèles soutiennent l'existence d'un lien direct entre l'intention d'adopter une nouvelle technologie et le comportement d'utilisation (Venkatesh et al., 2003).

En 2003, Venkatesh et al. développent la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*), une théorie englobante qui réunit les différents facteurs suggérés par 8 modèles théoriques (Ajzen, 1991; Davis, 1989; Davis et al., 1989, 1992; Fishbein et Ajzen, 1975; Thompson et al., 1991).(Figure 4). La théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie a été validée et testée empiriquement dans différents contextes incluant l'industrie du divertissement et de la télécommunication ainsi que la santé (Chen et al., 2020; Venkatesh et al., 2003). La théorie stipule que l'intention d'adopter une nouvelle technologie est déterminée par trois facteurs principaux, dont (i) la performance attendue (ii) l'effort attendu et (iii) l'influence sociale (Figure 4). La théorie indique aussi que deux déterminants prédisent le comportement d'utilisation soient, l'intention et les conditions facilitatrices (Figure 4). La performance attendue regroupe les déterminants de « l'utilité perçue », « la motivation extrinsèque », « adapté à l'emploi », « les avantages relatifs » et les « résultats attendus » (Venkatesh et al., 2003). L'effort attendu inclut « la facilité d'utilisation

perçue », « la complexité » et « la facilité d'utilisation » (Venkatesh et al., 2003). L'influence sociale est en lien avec « la norme subjective », « les facteurs sociaux » et « le statut social » et les conditions facilitatrices englobent « le contrôle du comportement perçu », « les conditions facilitatrices » et la « compatibilité » (Venkatesh et al., 2003). La théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie intègre aussi des modérateurs soit l'âge, le genre, l'expérience, et la volonté d'utilisation qui peuvent influencer l'intention d'adoption d'une technologie et le comportement d'utilisation (Venkatesh et al., 2003).

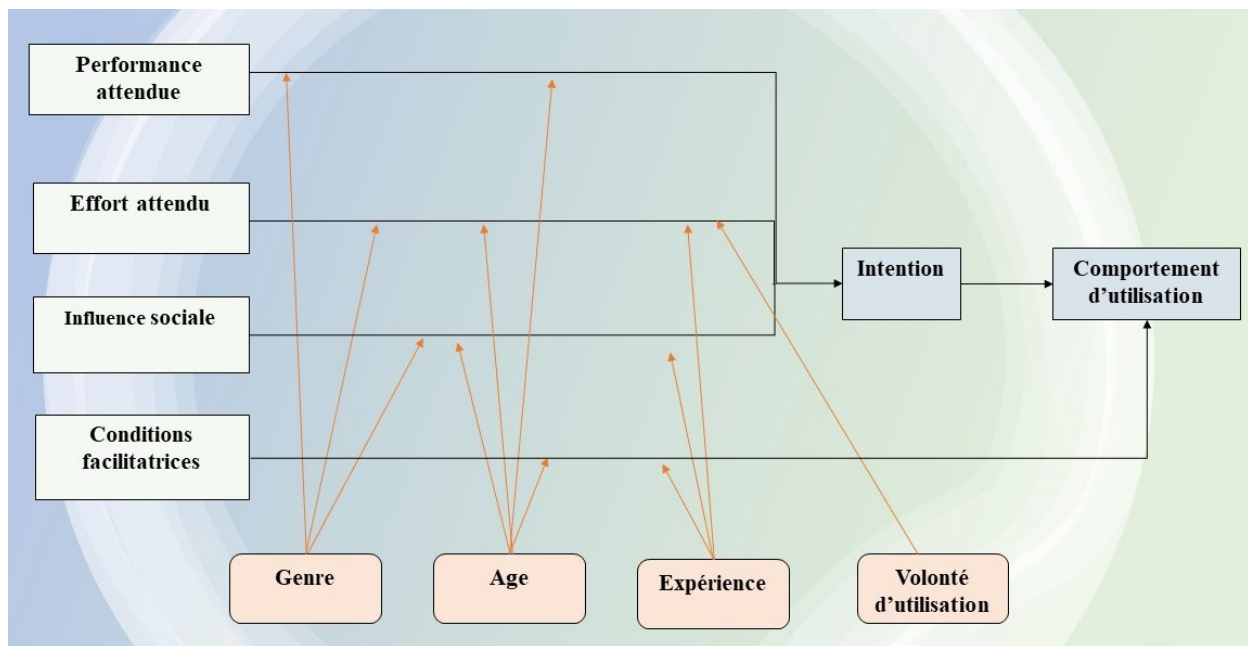


Figure 4. – Représentation de la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie.

*Note.* Adapté de « User acceptance of information technology: Toward a unified view », par V.

Venkatesh, M. G. Morris, G.B. Davis et F.D. Davis, 2003, MIS Quarterly, 27(3), p. 447. © 2003, Regents of the University of Minnesota. Adapté avec permission.

En résumé, cette théorie tente d'expliquer l'intention d'utilisation ou non d'une nouvelle technologie à travers les différents facteurs décrits par les modèles ci-dessus. La théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie soutient notamment l'existence d'un lien direct entre l'intention d'adoption d'une technologie et le comportement d'utilisation. Toutefois, la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie permet de capturer la

perception qui sera faite de l'utilisation de la nouvelle technologie sans refléter l'utilisation réelle. Autrement dit, même si l'utilisateur manifeste une intention favorable envers l'utilisation d'une nouvelle technologie, l'utilisation réelle pourrait différer de ce qui est attendu, et ce pour plusieurs raisons (contexte, difficultés et obstacles). Dans le contexte de cette thèse, il est intéressant de capturer les attentes des utilisateurs ainsi que leur expérience réelle pour voir si la technologie répond ou non aux attentes des utilisateurs et si un écart existe entre ce que cette technologie offre et ce dont les utilisateurs ont besoin. Entre autres, il importe d'identifier les déterminants qui influencent l'utilisation réelle de la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation telle que les conditions facilitatrices et les obstacles à l'utilisation de la technologie. En plus des facteurs qui peuvent influencer l'intention soient la performance de la technologie, les efforts qu'implique l'utilisation de la technologie et l'influence sociale.

Ainsi, des modifications ont été apportées aux construits de la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation de technologies (Venkatesh et al., 2003), pour capturer les attentes des utilisateurs ainsi que l'expérience réelle de l'utilisation de la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation, par les cliniciens et les survivants d'AVC.

### **3.2.2. Définition opérationnelle des construits**

Dans le cadre de cette thèse, la théorie unifiée de l'acceptation et l'utilisation d'une technologie est utilisée afin d'identifier les déterminants de l'intention de l'utilisation combinée de la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation. Les construits de la théorie ont été modifiés de manière à capturer la perception attendue des utilisateurs par rapport aux déterminants de l'intention et le comportement d'utilisation (performance attendue, effort attendu, influence sociale, conditions facilitatrices), mais aussi la perception réelle de la technologie (après utilisation). Ainsi, les déterminants retenus sont la performance (attendue et perçue), l'effort (attendue et perçue), l'influence sociale, et les conditions facilitatrices et obstacles.

Des définitions opérationnelles des construits ont été développées en fonction des utilisateurs potentiels (clinicien et survivant d'AVC, Annexe 1-Traduction libre), et sont présentées ci-dessous, incluant des exemples concrets pour assurer une compréhension commune des déterminants pouvant influencer l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et la téléadaptation.

**La performance :** le degré auquel l'utilisateur perçoit la technologie comme utile ou avantageuse et l'aide dans sa pratique ou performance. Cette définition comprend à la fois la performance attendue et réelle, car elle vise à capturer les attentes de l'utilisateur, vis-à-vis à la technologie et la performance réelle de la technologie telle qu'elle est expérimentée, ce qui pourrait avoir un impact sur la motivation de l'utilisateur à continuer à utiliser le système (même principe s'applique pour le reste des déterminants).

Clinicien : Cela peut se traduire par la facilité de conception d'un programme d'exercice, capacité de suivi, valeur ajoutée à la pratique conventionnelle et résultats fonctionnels du survivant d'AVC.

Survivant d'AVC : Cela peut se traduire par la capacité de la technologie à améliorer l'accès aux soins, à faciliter la performance d'exercices adaptés en termes de durée, de fréquence, du niveau de difficulté, et d'aboutir à des résultats satisfaisants au niveau de la récupération du membre supérieur.

**L'effort :** le degré de facilité ou de complexité liée à l'utilisation de la technologie.

Clinicien et survivant d'AVC: Cela se traduit par l'effort nécessaire à l'utilisation de la technologie incluant l'apprentissage ou la formation à l'utilisation des plateformes de jeux et de téléadaptation, facilité d'interaction avec les plateformes (lancer les jeux, lancer un appel de vidéoconférence, etc.), période de familiarisation avec la technologie, gestion des problèmes techniques, et redéfinition du rôle et des responsabilités (essentiellement pour le clinicien).

**L'influence sociale :** le degré d'impact que peut avoir la rétroaction positive ou négative de l'entourage sur l'utilisation de la technologie

Clinicien : Influence des collègues de travail, directeur, gestionnaire, ordre professionnel, etc.

Survivant d'AVC : Influence des membres de la famille, amis, voisins, etc.

**Les conditions facilitatrices et les obstacles :** les facteurs pouvant faciliter ou inhiber l'utilisation de la technologie incluant les contraintes internes (capacité et connaissances à utiliser une

nouvelle technologie) et externes (infrastructure technique et organisationnelle) ou le degré de compatibilité de la technologie avec les besoins de l'utilisateur.

Clinicien : interopérabilité des systèmes, connaissance et capacité à utiliser le système, accès à un ordinateur, accès à l'internet, compatibilité avec le raisonnement clinique, sécurité du participant

Survivant d'AVC : connaissance et capacité à utiliser le système, l'accès à un espace adéquat (pour la performance des exercices) et sécurité du participant lors des exercices.

## **4. Objectifs**

### **4.1. Objectif général**

Ce projet de thèse offre l'occasion inédite d'explorer une nouvelle alternative thérapeutique, auprès des survivants d'AVC, ayant des séquelles chroniques au niveau du membre supérieur, dans le but de maximiser le potentiel de récupération et faciliter l'accès aux soins à ceux qui en ont le plus besoin. Étant donné que peu d'études ont investigué les bienfaits de combiner la réalité virtuelle à base de jeux vidéo et la TELÉréadaptation (VirTele), pour la réadaptation du membre supérieur à la suite d'un AVC, il est important d'examiner la faisabilité d'utiliser la technologie, y compris les défis et les facilitateurs perçus, ainsi que son efficacité préliminaire. Par ailleurs, l'intégration d'une approche comportementale motivationnelle dans le cadre d'une intervention basée sur des jeux vidéo, est également innovante et nécessite d'être explorée afin de mieux comprendre les modalités de son application auprès des survivants d'AVC, au cours de l'intervention VirTele.

### **4.2. Objectifs spécifiques**

Ainsi, cette thèse s'articule autour de quatre objectifs spécifiques :

1. Déterminer la faisabilité d'utiliser VirTele pour la réadaptation du membre supérieur à domicile, auprès des survivants d'AVC en phase chronique
2. Explorer l'efficacité préliminaire de VirTele sur la fonction motrice du membre supérieur, la quantité et la qualité d'utilisation du membre supérieur atteint, la qualité de vie et la motivation, chez les survivants d'AVC en phase chronique, comparé au traitement conventionnel.
3. Identifier les stratégies motivationnelles et comportementales utilisées par les cliniciens, lors de l'intervention VirTele et explorer leur impact sur l'autonomisation des survivants d'AVC
4. Explorer les déterminants de l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele auprès des survivants d'AVC et des cliniciens





## **5. Méthode**

Une approche mixte a été utilisée pour répondre aux objectifs du projet. En premier lieu, le protocole de recherche de la thèse est présenté (Article n°1). Ce protocole a été publié dans une revue scientifique libre d'accès, dotée d'un comité de révision par les pairs. Par la suite, les modifications apportées au protocole de recherche sont décrites et expliquées. Enfin, des éléments méthodologiques complémentaires, incluant des informations liées au déroulement du plan d'études doctorales, l'assise philosophique du projet et la formation à l'approche motivationnelle, sont rapportés. De plus, les éléments méthodologiques spécifiques à chaque projet d'étude sont décrits dans la section appropriée de chaque article inclus dans cette thèse (voir Chapitre 6 Résultats).

## 5.1. Article n°1. Optimization of Upper Extremity Rehabilitation by Combining Telerehabilitation With an Exergame in People With Chronic Stroke: Protocol for a Mixed Methods Study

Dorra Rakia Allegue <sup>1 2 3</sup>, Dahlia Kairy <sup>1 2</sup>, Johanne Higgins <sup>1 2</sup>, Philippe Archambault <sup>4</sup>, Francois Michaud <sup>5</sup>, William Miller <sup>6</sup>, Shane Norman Sweet <sup>2 4</sup>, Michel Tousignant <sup>5</sup>

<sup>1</sup> School of Rehabilitation, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>2</sup> The Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal, Institut universitaire sur la réadaptation en déficience physique de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> Mission Universitaire de Tunisie, Montreal, QC, Canada

<sup>4</sup> McGill University, Montreal, QC, Canada

<sup>5</sup> Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada

<sup>6</sup> University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

- Article publié dans la revue « *Journal of Medical Internet Research in Research Protocols* », le 20 mai 2020.

En tant qu'auteure principale, j'ai contribué significativement au développement du protocole de recherche et apporté des réflexions importantes sur l'analyse des données qualitatives. J'ai également rédigé le manuscrit pour publication, répondu aux commentaires des réviseurs et apporté les modifications suggérées par l'éditeur de la revue scientifique. Tous les coauteurs ont participé pertinemment au développement du protocole de recherche et ont suggéré des réflexions importantes lors de la révision de la version initiale et finale du manuscrit. Prof. Kairy et Prof. Higgins ont validé les réponses apportées aux réviseurs à la suite des commentaires et modifications suggérées. Prof. Sweet a apporté des réflexions pertinentes par rapport au cadre conceptuel, plus particulièrement l'approche motivationnelle. Le protocole de l'étude a été

présenté (par l'autre principale) dans un congrès international, une conférence nationale et deux colloques. Toutes les informations liées à ces évènements sont décrites dans l'Annexe 2.

### **5.1.1. Avant-propos**

L'AVC constitue la première cause d'handicap chez l'adulte et touche plus de 300,000 personnes au Canada (Agence de la santé publique du Canada, 2009). Bien que la plupart des soins sont donnés en phase aigüe de la maladie, les survivants d'AVC peuvent tout aussi bénéficier des soins prodigués en phase chronique de la maladie. Excepté, les survivants d'AVC n'ont pas toujours accès aux services de réadaptation en communauté soit à cause de la distance à parcourir ou par manque de ressources. Étant donné les ressources limitées dans le système de santé, il est essentiel de développer des approches innovantes pour maximiser la réadaptation des survivants d'AVC en phase chronique tout en tenant compte de la réalité du contexte et des besoins des utilisateurs. La réalité virtuelle et la téléadaptation sont deux technologies qui pourraient permettre d'avoir accès à des programmes de réadaptation stimulants et d'assurer un suivi aux personnes qui en ont le plus besoin. Ceci est d'autant plus essentiel étant donné la nature chronique des séquelles de l'AVC qui ont souvent un impact à long terme sur la fonction, la participation sociale et la qualité de vie de la personne et de ses proches. L'article n°1 propose un protocole de recherche permettant d'évaluer la faisabilité et l'efficacité préliminaire de l'intervention VirTele. Étant donné que peu d'étude ont exploré l'utilisation combinée de la téléadaptation par vidéoconférence et des jeux vidéo, ce protocole pourrait sévir comme modèle pour informer les futures études déployant des technologies similaires, pour la gestion de maladies chroniques.

Plus particulièrement, l'Article n°1 propose des méthodes qui permettent d'examiner la faisabilité de l'intervention VirTele et récolter son efficacité préliminaire auprès des survivants d'AVC à domicile. De plus, l'Article n°1 propose une approche qualitative qui a pour objectif d'identifier les obstacles et les facteurs facilitateurs de l'utilisation de la technologie, auprès des survivants d'AVC et des cliniciens et à mieux comprendre le processus de prise de décision partagée, dans le cadre de l'intervention.

### **5.1.2. Abstract**

*Background:* Exergames have the potential to provide an accessible, remote approach for poststroke upper extremity (UE) rehabilitation. However, the use of exergames without any follow-up by a health professional could lead to compensatory movements during the exercises, inadequate choice of difficulty level, exercises not being completed, and lack of motivation to pursue exercise programs, thereby decreasing their benefits. Combining telerehabilitation with exergames could allow continuous adjustment of the exercises and monitoring of the participant's completion and adherence. At present, there is limited evidence regarding the feasibility or efficacy of combining telerehabilitation and exergames for stroke rehabilitation.

*Objective:* This study aims to (1) determine the preliminary efficacy of using telerehabilitation combined with exergames on UE motor recovery, function, quality of life, and motivation in participants with chronic stroke, compared with conventional therapy (the graded repetitive arm supplementary program; GRASP); (2) examine the feasibility of using the technology with participants diagnosed with stroke at home; and (3) identify the obstacles and facilitators for its use by participants diagnosed with stroke and stroke therapists and understand the shared decision-making process.

*Methods:* A mixed methods study protocol is proposed, including a randomized, blinded feasibility trial with an embedded multiple case study. The intervention consists of the provision of a remote rehabilitation program, during which participants will use the Jintronix exergame for UE training and the Reacts Application to conduct videoconferenced sessions with the therapists (physical or occupational therapists). We plan to recruit 52 participants diagnosed with stroke, randomly assigned to a control group (n=26; 2-month on-paper home exercise program: the GRASP with no supervision) and an experimental group (n=26; 2-month home program using the technology). The primary outcome is the Fugl-Meyer UE Assessment, a performance-based measure of UE impairment. The secondary outcomes are self-reported questionnaires and include the Motor Activity Log-28 (quality and frequency of use of the UE), Stroke Impact Scale-16 (the quality of life), and Treatment Self-Regulation Questionnaire (motivation). Feasibility data

include process, resources, management, and scientific outcomes. Qualitative data will be collected by interviews with both participants and therapists.

*Results:* At present, data collection was ongoing with one participant who had completed the exergame- telerehabilitation based intervention. We expect to collect preliminary efficacy data of this technology on the functional and motor recovery of the UE, following a stroke; collect feasibility data with users at home (adherence, safety, and technical difficulties); and identify the obstacles and facilitators for the technology use and understand the shared decision-making process.

*Conclusions:* This paper describes the protocol underlying the study of a telerehabilitation-exergame technology to contribute to understanding its feasibility and preliminary efficacy for UE stroke rehabilitation.

*Trial Registration:* ClinicalTrials.gov NCT03759106; <http://clinicaltrials.gov/show/NCT03759106>.

*International Registered Report Identifier (IRRID):* DERR1-10.2196/14629

**(JMIR Res Protoc 2020;9(5):e14629)** doi: [10.2196/14629](https://doi.org/10.2196/14629)

**Keywords:** stroke; rehabilitation; virtual reality; telerehabilitation; upper extremity; motivation

### **5.1.3. Introduction**

#### 5.1.3.1. Background

In up to 85% of stroke survivors, sequelae persist in the upper extremity (UE) (Nichols-Larsen et al., 2005), resulting in a long-term impact on daily living activities (Casaubon et al., 2016; Lindsay et al., 2008). To stimulate neuroplastic changes that promote motor recovery, stroke survivors should follow an intensive, task-specific, stimulating, and, above all, repetitive exercise program (Weiss et al., 2014). However, the programs offered by conventional therapies, in particular, during chronic stage, are not sufficient for people to achieve the level of repetition and intensity required for recovery (Weiss et al., 2014). In Canada, patients diagnosed with stroke receive the

Graded Repetitive Arm Supplementary Program (GRASP) (Harris et al., 2009) as a home exercise program after discharge from traditional rehabilitation services (Lindsay et al., 2008). The GRASP is recommended by the Canadian Best Practice Recommendations for Stroke Care (Lindsay et al., 2008) to provide training and increase the use of the impaired arm in daily life activities (Harris et al., 2009). However, patients must be motivated enough to do the exercises on their own and to perform enough repetitions to achieve improvement. A minimum of 15 hours is suggested for an intervention to result in a moderate improvement in daily living activities following a stroke (Laver et al., 2017). Numerous studies offering an intensive exercise program, in chronic stroke, reported significant improvements in UE impairment ( $P=.05$ ) (McCabe et al., 2015; Ward et al., 2019) and even maintenance of these changes over a period of 6 months after treatment (Ward et al., 2019).

#### 5.1.3.2. Increasing Training Intensity in Stroke Rehabilitation

An interesting alternative that has been proposed to exercise intensity and exploit neuroplastic properties involves the use of virtual reality. For every 30 repetitions performed in a standard rehabilitation session, the same person can perform 600 to 800 repetitions within a 1-hour session in a virtual environment (Weiss et al., 2014). This is an important difference between the two approaches that highlights the potential of virtual reality. Thanks to its design, a virtual environment can simulate the real world while maintaining total control over the parameters of the tasks to be executed within it to foster motor learning (Weiss et al., 2014). In the context of rehabilitation, virtual reality has been integrated in the form of exergames because the gaming goal is to enhance activity through various types of exercises. Among these exergames, some have been specifically designed for stroke rehabilitation, including for balance training as well as for training for both lower and upper limb deficits (eg, Caren system, Lokomat, Armeo, and Jintronix (Jintronix, n.d.; Laver et al., 2017; Subramanian et al., 2013; Weiss et al., 2014)). The nature of the exergame interface makes it possible to modify the difficulty level of the exercises via various parameters such as intensity (time and repetition), visual feedback, speed, strength, and range of motion (Weiss et al., 2014). Progressing the exercise to ensure it remains challenging may motivate the user to complete the exercises (Weiss et al., 2014). However, there is no way to ensure that the movements made in the virtual environment are performed correspond to what is being trained. When performed in clinic, a health professional can ensure that the

exercises are adjusted, and the movements are executed appropriately. However, at home, monitoring by a health professional needs to be considered to prevent compensatory movements during the exercises, inadequate choice of difficulty level, inappropriate completion of the exercises, and lack of motivation to pursue exercise program. The interfaces of the exergames do not allow automatic adjustment adapted to the person's abilities and do not sufficiently detect compensations (Jintronix, n.d.; Laver et al., 2017; Subramanian et al., 2013; Weiss et al., 2014). Thus, the follow-up by a therapist would make it possible to optimize the exergames' benefits for the user (such as by adapting the difficulty parameters and by choosing games that are relevant for the user) and to help transfer motor learning from the virtual environment to activities of daily living.

To increase monitoring, a telerehabilitation system could allow such a follow-up through videoconferencing sessions between the user and the therapist. Such systems are increasingly used to provide remote rehabilitation services (Blacquiere et al., 2017). Its efficiency, compared with the standard treatment (face-to-face interventions), has been demonstrated, resulting in similar clinical results among participants diagnosed with stroke (Cikajlo et al., 2012), therefore increasing accessibility to stroke rehabilitation services. Combining telerehabilitation with virtual reality (VirTele) could allow live sessions in which the therapist can observe the user playing and follow the game screen, at the same time, to assess how the user manages to complete the movements requested through the exercises (detect compensations, correct pathological patterns, and directly modify the difficulty setting necessary for the smooth running of the exercise). Therefore, the VirTele technology could allow continuous adjustment to the exercises and monitoring of the user completion to create a more personalized, tailored training program. Furthermore, in the long term, the VirTele exercise program could empower users to integrate the use of their impaired UE in their daily activities, through shared decisions made with the therapist.

#### 5.1.3.3. Study Objectives

Given the evidence for the efficacy of exergames as well as telerehabilitation for stroke rehabilitation, but the limited evidence of combining these technologies, such as in the VirTele



program, the overall goals of this study are to explore its preliminary efficacy for UE rehabilitation and examine its feasibility for use with stroke survivors at home. More specifically, the objectives of this study are to (1) determine the preliminary efficacy of VirTele on UE motor recovery, function, quality of life, and motivation in participants with chronic stroke, compared with conventional therapy (GRASP); (2) examine the feasibility of using VirTele with participants diagnosed with chronic stroke at home; and (3) identify the obstacles and facilitators for the technology use by participants diagnosed with stroke and stroke therapists and understand the shared decision-making process.

It is hypothesized that the exergame-tele-rehabilitation program will lead to greater UE motor recovery than usual care (GRASP) in participants with chronic stroke. We also hypothesize that the exergame-tele-rehabilitation program will have a greater impact on function, quality of life, and motivation in participants with chronic stroke.

#### **5.1.4. Methods**

##### **5.1.4.1. Study Design**

This is a mixed method study design consisting of a randomized, blinded feasibility trial with an embedded multiple case study that will take place in Montreal, Canada. The randomized feasibility trial is a two-arm, single-blind trial design in which eligible participants will be randomly allocated to an experimental (VirTele for 8 weeks) or control, usual care group (GRASP for 8 weeks). The feasibility trial captures both feasibility and preliminary efficacy outcomes. Publishing the feasibility results would provide a better understanding of the context in which the efficacy data were collected and a better interpretation of the final results (Bowen et al., 2009; Whitehead et al., 2014).

Outcome measures will be assessed for both groups on four occasions: at baseline (T1), at the end of 2-month intervention (T2), after a 1-month follow-up period (T3), and after a 2-month follow-up period (T4; Figure 5).



Figure 5. – Description of the outcome measurement time (Article n°1).

GRASP: Graded Repetitive Arm Supplementary Program; VirTele: program that combines virtual reality exergame and telerehabilitation application.

Randomization and evaluations will be performed by research assistants who are not involved in the study. All participants will provide informed written consent before enrollment. This study is registered at [clinicaltrials.gov](https://clinicaltrials.gov) (NCT03759106) and has received ethics approval from the Research Ethics Boards of Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal (June 28, 2018).

#### 5.1.4.2. Participant Selection and Recruitment Strategy

At study entry, we will administer the Chedoke-McMaster arm component (Parry, 1996) to get evidence of UE impairment. Only participants with a score of 2 to 6 will be eligible. We will also verify balance maintenance during sitting position and detect any UE mobility restrictions limiting the ability to play (restricted shoulder movements because of pain) through active and passive mobilizations.

Stroke survivors who have residual UE deficits and are no longer receiving rehabilitation services will be eligible for study participation if they fulfill the eligibility criteria. The inclusion criteria are as follows: first-time unilateral ischemic or hemorrhagic stroke or no residual deficits from a previous stroke and able to use the Jintronix system (eg, able to move the game avatar with

impaired limb). The exclusion criteria are as follows: being medically unstable (eg, uncontrolled cardiac condition), severe cognitive or communication deficits, visual impairments limiting the ability to use the games, and UE mobility restrictions limiting the ability to play (eg, restricted shoulder movements because of pain).

We intend to recruit participants from the community and from the archives of rehabilitation centers (offline) situated in the Montreal, Sherbrooke, and Laval areas (Quebec, Canada).

Study therapists (physical therapists or occupational therapists) from the different participating sites will also be included in the study to explore their experiences with the technology and comprehend the shared decision-making process underlying their choice of games and difficulty levels.

#### 5.1.4.3. Sampling

To date, no studies have reported on the use of combining such technologies, such as in the VirTele program so that this randomized, blinded feasibility trial will provide evidence for the effect size. However, as the first estimate of effect size, a sample size of 52 participants has been calculated using the Fugl-Meyer Upper Extremity Assessment as a primary outcome and G\*Power 3.1 (<http://www.gpower.hhu.de>). We assumed a medium effect size of 0.2, which was reported in a study with chronic stroke survivors with a 2-arm randomized clinical trial (Pang et al., 2006) and accounting for 20% retention issues ( $\alpha=.05$  and  $\text{power}=80\%$ ). This sample size corresponds to recommendations for pilot efficacy and feasibility trials (Julious, 2005) and is realistic, given time and budgetary constraints as well as recruitment potential. Thus, for the randomized, blinded feasibility trial, 52 participants will be recruited and randomly allocated to the experimental ( $n=26$ ) or control group ( $n=26$ ). A block randomization with a block size of six will be used, given time and material constraints.

For the multiple case study component, four therapists and the first 10 participants from the experimental group will be invited to participate in interviews. However, the final sample size of the participants diagnosed with stroke will be adjusted depending on the qualitative data

saturation (Fortin, 2010) and heterogeneity of participants characteristics, in order to capture a range of experiences.

#### 5.1.4.4. Description of Interventions

##### 5.1.4.4.1. *Experimental Group*

The participants in the experimental group will receive the VirTele program. VirTele is an 8-week home program during which participants will use the Jintronix exergame (<http://www.jintronix.com/>) for UE training and the Reacts telerehabilitation application (<https://www.iitreacts.com/>) to conduct videoconferenced sessions with the therapists (physical therapists or occupational therapists). All the equipment necessary for the proper functioning of the VirTele program, including the computer, the Kinect camera, the Reacts, and Jintronix software as well as a constant internet accessibility (USB internet key), will be provided for free to the participants. A technician will oversee the transport and the installation.

##### 5.1.4.4.1.1. *Telerehabilitation Component*

The Reacts application is an interactive audio-video platform that allows secure communication between therapists and participants using standard computer or tablet technologies (<https://www.iitreacts.com/>). The application enables a live game access when it is used in combination with Jintronix. Thus, the therapist will be able to see the participant doing exercises and see the exergame platform while it is being used. The access to the live game platform allows the therapist to track the tasks or movements required by the game and see how the participant manages to accomplish them to adjust the difficulty level of the game according to the participant's motor skills and interest. The Web sessions with Reacts will take place three times a week for 2 weeks, twice a week for 2 weeks, and then once a week for the remaining 4 weeks.

Reacts can also be used alone, making it possible for the participant to interact with the therapist when finishing the exercises. These sessions provide an opportunity to discuss difficulties regarding playing games and to subsequently modify the rehabilitation program according to the participant's abilities and preferences. This shared decision-making process can help foster motivation to make health-related decisions (eg, setting goals weekly with the therapist,

determine the optimal level of difficulty of the exercises, and choosing the games) and specially to continue rehabilitation after the end of the intervention. This shared decision-making process will aim to increase the empowerment of the participant, facilitating subsequently the transfer of the functional gains acquired in the context of the study into real life. This transfer occurs by identifying ways of reproducing the tasks of the game in activities of the daily life and increasing the use of the affected UE in the long term. Participant empowerment will be further encouraged by using motivational interviewing based on self-determination theory (SDT) principles during telerehabilitation sessions (Sweet et al., 2017; Vansteenkiste et al., 2010). This theory states that humans naturally tend to achieve changes that respect and enable the satisfaction of their three basic psychological needs, namely, (1) autonomy, (2) connectivity, and (3) competence (Deci et Ryan, 2000; Sweet et al., 2017). There are two regulation processes predicting behavioral engagement and maintenance: the behavior emanating from intrinsic motivation and the internalization of extrinsic motivation (Deci et Ryan, 2000).

#### 5.1.4.4.1.2. Virtual Reality Component

The Jintronix exergame consists of six UE games played for varying amounts of time and at different difficulty levels (speed, precision, and range of movements), which can be tracked remotely by the therapist asynchronously through the data provided in Jintronix Web-based portal. The therapist is also able to modify the difficulty parameters according to the performance data recorded on the portal. This exergame uses a Kinect camera, which captures the person's body movements without wearing sensors. Participants will be invited to use Jintronix at least five times a week for 8 weeks, for 30-min sessions, performing a total of 20 hours of exercise. A minimum of 15 hours is suggested for an intervention to result in a moderate improvement in activities related to daily living following a stroke (Laver et al., 2017).

Jintronix includes an automated log system, which records the active time spent by participants in each game and the score achieved. The therapist can access the exergame interface at any time to monitor the participant's progress and adherence to the exercise program and modify the difficulty level.

Before starting the intervention, therapists will receive training in motivational interviewing (Miller, 2013) to ensure a client-centered rehabilitation program that aligns with the SDT (Vansteenkiste et al., 2010). We used SDT (Deci et Ryan, 2000) as a conceptual framework to guide the VirTele intervention to empower the participant and solicit their interest and motivation for the treatment plan that the therapist and participant will decide on together. The combination of the telerehabilitation system (Reacts) and the Jintronix exergaming system aims to foster participant-therapist interaction throughout the rehabilitation program and to develop a partnership relationship based on information sharing and trust. It is in this perspective that SDT was integrated. Its constructs were used as a basis for a discussion plan which the therapist refers to during videoconferenced sessions.

All participants in the experimental group will participate in a 30-min training session with the technician responsible for the installation of the technology to learn to use the VirTele technology.

#### *5.1.4.4.2. Control Group*

The participants in the control group will receive GRASP based on their UE function. It includes strengthening exercises of arm and hand, range of motion, and functional arm activities (Harris et al., 2009). The program includes some equipment such as a ball, a bean bag, or paper clips. The participants will be invited to carry out the GRASP exercises over the 8 weeks, 5 days a week for 30 min each day, performing 20 hours of exercises in total (same as experimental group). A paper log journal will be provided to track the amount of time spent on the exercises and the number of sessions as well as any adverse events (fatigue and pain). The control group will not receive any follow-up with the therapist, but at the end of the study, the participants will be offered one session with the therapist to discuss strategies for improving long-term UE function. Before starting the intervention with GRASP, the participants will receive a 30-min training session for using the program equipment by one of the therapists included in the study.

#### 5.1.4.5. Data Collection

##### 5.1.4.5.1. Quantitative Data

At study entry, the participant's sociodemographic information (gender, age, civil status, language, number of years of education completed, primary occupation, and stroke characteristics) will be collected for descriptive purposes.

For the randomized, blinded feasibility trial, several outcomes measures will be used to address the different objectives. The first objective of the trial is to determine the preliminary efficacy of VirTele on UE motor recovery, function, quality of life, and motivation, in participants with chronic stroke, compared with conventional therapy (GRASP).

The Fugl-Meyer Upper Extremity Assessment will be the primary outcome to determine the efficacy of the technology for UE motor control recovery. This is a performance-based measure of UE impairment (Page et al., 2015; Singer et Garcia-Vega, 2017). It includes 13 items scored on a 3-point ordinal scale of 0 to 2 (Singer et Garcia-Vega, 2017). The Fugl-Meyer Upper Extremity Assessment has been shown to have good internal consistency ( $\alpha=.82-.84$ ) and good concurrent validity ( $r=0.74$ ) (Page et al., 2015).

The secondary outcomes are self-reported questionnaires and include the Motor Activity log 28 (Lang et al., 2008; van der Lee et al., 2004), the Stroke Impact Scale-16 (Chou et al., 2015; Fulk et al., 2010), and the Treatment Self-Regulation Questionnaire-13 (Levesque et al., 2007).

The Motor Activity log 28 is a self-reported measure of UE use (Lang et al., 2008; van der Lee et al., 2004). This rates the quality and frequency of use of the UE in 28 everyday tasks and is administered by interview (Lang et al., 2008; van der Lee et al., 2004). The Motor Activity log 28 demonstrated high reliability ( $r=0.82$ ) and high validity, with excellent concurrent correlation with Stroke Impact Scale hand function scores ( $r=0.72$ ) (Uswatte et al., 2006). The impact on quality of life will be determined using the Stroke Impact Scale-16, a stroke-specific, self-reported, health status measure consisting of 16 items concerning daily activities (Chou et al., 2015; Fulk et al., 2010). The Stroke Impact Scale-16 has been shown to have good internal consistency ( $\alpha=.87$ ) and a good convergent and discriminant validity (Edwards et O'Connell, 2003). Motivation will be

measured using the Treatment Self-Regulation Questionnaire-13 (Levesque et al., 2007), a 13-item questionnaire that has been developed to measure treatment motivation, aligned with SDT. The Treatment Self-Regulation Questionnaire has been shown to be reliable with a high internal consistency ( $\alpha=.73-.95$ ) and valid across health care contexts and has been used in rehabilitation (Chan et al., 2009). The two regulation processes of the SDT (intrinsic and extrinsic motivation) are targeted in the form of subscales in the Treatment Self-Regulation Questionnaire-13 (Levesque et al., 2007). The use of this questionnaire allows us to investigate the impact that the motivation could have on adherence to the program and its effectiveness.

The second objective of the randomized, blinded feasibility trial is to assess the feasibility of using VirTele with participants diagnosed with stroke at home. Feasibility data include indicators of process, resources, management, and scientific feasibility (Thabane et al., 2010). In Tableau 1, we describe all the outcomes that will be used for each indicator. These data will also provide evidence to examine the validity of the research protocol to inform the planning of a larger clinical trial.

A trained assessor who is not involved in the delivery of interventions and blinded to group assignment will be responsible for the face-to-face administration of the outcome measures.

**Tableau 1.** – Description of feasibility indicators outcomes (Article n°1).

Feasibility indicators	Outcomes
<b>Process</b>	
Recruitment rate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percentage of participants who meet the eligibility criteria and accept to participate (20%)</li> <li>• Rate of participants per month</li> <li>• Duration of recruitment</li> </ul>
Retention rate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percentage of participants who complete the 2-month intervention with telerehabilitation with virtual reality</li> </ul>



<b>Resources</b>	
Exercise adherence rate	<ul style="list-style-type: none"> <li>Percentage of participants who complete 150 min of Jintronix exercises per week</li> </ul>
Number and duration of sessions	<ul style="list-style-type: none"> <li>These data will be obtained from the Jintronix exergame and Reacts app system</li> </ul>
Frequency and time spent by the therapist assisting for real-time sessions with Jintronix	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logs completed by the therapist at the end of each session</li> </ul>
Resources utilization	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logs completed and time spent by therapists and technical staff</li> </ul>
<b>Management</b>	
Technical problems with the technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtained from a log maintained by the study therapists and technical team</li> </ul>
The role of the shared decision making and empowerment in achieving task goals	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encourage participants to report new task goals every week</li> <li>Percentage of participants who achieved the goals set with the therapist</li> <li>Percentage of task goals achieved per participant</li> </ul>
<b>Scientific</b>	
Safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>Occurrence of adverse events (pain, falls, motion sickness, dizziness, exertion, fatigue, and headaches) will be documented by a computerized participant log</li> </ul>
Satisfaction	<ul style="list-style-type: none"> <li>With the technology: the Modified Short Feedback Questionnaire (Davis, 1989)</li> <li>With the interaction between the therapist and the participant: Health Care Climate Questionnaire (Perceived Autonomy Support) (Gremigni et al., 2008)</li> </ul>
Size of sample	<ul style="list-style-type: none"> <li>The calculation will be done from the size of the treatment effect or the variance of the treatment effect</li> </ul>

#### 5.1.4.5.2. *Qualitative Data*

Individual semistructured interviews of 30 min will be conducted with the first 10 participants from the experimental group (n=10) after the end of 8-week intervention. The interview guide will be developed based on the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) conceptual framework (Williams et al., 2015). This theory includes four essential constructs (expected performance, expected effort, social influence, and facilitating conditions), which are considered as direct determinants of the intention and behavior of adoption and the use of new technologies by stakeholders (Williams et al., 2015). Therefore, semistructured interviews will be used to inform not only the intention and behavior of adoption and use of VirTele by participants diagnosed with stroke and therapists but also of UE use in the future (through UTAUT constructs). When combined with SDT constructs, the interview will inform the participants' empowerment and the shared decision-making process underlying the therapist choice of games and difficulty levels.

The study therapists will also be interviewed to describe their experience with VirTele (obstacles and facilitators), explore their behavior to see if they align with SDT, and investigate the shared decision-making process underlying their choice of games and difficulty levels. Individual semistructured interviews of 30 min will be used. The UTAUT and the SDT will serve as basis for the interview guide development.

All interviews will be voice recorded and transcribed verbatim. A logbook and reflective notes will also be taken.

#### 5.1.4.6. *Data Analysis*

##### 5.1.4.6.1. *Quantitative Data Analyses*

Statistical analysis of the quantitative data will be performed using the Statistica software. Descriptive statistics will be used to report sociodemographic characteristics of participants (age, gender, handedness, and stroke characteristics) in both groups (experimental vs control). To address the first objective of the randomized, blinded feasibility trial, a mixed model approach will be applied for primary and secondary outcomes measure. Each model will contain one

between subject effect factor (group: control vs experimental), one within-subject effect factor (time: T1, T2, T3, and T4), and two covariates (gender and age) factors, which may impact exergame use. For each outcome measures, residual plots will be examined to verify normality and identify the best covariance structure. All the outcomes measure changes will be compared with the minimal clinically important differences. The effect size of the comparison between experimental and control groups will be calculated to estimate the final sample size. To address the second objective of the randomized, blinded feasibility trial, descriptive statistics (frequencies, means, and standard deviations) will be used to highlight the amount of exercise performed, the occurrence of adverse events, and participant and therapist satisfaction level in the experimental and control groups.

#### *5.1.4.6.2. Qualitative Data Analyses*

For the qualitative data, thematic analysis will be conducted for each case group. Transcripts will be coded using a predetermined coding scheme (Annexe 3) based on the conceptual frameworks as well as other codes emerging from the data using NVivo software, and then codes will be grouped into overarching themes. To ensure the scientific rigor of qualitative data, the principles of Lincoln et Guba (1985) will be applied. Audit trail and verification by members will be done to respect confirmability. A debriefing (external verification) will be applied to ensure credibility. Reliability will be achieved with verification by two coders of a part of the data. Transferability will be assured by taking reflexive notes and a detailed description of the context of the intervention. During the analysis, the results of the qualitative and quantitative data will be compared with help explain findings.

### **5.1.5. Results**

We expect to (1) collect preliminary efficacy data of this technology on the functional and motor recovery of the UE, following a stroke; (2) collect feasibility data with users at home (adherence, safety, and technical difficulties); and (3) identify the obstacles and facilitators for the technology use and understand the shared decision-making process during the VirTele program.

At the time of this manuscript submission, data collection was ongoing with one participant who had completed the study (experimental group) and used VirTele for 2 months (Allegue et al., 2019) (Annexe 4). At this stage of the study, we have not yet started the data analysis.

### **5.1.6. Discussion**

#### **5.1.6.1. Study Design**

This paper describes the research protocol for a mixed method study, including a randomized, blinded feasibility trial with an embedded multiple case study. The aims of this study are to (1) determine the preliminary efficacy of VirTele on UE motor recovery, function, quality of life, and motivation in participants with chronic stroke, compared with conventional therapy (GRASP); (2) examine the feasibility of using VirTele with participants diagnosed with chronic stroke at home; and (3) identify the obstacles and facilitators for the technology use by participants diagnosed with stroke and stroke therapists and understand the shared decision-making process.

We have chosen a mixed study design because the use of both qualitative and quantitative approaches makes it possible to construct a more complete image of the studied phenomenon. The combination of the two methodologies should be approached not from the point of view of their differences but from the complementarities they can bring to the study (Levy, 1997). If the feasibility trial examines the content of the intervention to see if it is effective and feasible, the qualitative approach examines the context of the intervention to see if it can be accepted and applied in clinical practice and explain some of the quantitative findings (Albright et al., 2013). Feasibility trials are important to ensure that larger randomized clinical trials are rigorous and feasible and economically justifiable (Whitehead et al., 2014).

#### **5.1.6.2. Data Collection**

Participants will be recruited from different sites to increase the representativeness of the target population in the region. The control group will not receive any motivational interviewing or follow-up to keep the standard aspect of therapy that corresponds most to the clinical reality. This will enable us to identify the added value of the VirTele program compared with GRASP. After outcome measures collection in T1 and T2, to compare the effect of each intervention within and

between groups, we will collect additional measures at T3 and T4 to evaluate the retention of gains.

The multiple case study provides an in-depth description of stakeholders use experience and potential use of VirTele program. In this study, we will have two case groups: participants diagnosed with stroke and study therapists (physical therapists or occupational therapist). Each of these cases experiences the intervention differently, and it is therefore essential to report them through interviews. The variation of the cases makes it possible to increase the variation of the experiences and thus to increase the robustness of the qualitative results (Fortin, 2010). UTAUT and SDT will serve as a basis for establishing certain links between the concepts that will emerge (Annexe 3).

The results of this study will allow to verify if all elements of the protocol work well together to conduct a broader future study. We have tried to provide as much detail as possible about the various processes and steps of the protocol to facilitate its reproduction by other studies that seek to develop tools for the remote management of chronic diseases.

This project will also provide preliminary evidence of the efficacy of VirTele on motor and functional recovery of the UE following chronic stroke for future guidelines review, although studies caution us about solely using results from feasibility studies to establish intervention efficacy (Thabane et al., 2010).

#### 5.1.6.3. Conclusions

Extending rehabilitation following a stroke with remote services may be a promising strategy to overcome the limited resources in the health system. The VirTele program is a new approach that may provide stroke survivors continuous and remote access to rehabilitation services. This paper describes the protocol underlying the study of this technology to better understand how it can be used among different stakeholders and explore its preliminary efficacy in a chronic stroke population.

### **5.1.7. Acknowledgments**

This work was supported by the Canadian Institutes of Health Research (385297, 2017) and a scholarship of the Mission

Universitaire de Tunisie. The funding source had no involvement in the conduct of the research or the preparation of the article.

### **5.1.8. Conflicts of Interest**

None declared.

### **5.1.9. Abbreviations**

GRASP: Graded Repetitive Arm Supplementary Program

SDT: self-determination theory

T1: at baseline

T2: at the end of 2-month intervention

T3: after a 1-month follow-up period

T4: after a 2-month follow-up period

UE: upper extremity

UTAUT: Unified Theory of Acceptance and Use of Technology

VirTele: program that combines virtual reality exergame and telerehabilitation application

### **5.1.10. References**

Albright, K., Gechter, K., et Kempe, A. (2013). Importance of mixed methods in pragmatic trials and dissemination and implementation research. *Academic Pediatrics, 13*(5), 400–407.

Allegue, D. R., Kairy, D., Higgins, J., Archambault, P., Michaud, F., Miller, W., Sweet, S. N., et Tousignant, M. (2019). Remote rehabilitation training using the combination of an

- exergame and telerehabilitation application: A case report of an elderly chronic stroke survivor. *2019 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/ICVR46560.2019.8994565>
- Blacquiere, D., Lindsay, M. P., Foley, N., Taralson, C., Alcock, S., Balg, C., Bhogal, S., Cole, J., Eustace, M., Gallagher, P., Ghanem, A., Hoechsmann, A., Hunter, G., Khan, K., Marrero, A., Moses, B., Rayner, K., Samis, A., Smitko, E., ... Silver, F. L. (2017). Canadian Stroke Best Practice Recommendations: Telestroke Best Practice Guidelines Update 2017. *International Journal of Stroke*, *12*(8), 886–895. <https://doi.org/10.1177/1747493017706239>
- Bowen, D. J., Kreuter, M., Spring, B., Cofta-Woerpel, L., Linnan, L., Weiner, D., Bakken, S., Kaplan, C. P., Squiers, L., Fabrizio, C., et Fernandez, M. (2009). How we design feasibility studies. *American Journal of Preventive Medicine*, *36*(5), 452–457. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2009.02.002>
- Casaubon, L. K., Boulanger, J.-M., Glasser, E., Blacquiere, D., Boucher, S., Brown, K., Goddard, T., Gordon, J., Horton, M., Lalonde, J., LaRivière, C., Lavoie, P., Leslie, P., McNeill, J., Menon, B. K., Moses, B., Penn, M., Perry, J., Snieder, E.,... Lindsay, P. (2016). *Canadian Stroke Best Practice Recommendations: Acute Inpatient Stroke Care Guidelines, Update 2015*. *International Journal of Stroke*, *11*(2), 239–252. <https://doi.org/10.1177/1747493015622461>
- Chan, D. K., Lonsdale, C., Ho, P. Y., Yung, P. S., et Chan, K. M. (2009). Patient motivation and adherence to postsurgery rehabilitation exercise recommendations: The influence of physiotherapists' autonomy-supportive behaviors. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *90*(12), 1977–1982. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.05.024>
- Chou, C.-Y., Ou, Y.-C., et Chiang, T.-R. (2015). Psychometric comparisons of four disease-specific health-related quality of life measures for stroke survivors. *Clinical Rehabilitation*, *29*(8), 816–829. <https://doi.org/10.1177/0269215514555137>
- Cikajlo, I., Rudolf, M., Goljar, N., Burger, H., et Matjai, Z. (2012). Telerehabilitation using virtual reality task can improve balance in patients with stroke. *Disability and Rehabilitation*, *2012, Vol.34(1), p.13-18*, *34*(1), 13–18. <https://doi.org/10.3109/09638288.2011.583308>

- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Deci, E. L., et Ryan, R. M. (2000). The ‘What’ and ‘Why’ of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. [https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01)
- Edwards, B., et O’Connell, B. (2003). Internal consistency and validity of the Stroke Impact Scale 2.0 (SIS 2.0) and SIS-16 in an Australian sample. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, 12(8), 1127–1135. <https://doi.org/10.1023/a:1026109920478>
- Fortin, F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche : Méthodes quantitatives et qualitatives* (2e éd.). Chenelière éducation.
- Fulk, G. D., Ludwig, M., Dunning, K., Golden, S., Boyne, P., et West, T. (2010). How much change in the stroke impact scale-16 is important to people who have experienced a stroke? *Topics in Stroke Rehabilitation*, 17(6), 477–483. <https://doi.org/10.1310/tsr1706-477>
- Gremigni, P., Sommaruga, M., et Peltenburg, M. (2008). Validation of the Health Care Communication Questionnaire (HCCQ) to measure outpatients’ experience of communication with hospital staff. *Patient Education and Counseling*, 71(1), 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2007.12.008>
- Harris, J. E., Eng, J. J., Miller, W. C., et Dawson, A. S. (2009). A self-administered Graded Repetitive Arm Supplementary Program (GRASP) improves arm function during inpatient stroke rehabilitation: A multi-site randomized controlled trial. *Stroke*, 40(6), 2123–2128. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.108.544585>
- Jintronix. (n.d.). *Sense Your Progress*. Jintronix. Retrieved 3 December 2018, from <http://www.jintronix.com/>
- Julious, S. A. (2005). Sample size of 12 per group rule of thumb for a pilot study. *Pharmaceutical Statistics*, 4(4), 287–291. <https://doi.org/10.1002/pst.185>
- Lang, C. E., Edwards, D. F., Birkenmeier, R. L., et Dromerick, A. W. (2008). Estimating minimal clinically important differences of upper-extremity measures early after stroke. *Archives*



- of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(9), 1693–1700.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.02.022>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., et Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, CD008349.  
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Levesque, C. S., Williams, G. C., Elliot, D., Pickering, M. A., Bodenhamer, B., et Finley, P. J. (2007). Validating the theoretical structure of the Treatment Self-Regulation Questionnaire (TSRQ) across three different health behaviors. *Health Education Research*, 22(5), 691–702. <https://doi.org/10.1093/her/cyl148>
- Levy, R. (1997). *Réflexion sur la recherche en santé publique : des métaphores à la rescousse. Ruptures*. 4(1), 35–44.
- Lincoln, Y. S., et Guba, E. G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. SAGE.
- Lindsay, P., Bayley, M., Hellings, C., Hill, M., Woodbury, E., et Phillips, S. (2008). Canadian best practice recommendations for stroke care (updated 2008). *CMAJ : Canadian Medical Association Journal*, 179(12 Suppl), S1–S25. <https://doi.org/10.1503/cmaj.081148.R2>
- McCabe, J., Monkiewicz, M., Holcomb, J., Pundik, S., et Daly, J. J. (2015). Comparison of Robotics, Functional Electrical Stimulation, and Motor Learning Methods for Treatment of Persistent Upper Extremity Dysfunction After Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(6), 981–990.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.022>
- Miller, W. R. (2013). *Motivational interviewing: Helping people change* (3rd ed..). Guilford Press.
- Nichols-Larsen, D. S., Clark, P. C., Zeringue, A., Greenspan, A., et Blanton, S. (2005). Factors Influencing Stroke Survivors' Quality of Life During Subacute Recovery. *Stroke*, 36(7), 1480–1484. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000170706.13595.4f>
- Page, S. J., Hade, E., et Persch, A. (2015). Psychometrics of the wrist stability and hand mobility subscales of the Fugl-Meyer Assessment in moderately impaired stroke. *Physical Therapy*, 95(1), 103–108. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130235>
- Pang, M. Y., Harris, J. E., et Eng, J. J. (2006). A community-based upper-extremity group exercise program improves motor function and performance of functional activities in chronic

- stroke: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.08.113>
- Parry, R. (1996). Chedoke-McMaster stroke assessment—Development, validation and administration manual. *Physiother*, 82(3), 211. [https://doi.org/10.1016/s0031-9406\(05\)66939-8](https://doi.org/10.1016/s0031-9406(05)66939-8)
- Singer, B., et Garcia-Vega, J. (2017). The fugl-meyer upper extremity scale. *Journal of Physiotherapy*, 63(1), 53. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2016.08.010>
- Subramanian, S., Lourenco, C., Chilingaryan, G., Sveistrup, H., et Levin, M. (2013). Arm motor recovery using a virtual reality intervention in chronic stroke: Randomized control trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(1), 13–23. <https://doi.org/10.1177/1545968312449695>
- Sweet, S. N., Rocchi, M., Arbour-Nicitopoulos, K., Kairy, D., et Fillion, B. (2017). A Telerehabilitation Approach to Enhance Quality of Life Through Exercise Among Adults With Paraplegia: Study Protocol. *JMIR Research Protocols*, 6(10), e202. <https://doi.org/10.2196/resprot.8047>
- Thabane, L., Ma, J., Chu, R., Cheng, J., Ismaila, A., Rios, L. P., Robson, R., Thabane, M., Giangregorio, L., et Goldsmith, C. H. (2010). A tutorial on pilot studies: The what, why and how. *BMC Medical Research Methodology*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2288-10-1>
- Uswatte, G., Taub, E., Morris, D., Light, K., et Thompson, P. A. (2006). The Motor Activity Log-28. *Neurology*, 67(7), 1189. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000238164.90657.c2>
- van der Lee, J. H., Beckerman, H., Knol, D. L., Vet, H. C. W. de, et Bouter, L. M. (2004). Clinimetric properties of the motor activity log for the assessment of arm use in hemiparetic patients. *Stroke*, 35(6), 1410–1414. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000126900.24964.7e>
- Vansteenkiste, M., Niemiec, C. P., et Soenens, B. (2010). The development of the five mini-theories of self-determination theory: An historical overview, emerging trends, and future directions. In *The Decade Ahead: Theoretical Perspectives on Motivation and Achievement: Vol. 16 Part A* (pp. 105–165). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1108/S0749-7423\(2010\)000016A007](https://doi.org/10.1108/S0749-7423(2010)000016A007)

- Ward, N. S., Brander, F., et Kelly, K. (2019). Intensive upper limb neurorehabilitation in chronic stroke: Outcomes from the Queen Square programme. *Journal of Neurology, Neurosurgery et Psychiatry*, *90*(5), 498–506. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2018-319954>
- Weiss, P. L., Keshner, E. A., et Levin, M. F. (2014). *Virtual reality for physical and motor rehabilitation*. Springer.
- Whitehead, A. L., Sully, B. G. O., et Campbell, M. J. (2014). Pilot and feasibility studies: Is there a difference from each other and from a randomised controlled trial? *Contemporary Clinical Trials*, *38*(1), 130–133. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2014.04.001>
- Williams, M. D., Rana, N. P., et Dwivedi, Y. K. (2015). The unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): A literature review. *Journal of Enterprise Information Management*, *28*(3), 443–488. <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2014-0088>



## **5.2. Modifications apportées au protocole**

Des modifications ont été apportées au protocole de recherche initial, pour deux raisons principales. Premièrement, la modification a été réalisée à titre d'adaptation face aux défis rencontrés durant la pandémie COVID-19. Deuxièmement, la modification a été jugée pertinente pour la suite des premières étapes du projet. Les modifications ont été particulièrement réalisées au niveau des méthodes de recrutement des participants, la durée des interventions délivrées durant l'essai clinique randomisé (GRASP ou VirTele) et les méthodes d'administration des évaluations. Ces modifications ont été approuvées par le comité d'éthique de la recherche et un certificat de renouvellement a été octroyé pour poursuivre les études (Annexe 5).

### **5.2.1. Recrutement des participants**

Le recrutement pour l'essai clinique randomisé a débuté progressivement, en juin 2019, et a été subitement interrompu en mars 2020, période durant laquelle toute activité de recherche a été suspendue au Canada (la pandémie COVID-19). Ainsi, la taille d'échantillon initiale suggérée lors du protocole, soit 52 participants ayant eu un AVC, n'a pas pu être atteinte. Étant donnée la progression rapide des technologies en réalité virtuelle et le nombre croissant d'études publiées dans ce domaine, les résultats des participants recrutés avant la suspension des activités de recherche ont pu être analysés et présentés. L'Article n°3 (évaluation des premiers participants de l'essai clinique randomisé) et l'Article n°4 (étude de cas multiples) décrivent ces résultats avec l'accent mis sur la faisabilité et les indications d'efficacité de l'intervention VirTele.

### **5.2.2. Durée d'interventions dans le cadre de l'essai clinique randomisé**

Au début de la pandémie trois participants avaient déjà débuté les traitements respectifs soient l'intervention VirTele ou le programme GRASP. Étant donné qu'il était impossible de récupérer le matériel pour le groupe expérimental et que les activités de recherche ont été suspendues, il a été jugé adéquat de prolonger la période d'intervention pour ces trois participants. La durée de l'intervention a été prolongée d'un mois supplémentaire (durée d'intervention de 3 mois), leur

offrant l'opportunité de poursuivre la réadaptation de leur membre supérieur atteint, à domicile, durant la période de confinement.

### **5.2.3. Mesures des résultats**

Au niveau des mesures, l'échelle standardisée du *Motor Activity Log* la version de 28 items, suggérée dans le protocole, a été remplacée par la version originale incluant 30 items, soit 2 items supplémentaires. Le *Motor Activity Log -30* est un questionnaire autoadministré, qui évalue la fréquence et la qualité d'utilisation du membre supérieur atteint dans les activités de la vie quotidienne (McDermott, 2019). Le nombre d'activités évaluées varie selon la version du *Motor Activity Log* choisie, soient le *Motor Activity Log 28* évalue le membre supérieur dans 28 activités et le *Motor Activity log -30* évalue 30 activités. Le *Motor Activity Log -30* inclut 2 activités supplémentaires comparé au *Motor Activity Log -28* soient « Écrire sur du papier » et « appliquer du maquillage, de la lotion ou de la crème à raser sur le visage ». Il a été jugé pertinent de les évaluer, car ces activités impliquent plus la main. Ainsi le *Motor Activity Log -30* a été choisie comme échelle de mesure dans l'Article n°2 et Article n°3.

Pareillement, le *Treatment Self Regulation questionnaire* version à 13 items, a été remplacé par la version à 15 items (soit 2 items supplémentaires) (Levesque et al., 2007). Le *Treatment Self Regulation questionnaire* est un questionnaire autoadministré qui évalue les régulations motivationnelles, en cohérence avec la théorie de l'autodétermination (introduite au Chapitre 3. Assise théorique), soient la régulation extrinsèque, intrinsèque et motivation autonome (Levesque et al., 2007). Les 2 items supplémentaires du *Treatment Self Regulation questionnaire -15* évaluent l'amotivation, composante importante qui permet de capturer le niveau de motivation et mieux comprendre le processus régulateur du comportement ciblé. D'où l'intérêt d'utiliser cette version du questionnaire pour les études présentées dans les articles (Article n°2 et Article n°3).

Enfin, les mesures ont été administrées à distance, pour le participant de l'étude de cas unique, et pour l'évaluation des trois participants de l'essai clinique randomisé. L'évaluation à distance a été accomplie en utilisant le système de vidéoconférence Reacts pour les participants recevant

VirTele ou le système disponible à domicile (téléphone, système de vidéo conférence accessible), chez les participants du groupe contrôle.





## **5.3. Éléments méthodologiques supplémentaires**

### **5.3.1. Plan d'études doctorales**

Ce projet d'études au doctorat a commencé au trimestre de l'automne 2016. Tout d'abord, le protocole de recherche d'une étude mixte a été publié (Article n°1), visant l'évaluation de la faisabilité et l'efficacité préliminaire de la téléadaptation combinée aux jeux vidéo (VirTele) pour la réadaptation du membre supérieur atteint à la suite d'un AVC. Par la suite, une étude de cas unique a été lancée dans le but de développer le protocole d'entraînement par jeux vidéo, tester la technologie VirTele. En plus de collecter des données préliminaires de faisabilité et d'efficacité, et d'explorer les déterminants de l'utilisation de la technologie, en collaboration avec un citoyen partenaire atteint d'AVC (Article n°2). La collecte de données préliminaires, dans le cadre de cette étude, ainsi que l'expérience acquise, a permis de raffiner le protocole de recherche et d'améliorer les techniques et méthodologies utilisées pour la suite des études. Ensuite, un essai clinique randomisé a débuté, visant à évaluer la faisabilité de l'intervention VirTele et son impact sur la fonction motrice du membre supérieur, les qualité et quantité d'utilisation du membre supérieur dans les activités quotidiennes, la motivation et la qualité des survivants d'AVC, comparé au traitement conventionnel (Article n°3). Pour répondre aux objectifs de la thèse, une composante qualitative a été intégrée à l'essai clinique randomisé, permettant une description détaillée de l'expérience d'utilisation de la technologie VirTele. En effet, une étude de cas multiples (Article n°4) a été réalisée auprès des cliniciens et participants du groupe expérimental de l'essai clinique randomisé (recevant la technologie VirTele). Cette étude avait pour but d'explorer les facteurs qui influencent l'utilisation de la technologie VirTele ainsi que les leçons apprises et les recommandations de son utilisation, par les cliniciens. Ces leçons peuvent orienter son implantation dans la pratique courante et informer de futures études déployant une intervention semblable. Un sommaire de l'ensemble des articles scientifiques produits dans le cadre de ce projet de thèse est illustré dans la Figure 6, afin de permettre une compréhension commune du déroulement du plan d'études.

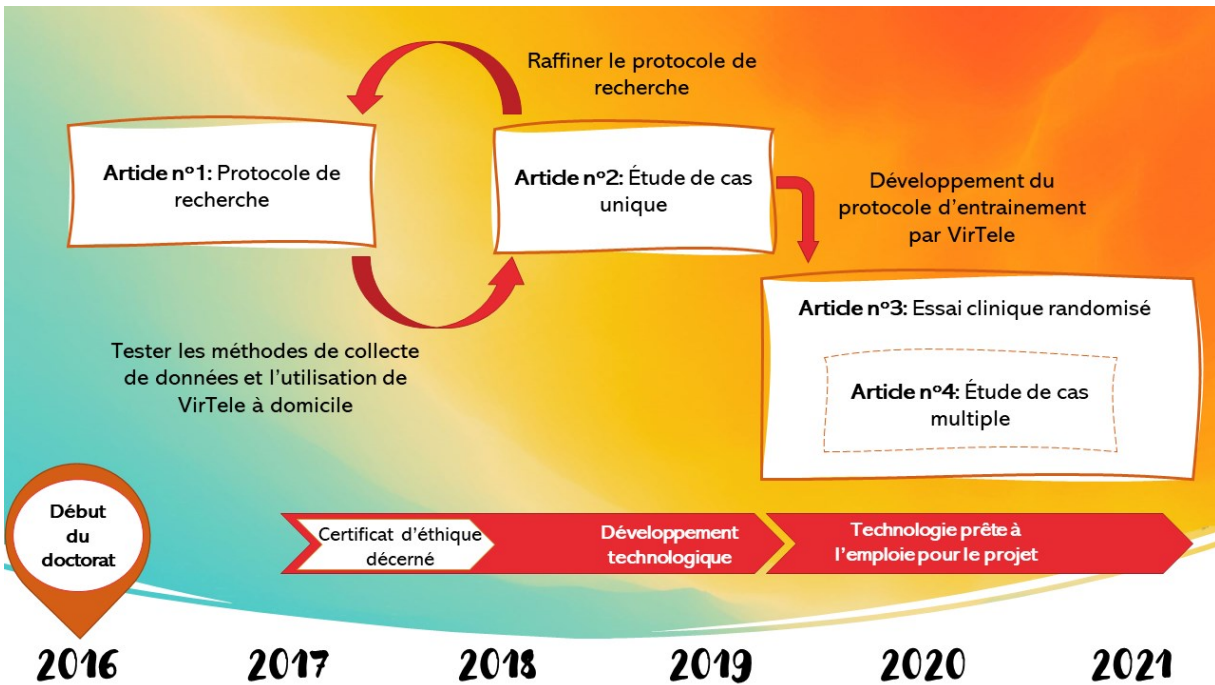


Figure 6. – Sommaire des articles scientifiques et chronologie du plan d'études.

### 5.3.2. Assise philosophique

En accord avec les objectifs de cette thèse, les études ont été réalisées sous l'influence du paradigme pragmatique. Ce paradigme aspire des solutions pratiques au problème rencontré dans la réalité des participants à l'étude, afin d'améliorer leur expérience (Guba et Lincoln, 1994; Poucher et al., 2020). Le paradigme pragmatique est fondé sur l'ontologie (nature de la réalité du chercheur) relativiste qui présente la réalité comme un concept incertain relatif à la situation actuelle, dans laquelle le chercheur et les participants à l'étude co-crésent la réalité (Guba et Lincoln, 1994; Poucher et al., 2020). En outre, ce paradigme assume une position épistémologique (nature des connaissances produites) ni objective ni subjective, où les connaissances considérées sont celles qui impliquent des résultats ou conséquences pratiques (Guba et Lincoln, 1994; Poucher et al., 2020).

Le paradigme pragmatique préconise les études mixtes, car elles s'intéressent aux éléments méthodologiques qui se situent entre les méthodes qualitatives et quantitatives, l'analyse inductive et déductive et les paradigmes postpositivistes et constructivistes (Ridde et Haddad, 2013). Dans la démarche pragmatique, ce sont les questions de recherche qui définissent le choix

des méthodes et non l'inverse (Ridde et Haddad, 2013). Plus encore, cette approche tient compte des deux approches qualitatives et quantitatives et implique un processus de recherche itérative dans lequel les décisions initiales influencent le choix des étapes suivantes (Ridde et Haddad, 2013). Par conséquent, il est tout à fait possible de changer les méthodes de recherche, en fonction de la progression du projet de recherche et selon les conditions contextuelles ou les besoins des intervenants (Ridde et Haddad, 2013), d'où les modifications apportées au protocole initial. D'autant plus, cette démarche exige une flexibilité dans les budgets permettant l'adaptation du processus de recherche aux besoins des intervenants. De même, une ouverture d'esprit de la part des chercheurs s'avère importante pour s'accommoder aux changements, pouvant impliquer l'utilisation de nouvelles méthodes de collecte des données, ou l'émergence de nouvelles questions de recherche.

Par ailleurs, les essais cliniques inspirés de la démarche pragmatique sont orientés par l'étude de l'intervention dans la pratique courante et son fonctionnement dans le contexte de son implantation (Eschwège et Bouvenot, 1994). L'intervention n'est pas une fin en soi, mais un moyen pour améliorer la qualité des services proposés à la clientèle ciblée (Eschwège et Bouvenot, 1994). En effet, le but de la démarche pragmatique est d'orienter les intervenants pour prendre des décisions thérapeutiques et de fournir des recommandations sur l'utilisation de la nouvelle intervention en pratique courante (Eschwège et Bouvenot, 1994).

### **5.3.3. Approche motivationnelle**

Étant donné la nature chronique de l'AVC, l'entretien motivationnel a été incorporé à VirTele afin de promouvoir le changement de comportement du participant par rapport à l'utilisation de son membre supérieur atteint au cours des jeux vidéo et dans les activités de la vie quotidienne. L'auteure principale de cette thèse a suivi une formation de 12 heures en entretien motivationnel, donnée par Docteur Jean-Marc Assaad, psychologue et directeur des services de prévention et de formation chez PsyMontréal (<https://psymontreal.com/>). Cette démarche a été entreprise dans l'optique d'informer l'intervention VirTele, incluant le choix de stratégies motivationnelles et techniques de changements de comportements à inclure au cours de l'intervention. Les

cliniciens de l'étude ont aussi reçu cette même formation avant même l'introduction au projet d'étude.

Par ailleurs, un plan de discussion pour le clinicien a été développé (Annexe 6 ), pour favoriser l'application de l'entretien motivationnel lors des séances de vidéoconférences. Ce plan tient compte des différents scénarios possibles de l'état motivationnel du participant (non motivé et refuse tout changement versus motivé et prêt à changer son comportement). De même, il suggère plusieurs stratégies qui peuvent être utilisées, en fonction des situations et besoins exprimés. A titre d'exemple, la planification du changement auprès des participants motivés, l'exploration des avantages et des inconvénients de garder le statu quo ou de changer auprès des participants réticents. Toutefois, il est important de souligner que ce plan de discussion ne consiste pas en un guide ou manuel que le clinicien doit appliquer à la lettre. Il s'agit plutôt d'un outil d'accompagnement qui peut être utilisé, lors de l'entretien motivationnel, pour aider les cliniciens à mieux cerner les besoins des participants et choisir les stratégies motivationnelles et comportementales appropriées.

## 6. Résultats

Afin de répondre aux objectifs de ce projet d'étude, les résultats de la thèse s'articulent autour de trois articles scientifiques soient l'étude de cas unique, l'évaluation des premiers participants de l'essai clinique randomisé et l'étude de cas multiples, qui ont été élaborés séquentiellement, en fonction du développement technologique :

### Article n°2

Allegue, D. R., Kairy, D., Higgins, J., Archambault, P. S., Michaud, F., Miller, W. C., Sweet, S. N., & Tousignant, M. (2021). A Personalized Home-Based Rehabilitation Program Using Exergames Combined With a Telerehabilitation App in a Chronic Stroke Survivor: Mixed Methods Case Study. *JMIR Serious Games*, 9(3), e26153. <https://doi.org/10.2196/26153>

### Article n°3

Allegue, D. R., Higgins, J., Sweet, S. N., Archambault, P., Michaud, F., Miller, W., Tousignant, M., et Kairy, D. (2022). Rehabilitation of Upper Extremity by Telerehabilitation Combined With Exergames in Survivors of Chronic Stroke: Preliminary Findings From a Feasibility Clinical Trial. *JMIR Rehabil Assist Technol*, 9(2), e33745. <https://rehab.jmir.org/2022/2/e33745>

### Article n°4

Allegue, D. R., Sweet, S. N., Higgins, J., Archambault, P., Michaud, F., Miller, W., Tousignant, M., et Kairy, D. (2022). Lessons Learned From Clinicians and Stroke Survivors About Using Telerehabilitation Combined With Exergames: Multiple Case Study. *JMIR Rehabil Assist Technol*. [doi: 10.2196/31305](https://doi.org/10.2196/31305). [Epub ahead of print]

- Article publié en *preprint* le 10 juillet 2021 et accepté pour publication le 14 juillet 2022 (la version intégrée à cette thèse a été révisée suite aux commentaires des réviseurs)

## 6.1. Article n°2. A Personalized Home-Based Rehabilitation Program Using Exergames Combined With a Telerehabilitation App in a Chronic Stroke Survivor: Mixed Methods Case Study

Dorra Rakia Allegue <sup>1,2,3</sup>, Dahlia Kairy <sup>1,2</sup>, Johanne Higgins <sup>1,2</sup>, Philippe Archambault <sup>2,4</sup>, Francois Michaud <sup>5</sup>, William Miller <sup>6</sup>, Shane Norman Sweet <sup>2,7</sup>, Michel Tousignant <sup>8,9</sup>

<sup>1</sup> School of Rehabilitation, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>2</sup> The Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal, Institut universitaire sur la réadaptation en déficience physique de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> Mission Universitaire de Tunisie, Montreal, QC, Canada

<sup>4</sup> School of Physical and Occupational Therapy, McGill University, Montreal, QC, Canada

<sup>5</sup> Department of Electrical Engineering and Computer Engineering, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada

<sup>6</sup> Department of Occupational Science et Occupational Therapy, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

<sup>7</sup> Department of Kinesiology and Physical Education, McGill University, Montreal, QC, Canada

<sup>8</sup> Faculty of Medicine and Health Sciences, School of Rehabilitation, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada

<sup>9</sup> Center of research on Aging, Sherbrooke, QC, Canada

- Article publié dans la revue « *Journal of Medical Internet Research-JMIR Serious games* », le 31 aout 2021.

En tant qu'auteure principale, j'ai contribué à l'élaboration du protocole expérimental, la collecte et l'analyse des données. J'ai également rédigé le manuscrit sous la supervision de mes directrices de recherche Prof. Kairy et Prof. Higgins. Après soumission, j'ai répondu aux commentaires des réviseurs et apporté les modifications suggérées par l'éditeur de la revue scientifique. Tous les coauteurs ont suggéré des réflexions importantes lors de la révision de la version initiale et finale du manuscrit. Par ailleurs, cette étude a été présentée par l'auteure principale (DRA) dans deux congrès internationaux, deux congrès locaux et trois colloques, tel que rapporté dans l'Annexe 2.

### **6.1.1. Avant-propos**

Lorsque les jeux vidéo sont utilisés au domicile du participant, pour des fins de réadaptation, peu d'études suggèrent un suivi par un clinicien. D'autant plus, quand un suivi est proposé, il se fait la plupart du temps par téléphone. Même si certains systèmes de jeux intègrent des algorithmes automatisés permettant de détecter un certain pourcentage de compensation ou mouvements incorrectes, l'utilisateur peut tout de même réussir à échapper à l'inspection du système et jouer tout en adoptant des compensations. L'utilisation incorrecte des jeux vidéo peut limiter la capacité de récupération, chez l'utilisateur, malgré le potentiel de l'environnement virtuel à optimiser les conditions d'entraînement. Cependant, l'utilisation d'un système de vidéoconférence pourrait permettre d'avoir un suivi qui assure une utilisation optimale de la technologie (niveau de difficulté adapté aux besoins de l'utilisateur, positionnement correcte devant la Kinect, exécution correcte des exercices) tout le long de l'entraînement. Il est donc intéressant d'explorer la faisabilité de combiner la télé-réadaptation par vidéoconférence aux jeux vidéo (VirTele), pour la réadaptation du membre supérieur atteint à domicile, d'explorer l'efficacité préliminaire de l'utilisation de la technologie sur la récupération du membre supérieur ainsi que les facteurs qui facilitent ou limitent l'utilisation de VirTele. Étant donné que la télé-réadaptation facilite l'interaction entre le clinicien et l'utilisateur et la prise de décision partagée par rapport au programme d'exercices par jeux, il est tout aussi intéressant de déceler son impact sur l'autonomisation du survivant d'AVC.

L'Article n°2 a pour objectifs spécifiques :

- 1)** Déterminer la faisabilité d'utilisation de VirTele pour la rééducation du membre supérieur à distance auprès d'un survivant d'AVC, en phase chronique
- 2)** Explorer l'efficacité préliminaire de VirTele sur la fonction motrice du membre supérieur atteint, sur la quantité et la qualité d'utilisation du membre supérieur atteint et l'impact sur la qualité de vie et la motivation



**3)** Explorer les déterminants de l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele et les indicateurs d'autonomisation

### **6.1.2. Abstract**

*Background:* In Canada, only 11% of stroke survivors have access to outpatient and community-based rehabilitation after discharge from inpatient rehabilitation. Hence, innovative community-based strategies are needed to provide adequate postrehabilitation services. The VirTele program, which combines virtual reality exergames and a telerehabilitation app, was developed to provide stroke survivors with residual upper extremity deficits, the opportunity to participate in a personalized home rehabilitation program.

*Objective:* This study aims to determine the feasibility of VirTele for remote upper extremity rehabilitation in a chronic stroke survivor; explore the preliminary efficacy of VirTele on upper extremity motor function, the amount and quality of upper extremity use, and impact on quality of life and motivation; and explore the determinants of behavioral intention and use behavior of VirTele along with indicators of empowerment.

*Methods:* A 63-year-old male stroke survivor (3 years) with moderate upper extremity impairment participated in a 2-month VirTele intervention. He was instructed to use exergames (5 games for upper extremity) for 30 minutes, 5 times per week, and conduct videoconference sessions with a clinician at least once per week. Motivational interviewing was incorporated into VirTele to empower the participant to continue exercising and use his upper extremities in everyday activities. Upper extremity motor function (Fugl-Meyer Assessment–upper extremity), amount and quality of upper extremity use (Motor Activity Log-30), and impact on quality of life (Stroke Impact Scale-16) and motivation (Treatment Self-Regulation Questionnaire-15) were measured before (T1), after (T2) VirTele intervention, and during a 1- (T3) and 2-month (T4) follow-up period. Qualitative data were collected through logs and semistructured interviews. Feasibility data (eg, number and duration of videoconference sessions and adherence) were documented at the end of each week.

*Results:* The participant completed 48 exergame sessions (33 hours) and 8 videoconference sessions. Results suggest that the VirTele intervention and the study protocol could be feasible for stroke survivors. The participant exhibited clinically meaningful improvements at T2 on the Fugl-Meyer and Stroke Impact Scale-16 and maintained these gains at T3 and T4. During the

follow-up periods, the amount and quality of upper extremity use showed meaningful changes, suggesting more involvement of the affected upper extremity in daily activities. The participant demonstrated a high level of autonomous motivation, which may explain his adherence. Performance, effort, and social influence have meaningful weights in the behavioral intention of using VirTele. However, the lack of control of technical and organizational infrastructures may influence the long-term use of technology. At the end of the intervention, the participant demonstrated considerable empowerment at both the behavioral and capacity levels.

*Conclusions:* VirTele was shown to be feasible for use in chronic stroke survivors for remote upper extremity rehabilitation. Meaningful determinants of behavioral intention and use behavior of VirTele were identified, and preliminary efficacy results are promising.

*International Registered Report Identifier (IRRID):* DERR1-10.2196/14629

**(JMIR Serious Games 2021;9(3):e26153)** doi: [10.2196/26153](https://doi.org/10.2196/26153)

**Keywords:** stroke; rehabilitation; virtual reality; video games; telerehabilitation; upper extremity; motivation

### **6.1.3. Introduction**

#### 6.1.3.1. Background

Stroke can cause chronic sequelae in the hemiparetic upper extremity, requiring long-term rehabilitation care (Agence de la santé publique du Canada, 2009). In Canada, only 11% of stroke survivors have access to outpatient and community-based rehabilitation after discharge from inpatient rehabilitation (Fondation des maladies du cœur et de l'AVC, 2014). Stroke rehabilitation can help minimize impairments and promote independence during both the acute and chronic phases of stroke (Duncan et al., 1992; Hebert et al., 2016). Hence, innovative community-based strategies are needed to provide adequate postrehabilitation services to stroke survivors in the community when these resources are not available. Consequently, virtual reality (VR) exergames are a promising alternative to traditional rehabilitation services, allowing continuous access to challenging exercises (Weiss et al., 2014). When combined with a telerehabilitation app (Caughlin

et al., 2020), a follow-up with a clinician may be provided to adjust the difficulty level of the exergames and choice of exercises, according to the stroke survivor's abilities and goals. The VirTele program—a program that combines VR exergames and a telerehabilitation app—was developed to provide stroke survivors with residual upper extremity deficits the opportunity to participate in a personalized rehabilitation program.

Motor and functional gains can be achieved during the chronic phase of stroke. However, it remains difficult to maintain these gains throughout time as they are essentially dependent on adherence to exercise guidelines and the availability of community-based resources, such as access to rehabilitation services, programs, and clinicians with stroke recovery expertise (Hebert et al., 2016). Therefore, rehabilitation programs developed for chronic stroke survivors should include strategies to encourage and motivate the use of the affected upper extremity through self-directed exercises and everyday activities (Hebert et al., 2016; Weiss et al., 2014). Behavior change techniques (BCTs) were therefore incorporated into the VirTele program to empower users to continue exercising and using their upper extremities in everyday activities (eg, brushing their hair, getting dressed, and eating) (Michie et al., 2013). Furthermore, there is increasing evidence that having a strong theoretical basis and using BCTs improves the efficacy of programs aimed at changing behaviors (Conner et Norman, 2017; Michie et al., 2011, 2013).

In light of current knowledge, the self-determination theory (Deci et Ryan, 2017) was used to guide the clinician-stroke survivor interaction during videoconference sessions in the VirTele program. This theory stipulates that people tend to change their behavior when three of their needs are respected, including autonomy (the ability to organize their behavior according to their own aspirations and values), connectivity (the sense of belonging and the desire to be supported), and competencies (belief in their skills and abilities) (Deci et Ryan, 2017). Thus, the clinician was trained to consider these three psychological needs when interacting with a stroke survivor. In addition, BCTs (eg, 1.1. Goal setting, 1.4. Action planning, and 1.5. Review behavior goals) (Michie et al., 2013) and motivational techniques (open-ended questions, affirmation, reflective listening, and summary statements) (Hardcastle et al., 2016) may be used to enhance stroke survivors' motivation and adherence to VirTele exercises (Carraro et Gaudreau, 2013; Michie et al., 2009).

As we intend to implement the VirTele program in stroke survivors' communities, factors that could influence behavioral intention and use behavior regarding the intervention must be explored. This study was conducted in the context of a larger study before starting a randomized clinical trial to inform the development of evaluation and intervention protocols (Allegue et al., 2020). The clinical trial was registered at ClinicalTrials.gov (NCT03759106).

#### 6.1.3.2. Objectives

The objectives of this study are (1) to determine the feasibility of using a telerehabilitation app combined with an exergame for a remote upper extremity rehabilitation program in a chronic stroke survivor; (2) explore the preliminary efficacy of VirTele on upper extremity motor function, the amount and quality of upper extremity use, and impact on quality of life and motivation; and (3) explore the determinants of behavioral intention and use behavior of VirTele along with indicators of empowerment.

### 6.1.4. Methods

#### 6.1.4.1. Overview

A case study using a mixed methods design was conducted before the start of a randomized clinical trial. A quantitative approach was used to collect feasibility and preliminary efficacy data before and after the VirTele intervention and during a 1- and 2-month follow-up period. A qualitative approach was used to explore the factors that influenced the use of the technology and its impact on the participants' empowerment. This study was approved by the research ethics boards of the Center for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal (June 28, 2018).

#### 6.1.4.2. Participant

A 63-year-old male stroke survivor (3 years) from the United States participated in this study. His upper extremity score on the Chedoke McMaster Stroke Assessment Scale indicated moderate impairment (arm stage 6). The participant was no longer receiving rehabilitation services and had an active lifestyle (swimming, walking, and fitness training). He was very comfortable with

computers as he had a professional information technology background and used a computer one or more times a week.

After reading about our registered protocol at ClinicalTrials.gov, he approached our research team via email. At that time, the development and testing phases of the rehabilitation program and technology with VirTele were still ongoing. The participant was enthusiastic about playing an expert role in the study and testing the VirTele remote rehabilitation program in a setting similar to that of the proposed research study. He was eager to help identify the best way to combine telerehabilitation and videogames for home use to optimize upper extremity functional and motor recovery following a stroke. In doing so, he would assist in developing a final VirTele rehabilitation training that could be used as an intervention model for our future randomized clinical trial. Given the remote nature of the VirTele program, we were able to conduct the study with the participant remotely. The participant agreed to contribute to preliminary data collection and will not be included in future clinical trials. He provided informed consent before starting the case study, as per the Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal's institutional ethics review board.

#### 6.1.4.3. VirTele Intervention Protocol

##### *6.1.4.3.1. Overview*

The participant was invited to complete a home-based, 2-month rehabilitation training program using a telerehabilitation app combined with a nonimmersive VR exergame. The equipment necessary to operate the technology properly included internet access, a computer (desktop or laptop), a video camera, and a Kinect camera. The participant already owned all the equipment except for the Kinect camera, which was sent to him. Before starting the intervention, the participant was trained on using the telerehabilitation app Reacts (Innovative Imaging Technologies and Reacts (<https://reacts.com/>)) and the VR exergame Jintronix (Jintronix Inc) (<http://www.jintronix.com/>), two systems previously used by the research team.

The program included 30-minute exergame sessions 5 times per week for 2 months (approximately 20 hours) and 1-hour videoconference sessions with a clinician one to three times

per week for 2 months. However, it was up to the clinician to determine the frequency of follow-up. The clinician based that decision on the stroke survivor's behavior (adherence to the exergames and use of the affected arm in daily life activities) and needs (support for exergames use and discomfort). This approach intends to maintain the participant's motivation, ensure that the exergames are adequately tailored, monitor functional use of the upper extremity, and develop strategies to increase the participant's autonomy in an effort to maintain the participant's activity level after the study ended. The clinician (DRA; physiotherapist) is part of the research team and has 4 years of experience working with a stroke population in research settings.

#### 6.1.4.3.2. Exergame Sessions

We used the Jintronix-VR exergame (Jintronix Inc), which included 5 types of upper extremity games at the time (*Space Race*, *Fish Frenzy*, *Pop Clap*, *Catch and Carry an apple*, and *Kitchen clean up*) (<http://www.jintronix.com/>). The practice involved reaching virtual target objects and moving them following a specific trajectory preselected by the clinician based on the participant's level of impairment. For example, with the *Fish Frenzy* task, the participant must successfully move a fish along a designated path by controlling the position of the affected hand; in the *Kitchen clean up* task, the participant must pick up various pieces of cutlery and dishes and put them away in the appropriate drawer or shelf. Although performing the virtual tasks, the participant can see his own virtual hand displayed on the screen in games such as *Pop Clap*, *Catch and Carry an apple*, and *Kitchen clean up*. In other games (*Space Race* and *Fish Frenzy*), the hand is replaced by a virtual object (fish or spaceship). The exergame platform also provides visual feedback on the game score, the remaining time to succeed in the task and the warning signal for each unsuccessful attempt, as well as auditory feedback reflecting successful or unsuccessful outcomes of the accomplished movement. The exergame sessions follow a structured training protocol with tasks of increasing difficulty using various parameters, such as the number of rounds, repetitions, time, speed, precision, and shape of objects, adjusted weekly by the clinician during videoconference meetings. Overall, the exergames were chosen based on the participant's preferences and progress.

### 6.1.4.3.3. Gameplay Overview

The game starts on a menu screen in which a predetermined program training session can be launched. After clicking start, the Kinect camera starts calibrating the initial stroke survivor's position, capturing the user skeleton with markerless motion sensors (Microsoft, n.d.). An example of the gameplay overview of the Fish Frenzy task is shown in Figure 7. Screenshots of the gameplay of the other games are provided in Annexe 7.

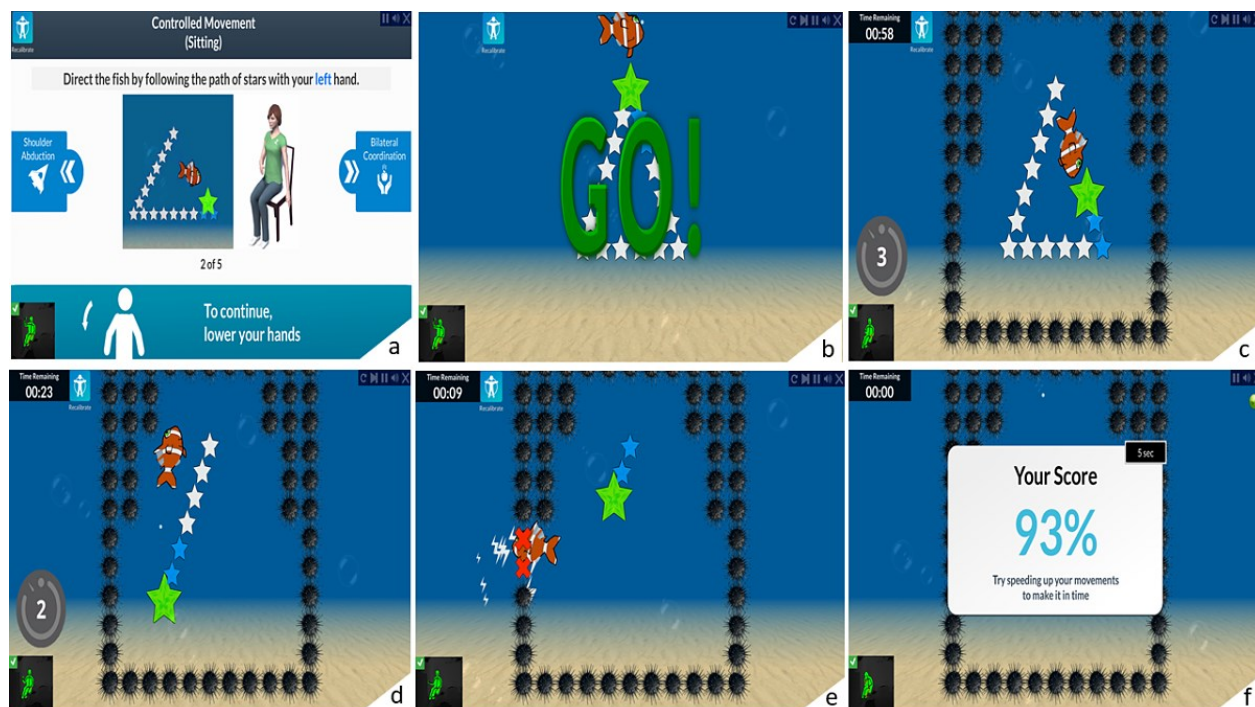


Figure 7. – All phases of the Fish Frenzy task are depicted from (a) to (f) (Article n°2).

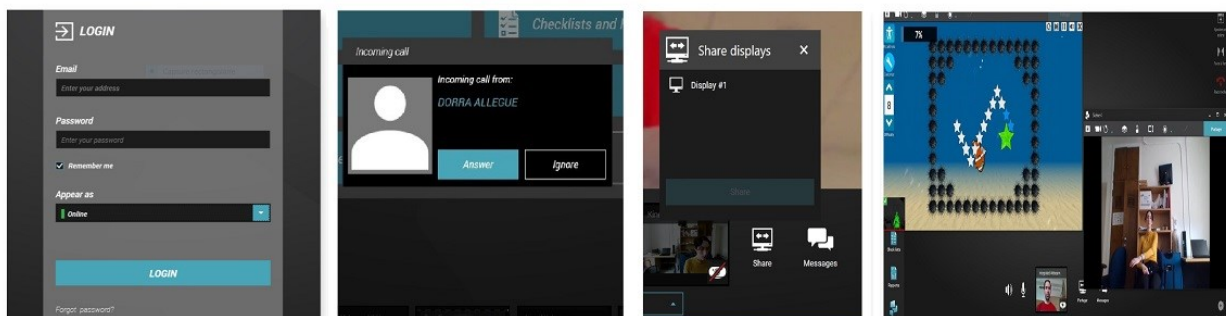
At the start of the game session, an example of the gameplay with a human model is shown on the screen. At the GO signal, the stroke survivor starts moving the fish to follow a path or catch the stars. The stroke survivor must complete the journey as fast as he can and repeat the same journey as often as possible for a predetermined period, as assigned by the clinician. The stroke survivor has to control his upper extremity when moving the fish to avoid touching the black objects surrounding the stars, which results in a loss of points. When finished, the final score is shown.



#### 6.1.4.3.4. Telerehabilitation

For the telerehabilitation app, we used Reacts (Innovative Imaging Technologies Inc and Reacts), which allows videoconferencing and secure sharing of participants' health information (<https://reacts.com/>). The telerehabilitation app was used for remote supervision, monitoring, and rehabilitation purposes. An algorithm design was used to run the telerehabilitation app and exergame simultaneously, allowing the clinician to see the participant performing the exercises and view the game screen simultaneously, making the VirTele program unique. The videoconference session allows the clinician to provide the participant important instructions and advice during the games, for example, to correct their posture or their upper extremity position, and observe the quality of the participant's upper extremity movements. In studies using VR systems for home-based rehabilitation (Adie et al., 2017; Cikajlo et al., 2012; Gauthier et al., 2017; Linder et al., 2015; Mouawad et al., 2011; Piron et al., 2002; Standen et al., 2017), supervision is not always provided (Mouawad et al., 2011; Standen et al., 2017), and when it is offered, it is delivered by telephone (Adie et al., 2017; Gauthier et al., 2017; Linder et al., 2015) and rarely synchronized with the time when the participant is performing the games (Cikajlo et al., 2012; Piron et al., 2002). All phases of running the exergames and the videoconference system are shown in Figure 8.

Figure 8. – All phases of running the exergames and the videoconference system simultaneously are depicted from left to right (Article n °2).



After entering their email and password into Reacts, the stroke survivor waits for the clinician's call and then clicks on the answer button to start the videoconference session. Once the videoconference begins, they must click on the share button. After launching screen sharing, the

stroke survivors may start playing the games. In this phase, the clinician can see the gameplay overview and the stroke survivor.

#### *6.1.4.3.5. Motivational Interviewing*

Motor and functional gains can be achieved during the chronic stroke phase; however, for long-term maintenance, rehabilitation programs should include strategies to encourage and motivate the use of the affected upper extremities through self-directed exercises and everyday activities (Hebert et al., 2016; Weiss et al., 2014). Therefore, motivational interviewing based on BCTs was incorporated into the videoconference sessions to ensure that shared decision-making and empowerment were consistently integrated into the VirTele intervention. The BCTs included were as follows: 1.1. Goal setting, 1.4. Action planning, 1.5. Review behavior goals, 4.1. Instruction on how to perform the behavior, 8.1. Behavioral practice, 6.1. Demonstration of the behavior, 2.2. Feedback on behavior, 2.7. Feedback on outcomes of behavior, 1.6. Discrepancy between current behavior and goal, 1.2. Problem solving, 2.3. Self-monitoring of behavior, 9.2. Pros and cons, 5.1. Information about health consequences, and 15.1 Verbal persuasion about capability (Michie et al., 2013). Motivational interviewing techniques included open-ended questions, affirmation, reflective listening, and summary statements (Hardcastle et al., 2016).

In addition to exergames, the program included supplementary daily activities to meet participants' individual goals, such as hand dexterity (eg, grasping, holding, and pinching) using the resources available within the participant's home.

Thus, many tools available through the telerehabilitation app (document sharing) and the exergame (computerized participant logs such as active time, compensation, and scores during each game) were used by the clinician for encouragement, goal setting, tracking of upper extremity use in daily activities, monitoring of exergame adherence (duration, intensity, and type), and tailoring the exergames to the participant's abilities.

In accordance with the self-determination theory (Deci et Ryan, 2017), the clinician was trained to consider the three psychological needs when interacting with the stroke survivor by including

him in every step of the decision-making process related to the treatment plan, respecting his autonomy, and valuing his skills and ability to achieve his goals.

The clinician received training in motivational interviewing before starting the intervention and used standardized interview guidelines during each videoconference session. The motivational interview guidelines were standardized to facilitate their use in further research and better monitor the use of BCTs. In that sense, predefined questions were prepared and applied concerning the stroke survivor's three psychological needs (autonomy, competence, and connectivity). The choice of questions varied depending on the stroke survivor's behavior state (total adherence or nonadherence to VirTele). The questions were provided as examples, but the clinician was free to reformulate them. Further details can be found in Annexe 8.

#### 6.1.4.4. Data Collection

##### 6.1.4.4.1. *Functional Performance and Self-reported Data*

For this case study, progress was assessed remotely using the videoconference system Reacts (Innovative Imaging Technologies Inc and Reacts) at baseline, at the end of the 2-month intervention, and after a 1- and 2-month follow-up period. Performance-based measures included the Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity (FMA-UE) (Page et al., 2015; Singer et Garcia-Vega, 2017) motor function score, which captures synergy, coordination or speed, and the sensorimotor function of the upper extremity, wrist, and hand. The FMA-UE motor function score has been shown to be valid in a stroke population (De Weerd et Harrison, 1985) and reliable for remote evaluation (video observation of the scale administration by an evaluator) (Amano et al., 2018). Given the participant's distance, we tested the feasibility of administering the FMA-UE (motor function) remotely, without the presence of an evaluator on site with the participant. For that purpose, the score was adjusted to 60 as the reflex activity component was removed from the scale (which was retained in other studies, including on-site evaluations)(Amano et al., 2018; Sullivan et al., 2011).

Self-reported questionnaires included the Motor Activity Log (MAL)-30 (Lang et al., 2008; van der Lee et al., 2004), the Stroke Impact Scale (SIS)-16 (Chou et al., 2015; Fulk et al., 2010), and the

Treatment Self-Regulation Questionnaire (TSRQ)-15 (Levesque et al., 2007). The MAL is a self-reported measure that rates the quality (MAL–quality of use subscale) and frequency of use (MAL–amount of use subscale) of the affected upper extremity in 30 everyday functional tasks (Lang et al., 2008; van der Lee et al., 2004). The MAL includes several versions (MAL-14, MAL-26, MAL-28, and MAL-12), which vary according to the number of items, but the original version of the MAL-30 is the most encompassing in terms of tasks and best meets our study objectives (Strokeengine, 2019). The MAL-30 demonstrated high reliability and validity in a poststroke population (Silva et al., 2019). The impact on quality of life was determined using the SIS, a stroke-specific, self-reported health status measure consisting of 16 items. The SIS evaluates the impact of stroke on 3 dimensions: hand function, activities of daily living, and mobility (Chou et al., 2015; Fulk et al., 2010). The SIS-16 has been shown to have good reliability and validity (Edwards et O’Connell, 2003). Motivation was measured using the TSRQ, a 15-item questionnaire developed to measure treatment motivation, consistent with the self-determination theory (Deci et Ryan, 2017). The TSRQ captures different processes of motivation through 4 subscales: autonomous motivation, amotivation, external regulation, and introjected regulation. First, external regulation is the lowest level of the regulatory process that contributes to short-term changes (Deci et Ryan, 2000). During this process, the person behaves in such a way that they obtain a reward or avoid punishment; this choice is controlled by certain consequences and they do not act according to their own wishes (Deci et Ryan, 2000). Second, introjected regulation describes a controlled motivation regulated by internal pressures, where a person behaves to avoid feeling guilty or proud (Deci et Ryan, 2000). Ultimately, autonomous motivation corresponds to the state of internalization of extrinsic motivation, where the person is in full agreement with the new changes, and their self-regulated behavior becomes autonomous (Deci et Ryan, 2000). Finally, amotivation describes a lack of motivation to pursue these changes.

A previous version of the TSRQ, a 13-item questionnaire, did not include the amotivation subscale, which is an important aspect to capture in our study, thus explaining our choice of the 15-item version. The TSRQ-15 has been shown to be reliable and valid across health care contexts (Levesque et al., 2007), including rehabilitation (Chan et al., 2009).

The participant received the questionnaires through the telerehabilitation platform, which allows secure document sharing. Once the questionnaires were filled out, we met the participant via a videoconference to check his answers (to ensure that the questions were well understood) and ask for clarifications if necessary. This step was only taken in this case study, as we assessed the feasibility of the evaluation process, including remote questionnaire administration.

Sociodemographic variables were also collected at baseline: age, sex, civil status, years of education, primary occupation, date of stroke, time since stroke, side of stroke, and handedness. We also documented all physical and leisure activities (types and duration) accomplished before, during, and after the intervention.

#### 6.1.4.4.2. *Qualitative Data*

Qualitative data were collected throughout the study using different sources (logs, videos, and email correspondence). A semidirected interview was conducted at the end of the intervention to identify the factors that influenced the behavioral intention and use behavior of VirTele and capture the participant empowerment indicators. The interview guide was developed based on the principles of the self-determination theory (Deci et Ryan., 2017) and the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) (Williams et al., 2015). The UTAUT highlights three direct determinants of behavioral intention (social influence, performance expectancy, effort expectancy, and facilitating conditions) and two direct determinants of use behavior (facilitating conditions and behavioral intention) of a new technology (Williams et al., 2015). In addition, 4 moderators were described in this theory, including age, gender, experience, and voluntariness of use (Williams et al., 2015). The UTAUT has been validated and consistently explains use behavior in various settings (research and technology) (Dwivedi et al., 2020).

The constructs of the UTAUT (Williams et al., 2015) were used to inform the determinants that influenced the behavioral intention and use behavior of VirTele. Operational definitions were used for each theoretical construct to capture the context in which VirTele was used and better comprehend the environment-related factors. The operational definitions of the constructs are as follows: *performance* is defined as the degree to which a participant believes that VirTele would enhance or has enhanced their exercise performance (eg, duration, frequency, difficulty, goals,

and expected outcomes) to optimize rehabilitation of the upper extremity. This definition embodies both expected and actual performance, as it aims to capture the participant's expectancy of VirTele regarding exercise performance and the actual exercise performance after using VirTele, which could impact their motivation to continue using the system. *Effort* is defined as the degree of ease or complexity related to VirTele use and encompasses both expected and experienced efforts. *Social influence* is defined as the degree to which an individual entourage agreement or disagreement may affect their use of VirTele. *Facilitating conditions and obstacles* are defined as the factors that may facilitate or inhibit the use of VR-telerehabilitation technology, including control of internal constraints (capacity and knowledge to use new technology) and external constraints (technical and organizational infrastructure). The self-determination theory constructs were used to inform the participant empowerment during the VirTele program.

#### 6.1.4.4.3. Feasibility Data

Descriptive data relating to the VirTele rehabilitation training were documented in a standardized form at the end of each week. These data included the number and duration of videoconference sessions, adherence to the exergames (duration and frequency), technical difficulties, and adverse events (pain, falls, motion sickness, dizziness, exertion, fatigue, and headaches). These data were collected from logs completed by the clinician and from the exergame and telerehabilitation portals.

#### 6.1.4.5. Data Analysis

Descriptive analyses were conducted for performance-based measures and self-reported data. The interview was audio-recorded, transcribed verbatim, and analyzed through the lens of the self-determination theory (Deci et Ryan, 2017) and the UTAUT (Williams et al., 2015). Content analysis was applied to identify the factors that influenced behavioral intention and use behavior of VirTele and significant indicators of empowerment that could result from the use of the VirTele program, including motivational strategies. The identified empowerment indicators were categorized into capacities and behaviors based on the conceptual model of patient empowerment (Bravo et al., 2015). When relevant, themes identified through the qualitative analysis were used to deepen and explain the quantitative findings.

For the scientific rigor of qualitative data, the principles of Lincoln et Guba (1985) were applied. Audit trail and verification were performed to ensure confirmability. External verification by team members was applied to ensure credibility. Reliability was achieved through verification by 3 coders of a part of the data. For transferability, reflexive notes and a detailed description of the context of the intervention were provided.

## 6.1.5. Results

### 6.1.5.1. Functional Performance and Self-reported Data

The FMA-UE (motor function component) exhibited a significant increase in the total score from baseline (T1) to postintervention (T2; total score difference 6; Tableau 2), which is within the estimated minimal clinically important difference (MCID) range of 4.25 to 7.25, specifically for the upper extremity motor function component (Page et al., 2012). The FMA-UE total score was maintained during the follow-up period at T3 and T4 and may suggest a slight increase, although there were no significant changes beyond the postintervention results at T2 (Tableau 2).

**Tableau 2.** – Functional performance and self-reported measures (Article n°2).

Outcome measures	T1	T2	T3	T4	Score direction
Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity motor function (score from 0-60)	49	55	56	57	High score: better motricity of the affected upper extremity
<b>Motor Activity Log (score from 0 to 5)</b>					
Amount of use	1. 53	2. 45	2. 72	3. 26	High score: higher frequency of use of the affected upper extremity
Quality of use	1. 43	2. 29	2. 65	2. 95	High score: better quality of movement of the affected upper extremity

<b>Stroke Impact Scale (score from 0 to 100)</b>						
	Hand function	0	25	25	50	Low score: high impact on quality of life
	Mobility	75	71 .4 3	64 .2 8	64 .2 8	Low score: high impact on quality of life
	Activities of daily living	68 .7 5	71 .8 7	87 .5	84 .3 7	Low score: high impact on quality of life
<b>Treatment Self-Regulation Questionnaire</b>						
	Autonomous motivation (score from 0-42)	42	42	42	42	High score: high level of autonomous motivation
	Introjected regulation (score from 0-14)	8	8	2	5	High score: high level of introjected motivation
	External regulation (score from 0-28)	6	10	4	8	High score: high level of external motivation
	Amotivation (score from 0-21)	3	3	3	4	High score: high level of amotivation

The total score on the MAL—amount of use increased to 2.45 at T2, close to the score of 2.5 (Tableau 2), predicting 50% or greater perception of recovery in the affected upper extremity (based on a scale of 0% to 100% of SIS—section perceived recovery) (Fritz et al., 2007). During the follow-up period, improvement in the amount of use scale was maintained and exceeded the score of 2.5 at T3 and T4. The change in the MAL—quality of use at T2 (total score difference 0.86)



was not clinically relevant (MCID is between 1.0 and 1.1 (Lang et al., 2008)) but was significantly different from baseline at T3 (total score difference 1.22) and T4 (total score difference 1.52; Tableau 2).

The SIS revealed improvements in hand function and activities of daily living dimensions with a meaningful difference from baseline to T4 (Tableau 2), exceeding both the MCID range of 9.4 to 14.1 (Fulk et al., 2010). There was no improvement in the SIS mobility dimension, with a decreasing tendency over time (Tableau 2).

The TSRQ showed a high score on the autonomous motivation subscale (score=42/42), which was maintained during the follow-up period at T3 and T4. The amotivation subscale showed a low score (score=3/21) from baseline to the follow-up period at T3 and increased by 1 point at T4 (score=4/21). The external regulation subscale showed an increase in score from baseline (T1) to postintervention (T2; score from 6 to 10/28), followed by a decrease at T3 (score=4/28) and an increasing tendency at T4 (score=8/28). The introjected regulation subscale showed a moderate score (score=8/14), which was maintained from baseline to postintervention T2 and decreased during the follow-up period.

#### 6.1.5.2. Qualitative Data

##### 6.1.5.2.1. *Determinants of Behavioral Intention and Use Behavior of VirTele*

Consistent with the UTAUT, we identified four major determinants from the directive content analysis, namely, performance, effort, social influence, facilitating conditions, and obstacles.

##### 6.1.5.2.1.1. Performance

Regarding performance, the participant raised many relative advantages of VirTele compared with standard therapy (exchange of messages, videoconference, follow-up by the clinician, no limited time of therapy, time to reflect, correct, and discuss with the clinician) and perceived an improvement in arm functional performance and impact on daily activities, including making his bed, putting socks on, doing laundry, and shopping.

#### 6.1.5.2.1.2. Effort

As for effort, the participant was very comfortable using VirTele and reported only minor issues related to the audio and video being cut off, which he resolved himself. Effort was highly moderated by participants' previous experiences with information technology. In fact, the participant's background in information technology facilitated his VirTele use and management of the issues he encountered.

#### 6.1.5.2.1.3. Social Influence

Concerning social influence, it was important for the participant to share his VirTele experience with his friends and family, and receiving positive feedback encouraged him to continue using the technology.

#### 6.1.5.2.1.4. Facilitating Conditions and Obstacles

The qualitative results suggest that the participant believed that he had the necessary knowledge to use VirTele but raised potential factors that could influence the long-term use of the technology: the lack of control of technical infrastructures (internet access, quality of internet service [high speed], and the method to modify the exergames) and organizational infrastructure (access difficulty to VR at the individual level and limited health system resources). In addition, the participant reported a lack of compatibility of VirTele with needs in terms of game design (choice of avatar and background color) and previous experience (interoperability).

In addition to the pre-established determinants of the UTAUT, three new constructs emerged, including attitudes toward VirTele (satisfaction with the telerehabilitation platform, satisfaction with the exercises provided during the intervention, and satisfaction with the VR exergames), attitudes toward the affected upper extremity (anxiety related to upper extremity improvement and exercising), and attitudes toward information technology (eager to experiment with VR).

A model of how these four determinants and attitudinal factors interact with behavioral intention and use behavior is presented in Figure 9.

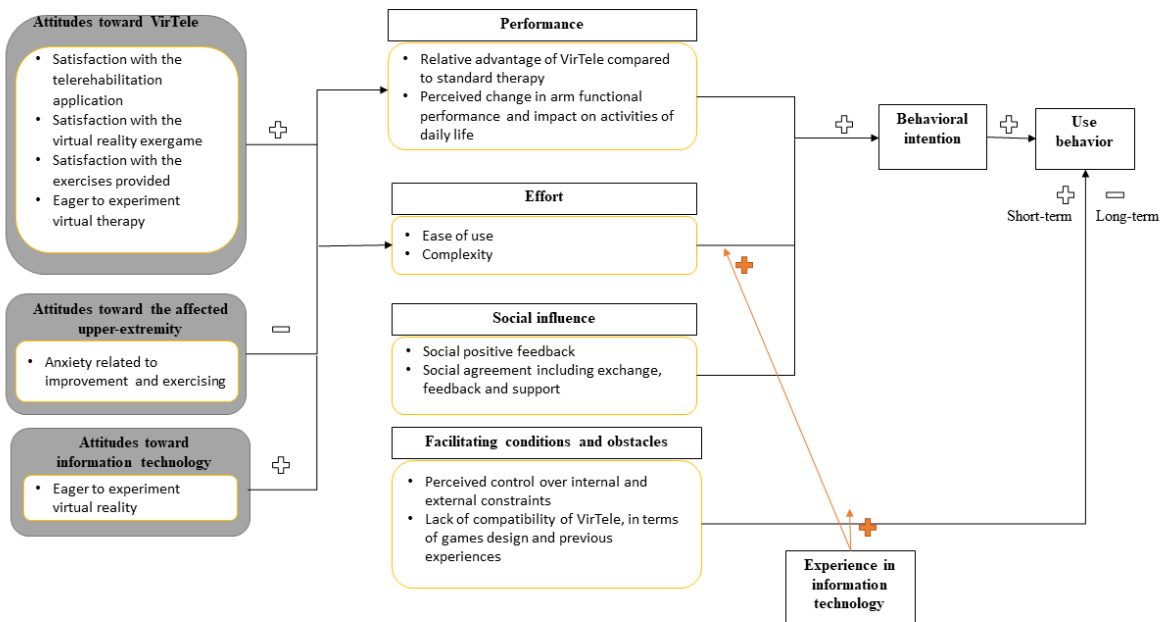


Figure 9. – Factors that influence behavioral intention and use behavior of VirTele (Article n°2).

#### 6.1.5.2.2. Empowerment

Of the eight videoconference sessions, two sessions focused on motivational interviewing. The first one was conducted after the participant reported discomfort to find a strategy to overcome the problem and motivate him to gradually resume the exercises. The second one was conducted 2 weeks later to maintain his adherence to the exercises using different motivational techniques such as goal planning, exploration of ambivalence, valuation, and reflective listening.

In the other six sessions, the clinician usually started the videoconference with remote supervision of the participant's performance, adjustment of the difficulty level of the preselected games, and finally ended with motivational interviewing. During the videoconference sessions, the participant took an active role and participated in every decision related to his rehabilitation program, including the choice of games, difficulty level, and strategies to improve daily life activities.

Relevant empowerment indicators were identified and categorized into capacities and behaviors. Detailed descriptions of these indicators are provided in Tableau 3.

**Tableau 3.** – Description of empowerment indicators in terms of capacities and behaviors (Article n°2).

**Description of indicators in terms of capacities and behaviors**

- Attitudes
  - High expectation of improvement
  - Motivation to continue exercising despite the difficulties
  - Willingness to communicate and exchanges ideas of exercises modalities
  - Willingness to participate in patient support or advocacy groups
- Self-awareness
  - Importance of exercise
  - Continue exercising despite difficulties
  - Awareness that recovery may require long and hard work
- Perceived personal control of health and health care
  - Limited access to health care services
  - Frustration because of lack of access to health services
- Sense of meaning and coherence about health condition
  - No complaints about the functional stage attained and gratefulness
- Health literacy
  - Comprehension of the neuroplasticity phenomenon and its role in stroke recovery
- Self-management of own health care
  - Using a keyboard instead of a touching screen to exercise fingers

- Management of time between autonomous game sessions, supervised sessions with a clinician, and fitness program
- Participation in decision-making
  - Discussion of the exercise's parameters with the clinician
  - Discussion of the difficulties encountered and related solutions
- Self-empowerment
  - Use the internet to collect information and support from other survivors and get other perspectives
  - Use the internet to collect information about other virtual reality-based rehabilitation and contact clinician
  - Participation in a course given at the rehabilitation school at Université de Montreal (Montreal, Canada) as a speaker to share his VirTele experience with students and clinicians

#### 6.1.5.3. Feasibility Data

##### 6.1.5.3.1. *Adherence to the VirTele Program*

During the 2-month intervention, the participant completed 48 sessions of 33 hours and 15 minutes of active games and 8 videoconference sessions with a clinician. As the participant was very comfortable with the technology and used the exergames more than expected, the clinician did not feel the need to meet with him more than once a week. During the fourth week, no meeting occurred, and the meeting was rescheduled during the fifth week (which included 2 meetings).

The 48 sessions included 6 supervised game sessions with a clinician and 42 autonomous game sessions. The time spent on each game and the number of repetitions are listed in Tableau 4. The participant was encouraged to play the games five times a week. However, he was free to repeat game sessions whenever he wanted.

**Tableau 4.** – Time spent and the total number of repetitions achieved in the exergames (Article n°2).

Exergames	Active time playing the game (hours)	Total number of repetitions <sup>a</sup>
Fish Frenzy	4.48	2581
Catch and Carry an apple	3.8	2418
Kitchen Clean up	2.083	674
Pop Clap	11.116	10,304
Space Race	11.76	14,364
Total	33.25	30,341

<sup>a</sup>Reflects the number of successful tasks or movements completed during a game.

During the first month of VirTele, the participant was afraid of using his upper extremity in daily life activities (fear of dropping objects, difficulty in using upper extremity, or pain) and was only manipulating virtual objects during the exergames. Nonetheless, during the second month, the participant demonstrated more frequent use of the affected upper extremity to assist the healthy hand in carrying out a task, for example, drinking from a glass using the help of a finger of the affected hand and using the affected upper extremity to answer the phone (with a touch screen). The clinician encouraged and praised the participant in achieving these small steps to maintain his motivation to continue practicing, even after the end of VirTele.

#### 6.1.5.3.2. *Technical Challenges and Adverse Events*

The participant quickly became familiar with the VirTele technology, including the use of the exergame and the telerehabilitation app. The noninteroperability of the exergame software with the participant's computer (iMac, Apple) and his unfamiliarity with Windows operating systems did not prevent him from finding a solution to make the game work. In fact, the participant

managed to divide his computer (iMac, Apple) hard drive into 2 parts to run Windows 10 and use the exergame.

Similarly, the participant encountered difficulties with the internet connection (video or sound cut off during the videoconference or poor connection) and log in process. However, he always managed to find a solution to each problem, for example, reset the modem or router, restart the apps, or reset the password, as he mentioned:

*I didn't have any problem in setting, as well as using and from time to time, when there is an update...when the system said: "wrong password", I can reset the password and everything...remember we had a little bit of an issue with the audio, I was trying to put us in a video conference on my computer but it didn't work and I tried and tried and finally I said fine I will use my iPad. It is a small screen but still on the iPad.*

Overall, the participant appreciated exercising with the exergame and had suggestions to better enjoy the game experience. For example, he preferred seeing his own hand or an image of a realistic hand on the screen, instead of the glove or the spaceship, and he was more drawn to realistic scenes than fictional scenarios (coloring stars with a pen instead of catching stars with a fish).

No adverse events occurred during the first few weeks of intervention. However, the participant reported an increased feeling of heaviness in the affected upper extremity during the fourth week of the intervention. The clinician in charge suggested that the participant used stretching postures at the beginning and end of the games to prevent discomfort. These were demonstrated during the videoconference sessions and relieved discomfort.

## 6.1.6. Discussion

### 6.1.6.1. Principal Findings

We addressed three objectives in this case study: (1) determine the feasibility of using a telerehabilitation app combined with an exergame for a remote upper extremity rehabilitation program in a chronic stroke survivor; (2) explore the preliminary efficacy of VirTele on upper extremity motor function, amount and quality of use, impact on quality of life and motivation; and (3) explore the determinants of behavioral intention and use behavior of VirTele and indicators of participant empowerment.

#### 6.1.6.1.1. *Adherence to VirTele, Technical Challenges, and Preliminary Efficacy Results*

During the 2-month intervention, the participant demonstrated complete adherence to VirTele, completing 48 sessions or 33 hours and 15 minutes of active games, surpassing the minimum 20 hours planned for the program. A minimum of 15 hours is suggested for an intervention aiming at a moderate improvement of activities related to daily living following a stroke (Laver et al., 2017). The 48 sessions included six supervised game sessions with a clinician and 42 autonomous game sessions. In addition to the exercises provided, the participant participated in eight videoconference sessions with a clinician for monitoring and empowerment purposes.

Although the participant encountered some technical challenges related to interoperability, internet connection issues (interruption of the video or sound, poor connection), and the login procedure (forgotten password), he was able to find a solution and use both the exergame and the telerehabilitation app throughout the 2 months. Furthermore, the participant suggested some improvements for the avatar and background, which he felt would render the game more meaningful. In addition, he was more drawn to realistic scenes and avatars, which is consistent with the findings of a previous study that indicated that players preferred simulated real-world games (Farič et al., 2019). The sense of presence in a virtual environment or the degree to which an individual perceives the environment as real may affect the participant's engagement and motivation (Calabrò et al., 2017; Slater et Wilbur, 1997). Thus, it is important to consider certain elements, such as the background, avatar design, and the scene's realism, when developing a VR



system for rehabilitation use (Slater et Wilbur, 1997). Fortunately, the lack of these elements did not decrease the participant's compliance with or commitment to performing the exercises, given that he spent 11 hours using the Space Race game.

Regarding the combined use of a telerehabilitation app and an exergame, the results of this case study suggest that the VirTele intervention and study protocol could be feasible with stroke participants, although it is important to ensure that it will be accessible to participants who may be less motivated and technologically savvy. Moreover, the participant appreciated the follow-up by the clinician when playing the exergames and described this room for maneuver in VirTele as *the time to reflect*. In fact, while the clinician was supervising, the participant was able to identify his errors during the exercises (compensatory movements), discuss the solutions, adjust the difficulty level as needed, and correct his posture and upper extremity movements. This may have prevented him from reproducing a pathological pattern of movement when playing alone. The participant exhibited clinically meaningful improvements at T2 in the motor function dimension of the FMA-UE and the hand function dimension of the SIS. Not surprisingly, there was no improvement in the SIS mobility dimension, which addresses the impact of stroke on lower extremity mobility, further indicating the impact of the intervention on upper extremity motor function. The FMA-UE (motor function) and the SIS (hand function) scores were maintained at T3 and T4, followed by a relevant increase in the SIS score (daily living activities), suggesting maintenance of motor gains throughout time, contrary to the findings of a previous study using VR exergames without supervision and a motivational approach (Caughlin et al., 2020).

During the follow-up period, there was a meaningful change in the MAL–amount of use subscale, suggesting more involvement of the affected upper extremity in daily activities, along with a meaningful improvement in the SIS activities of daily living dimension at T3 and the SIS hand function dimension at T4. These results suggest that a transfer pattern occurred between the virtual and daily life activities, as the participant showed meaningful improvements in daily life activities and amount of use of the upper extremity following 2 consecutive months after completing the VirTele program.

Although we had predetermined that 20 hours of active games within the VirTele program should be performed, the participant decided to do more (33 hours and 15 minutes). A much higher number of repetitions may have positively affected the upper extremity motor function. In fact, a meta-analysis of 20 randomized clinical trials, including 2686 stroke patients (acute, postacute, and chronic), supports the presence of a dose-response relationship between intense practice (therapy time ranged from 132 minutes to 6186 minutes) and better outcomes (Kwakkel et al., 2004). However, it is important to note that all users may not use VirTele at this level of intensity. More research is required to determine the amount of time required to obtain optimal results.

The MAL-quality of use subscale showed no change in movement quality at the end of the program but exhibited a meaningful improvement during the follow-up period. In fact, during the 2-month training, the participant did not use his affected hand sufficiently during daily life activities (pain and fear) and was mostly manipulating virtual objects during the exergame, with no force or touch feedback, which may have limited the integration of somatosensory information that contributes to motor learning (Weiss et al., 2014). During the follow-up period, the participant stopped using the exergame and was more involved in daily life activities, more frequently using his upper extremity to manipulate real-life objects, which involves somatosensory feedback that may favorably affect the movement quality of the affected upper extremity (Weiss et al., 2014). These results highlight the necessity of transferring virtual activities to real-life activities to avoid a potential gap in somatosensory information affluence.

#### *6.1.6.1.2. Participant Motivation*

The participant exhibited a lot of enthusiasm from the day he contacted our research team and demonstrated a high level of autonomous motivation (score=42/42) throughout the entire intervention, which may partly explain the high level of adherence to the VirTele rehabilitation program. The TSRQ showed a low level of external regulation, meaning that the participant made autonomous choices regarding his use of VirTele and completion of the exercises and was not influenced by certain consequences (“I want others to approve of me”) or pressure (“I feel pressure from others to do so”) (Levesque et al., 2007). However, the external regulation score increased from 6 to 10 during the VirTele intervention. This could have possibly resulted from the

desire to satisfy the research team or the clinician, leading to short-term changes in the participant's behavior (eg, better adherence to VirTele and higher motivation), improving upper extremity motor scores. However, the long-term maintenance of motor gains involves continuous adherence to exercises (after the end of VirTele) and maintaining motivation despite the lack of external factors (eg, encouragement by the clinician).

Similarly, the TSRQ showed a medium level of introjected regulation (score=8/14), meaning that the participant partially introjected and self-identified with the values linked to the VirTele rehabilitation program. This suggests that the participant possibly integrated the potential benefits of the exercises with his affected upper extremity and identified aspects of the VirTele program that could match his own values and beliefs, potentially affecting the long-term behavioral use of the technology.

#### *6.1.6.1.3. Determinants of Behavioral Intention and Use Behavior of VirTele*

Performance, effort, and social influence were meaningfully weighed in the behavioral intention use of VirTele. The relative advantages of the VirTele program compared with standard therapy and the perceived improvement in daily life activities facilitated the use performance of the VirTele program. The participant's level of comfort with the technology positively influenced the effort determinant. The additional constructs of the UTAUT model were not identified as direct determinants of behavioral intention or use behavior. According to Venkatesh et al. (2016), attitudinal constructs may indirectly affect behavioral intention and use behavior through performance and effort constructs.

In fact, the participant's attitude toward VirTele, the affected upper extremity, and information technology indirectly influenced behavioral intention through a positive and negative impact on effort and performance determinants. Owing to the participant's experience in information technology, he may have been more sensitive to some aspects of the exergame design (eg, avatar and background) and the operating system within the technology, although these aspects did not affect his compliance with the VirTele program.

#### 6.1.6.1.4. *Empowerment Indicators*

The participant demonstrated considerable empowerment on the behavior and capacity levels, which may have positively affected his adherence to the VirTele rehabilitation program and explain the meaningful improvement in many clinical outcomes. The self-determination theory was used to inform the VirTele program by identifying the main constructs that target the desired behaviors (increase in adherence to the VirTele program and increased use of the affected upper extremity in daily life activities) and providing the means for developing component intervention techniques such as motivational interviewing. Health behavior change literature mentions numerous advantages of applying theory to interventions (Michie et Prestwich, 2010; Painter et al., 2008; Prestwich et al., 2014), including stronger effects (Michie et Prestwich, 2010), which may corroborate the findings of our study.

Other components of the VirTele program that may have also contributed to the participant's empowerment include the autonomous access to a personalized training program, the motivational aspect of VR exergames (eg, augmented feedback and challenging exercises), shared decision-making using the combination of VR and telerehabilitation, health counseling, and the ability to get real-time feedback during direct or web-based supervision (promoting the desired behavioral result). The extent to which the different VirTele program components played a role in the improvements observed in the clinical outcomes or empowerment indicators is still unclear.

#### 6.1.6.2. *Study Limitations*

First, the FMA-UE results should be carefully interpreted, as the remote administration of the scale without the presence of an evaluator on site with the participant has not been validated in the literature. However, the FMA-UE (motor function) results in this case study were consistent with the self-reported findings (SIS and MAL) and provided an indication of the affected upper extremity motor function pattern during the intervention. The literature lacks a scale that remotely assesses the motor function of the arm in stroke survivors and is extremely relevant to the current need for telerehabilitation interventions.

Second, the participant was already highly motivated when he started the intervention. This may have naturally increased his adherence to the VirTele rehabilitation program and, consequently, favor his clinical outcomes. However, this level of adherence may not be representative of all participants.

In addition, with only 1 participant, it is difficult to capture all the factors that could influence the behavioral intention and use behavior of VirTele, such as technology familiarity, motivation, and previous experiences. The findings gathered so far are limited to the participant's own experiences, thereby limiting their transferability to other contexts.

The participant was also very comfortable with the technology and easily handled the technical difficulties that occurred during the intervention. This may not represent future users, although the participant's input during the development phase allowed the team to address potential future technological issues. This is crucial because it is highly likely that many participants affected by a stroke would be older and possibly less comfortable with new information technologies (Chen et Chan, 2014).

Finally, we cannot predict how well other participants would manage technical problems or how comfortable they would be with the technology used in the VirTele program. The technical difficulties are considered a direct determinant factor of intervention adherence and may influence a participant's willingness to use the technology. Technical problems should indeed be considered as a part of technology use, and end users should be technically (where to click and what this signal means) and emotionally (do not panic, you do not need to be frustrated, you did nothing wrong, and that is not your fault) prepared to better manage various situations. Accordingly, a video and informative pamphlet, including simple, concise instructions on how to open and use the exergames and videoconference platform, could be prepared to support VirTele use among future participants.

#### 6.1.6.3. Future Research

It is important to explore the extent to which technological knowledge and experience play a role in using the latest technology. In addition, further research is needed to explore the role of shared

decision-making and empowerment in exercise program adherence and progression and behavior modification for upper extremity use.

The data collected so far may not be representative of stroke survivors aged 63 years. However, the feasibility and preliminary efficacy results are promising and support the use of the VirTele rehabilitation program and have contributed to improving the intervention and study methodology. Further studies are warranted to corroborate these preliminary findings and test the feasibility and efficacy of VirTele in a diverse stroke population.

#### 6.1.6.4. Conclusions

The results of this case study suggest that it is relevant to continue investigating the use of exergames provided by telerehabilitation to improve upper extremity motor function and enhance the upper extremity quality and amount of use in activities of daily living.

### **6.1.7. Acknowledgments**

This work was supported by the Canadian Institutes of Health Research (385297, 2017) and a scholarship from the Mission Universitaire de Tunisie. The funding source had no involvement in the research or preparation of the paper.

### **6.1.8. Conflicts of Interest**

None declared.

### **6.1.9. Abbreviations**

BCT: behavior change technique

FMA-UE: Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity

MAL: Motor Activity Log

MCID: minimal clinically important difference

SIS: Stroke Impact Scale

TSRQ: Treatment Self-Regulation Questionnaire

UTAUT: Unified Theory of Acceptance and Use of Technology

VR: virtual reality

### **6.1.10. References**

- Adie, K., Schofield, C., Berrow, M., Wingham, J., Humfryes, J., Pritchard, C., James, M., et Allison, R. (2017). Does the use of Nintendo Wii Sports™ improve arm function? Trial of Wii™ in Stroke: a randomized controlled trial and economics analysis. *Clinical Rehabilitation*, 31(2), 173–185. <https://doi.org/10.1177/0269215516637893>
- Agence de la santé publique du Canada. (2009). *2009 tracking heart disease and stroke in Canada*. Public Health Agency of Canada. <https://www.canada.ca/content/dam/phac-aspc/migration/phac-aspc/publicat/2009/cvd-avc/pdf/cvd-avs-2009-eng.pdf>
- Allegue, D. R., Kairy, D., Higgins, J., Archambault, P., Michaud, F., Miller, W., Sweet, S. N., et Tousignant, M. (2020). Optimization of Upper Extremity Rehabilitation by Combining Telerehabilitation With an Exergame in People With Chronic Stroke: Protocol for a Mixed Methods Study. *JMIR Research Protocols*, 9(5), e14629. <https://doi.org/10.2196/14629>
- Amano, S., Umeji, A., Uchita, A., Hashimoto, Y., Takebayashi, T., Kanata, Y., Uchiyama, Y., et Domen, K. (2018). Reliability of remote evaluation for the Fugl-Meyer assessment and the action research arm test in hemiparetic patients after stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 25(6), 432–437. <https://doi.org/10.1080/10749357.2018.1481569>
- Bravo, P., Edwards, A., Barr, P. J., Scholl, I., Elwyn, G., McAllister, M., et the Cochrane Healthcare Quality Research Group, C. U. (2015). Conceptualising patient empowerment: A mixed methods study. *BMC Health Services Research*, 15(1), 252. <https://doi.org/10.1186/s12913-015-0907-z>
- Calabrò, R. S., Naro, A., Russo, M., Leo, A., De Luca, R., Balletta, T., Buda, A., La Rosa, G., Bramanti, A., et Bramanti, P. (2017). The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: A randomized clinical trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>

- Carraro, N., et Gaudreau, P. (2013). Spontaneous and experimentally induced action planning and coping planning for physical activity: A meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, 14(2), 228–248. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.10.004>
- Caughlin, S., Mehta, S., Corriveau, H., Eng, J. J., Eskes, G., Kairy, D., Meltzer, J., Sakakibara, B. M., et Teasell, R. (2020). Implementing Telerehabilitation After Stroke: Lessons Learned from Canadian Trials. *Telemedicine Journal and E-Health: The Official Journal of the American Telemedicine Association*, 26(6), 710–719. <https://doi.org/10.1089/tmj.2019.0097>
- Chan, D. K., Lonsdale, C., Ho, P. Y., Yung, P. S., et Chan, K. M. (2009). Patient motivation and adherence to postsurgery rehabilitation exercise recommendations: The influence of physiotherapists' autonomy-supportive behaviors. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(12), 1977–1982. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.05.024>
- Chen, K., et Chan, A. H. S. (2014). Gerontechnology acceptance by elderly Hong Kong Chinese: A senior technology acceptance model (STAM). *Ergonomics*, 57(5), 635–652. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.895855>
- Chou, C.-Y., Ou, Y.-C., et Chiang, T.-R. (2015). Psychometric comparisons of four disease-specific health-related quality of life measures for stroke survivors. *Clinical Rehabilitation*, 29(8), 816–829. <https://doi.org/10.1177/0269215514555137>
- Cikajlo, I., Rudolf, M., Goljar, N., Burger, H., et Matjai, Z. (2012). Telerehabilitation using virtual reality task can improve balance in patients with stroke. *Disability and Rehabilitation*, 2012, Vol.34(1), p.13-18, 34(1), 13–18. <https://doi.org/10.3109/09638288.2011.583308>
- Conner, M., et Norman, P. (2017). Health behaviour: Current issues and challenges. *Psychology et Health*, 32(8), 895–906. <https://doi.org/10.1080/08870446.2017.1336240>
- De Weerd, W. J. G., et Harrison, M. A. (1985). Measuring recovery of arm-hand function in stroke patients: A comparison of the Brunnstrom-Fugl-Meyer test and the Action Research Arm test. *Physiotherapy Canada*, 37(2), 65–70. <https://doi.org/10.3138/ptc.37.2.065>
- Deci, E. L., et Ryan, R. M. (2000). The “What” and “Why” of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. [https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01)



- Deci, E. L., et Ryan, R. M. (2017). *Self-Determination Theory: Basic psychological needs, motivation, development, and wellness* (Guilford Press).
- Duncan, P. W., Goldstein, L. B., Matchar, D., Divine, D. W., et Feussner, J. (1992). Measurement of motor recovery after stroke. Outcome assessment and sample size requirements. *Stroke*, 23(8), 1084–1089. <https://doi.org/10.1161/01.STR.23.8.1084>
- Dwivedi, Y. K., Rana, N. P., Tamilmani, K., et Raman, R. (2020). A meta-analysis based modified unified theory of acceptance and use of technology (meta-UTAUT): A review of emerging literature. *Current Opinion in Psychology*, 36, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2020.03.008>
- Edwards, B., et O’Connell, B. (2003). Internal consistency and validity of the Stroke Impact Scale 2.0 (SIS 2.0) and SIS-16 in an Australian sample. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, 12(8), 1127–1135. <https://doi.org/10.1023/a:1026109920478>
- Farič, N., Potts, H. W. W., Hon, A., Smith, L., Newby, K., Steptoe, A., et Fisher, A. (2019). What Players of Virtual Reality Exercise Games Want: Thematic Analysis of Web-Based Reviews. *Journal of Medical Internet Research*, 21(9), e13833. <https://doi.org/10.2196/13833>
- Fondation des maladies du cœur et de l’AVC. (2014). *Bulletin sur l’AVC 2014*. <https://heartstrokeprod.azureedge.net/-/media/1-stroke-best-practices/quality/french/strokereport2014v2fr.ashx?rev=0d85d1205ecd48eebcc5eaff23eb5766>
- Fritz, S. L., George, S. Z., Wolf, S. L., et Light, K. E. (2007). Participant Perception of Recovery as Criterion to Establish Importance of Improvement for Constraint-Induced Movement Therapy Outcome Measures: A Preliminary Study. *Physical Therapy*, 87(2), 170–178. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060101>
- Fulk, G. D., Ludwig, M., Dunning, K., Golden, S., Boyne, P., et West, T. (2010). How much change in the stroke impact scale-16 is important to people who have experienced a stroke? *Topics in Stroke Rehabilitation*, 17(6), 477–483. <https://doi.org/10.1310/tsr1706-477>
- Gauthier, L. V., Kane, C., Borstad, A., Strahl, N., Uswatte, G., Taub, E., Morris, D., Hall, A., Arakelian, M., et Mark, V. (2017). Video Game Rehabilitation for Outpatient Stroke (VIGoROUS):

- Protocol for a multi-center comparative effectiveness trial of in-home gamified constraint-induced movement therapy for rehabilitation of chronic upper extremity hemiparesis. *BMC Neurology*, 17. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-0888-0>
- Hardcastle, S. J., Fortier, M., Blake, N., et Hagger, M. S. (2016). Identifying content-based and relational techniques to change behaviour in motivational interviewing. *Health Psychology Review*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/17437199.2016.1190659>
- Hebert, D., Lindsay, M. P., McIntyre, A., Kirton, A., Rumney, P. G., Bagg, S., Bayley, M., Dowlatshahi, D., Dukelow, S., Garnhum, M., Glasser, E., Halabi, M.-L., Kang, E., MacKay-Lyons, M., Martino, R., Rochette, A., Rowe, S., Salbach, N., Semenko, B., ... Teasell, R. (2016). Canadian stroke best practice recommendations: Stroke rehabilitation practice guidelines, update 2015. *International Journal of Stroke*, 11(4), 459–484. <https://doi.org/10.1177/1747493016643553>
- Kwakkel, G., van Peppen, R., Wagenaar, R. C., Wood Dauphinee, S., Richards, C., Ashburn, A., Miller, K., Lincoln, N., Partridge, C., Wellwood, I., et Langhorne, P. (2004). Effects of augmented exercise therapy time after stroke: A meta-analysis. *Stroke*, 35(11), 2529–2539. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000143153.76460.7d>
- Lang, C. E., Edwards, D. F., Birkenmeier, R. L., et Dromerick, A. W. (2008). Estimating minimal clinically important differences of upper-extremity measures early after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(9), 1693–1700. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.02.022>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., et Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Levesque, C. S., Williams, G. C., Elliot, D., Pickering, M. A., Bodenhamer, B., et Finley, P. J. (2007). Validating the theoretical structure of the Treatment Self-Regulation Questionnaire (TSRQ) across three different health behaviors. *Health Education Research*, 22(5), 691–702. <https://doi.org/10.1093/her/cyl148>
- Lincoln, Y. S., et Guba, E. G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. SAGE.

- Linder, S. M., Rosenfeldt, A. B., Bay, R. C., Sahu, K., Wolf, S. L., et Alberts, J. L. (2015). Improving quality of life and depression after stroke through telerehabilitation. *The American Journal of Occupational Therapy*, 69(2), 6902290020p1-10. <https://doi.org/10.5014/ajot.2015.014498>
- Michie, S., Abraham, C., Whittington, C., McAteer, J., et Gupta, S. (2009). Effective techniques in healthy eating and physical activity interventions: A meta-regression. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 28(6), 690–701. <https://doi.org/10.1037/a0016136>
- Michie, S., et Prestwich, A. (2010). Are interventions theory-based? Development of a theory coding scheme. *Health Psychology*, 29(1), 1–8. <https://doi.org/10.1037/a0016939>
- Michie, S., Richardson, M., Johnston, M., Abraham, C., Francis, J., Hardeman, W., Eccles, M. P., Cane, J., et Wood, C. E. (2013). The behavior change technique taxonomy (v1) of 93 hierarchically clustered techniques: Building an international consensus for the reporting of behavior change interventions. *Annals of Behavioral Medicine*, 46(1), 81–95. <https://doi.org/10.1007/s12160-013-9486-6>
- Michie, S., van Stralen, M. M., et West, R. (2011). The behaviour change wheel: A new method for characterising and designing behaviour change interventions. *Implementation Science*, 6, 42. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-6-42>
- Microsoft. (n.d.). *Kinect—Windows app development*. Retrieved December 10, 2020, from <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/>
- Mouawad, M., Doust, C., Max, M., et McNulty, P. (2011). Wii-based movement therapy to promote improved upper extremity function post-stroke: A pilot study. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 43(6), 527–533. <https://doi.org/10.2340/16501977-0816>
- Page, S. J., Fulk, G. D., et Boyne, P. (2012). Clinically Important Differences for the Upper-Extremity Fugl-Meyer Scale in People With Minimal to Moderate Impairment Due to Chronic Stroke. *Physical Therapy*, 92(6), 791–798. <https://doi.org/10.2522/ptj.20110009>
- Page, S. J., Hade, E., et Persch, A. (2015). Psychometrics of the wrist stability and hand mobility subscales of the Fugl-Meyer Assessment in moderately impaired stroke. *Physical Therapy*, 95(1), 103–108. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130235>

- Painter, J. E., Borba, C. P. C., Hynes, M., Mays, D., et Glanz, K. (2008). The Use of Theory in Health Behavior Research from 2000 to 2005: A Systematic Review. *Annals of Behavioral Medicine, 35*(3), 358–362. <https://doi.org/10.1007/s12160-008-9042-y>
- Piron, L., Tonin, P., Atzori, A. M., Zanotti, E., Massaro, C., Trivello, E., et Dam, M. (2002). Virtual environment system for motor tele-rehabilitation. *Studies in Health Technology and Informatics, 85*, 355–361.
- Prestwich, A., Sniehotta, F. F., Whittington, C., Dombrowski, S. U., Rogers, L., et Michie, S. (2014). Does theory influence the effectiveness of health behavior interventions? Meta-analysis. *Health Psychology, 33*(5), 465–474. <https://doi.org/10.1037/a0032853>
- Silva, E. S. M., Pereira, N. D., Gianlorenço, A. C. L., et Camargo, P. R. (2019). The evaluation of non-use of the upper limb in chronic hemiparesis is influenced by the level of motor impairment and difficulty of the activities-proposal of a new version of the Motor Activity Log. *Physiotherapy Theory and Practice, 35*(10), 964–974. <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1460430>
- Singer, B., et Garcia-Vega, J. (2017). The fugl-meyer upper extremity scale. *Journal of Physiotherapy, 63*(1), 53. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2016.08.010>
- Slater, M., et Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators et Virtual Environments. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603*
- Standen, P., Threapleton, K., Richardson, A., Connell, L., Brown, D., Battersby, S., Platts, F., et Burton, A. (2017). A low cost virtual reality system for home based rehabilitation of the arm following stroke: A randomised controlled feasibility trial. *Clinical Rehabilitation, 31*(3), 340–350. <https://doi.org/10.1177/0269215516640320>
- Strokeengine. (2019). <https://strokeengine.ca/fr/assessments/motor-activity-log-mal/>
- Sullivan, K. J., Tilson, J. K., Cen, S. Y., Rose, D. K., Hershberg, J., Correa, A., Gallichio, J., McLeod, M., Moore, C., Wu, S. S., et Duncan, P. W. (2011). Fugl-Meyer assessment of sensorimotor function after stroke: Standardized training procedure for clinical practice and clinical trials. *Stroke, 42*(2), 427–432. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.592766>

- van der Lee, J. H., Beckerman, H., Knol, D. L., Vet, H. C. W. de, et Bouter, L. M. (2004). Clinimetric properties of the motor activity log for the assessment of arm use in hemiparetic patients. *Stroke*, 35(6), 1410–1414. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000126900.24964.7e>
- Venkatesh, V., Thong, J. Y., et Xu, X. (2016). Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: A Synthesis and the Road Ahead. *Journal of the Association for Information Systems*, 17(5), 328.  
<http://search.proquest.com/openview/e094d55bdfb4fb7441195bf9d0363f5d/1?pq-origsite=gscholaretcb1=26427>
- Weiss, P. L., Keshner, E. A., et Levin, M. F. (2014). *Virtual reality for physical and motor rehabilitation*. Springer.
- Williams, M. D., Rana, N. P., et Dwivedi, Y. K. (2015). The unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): A literature review. *Journal of Enterprise Information Management*, 28(3), 443–488. <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2014-0088>

## 6.2. Article n°3. Rehabilitation of Upper Extremity by Telerehabilitation Combined With Exergames in Survivors of Chronic Stroke: Preliminary Findings From a Feasibility Clinical Trial.

Dorra Rakia Allegue <sup>1,2,3</sup>, Johanne Higgins <sup>1,2</sup>, Shane Norman Sweet <sup>2,4</sup>, Philippe Archambault <sup>2,5</sup>, Francois Michaud <sup>6</sup>, William Miller <sup>7</sup>, Michel Tousignant <sup>8,9</sup>, Dahlia Kairy <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> School of Rehabilitation, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>2</sup> The Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal, Institut universitaire sur la réadaptation en déficience physique de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> Mission Universitaire de Tunisie, Montreal, QC, Canada

<sup>4</sup> Department of Kinesiology and Physical Education, McGill University, Montreal, QC, Canada

<sup>5</sup> School of Physical and Occupational Therapy, McGill University, Montreal, QC, Canada

<sup>6</sup> Department of Electrical Engineering and Computer Engineering, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada

<sup>7</sup> Department of Occupational Science et Occupational Therapy, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

<sup>8</sup> Faculty of Medicine and Health Sciences, School of Rehabilitation, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada

<sup>9</sup> Center of research on Aging, Sherbrooke, QC, Canada

- Article publié dans la revue « ***Journal of Medical Internet Research-JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*** », le 22 juin 2022.

En tant qu'auteure principale, j'ai analysé les données quantitatives et rédigé le manuscrit pour publication, sous la supervision de mes directrices de recherche Prof. Kairy et Prof. Higgins. Tous les coauteurs ont apporté des réflexions pertinentes lors de la rédaction du manuscrit.

### **6.2.1. Avant-propos**

Notre étude de cas unique a révélé qu'il était faisable d'utiliser la technologie VirTele à distance auprès d'un premier participant atteint d'AVC et que les résultats sur la récupération du membre supérieur atteint sont prometteurs. Il est tout de même important de continuer d'examiner la faisabilité d'utilisation de la technologie auprès de plusieurs survivants d'AVC et d'explorer son impact sur les mesures de résultats comparé au traitement conventionnel. Malgré que les soins post AVC soient variables, il est recommandé de fournir un programme d'exercices comme le GRASP, qui est le traitement conventionnel standardisé préconisé par les recommandations canadiennes pour les pratiques optimales de soins de l'AVC (Hebert et al., 2016). Tout comme VirTele, le GRASP propose un ensemble d'exercice à réaliser au domicile pour la réadaptation du membre supérieur atteint à la suite d'un AVC. Il est donc pertinent d'examiner la faisabilité et l'efficacité préliminaire de l'intervention VirTele lorsqu'elle est prodiguée dans des conditions semblables que le traitement conventionnel (à domicile, exercices focalisés sur le membre supérieur, difficulté graduée, adhérence autonome).

L'Article n°3 a pour objectifs spécifiques :

- 1)** Déterminer la faisabilité d'utiliser VirTele, à domicile, auprès de plusieurs survivants d'AVC en phase chronique
- 2)** Explorer l'efficacité préliminaire de VirTele sur la fonction motrice du membre supérieur, la quantité et la qualité d'utilisation du membre supérieur atteint, la qualité de vie et la motivation, chez les survivants d'AVC en phase chronique, comparé au traitement conventionnel (GRASP).



### **6.2.2. Abstract**

*Background:* Exergames are increasingly being used among survivors of stroke with chronic upper extremity (UE) sequelae to continue exercising at home after discharge and maintain activity levels. The use of virtual reality exergames combined with a telerehabilitation app (VirTele) may be an interesting alternative to rehabilitate the UE sequelae in survivors of chronic stroke while allowing for ongoing monitoring with a clinician.

*Objective:* This study aimed to determine the feasibility of using VirTele in survivors of chronic stroke at home and explore the impact of VirTele on UE motor function, quantity and quality of use, quality of life, and motivation in survivors of chronic stroke compared with conventional therapy.

*Methods:* This study was a 2-arm feasibility clinical trial. Eligible participants were randomly allocated to an experimental group (receiving VirTele for 8 weeks) or a control group (receiving conventional therapy for 8 weeks). Feasibility was measured from the exergame and intervention logs completed by the clinician. Outcome measurements included the Fugl-Meyer Assessment-UE, Motor Activity Log-30, Stroke Impact Scale-16, and Treatment Self-Regulation Questionnaire-15, which were administered to both groups at four time points: time point 1 (T1; before starting the intervention), time point 2 (after the intervention), time point 3 (1 month after the intervention) and time point 4 (T4; 2 months after the intervention).

*Results:* A total of 11 survivors of stroke were randomized and allocated to an experimental or a control group. At the onset of the COVID-19 pandemic, participants pursued the allocated treatment for 3 months instead of 8 weeks. VirTele intervention dose was captured in terms of time spent on exergames, frequency of use of exergames, total number of successful repetitions, and frequency of videoconference sessions. Technical issues included the loss of passwords, internet issues, updates of the system, and problems with the avatar. Overall, most survivors of stroke found the technology easy to use and useful, except for 9% (1/11) of participants. For the Fugl-Meyer Assessment-UE and Motor Activity Log-30, both groups exhibited an improvement in >50% of the participants, which was maintained over time (from time point 3 to T4). Regarding Stroke Impact Scale-16 scores, the control group reported improvement in activities of daily life

(3/5, 60%), hand function (5/5, 100%), and mobility (2/5, 40%), whereas the experimental group reported varied and inconclusive results (from T1 to T4). For the Treatment Self-Regulation Questionnaire-15, 75% (3/4) of the experimental group demonstrated an increase in the autonomous motivation score (from T1 to time point 2), whereas, in the control group, this improvement was observed in only 9% (1/11) of participants.

*Conclusion:* The VirTele intervention constitutes another therapeutic alternative, in addition to conventional therapy, to deliver an intense personalized rehabilitation program for survivors of chronic stroke with UE sequelae.

*Clinical Trial:* *ClinicalTrials.gov* NCT03759106

**(JMIR Rehabil Assist Technol. 2022 Jun 22;9(2):e33745)** doi: [10.2196/33745](https://doi.org/10.2196/33745)

*Keywords:* Stroke; Rehabilitation; Virtual reality; Video games; Telerehabilitation; Upper Extremity; Motivation; mHealth; mobile health; personalized care; stroke rehabilitation

### **6.2.3. Introduction**

Many survivors of stroke experience sequelae in the upper extremity (UE; eg, weakness, loss of coordination, and nonuse syndrome) (Agence de la santé publique du Canada, 2009), which may affect activities of daily living in the long term (Hebert et al., 2016). Exergames are increasingly being used among survivors of stroke for different functional skills (eg, physical activity, UE exercises, mobility, and balance) in various practice settings (eg, rehabilitation centers, hospitals, clinics, community health centers, and homes) (Levac et al., 2017). Given the chronic nature of stroke, exergames present a relevant solution to continue exercising at home after discharge to maintain physical function and activity levels.

#### **6.2.3.1. Exergames: types and efficacy**

Two main types of exergames have been described in the literature: commercially available off-the-shelf systems and customized systems (Aramaki et al., 2019; Kim et al., 2020). Commercially available off-the-shelf systems, such as Nintendo Wii (Nintendo, 2014), Sony Playstation EyeToy games (Playstation wiki, s. d.) the Xbox 360 Kinect (Microsoft, s. d.), and new technologies (the

Xbox Series X (*Xbox Series X* / *Xbox*, s. d.) and Xbox one X (*Xbox One X*, s. d.) present simple solutions for real-time video capture at a low cost (the Xbox 360 costs US \$250) (Yates et al., 2016), which encourage their adoption in clinical studies, especially when home interventions are considered (Aramaki et al., 2019).

Customized systems are generally designed through research and use cutting edge technology to create a virtual environment, such as Computer Assisted Rehabilitation Environment (Motek, Netherlands) (van der Eerden et al., 1999) or Interactive Rehabilitation Exercise (IREX) (Gesture Tek, Canada) system 2D (*IREX* / *Gesturetek Health*, s. d.). Compared with commercially available off-the-shelf systems, these technologies offer personalized game settings (speed, range of movement, and number of repetitions). Indeed, environments of customized exergames offer conditions of practice similar to those of the physical world, allowing task-specific activities (eg, in IREX, placing boxes on different shelves, catching a ball instead of a soccer goalkeeper, and juggling balls) and mass repetition of the movement, which may promote neuroplasticity (Weiss et al., 2014).

Although customized exergames can be expensive (eg, the price of the IREX system can cost >US \$15,000) and accessible only through specialized rehabilitation centers (eg, the Computer Assisted Rehabilitation Environment requires a large space and supervision) (Lohse et al., 2014), some customized commercial systems can be more accessible to the population and only require a readily available Kinect camera to capture movement, in addition to computer and internet access (Kim et al., 2020), such as Doctor Kinetic (Doctor Kinetic, Netherlands), SaebVR (Saeb, United States), VirtualRehab (Evolv, Spain) and Jintronix (Jintronix, Canada).

A recent metanalysis by Aminov et al. (2018) showed statistically significant efficacy of both types of exergames (customized vs commercially available off-the-shelf systems) in improving UE motor function (eg, Fugl-Meyer Score), activity (eg, Box and Blocks Test), and social participation (eg, Motor Activity Log), when compared with conventional therapy. Commercially available systems demonstrated a low mean effect size (Hedge  $g=0.33$ ; 95% CI 0.14-0.51,  $P=.01$ ), whereas customized exergames showed a moderate mean effect size (Hedge  $g=0.58$ ; 95% CI 0.41-0.76,  $P=.01$ ) (Aminov et al., 2018). During the follow-up periods (4 to 6 weeks and 8-26 weeks), the

authors observed maintenance of these gains with weak to moderate effects on function and activity and small to nonsignificant effects on social participation (Aminov et al., 2018).

Overall, exergames offer several advantages compared with conventional therapy (eg, mass repetitions, feedback on activity, and motivation), which could explain the efficacy of these interventions in several meta-analyses (Ahn et Hwang, 2019; Aminov et al., 2018; H. S. Lee et al., 2019; Lohse et al., 2014; Maier et al., 2019; Saposnik et Levin, 2011). Several neuroscience studies have highlighted the ability of virtual reality (VR) to stimulate motor learning in the context of stroke (Merians et al., 2009, 2009, 2014). Moreover, Maier et al. (2019) explained the superior efficacy of customized exergames compared with commercially available systems based on the presence of more elements promoting neuroplasticity (in 11/22, 50% of studies using customized systems), such as varied practice, feedback (eg, score, encouragement, and real-time visualization of the hand), increasing difficulty, or specific task practice. Given the promising potential of customized exergames, it is worthwhile to consider implementing them at the homes of survivors of stroke to optimize the recovery of persistent UE sequelae and maintain gains over time.

#### 6.2.3.2. Telerehabilitation combined with exergames

Telerehabilitation refers to the use of information and communication technology that provides remote rehabilitation (Laver et al., 2013). Considering the context of the COVID-19 pandemic, telerehabilitation has been ideal to maintain the provision of rehabilitation services to those who need it most (older adults, people with difficulty accessing rehabilitation services, and people with deficits). The use of customized exergames combined with telerehabilitation may be an interesting alternative for rehabilitating UE deficits in survivors of chronic stroke while allowing for ongoing monitoring. When considering home interventions, exergames were usually provided with no supervision (McNulty et al., 2015; Standen et al., 2017) or only follow-up sessions by telephone (Adie et al., 2017; Gauthier et al., 2017; Linder et al., 2015), which may have left the window open to compensation, mismatch of difficulty progression and improvement, a decrease in motivation (Kairy et al., 2016) and feeling of loneliness (Farič et al., 2019). In addition, exergames using the Kinect camera aimed at UE rehabilitation offer exercises for the shoulder and elbow, with no emphasis on hand exercises. For example, the Kinect camera in the Jintronix

exergame does not detect the hand and fingers; therefore, specific hand exercises are not provided (Jintronix, s. d.). Thus, the use of VR and customized exergames combined with telerehabilitation (such as VirTele) is particularly relevant for providing a survivor of stroke-centered and exergame-based rehabilitation program (Allegue et al., 2020, 2021). ]. The VirTele technology was previously tested with a survivor of stroke and was shown to be feasible for use in remote UE rehabilitation, which helped inform this study's protocol (Allegue et al., 2021). The preliminary efficacy results showed improvement in UE motor function, quantity and quality of use, and impact on quality of life, along with a high level of autonomous motivation (Allegue et al., 2021), hence the interest in continuing to study the VirTele intervention with more participants. In addition, given the novelty of VirTele, information on the optimal dose, time since stroke, and criteria for identifying participants who may benefit the most from VirTele is needed.

Therefore, it is necessary to conduct a feasibility clinical trial to (1) determine the feasibility of using VirTele with survivors of chronic stroke at home and (2) explore the impact of VirTele on UE motor function, quantity and quality of use, quality of life, and motivation in survivors of chronic stroke compared with conventional therapy.

#### **6.2.4. Methods**

##### **6.2.4.1. Study design**

This study was a 2-arm feasibility clinical trial. Until the study could be pursued, considering the rapid progress of VR and telerehabilitation technologies, we considered it relevant to present the findings collected during the first 9 months (before the onset of the COVID-19 pandemic) to inform future technology development and implementation.

Eligible participants were randomly allocated to an experimental group (receiving VirTele for 8 weeks) or a control group (receiving conventional therapy for 8 weeks). Block randomization (block size of 6) was used, given the time and access to materials (3 computers were available at a time). There were 42 phone inquiries, during which 29 potential participants were excluded. A total of 13 potential participants were assessed for eligibility by in-person screening, and 11 were retained and randomly allocated to the control or experimental groups.

Outcome measurements were administered to both groups at four time points: before starting the intervention (time point 1 [T1]), after the end of the 2-month intervention (time point 2 [T2]), 1 month later (time point 3 [T3]), and 2 months later (time point 4 [T4]). Research team members who were blinded to group assignment and not involved in the interventions (VirTele or conventional therapy) were responsible for the randomization. During the period of the COVID-19 pandemic, evaluators could not be blinded to the group assignment as the participants in the experimental group were evaluated using the telerehabilitation system used in VirTele intervention.

#### 6.2.4.2. Ethics approval

Before enrollment, all participants provided informed consent. This feasibility clinical trial was registered at ClinicalTrials.gov (NCT03759106) and was approved by the Research Ethics Board of the Center for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal (Allegue et al., 2020). This study was conducted according to the CONSORT (Consolidated Standard of Reporting Trials) guidelines (equator-network, s. d.).

#### 6.2.4.3. Participant selection and recruitment strategy

Participants were recruited from the archives of rehabilitation centers (offline via a database of potential participants) and the community situated in Montreal (via the ClinicaTtrials.gov website; Quebec, Canada) (Allegue et al., 2020). Eligible participants included survivors of stroke (ischemic or hemorrhagic) with residual UE impairment (Chedoke-McMaster arm component, scores 2-6), who stopped receiving rehabilitation services and were able to use the exergame system (eg, move the exergame avatar with the affected UE) (Allegue et al., 2020). Participants were excluded if they had severe cognitive or communication impairment, uncontrolled medical conditions (eg, cardiac condition), balance deficits, visual impairment, and UE mobility deficits (restricted movements or inability to move the avatar).

Eligibility was assessed by a research assistant. The study therapists included physiotherapists working in the Montreal area with experience in stroke rehabilitation.

#### 6.2.4.4. Intervention protocol

##### 6.2.4.4.1. *Experimental group*

The experimental group received the VirTele program. VirTele is an 8-week home rehabilitation program that includes Jintronix exergames (Jintronix, s. d.) for UE rehabilitation and the Reacts app (Reacts, s. d.) to conduct videoconference sessions with clinicians. The experimental group received the VirTele equipment at home which included a computer, a Kinect camera, the Reacts app, the Jintronix software, and a USB internet key (if needed). Before starting the intervention, participants, including clinicians and survivors of chronic stroke, received a 1-hour training session to familiarize themselves with the Jintronix exergames and the Reacts app (Allegue et al., 2020).

The clinician adjusted the difficulty parameters of each game remotely (eg, speed, duration, number of repetitions, and direction of the trajectory) according to the participant's preference and functional abilities. An automated log system of the participant's performance during exergames was available on the Jintronix portal (eg, active time spent on exergames, scores, number of tasks completed, and amount of trunk compensation), allowing the clinician to monitor the participant's progression. The training protocol included five 30-minute sessions of Jintronix exergames per week for 8 weeks, targeting 20 hours of training overall.

The Reacts app (Reacts, s. d.), a videoconferencing platform, was used by the clinician to schedule videoconference meetings synchronized with sessions when the survivor of stroke was playing exergames to, for example, supervise the participant's performance, correct their posture, grade the difficulty based on performance, and match games to the participant's preferences and needs. Furthermore, the Reacts app was also used by the clinician to administer motivational interviewing (Hardcastle et al., 2016).

Motivational interviewing is a person-centered approach used in behavioral interventions, which comprises behavior change techniques (BCTs) (Michie et al., 2013) and relational techniques (Hardcastle et al., 2016). Motivational interviewing has also been associated with self-determination theory (SDT) (Deci et Ryan, 2000; Miller et Rollnick, 2012). The SDT is an approach that highlights the importance of autonomy and engaging individuals in their decision-making process (Deci et Ryan, 2000). According to the SDT, clinicians can create a social environment that

fosters autonomy (volition in one's actions), competence (belief in one's actions), and relatedness (sense of belonging), which are 3 dimensions that are essential for promoting autonomous motivation and well-being (Deci et Ryan, 2017). In line with the SDT, survivors of stroke were given greater autonomy in determining their program by being able to choose from a range of exercises, being involved in grading the difficulty level of the games, and identifying strategies to increase the use of their affected UE in the long term through self-directed exercises and daily activities (eg, using the affected UE for dressing). In addition to exergames, supplementary exercises targeting hand fine motor skills and UE were suggested by the clinician to meet the individual goals of the survivors of stroke.

The videoconferencing sessions were scheduled as follows: 3 times a week for the first 2 weeks, twice a week for the following 2 weeks, and then once a week for the remaining 4 weeks to maintain motivation, ensure that the exercises are adequately tailored, and identify strategies to maintain the activity level of the UE after the study ended.

The training of the VirTele group was conducted at the participant's home after the installation of the equipment and lasted approximately 30 minutes to 1 hour. The training included a practical workshop on the use of the exergames and videoconferencing system. At the end of the training, a VirTele user manual (developed by the research team) was provided to the participants. Clinicians were trained in motivational interviewing (Hardcastle et al., 2016) before the start of the study. A motivational interviewing guide (discussion plan) based on BCTs (Michie et al., 2013) and motivational techniques (Hardcastle et al., 2016) was conceived by the research team and provided to the clinicians as a support tool that can help them choose strategies adapted to the client's needs.

For further information regarding the Reacts app, Jintronix exergames, and motivational interviewing, refer to the published study protocol (Allegue et al., 2020) or previous case studies, exploring VirTele use among survivors of stroke (Allegue et al., 2021; Allegue et al., 2021).

#### *6.2.4.4.2. Control group*

In Canada, survivors of chronic stroke receive the Graded Repetitive Arm Supplementary Program (GRASP) (Harris et al., 2009) as a home rehabilitation training program to exercise the affected



UE and use it in activities of daily living (Hebert et al., 2016). Therefore, the control group received the GRASP, which included exercises for the arm and hand (strengthening and range of motion), and functional activities targeting the UE (Harris et al., 2009). The GRASP equipment included various sizes of Lego and wooden blocks, poker chips, clothes pegs, popsicle sticks and toothpicks, paper clips of various sizes, various jars, a weight of 0.45 kg, tennis ball, foam ball, plastic cup, modeling clay, knife and fork, and a target board (Harris et al., 2009). The control group was invited to perform the GRASP exercises for 8 weeks, 5 days per week (30-minute sessions), targeting 20 hours of exercise overall (same as the experimental group) (Allegue et al., 2020). The time spent on the GRASP program, the number of sessions, and events such as fatigue and pain were reported at T2 after the intervention was terminated. No follow-up was provided during the 8-week intervention period, similar to conventional therapy. However, at the end of the study, the participants were offered one session with the clinician to discuss strategies for improving the use of UE in activities of daily living (Allegue et al., 2020). All participants received a 30-minute training to familiarize themselves with the GRASP equipment and exercises (Allegue et al., 2020).

#### 6.2.4.5. Outcomes measures

##### 6.2.4.5.1. *Overview*

At the start of the study, participant evaluations were conducted at the Center for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal in the presence of an evaluator. At the start of the COVID-19 pandemic, all research activities at the research site were suspended, and all evaluations were conducted remotely. For the experimental group, the evaluations were conducted using the Reacts videoconferencing system. For the control group, the evaluations were conducted either by phone or by a videoconferencing system available at the participant's home.

##### 6.2.4.5.2. *Feasibility indicators*

Given the novelty of VirTele, the feasibility data collected for the experimental group included the number and active time spent on exergame sessions, frequency and time spent by the clinician during videoconferencing sessions, exercise adherence, and resource use (equipment and technical support). These were obtained directly from the Jintronix and Reacts systems, as

well as from intervention logs completed by the clinician at the end of each session. Safety indicators, such as the occurrence of adverse events (eg, pain, fatigue, and dizziness), were documented by the clinician and technical team (Allegue et al., 2020). Information about technical difficulties was obtained from a log completed by the clinicians and technical team (Allegue et al., 2020). Satisfaction with the technology and the interaction between the clinician and the survivor of stroke were assessed with the Modified Short Feedback Questionnaire (adapted from Davis (Davis, 1989)), and the Health Care Climate Questionnaire (Perceived Autonomy Support) (Gremigni et al., 2008). The modified Short feedback Questionnaire includes 2 subscales with 6 items, including a 7-point Likert-type scale ranging from *extremely likely* (score 1) to *extremely unlikely* (score 7). The first subscale evaluates the perceived usefulness (total score range 6-42; a lower score indicates that the technology is extremely useful) and the second subscale evaluates the perceived ease of use (total score range 6-42; a lower score indicates that the technology is extremely easy to use). The Health Care Climate Questionnaire includes 6 items with a 7-point Likert-type scale ranging from *strongly agree* (score 1) to *strongly disagree* (score 7), evaluating the need for support from the clinician, as perceived by the survivor of stroke (total score range 6-42; a high score indicates a higher perceived need for support from the clinician).

The process indicators were also documented to inform the validity of the study protocol and included data on recruitment rate (rate of participants per month and duration of recruitment) and retention rate (percentage of participants who completed the VirTele program) (Allegue et al., 2020).

#### 6.2.4.5.3. *Performance outcome measure*

The Fugl-Meyer Assessment- UE (FMA-UE) (Page et al., 2015; Singer et Garcia-Vega, 2017) motor function score was used as the primary outcome to evaluate the UE motor function impairment. The FMA-UE motor function score (Page et al., 2015; Singer et Garcia-Vega, 2017) captures synergy, coordination, and sensorimotor function (UE, wrist, and hand). The FMA-UE score has been shown to be valid in participants with stroke (De Weerd et Harrison, 1985) and reliable for administration at a distance (video observation of an evaluator administering the FMA-UE on site) (Amano et al., 2018). Given the COVID-19 pandemic, we tested the feasibility of administering the

FMA-UE motor function at a distance with no on-site evaluator (video observation of the participant's performance), which was pretested in a previous study with a first survivor of stroke (Allegue et al., 2021). With respect to the various collection methods (by videoconferencing, by telephone, or on site), the FMA-UE motor function score was adjusted to 60 in all participants (experimental and control groups) by eliminating the parts of the scale that could not be evaluated remotely (reflex activity component).

#### 6.2.4.5.4. *Self-reported questionnaires*

The secondary outcomes included the Motor Activity log-30 (MAL) (Lang et al., 2008; J. H. van der Lee et al., 2004), the Stroke Impact Scale-16 (SIS) (Chou et al., 2015; Fulk et al., 2010), and the Treatment Self-Regulation Questionnaire-15 (TSRQ) (Levesque et al., 2007).

The MAL-30 captures both quality (MAL-30 quality of use) and quantity of use (MAL-30 amount of use) of the affected UE in 30 daily activities (eg, writing on paper, brushing teeth, using a fork, or spoon for eating) (Lang et al., 2008; van der Lee et al., 2004). The MAL-30 is reliable and valid for the poststroke population (Silva et al., 2019).

The SIS-16 is a 16-item questionnaire that captures the impact of stroke on the quality of life regarding hand function, activities of daily living, and mobility (Chou et al., 2015; Fulk et al., 2010). The SIS-16 has demonstrated good reliability and validity (Edwards et O'Connell, 2003).

The TSRQ-15, a 15-item questionnaire, captures different processes of motivation, consistent with the SDT, including autonomous motivation, "where a person accepts changes and behaves autonomously"; amotivation or the "lack of motivation"; external regulation, "where a person behaves to obtain a reward, or avoid punishment"; and introjected regulation, "where a person behaves for pride or to avoid feeling guilty" (Levesque et al., 2007). The TSRQ-15 has demonstrated good reliability and validity across health care and rehabilitation contexts (Chan et al., 2009; Levesque et al., 2007).

#### 6.2.4.6. *Data analysis*

Descriptive statistics (means, frequencies, and SDs) were used to (1) describe the sociodemographic characteristics of survivors of chronic stroke in both groups (age, sex,

dominance, time since stroke, type of stroke, side of stroke, Chedoke-McMaster UE score, living arrangement, and ability to use a computer), (2) report feasibility indicators (eg, time spent on exergames, frequency of use, total number of repetitions, number of videoconferencing sessions, satisfaction with the technology, and perceived autonomy support), and (3) report impact indicators (frequency of participants who improved and worsened for each outcome measure). All outcome measure changes were compared with their minimal clinically important differences (MCIDs) when applicable (Allegue et al., 2020).

## **6.2.5. Results**

### 6.2.5.1. Overview

As research activities were suspended because of the COVID-19 pandemic, data collection, as scheduled in the research protocol (Allegue et al., 2020), was delayed and extended. A total of 11 survivors of stroke were randomized and allocated to a treatment group (VirTele intervention or conventional therapy). The attrition rate was 18% (2/11), as 2 participants from the VirTele group did not complete the study (Figure 10). One of the patients was lost at follow-up because of an inability to commit time, and one discontinued the VirTele intervention because of difficulties using technology (unable to use the mouse or the keyboard and to start the computer).

Approximately 50% (2/4) of participants in the experimental group and 20% (1/5) of participants in the control group received their allocated treatment at the onset of the COVID-19 pandemic in Canada (March 2021). At that time, every research activity was suspended, and outcome measurements at T2 could not be administered. Thus, participants were offered the opportunity to pursue the allocated treatment for 3 months instead of 8 weeks and were evaluated remotely at the end of the 3-month intervention (T2), a month later (T3), and 2 months later (T4). The sociodemographic data are provided in Tableau 5.

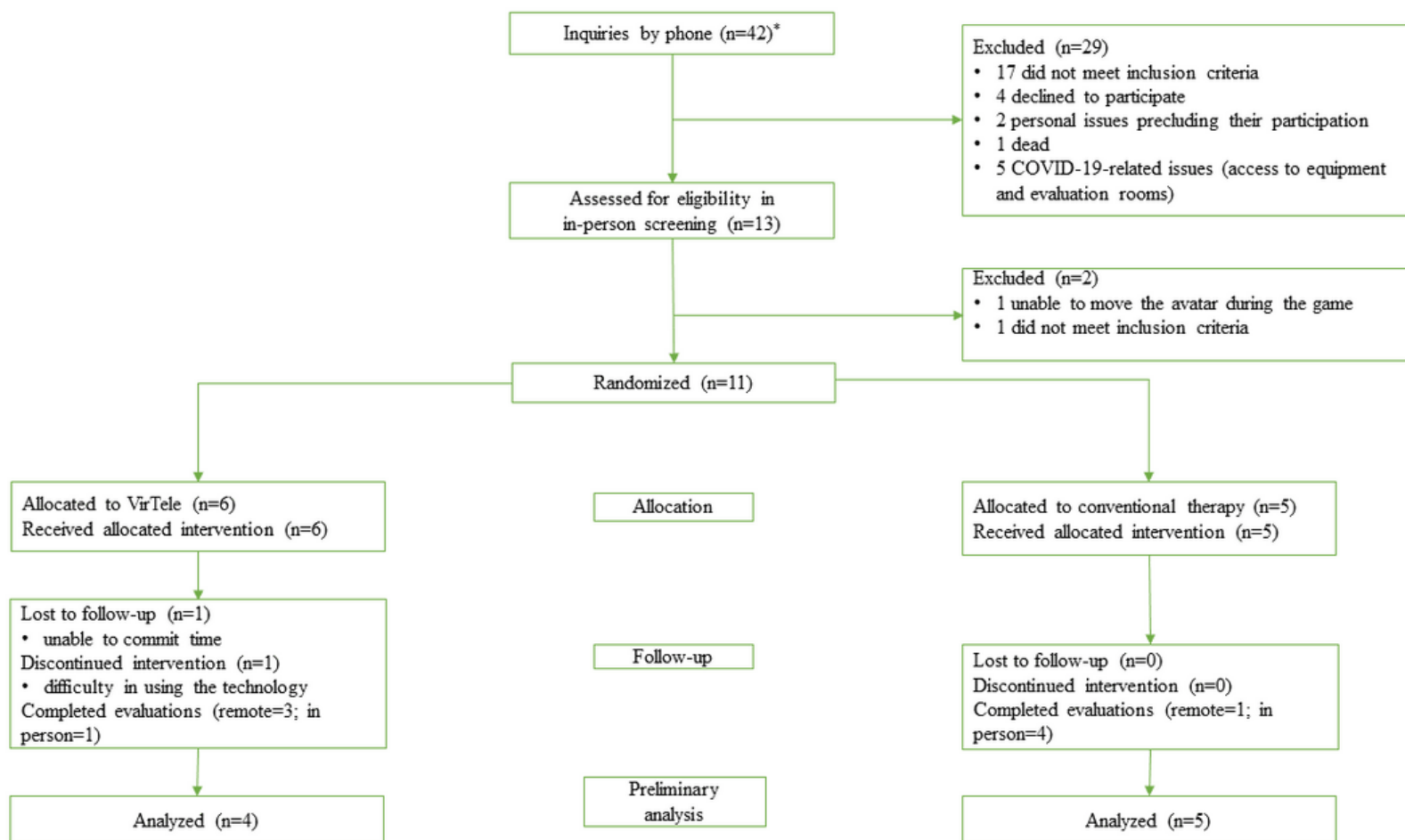


Figure 10. – Group allocation, follow up and data analysis (Article n°3)

**Tableau 5.** – Sociodemographic data (N=9) (Article n°3).

Characteristics		VirTele group (n=4)	Control group (n=5)
		Distribution	Distribution
<b>Age (years), mean (SD)</b>		57.8 (21.8)	56.4 (17.3)
<b>Sex, n (%)</b>			
	Male	2 (50)	2 (40)
	Female	2 (50)	3 (60)
<b>Hand dominance, n (%)</b>			
	Right	3 (75)	3 (60)
	Left		2 (40)
	Ambidextrous	1 (25)	
<b>Time post-stroke (Years), mean (SD)</b>		8 (2)	9.8 (3.0)
<b>Type of stroke, n (%)</b>			
	Hemorrhagic	1 (25) <sup>a</sup>	2 (40)
	Ischemic	2 (50) <sup>a</sup>	3 (60)
<b>Side of stroke, n (%)</b>			
	Right	4 (100)	3 (60)
	Left	0	2 (40)
<b>Chedoke McMaster UE score, mean (SD)</b>		3.8 (1.0)	4.8 (1.3)
<b>Living arrangement, n (%)</b>			

	Living with family	3 (75)	2 (40)
	Living alone	1 (25)	3 (60)
<b>Ability to use a computer, n (%)</b>			
	Excellent	1 (25)	2 (40)
	Good	2 (50)	2 (40)
	Poor	1 (25)	1 (20)

<sup>a</sup>Participant ID11 information regarding the type of stroke was not available at the time

#### 6.2.5.2. Feasibility indicators

##### 6.2.5.2.1. Process indicators

Of the 42 inquiries by phone, 11 (26%) participants met the eligibility criteria and accepted to participate in the study. The rate of participant recruitment per month ranged from 0 to 6. In the VirTele group, 85% (5/6) of the participants completed the 8-week intervention (or the 3-month intervention during the COVID-19 pandemic). One of the participants discontinued the intervention because of persistent technical difficulties in accessing the VR system despite training (Figure 10).

##### 6.2.5.2.2. Resources

The active time spent on exergames, the number of exergame sessions, the total number of repetitions, and activities performed in parallel to VirTele (which implies the use of UEs) of each participant receiving VirTele intervention are reported in Tableau 6.

The frequency of videoconference sessions varied between 9 and 11 sessions during the first 4 weeks (mean 9.8, SD 1.0), followed by 3 to 7 sessions during the second month (mean 5. SD 1.826) and 4 to 6 sessions during the third month (mean 5.0, SD 1.4).

**Tableau 6.** – Exergame sessions and activities performed by each participant receiving VirTele intervention (Article n°3).

Participant ID and total	Time spent on exergames (hours)		Frequency of use of exergames	Total number of repetitions <sup>a</sup>		Activities (other than those provided in VirTele)
	2-months	third month		2-months	Third month	
<b>ID1</b>	18	N/A <sup>b</sup>	84	17,101	N/A <sup>b</sup>	Stretching, cooking and housework (cleaning and laundry)
<b>ID5</b>	20	<u>N/A<sup>b</sup></u>	49	12,854	N/A <sup>b</sup>	Exercises
<b>ID10</b>	15.03	14.28	59	13,130	18,759	Housework (cleaning and laundry)
<b>ID11</b>	13.18	4.23	58	11,649	5312	Housework (cleaning and laundry)
<b>Total, mean (SD)</b>	16.6 (3.0)	9.2 (7.1)	62.5 (15.0)	13,683 (2367)	12,035 (9508)	— <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Reflects the number of successful tasks or movements completed during the exergame.

<sup>b</sup>N/A: not applicable

<sup>c</sup>Not available

The frequency of use and time spent on GRASP, as well as activities performed in parallel with GRASP (which implied the use of UEs), are reported in Table 3. Participant ID4, who did not use the GRASP during the 8-week intervention, reported that he was discouraged by the program as it mainly focused on his hand and wrist, which he could not move anymore since the stroke. Although participant ID9 received GRASP for 3 months, he only used the program for 6 weeks.



**Tableau 7.** – Frequency of use and time spent on GRASP<sup>a</sup> in the control group (Article n°3).

Participant ID and total	Time spent on GRASP (hours)		Frequency of use of GRASP	Activities (other than GRASP)
	2-months	Third month		
ID3	4	N/A <sup>b</sup>	16	Bodybuilding, housework, and cooking
ID4	0	N/A	0	Tennis (nonaffected hand), cooking and housework
ID6	8	N/A	16	Swimming, exercises and housework
ID7	84	N/A	56	Housework, using a computer, and exercises
ID9	30	0	30	Gardening and shopping
<b>Total, mean (SD)</b>	25.2 (34.86)	0 (0)	23.6 (20.99)	— <sup>c</sup>

<sup>a</sup>GRASP: Graded Repetitive Arm Supplementary Program.

<sup>b</sup>N/A: not applicable.

<sup>c</sup>Not available.

#### 6.2.5.2.3. Management

Technical issues were reported from the clinicians' logs and included loss of password (to access the Reacts app) by the participant, internet issues, update of the system, sound or video cut off, and problems with the avatar (did not follow the movements of the UE). Technical issues were mainly managed by the clinician, the participant, or the participant's caregiver. The technical team intervened once on site to deliver a 3G key, as the participant had no more internet access, and once by telephone with a participant to help them recover their passwords.

The clinicians' logs showed that BCTs and motivational techniques were applied during the VirTele intervention with each participant in the experimental group. Among the 4 participants who completed the VirTele intervention, 3 (75%) participants (ID1, ID10, and ID11) reported more frequent use of the affected UE in activities of daily life and self-directed exercises (during the intervention), and 3 (75%) participants (ID1, ID5, and ID10) maintained the use of the affected UE after the intervention was terminated.

#### 6.2.5.2.4. *Scientific feasibility*

The 4 participants in the experimental group reported fatigue of the affected UE, which was managed by the clinician (by suggesting rest and stretching postures). Participant ID10 reported an increase in pain in the less-affected UE during the third month of VirTele; however, it did not seem to affect his adherence to the intervention, as recorded in the automatic logs accessible in the Jintronix portal (executed 59 sessions of exergames and spent 14 hours playing during the third month; Tableau 6).

The Health Care Climate Questionnaire showed a high score for perceived autonomy support in the experimental group (mean score 41.0, SD 1.7). Regarding the results of the perceived usefulness and perceived ease of use, most participants (3/4, 75%) found the technology extremely easy to use (mean score 11.0, SD 6.6) and extremely or quite useful (mean score 13.8, SD 15.5). Participant ID5 found the technology extremely or quite difficult to use (score 37/42) and slightly useful (score 20/42).

#### 6.2.5.3. Performance outcome measure

For the primary outcome (FMA-UE motor function score), 50% (2/4, in each group) exhibited an improvement with important change scores equal to or within the MCID ranges (between 4.25 and 7.25), maintained over time, from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention (Tableau 8). Participant ID9 in the control group could not be evaluated as the FMA-UE could not be administered by phone (the only technology used by the participant) during the COVID-19 pandemic.

**Tableau 8.** – Fugl Meyer Assessment -Upper Extremity motor function score in the experimental and control groups (Article n°3).

		Fugl Meyer Assessment- Upper extremity motor function score (0-60)			
Group	Participant ID	Time point 1	Time point 2	Time point 3	Time point 4
<b>Experimental</b>					
	<b>ID1</b>	24	31	28	41
	<b>ID5</b>	50	43	48	51
	<b>ID10</b>	18	14	18	18
	<b>ID 11</b>	25	29	31	24
<b>Control</b>					
	<b>ID3</b>	43	48	42	41
	<b>ID4</b>	4	9	8	6
	<b>ID6</b>	46	47	57	59
	<b>ID7</b>	52	42	46	46

#### 6.2.5.4. Self-reported questionnaires

##### 6.2.5.4.1. MAL-30 Questionnaire

Regarding the MAL-quantity of use, all participants 100% (4/4) in the experimental group exhibited improvement from baseline (T1) to postintervention (T2), with the maintenance of

benefits over time, from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention, whereas the control group showed improvement in 80% (4/5) of the participants from baseline (T1) to postintervention (T2), with maintained gains over time from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention (Tableau 9). The MCID of the MAL-30 quantity of use was not available at that time.

For the MAL-30 quality of use, all participants in the experimental (4/4, 100%) and the control (5/5, 100%) groups demonstrated improvement from baseline (T1) to postintervention (T2), maintained over time from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention, 2 of which reached the MCID (between 1.0 and 1.1) (Lang et al., 2008) (Tableau 9).

**Tableau 9.** – Motor activity log scores in the experimental and control group (Article n°3).

Group and participant ID		Motor Activity Log-30: quantity and quality of use of the affected upper extremity							
		Score quantity of use (from 0-5)				Score quality of use (from -5)			
		Time point 1	Time point 2	Time point 3	Time point4	Time point 1	Time point 2	Time point 3	Time point4
<b>Experimental group</b>									
	<b>ID1</b>	0.26	0.87	0.63	0.98	0.26	0.93	0.70	0.78
	<b>ID5</b>	1.64	2.07	2.91	2.71	1.32	1.68	2.45	2.34
	<b>ID10</b>	0.10	1.13	0.63	0.53	0.13	1.17	0.90	0.47
	<b>ID 11</b>	0.00	0.34	0.36	0.32	0.00	0.38	0.41	0.38
<b>Control group</b>									
	<b>ID3</b>	0.70	0.57	1.00	1.13	0.83	1.30	1.06	1.18

	<b>ID4</b>	0.00	0.07	0.07	0.10	0.00	0.03	0.07	0.10
	<b>ID6</b>	1.86	3.19	3.14	3.36	2.10	3.34	3.39	3.86
	<b>ID7</b>	1.21	2.69	2.64	3.14	1.52	2.72	2.58	2.93
	<b>ID9</b>	0.03	0.20	0.22	0.22	0.01	0.31	0.38	0.24

#### 6.2.5.4.2. SIS-16 Questionnaire

For the SIS-16 hand function, only one of the participants in the experimental group exhibited improvement for the item “carry heavy objects (eg, bag of groceries)”, with a score higher than the MCID (between 9.4 and 14.1) (Fulk et al., 2010). All participants (5/5, 100%) in the control group, demonstrated improvement from baseline (T1) to postintervention (T2), maintained over time, from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention, with all scores higher than the MCID (Tableau 10).

For the SIS-16 activities of daily life, 50% (2/4) of the participants in the experimental group demonstrated improvement from baseline (T1) to postintervention (T2), maintained over time from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention in only 1 participant (MCID was not detected). In the control group, 60% (3/5) of the participants exhibited improvement higher or within the MCID from baseline (T1) to 2 months after the intervention (T4; Tableau 10).

Regarding the SIS-16 mobility, 50% (2/4) of participants in the experimental group exhibited improvement from baseline (T1) to postintervention (T2), maintained over time from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention, with a score higher than the MCID in only 1 participant. In the control group, 40% (2/5) of the participants exhibited improvement from baseline (T1) to postintervention (T2), maintained over time from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention, with scores within or higher than the MCID (Tableau 10).

**Tableau 10.** – Stroke Impact Scale scores in the experimental and control groups (Article n°3).

Group and participant ID		SIS <sup>a</sup> hand function (from 0 to 100)				SIS <sup>a</sup> activities of daily life (from 0 to 100)				SIS <sup>a</sup> mobility (from 0 to 100)			
		T1 <sup>b</sup>	T2 <sup>c</sup>	T3 <sup>d</sup>	T4 <sup>e</sup>	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
<b>Experimental group</b>													
	<b>ID1</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	96	100	100	100
	<b>ID5</b>	0	0	25	0	47	50	53	38	46	61	46	54
	<b>ID10</b>	75	75	0	0	97	81	88	78	82	82	57	61
	<b>ID 11</b>	75	50	50	50	69	72	78	75	75	68	79	79
<b>Control group</b>													
	<b>ID3</b>	25	25	25	50	84	88	91	94	82	100	89	93
	<b>ID4</b>	75	75	100	75	91	75	81	81	89	86	96	93
	<b>ID6</b>	0	25	50	50	56	63	78	69	61	75	71	75
	<b>ID7</b>	25	50	100	100	100	97	97	94	100	100	96	100
	<b>ID9</b>	0	50	50	50	66	63	84	94	68	50	75	68

<sup>a</sup>SIS-16: Stroke Impact Scale-16.

<sup>b</sup>T1: time point 1.

<sup>c</sup>T2: time point 2.

<sup>d</sup>T3: time point 3.

<sup>e</sup>T4: time point 4.

#### 6.2.5.4.3. TSRQ measure

In the experimental group, 75% (3/4) of the participants demonstrated an increase in their autonomous motivation score from baseline (T1) to 2 months after the intervention (T4). Further examination of the regulations that define the controlled motivation in the experimental group

showed an increase in introjected regulation from baseline (T1) to postintervention (T2) in 75% (3/4) of the participants, maintained over time from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention in only 1 participant. In parallel, the external regulation showed an increase of 75% (3/4) in the participants from baseline (T1) to postintervention (T2), with a tendency to decrease in the follow-up period from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention. The motivation score was substantially low in all participants at all times (Tableau 11).

In the control group, only one of the participants demonstrated an increase in autonomous motivation from baseline (T1) to postintervention (T2), maintained over time from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention. The examination of the introjected regulation showed substantially no change from baseline (T1) to postintervention (T2) in 80% (4/5) of the participants. The external regulation scores showed a tendency of increase in 40% (2/5) of the participants, maintained over time from 1 (T3) to 2 months (T4) after the intervention in only 1 participant. One of the participants showed a decrease from baseline (T1) to 2 months after the intervention (T4) in both introjected and external regulations. Amotivation scores tended to increase in 80% (4/5) of participants (Tableau 11).

**Tableau 11.** – Treatment self-regulation scores in the experimental and control groups  
(Article n°3).

Group and participant ID		Autonomous motivation				Introjected regulation				External regulation				Amotivation			
		T1 <sup>a</sup>	T2 <sup>b</sup>	T3 <sup>c</sup>	T4 <sup>d</sup>	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
<b>Experimental group</b>																	
	<b>ID1</b>	42	42	42	43	14	14	14	8	4	10	4	4	3	3	3	3
	<b>ID5</b>	34	41	41	36	10	14	11	8	15	19	20	4	9	9	8	9

	<b>ID10</b>	42	42	42	42	2	8	14	12	16	11	16	22	9	6	9	9
	<b>ID 11</b>	19	27	24	24	5	10	5	6	9	13	12	11	8	7	4	11
<b>Control group</b>																	
	<b>ID3</b>	38	40	42	40	2	2	3	2	4	7	7	7	3	7	9	3
	<b>ID4</b>	40	39	42	39	10	11	11	11	8	6	17	12	6	6	8	8
	<b>ID6</b>	40	27	40	39	10	2	2	2	11	4	5	7	6	9	3	9
	<b>ID7</b>	40	32	33	33	13	13	13	2	24	10	16	4	9	3	8	3
	<b>ID9</b>	30	24	21	24	9	8	2	2	6	10	4	4	6	3	9	9

<sup>a</sup>T1: time point 1.

<sup>b</sup>T2: time point 2.

<sup>c</sup>T3: time point 3.

<sup>d</sup>T4: time point 4.

## 6.2.6. Discussion

The objectives of this feasibility clinical trial were to (1) determine the feasibility of using VirTele with survivors of chronic stroke at home and (2) explore the impact of VirTele on UE motor function, quantity, quality of use, quality of life, and motivation in survivors of chronic stroke compared with conventional therapy.

### 6.2.6.1. Feasibility and impact indicators

#### 6.2.6.1.1. Feasibility indicators

##### 6.2.6.1.1.1. Criteria of VirTele use

The results of this study suggest that VirTele is feasible to use at home among survivors of chronic stroke, aged 41 to 89 (mean 56.8, SD 21.8) years with 8 (SD 2) years since the stroke. However,



certain criteria should be respected to benefit as much as possible from this technology, such as minimum knowledge of using computers (how to use a mouse and keyboard) or having a caregiver who is comfortable with computers and no severe aphasia that limits communication between the clinician and the survivor of the stroke. Overall, most survivors of stroke found the technology easy to use and useful, except for one of the participants.

The training provided before starting the intervention seems adequate for survivors of chronic stroke who have used a computer before but should be adjusted to better prepare participants who are not familiar with computers (never used before), such as a longer period of familiarization and personalized training. Although the clinicians reported no difficulties regarding technology use, novice clinicians may require support to address interoperability issues and acquire new skills (eg, choose exergames based on client capacities and goals, create exergame-based rehabilitation programs, select appropriate clients, and grade difficulty levels) to enhance their self-efficacy during practice (Levac et al., 2017).

#### 6.2.6.1.1.2. Dose of VirTele intervention

In the context of this study, VirTele intervention dose was captured in terms of time spent on In the context of this study, VirTele intervention dose was captured in terms of time spent on exergames (2 months: mean 16.6, SD 3.0 hours; third month: mean 9.3, SD 7.1 hours), frequency of use (mean 62.5, range 49-84 sessions), and the total number of successful repetitions (2 months: mean 13,683, SD 2367; third month: mean 12,035.5, SD 9508.46). Interestingly, dose in terms of time spent on exergames and frequency of use did not seem to have any moderating effect on FMA-UE and SIS-16 scores, which echo the findings of a previous study that found no advantages for higher dosing (duration and frequency of use) of VR approaches on rehabilitation outcomes (eg, FMA-UE, box, block) (Aminov et al., 2018). However, the performance of approximately 17,000 repetitions of successful tasks or movements during exergames appears to be the gold standard for achieving clinical improvements in UE motor function. Although participant ID10 attained 30,000 repetitions, no improvement was observed in the FMA-UE, which suggests that intense repetition is not always the gold key to recovery, as reported in a previous study (where UE improvement was attained following 30,341 repetitions) (Allegue et al.,

2021). Furthermore, participant ID10 reported increased fatigue in the affected UE and pain in the less-affected UE, which reflects symptoms of overexercising and may prevent or reduce potential improvement. An evaluation of the FMA-UE score after the 8-week intervention in participant ID10 could have provided a better indicator of the UE motor condition (before the onset of symptoms at the third month).

Although all participants in the experimental group improved their MAL-30 scores, the MCIDs were only detected in participants ID5 and ID10, who spent the longest time on exergames (range 20-29 hours), which suggests a potential link between doses in terms of time spent on exergames and clinical improvement at the MAL-30. Previous studies conducted by Levin et al. (2012)(delivered 6.8 hours of video capture exergames) and Housman et al. (2009) (delivered 24 hours of gravity-supported exergames) intending UE rehabilitation in survivors of chronic stroke found no change and significant improvement, respectively, sustained at 6 months on the MAL scores. These findings suggest that longer exposure to exergames may lead to better outcomes in participation in real-life activities and support the potential transfer of gains from the virtual environment to physical real-life activities.

#### 6.2.6.1.1.3. The optimal duration of VirTele intervention

The optimal effective duration of VirTele intervention (8 or 12 weeks) is not yet clear, considering the varied results of the primary and secondary outcomes between participants in the experimental group. However, it is worth noting that the total number of repetitions and frequency of use of the technology are not always affected by VirTele duration. For example, participant ID1, who used VirTele for 8 weeks, achieved a higher dose of repetition and frequency of use of the exergames than participant ID11, who used VirTele for 3 months. Further examination of the level of amotivation at baseline showed that participants with the lowest level of amotivation (ie, high motivation) had the highest dose of repetition and frequency of use during the first 8 weeks. This may suggest that motivation should be evaluated before starting the VirTele intervention to determine the adequate duration (8 or 12 weeks) necessary to achieve a high dose of repetition and frequency of use and that an appropriate motivational strategy should be provided to individuals who are amotivated.

#### 6.2.6.1.1.4. Factors that may affect adherence to VirTele intervention

During the first 8-week intervention period, female participants (ID1 and ID5) achieved the highest level of adherence to exergames compared with male participants (ID10 and ID11), which suggests that sex may play a role in choosing to play or not the VirTele exergames. A previous study (Phan et al., 2012) conducted on healthy participants aged 18 to 51 (mean 21.65, SD 4.43) years, showed that women preferred physically internet-based games compared with men, which may explain the higher level of adherence to VirTele exergames in women, although it should be carefully interpreted, considering the small sample size and other factors related to motivation and stroke (eg, UE weakness and pain), which may affect adherence to the system.

Age did not seem to affect adherence to the VirTele program, although lack of knowledge in information technology was often associated with older participants. Participant ID5, who was not familiar with information technology, had a caregiver who helped her use the system and was compliant with the VirTele program. However, previous experience in information technology may facilitate the use of this technology.

#### 6.2.6.1.2. *VirTele impact indicators*

Regarding the primary outcome (FMA-UE), the experimental group reached the MCID from baseline (T1) to 2 months after the intervention (T4). This result is particularly relevant as the MCID was detected even if the total score of the scale was adjusted to 60, which supports the feasibility of administering the FMA-UE motor function remotely (without an evaluator on site). This result also supports the findings of a previous study (Amano et al., 2018) that examined the measurement properties of FMA-UE when administered remotely.

Regarding the secondary outcomes, both groups demonstrated improvement in the MAL-30 quantity and quality of use, which may suggest that the VirTele intervention is comparable with conventional therapy in terms of somatosensory information feedback, affecting the UE quality of movement. The supplementary exercises provided in VirTele (in addition to exergames) may have played a role in the integration of somatosensory information by manipulating real-life objects with force and tactile feedback, which are important for motor learning (Weiss et al., 2014).

Regarding the quality of life (SIS-16 scores), the control group reported improvement in activities of daily life and hand function in 60% (3/5) and 100% (5/5) of the participants, respectively. In contrast, the experimental group reported varied and inconclusive results in terms of activities of daily life and hand function, despite the increased use of the UE (MAL-30 quantity) and improvement in the quality of use (MAL-30 quality). Participant ID1 reported a score of 100% (from T1 to T4) in SIS-16 hand function and activities of daily life, which indicates that no further gains can be achieved. Participant ID10 reported the appearance of pain in the less-affected UE (during the third month of VirTele intervention), which may have affected his performance during activities of daily life and the score of the SIS-16 hand function for the item “carry heavy objects (eg, bag of groceries)” as survivors of stroke often use compensatory strategies by the less-affected UE to help or assist the performance of the affected UE (Oujamaa et al., 2009).

Further explanation of the difference between the two groups regarding the SIS-16 scores may be associated with the training paradigm; the GRASP mainly targeted the hand and wrist, with little focus on gross motor skills, whereas the VirTele intervention mainly targeted gross motor skills, with supplementary exercises for the hand. Thus, training with the GRASP might better meet individual needs when it comes to performance in activities that require fine motor skills, although both groups demonstrated improvements in the quality and quantity of use of the UE. This also suggests that combining VirTele with conventional therapy such as the GRASP may maximize the recovery potential, which echoes the findings of Laver and colleagues who determined that the use of VR combined with conventional therapy had a significant effect on UE outcomes compared with when it was used alone (not significant) (Laver et al., 2017).

#### 6.2.6.2. Role of motivational interviewing

In the experimental group, 75% (3/4) of the participants demonstrated an increase in autonomous motivation compared with 20% (1/5) in the control group. In parallel, the experimental group demonstrated no change in the amotivation score, whereas the control group tended to show an increase in 80% (4/5) of participants. These results may suggest that VirTele intervention is more motivating than conventional therapy and that motivational interviewing

delivered in the experimental group could have played a role in the development of autonomous motivation, which is important to maintain behavior changes of the UE.

Other factors that may stimulate autonomous motivation include enjoyment and improving skills (Teixeira et al., 2012). In this context, VirTele exergames offer playful and varied exercises with different levels of difficulty that could give survivors of stroke a real feeling of competence and more confidence in their abilities when they manage to succeed. Furthermore, some components of exergames, such as visual and auditory feedback (encouragement, score of the game, and indication of successful vs unsuccessful movement) (Subramanian et al., 2013) and quality of graphics (Farič et al., 2019) may enhance the enjoyment of participants and increase autonomous motivation, which may affect adherence to exercise.

Furthermore, a multiple case study conducted with participants ID5, ID1, and ID11 showed that VirTele clinicians used many motivational interviewing strategies (BCTs and motivational techniques) that would support participants' psychological needs (Allegue et al., 2021). Such an environment may lead to effective behavior changes (Deci et Ryan, 2017), such as experienced by participant ID5 and ID10 (high adherence to exergames and maintained use of the affected UE at the end of the VirTele intervention) (Allegue et al., 2021). In addition, the experimental group performed an enormous amount of repetition and had a higher frequency of use of the allocated treatment than the control group.

In contrast, participant ID11 did not express any intention to continue using the affected UE when the intervention was terminated, which may be explained by the miscommunication encountered between the participant and the respective clinician because of aphasia. An interview with ID11's clinician in the multiple case study showed that the latter had difficulty understanding the needs of the participant to provide adequate motivational support (Allegue et al., 2021). In addition, participant ID11 was ambidextrous, which may increase the use of compensatory strategies by the less-affected UE.

#### 6.2.6.3. Limitations and recommendations

The findings of this feasibility clinical trial should be carefully interpreted as some limitations were identified. First, the VirTele and GRASP interventions presented different training paradigms (gross and fine motor skills); however, only gross motor skills (coordination, volitional movement within synergies, or no synergy of shoulder and elbow) were captured through the primary outcomes (FMA-UE motor function) as the evaluation of the hand and wrist could not be performed remotely (requires the physical presence of the assessor). Second, it is important to note the inconsistency in the intervention duration among the participants in the 2 groups (experimental vs control). In the experimental group, 50% (2/4) of the participants received a 3-month intervention and 50% (2/4) received a 2-month intervention. In the control group, 20% (1/5) of the participants received a 3-month intervention, whereas 80% (4/5) received the initial 2-month intervention. That said, it is interesting to note that this variability in duration allowed us to determine the role that the dose (repetition or time spent) played in the recovery. Third, it is important to note that neither the evaluators nor the person in charge of data analysis was blinded to the group assignment. Finally, sex and age factors that may affect exergame use should be further examined using a larger sample size.

In conclusion, the findings of this study should be interpreted with caution, given the small sample size. All explanations provided for the primary and secondary outcomes in both groups remain speculative and need further examination in a larger clinical trial.

#### 6.2.6.4. Conclusions

The VirTele intervention constitutes another therapeutic alternative, in addition to the GRASP, to deliver an intense personalized rehabilitation program to survivors of chronic stroke (at least 8 years since the stroke) with UE deficits. Descriptive statistics showed that the highest scores for autonomous motivation were achieved in the experimental group, who achieved a high frequency of use of the exergames and a very high number of repetitions. The study results indicate that the study protocol is valid and can be used to inform larger-scale studies, regardless of the adaptations made because of the context of the COVID-19 pandemic.

### **6.2.7. Acknowledgments**

This work was supported by the Canadian Institutes of Health Research (385297, 2017) (Allegue et al., 2020, 2021), doctoral scholarships from the School of Rehabilitation of Université de Montréal, graduate and postdoctoral studies of Université de Montréal, the Center for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal, and Wilrose Desrosiers and Pauline Dunn Funding. The funding sources were not involved in the research or preparation of this paper.

### **6.2.8. Conflicts of interest**

None declared

### **6.2.9. Abbreviations**

BCT: behavior change technique

CONSORT: Consolidated Standards of Reporting Trials

FMA-UE: Fugl-Meyer Assessment–Upper Extremity

GRASP: Graded Repetitive Arm Supplementary Program

IREX: Interactive Rehabilitation Exercise

MAL-30: Motor Activity Log-30

MCID: minimal clinically important difference

SDT: self-determination theory

SIS-16: Stroke Impact Scale-16

T1: time point 1

T2: time point 2

T3: time point 3

T4: time point 4

TSRQ-15: Treatment Self-Regulation Questionnaire-15

UE: upper extremity

VR: virtual reality

## 6.2.10. References

- Adie, K., Schofield, C., Berrow, M., Wingham, J., Humfries, J., Pritchard, C., James, M., et Allison, R. (2017). Does the use of Nintendo Wii Sports™ improve arm function? Trial of Wii™ in Stroke: a randomized controlled trial and economics analysis. *Clinical Rehabilitation*, 31(2), 173-185. <https://doi.org/10.1177/0269215516637893>
- Agence de la santé publique du Canada. (2009). *2009 tracking heart disease and stroke in Canada*. Public Health Agency of Canada. <https://www.canada.ca/content/dam/phac-aspc/migration/phac-aspc/publicat/2009/cvd-avc/pdf/cvd-avs-2009-eng.pdf>
- Ahn, S., et Hwang, S. (2019). Virtual rehabilitation of upper extremity function and independence for stroke : A meta-analysis. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(3), 358-369. <https://doi.org/10.12965/jer.1938174.087>
- Allegue, D. R., Kairy, D., Higgins, J., Archambault, P., Michaud, F., Miller, W., Sweet, S., et Tousignant, M. (2021). *What we learned about using telerehabilitation combined with exergames, from clinicians and chronic stroke survivors : A multiple case study (Preprint)*. <https://doi.org/10.2196/preprints.31305>
- Allegue, D. R., Kairy, D., Higgins, J., Archambault, P., Michaud, F., Miller, W., Sweet, S. N., et Tousignant, M. (2020). Optimization of Upper Extremity Rehabilitation by Combining Telerehabilitation With an Exergame in People With Chronic Stroke : Protocol for a Mixed Methods Study. *JMIR Research Protocols*, 9(5), e14629. <https://doi.org/10.2196/14629>
- Allegue, D. R., Kairy, D., Higgins, J., Archambault, P. S., Michaud, F., Miller, W. C., Sweet, S. N., et Tousignant, M. (2021). A Personalized Home-Based Rehabilitation Program Using Exergames Combined With a Telerehabilitation App in a Chronic Stroke Survivor : Mixed Methods Case Study. *JMIR Serious Games*, 9(3), e26153. <https://doi.org/10.2196/26153>
- Amano, S., Umeji, A., Uchita, A., Hashimoto, Y., Takebayashi, T., Kanata, Y., Uchiyama, Y., et Domen, K. (2018). Reliability of remote evaluation for the Fugl-Meyer assessment and the action research



- arm test in hemiparetic patients after stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 25(6), 432-437. <https://doi.org/10.1080/10749357.2018.1481569>
- Aminov, A., Rogers, J. M., Middleton, S., Caeyenberghs, K., et Wilson, P. H. (2018). What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 15(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0370-2>
- Aramaki, A. L., Sampaio, R. F., Reis, A. C. S., Cavalcanti, A., et Dutra, F. C. M. S. E. (2019). Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke : An integrative review. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 77, 268-278. <https://doi.org/10.1590/0004-282X20190025>
- Chan, D. K., Lonsdale, C., Ho, P. Y., Yung, P. S., et Chan, K. M. (2009). Patient motivation and adherence to postsurgery rehabilitation exercise recommendations : The influence of physiotherapists' autonomy-supportive behaviors. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(12), 1977-1982. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.05.024>
- Chou, C.-Y., Ou, Y.-C., et Chiang, T.-R. (2015). Psychometric comparisons of four disease-specific health-related quality of life measures for stroke survivors. *Clinical Rehabilitation*, 29(8), 816-829. <https://doi.org/10.1177/0269215514555137>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/249008>
- De Weerd, W. j. g., et Harrison, M. a. (1985). Measuring recovery of arm-hand function in stroke patients : A comparison of the Brunnstrom-Fugl-Meyer test and the Action Research Arm test. *Physiotherapy Canada*, 37(2), 65-70. <https://doi.org/10.3138/ptc.37.2.065>
- Deci, E. L., et Ryan, R. M. (2000). The « What » and « Why » of goal pursuits : Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227-268. [https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01)
- Deci, E. L., et Ryan, R. M. (2017). *Self-Determination Theory : Basic psychological needs, motivation, development, and wellness* (Guilford Press).
- Edwards, B., et O'Connell, B. (2003). Internal consistency and validity of the Stroke Impact Scale 2.0 (SIS 2.0) and SIS-16 in an Australian sample. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, 12(8), 1127-1135. <https://doi.org/10.1023/a:1026109920478>

- equator-network. (s. d.). *CONSORT 2010 Statement : Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials | The EQUATOR Network*. Consulté 22 juillet 2021, à l'adresse <https://www.equator-network.org/reporting-guidelines/consort/>
- Farič, N., Potts, H. W. W., Hon, A., Smith, L., Newby, K., Steptoe, A., et Fisher, A. (2019). What Players of Virtual Reality Exercise Games Want : Thematic Analysis of Web-Based Reviews. *Journal of Medical Internet Research*, 21(9), e13833. <https://doi.org/10.2196/13833>
- Fulk, G. D., Ludwig, M., Dunning, K., Golden, S., Boyne, P., et West, T. (2010). How much change in the stroke impact scale-16 is important to people who have experienced a stroke? *Topics in Stroke Rehabilitation*, 17(6), 477-483. <https://doi.org/10.1310/tsr1706-477>
- Gauthier, L. V., Kane, C., Borstad, A., Strahl, N., Uswatte, G., Taub, E., Morris, D., Hall, A., Arakelian, M., et Mark, V. (2017). Video Game Rehabilitation for Outpatient Stroke (VIGoROUS) : Protocol for a multi-center comparative effectiveness trial of in-home gamified constraint-induced movement therapy for rehabilitation of chronic upper extremity hemiparesis. *BMC Neurology*, 17. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-0888-0>
- Gremigni, P., Sommaruga, M., et Peltenburg, M. (2008). Validation of the Health Care Communication Questionnaire (HCCQ) to measure outpatients' experience of communication with hospital staff. *Patient Education and Counseling*, 71(1), 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2007.12.008>
- Hardcastle, S. J., Fortier, M., Blake, N., et Hagger, M. S. (2016). Identifying content-based and relational techniques to change behaviour in motivational interviewing. *Health Psychology Review*, 11(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/17437199.2016.1190659>
- Harris, J. E., Eng, J. J., Miller, W. C., et Dawson, A. S. (2009). A self-administered Graded Repetitive Arm Supplementary Program (GRASP) improves arm function during inpatient stroke rehabilitation : A multi-site randomized controlled trial. *Stroke*, 40(6), 2123-2128. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.108.544585>
- Hebert, D., Lindsay, M. P., McIntyre, A., Kirton, A., Rumney, P. G., Bagg, S., Bayley, M., Dowlatshahi, D., Dukelow, S., Garnhum, M., Glasser, E., Halabi, M.-L., Kang, E., MacKay-Lyons, M., Martino, R., Rochette, A., Rowe, S., Salbach, N., Semenko, B., ... Teasell, R. (2016). Canadian stroke best practice recommendations : Stroke rehabilitation practice guidelines, update 2015. *International Journal of Stroke*, 11(4), 459-484. <https://doi.org/10.1177/1747493016643553>
- Housman, S. J., Scott, K. M., et Reinkensmeyer, D. J. (2009). A randomized controlled trial of gravity-supported, computer-enhanced arm exercise for individuals with severe hemiparesis.

- Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(5), 505-514.  
<https://doi.org/10.1177/1545968308331148>
- IREX | Gesturetek Health. (s. d.). Consulté 4 janvier 2021, à l'adresse  
<http://www.gesturetekhealth.com/products/irex>
- Jintronix. (s. d.). *Sense Your Progress*. Jintronix. Consulté 3 décembre 2018, à l'adresse  
<http://www.jintronix.com/>
- Kairy, D., Veras, M., Archambault, P., Hernandez, A., Higgins, J., Levin, M. F., Poissant, L., Raz, A., et Kaizer, F. (2016). Maximizing post-stroke upper limb rehabilitation using a novel telerehabilitation interactive virtual reality system in the patient's home : Study protocol of a randomized clinical trial. *Contemporary Clinical Trials*, 47, 49-53. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2015.12.006>
- Kim, W.-S., Cho, S., Ku, J., Kim, Y., Lee, K., Hwang, H.-J., et Paik, N.-J. (2020). Clinical application of virtual reality for upper limb motor rehabilitation in stroke : Review of technologies and clinical evidence. *Journal of Clinical Medicine*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/jcm9103369>
- Lang, C. E., Edwards, D. F., Birkenmeier, R. L., et Dromerick, A. W. (2008). Estimating minimal clinically important differences of upper-extremity measures early after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(9), 1693-1700. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.02.022>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., et Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Laver, K. E., Schoene, D., Crotty, M., George, S., Lannin, N. A., et Sherrington, C. (2013). Telerehabilitation services for stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12, CD010255. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010255.pub2>
- Lee, H. S., Park, Y. J., et Park, S. W. (2019). The effects of virtual reality training on function in chronic stroke patients : A systematic review and meta-analysis. *BioMed Research International*, 2019, 7595639. <https://doi.org/10.1155/2019/7595639>
- Levac, D., Glegg, S., Colquhoun, H., Miller, P., et Noubary, F. (2017). Virtual reality and active videogame-based practice, learning needs, and preferences : A cross-Canada survey of physical therapists and occupational therapists. *Games for Health Journal*, 6(4), 217-228. <https://doi.org/10.1089/g4h.2016.0089>
- Levesque, C. S., Williams, G. C., Elliot, D., Pickering, M. A., Bodenhamer, B., et Finley, P. J. (2007). Validating the theoretical structure of the Treatment Self-Regulation Questionnaire (TSRQ) across three

- different health behaviors. *Health Education Research*, 22(5), 691-702.  
<https://doi.org/10.1093/her/cyl148>
- Levin, M. F., Snir, O., Liebermann, D. G., Weingarden, H., et Weiss, P. L. (2012). Virtual reality versus conventional treatment of reaching ability in chronic stroke : Clinical feasibility study. *Neurology and Therapy*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s40120-012-0003-9>
- Linder, S. M., Rosenfeldt, A. B., Bay, R. C., Sahu, K., Wolf, S. L., et Alberts, J. L. (2015). Improving quality of life and depression after stroke through telerehabilitation. *The American Journal of Occupational Therapy*, 69(2), 6902290020p1-10. <https://doi.org/10.5014/ajot.2015.014498>
- Lohse, K. R., Hilderman, C. G. E., Cheung, K. L., Tatla, S., et Van der Loos, H. F. M. (2014). Virtual reality therapy for adults post-stroke : A systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *PLoS ONE*, 9(3), e93318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093318>
- Maier, M., Rubio Ballester, B., Duff, A., Duarte Oller, E., et Verschure, P. F. M. J. (2019). Effect of specific over nonspecific VR-based rehabilitation on poststroke motor recovery : A systematic meta-analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 33(2), 112-129. <https://doi.org/10.1177/1545968318820169>
- McNulty, P. A., Thompson-Butel, A. G., Faux, S. G., Lin, G., Katrak, P. H., Harris, L. R., et Shiner, C. T. (2015). The Efficacy of Wii-Based Movement Therapy for Upper Limb Rehabilitation in the Chronic Poststroke Period : A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Stroke*, 10(8), 1253-1260. <https://doi.org/10.1111/ijvs.12594>
- Merians, A. S., Fluet, G., Tunik, E., Qiu, Q., Saleh, S., et Adamovich, S. (2014). Movement rehabilitation in virtual reality from then to now : How are we doing? *International Journal on Disability and Human Development*, 13(3). <https://doi.org/10.1515/ijdh-2014-0321>
- Merians, A. S., Tunik, E., et Adamovich, S. V. (2009). *Virtual reality to maximize function for hand and arm rehabilitation : Exploration of neural mechanisms*. 145, 109-125.
- Michie, S., Richardson, M., Johnston, M., Abraham, C., Francis, J., Hardeman, W., Eccles, M. P., Cane, J., et Wood, C. E. (2013). The behavior change technique taxonomy (v1) of 93 hierarchically clustered techniques : Building an international consensus for the reporting of behavior change interventions. *Annals of Behavioral Medicine*, 46(1), 81-95. <https://doi.org/10.1007/s12160-013-9486-6>
- Microsoft. (s. d.). *Kinect—Windows app development*. Consulté 10 décembre 2020, à l'adresse <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/>

- Miller, W. R., et Rollnick, S. (2012). Meeting in the middle : Motivational interviewing and self-determination theory. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9, 25. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-25>
- Nintendo. (2014). *Wii Fit U - Packaged Version for Wii U - Nintendo Game Details*. <https://www.nintendo.com/games/detail/wii-fit-u-packaged-version-wii-u/>
- Oujamaa, L., Relave, I., Froger, J., Mottet, D., et Pelissier, J.-Y. (2009). Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 52(3), 269-293. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2008.10.003>
- Page, S. J., Hade, E., et Persch, A. (2015). Psychometrics of the wrist stability and hand mobility subscales of the Fugl-Meyer Assessment in moderately impaired stroke. *Physical Therapy*, 95(1), 103-108. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130235>
- Phan, M. H., Jardina, J. R., Hoyle, S., et Chaparro, B. S. (2012). Examining the role of gender in video game usage, preference, and behavior. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 1496-1500. <https://doi.org/10.1177/1071181312561297>
- Playstation wiki. (s. d.). *PlayStation® Official Site : Consoles, Games, Accessories et More*. Consulté 10 décembre 2020, à l'adresse [https://playstation.fandom.com/wiki/Category:EyeToy\\_games](https://playstation.fandom.com/wiki/Category:EyeToy_games)
- Reacts. (s. d.). *Reacts | Interactive audio-video platform—"Hyperpresence"—Reacts*. Consulté 18 septembre 2018, à l'adresse <https://www.iitreacts.com/>
- Saposnik, G., et Levin, M. (2011). Virtual reality in stroke rehabilitation : A meta-analysis and implications for clinicians. *Stroke; a Journal of Cerebral Circulation*, 42(5), 1380-1386. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.605451>
- Silva, E. S. M., Pereira, N. D., Gianlorenço, A. C. L., et Camargo, P. R. (2019). The evaluation of non-use of the upper limb in chronic hemiparesis is influenced by the level of motor impairment and difficulty of the activities-proposal of a new version of the Motor Activity Log. *Physiotherapy Theory and Practice*, 35(10), 964-974. <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1460430>
- Singer, B., et Garcia-Vega, J. (2017). The fugl-meyer upper extremity scale. *Journal of Physiotherapy*, 63(1), 53. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2016.08.010>
- Standen, P., Threapleton, K., Richardson, A., Connell, L., Brown, D., Battersby, S., Platts, F., et Burton, A. (2017). A low cost virtual reality system for home based rehabilitation of the arm following stroke : A randomised controlled feasibility trial. *Clinical Rehabilitation*, 31(3), 340-350. <https://doi.org/10.1177/0269215516640320>

- Subramanian, S., Lourenco, C., Chilingaryan, G., Sveistrup, H., et Levin, M. (2013). Arm motor recovery using a virtual reality intervention in chronic stroke : Randomized control trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(1), 13-23. <https://doi.org/10.1177/1545968312449695>
- Teixeira, P. J., Carraça, E. V., Markland, D., Silva, M. N., et Ryan, R. M. (2012). *Exercise, physical activity, and self-determination theory : A systematic review*. 9(78). <https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-78>
- van der Eerden, W. J., Otten, E., May, G., et Even-Zohar, O. (1999). CAREN - Computer Assisted Rehabilitation Environment. *Stud Health Technol Inform*, 62, 373-378. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-906-6-373>
- van der Lee, J. H., Beckerman, H., Knol, D. L., Vet, H. C. W. de, et Bouter, L. M. (2004). Clinimetric properties of the motor activity log for the assessment of arm use in hemiparetic patients. *Stroke*, 35(6), 1410-1414. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000126900.24964.7e>
- Weiss, P. L., Keshner, E. A., et Levin, M. F. (2014). *Virtual reality for physical and motor rehabilitation*. Springer.
- Xbox One X. (s. d.). Xbox.com. Consulté 14 septembre 2021, à l'adresse <https://www.xbox.com/fr-CA/consoles/xbox-one-x>
- Xbox Series X | Xbox. (s. d.). Xbox.com. Consulté 14 septembre 2021, à l'adresse <https://www.xbox.com/fr-CA/consoles/xbox-series-x>
- Yates, M., Kelemen, A., et Lanyi, C. S. (2016). Virtual reality gaming in the rehabilitation of the upper extremities post-stroke. *Brain Injury*, 30(7), 855-863. <https://doi.org/10.3109/02699052.2016.1144146>

### 6.3. Article n°4. Lessons Learned From Clinicians And Stroke Survivors About Using Telerehabilitation Combined With Exergames: Multiple Case Study

Dorra Rakia Allegue <sup>1,2</sup>, Shane Norman Sweet <sup>1,3</sup>, Johanne Higgins <sup>1,2</sup>, Philippe Archambault <sup>1,4</sup>, Francois Michaud <sup>5</sup>, William Miller <sup>6</sup>, Michel Tousignant <sup>7,8</sup>, Dahlia Kairy <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> The Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal, Institut universitaire sur la réadaptation en déficience physique de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>2</sup> School of Rehabilitation, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> Department of Kinesiology and Physical Education, McGill University, Montreal, QC, Canada

<sup>4</sup> School of Physical and Occupational Therapy, McGill University, Montreal, QC, Canada

<sup>5</sup> Department of Electrical Engineering and Computer Engineering, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada

<sup>6</sup> Department of Occupational Science et Occupational Therapy, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

<sup>7</sup> School of Rehabilitation, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada

<sup>8</sup> Center of research on Aging, Sherbrooke, QC, Canada

- Article publié dans la revue « ***Journal of Medical Internet Research-JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*** », le 28 août 2022.

En tant qu'auteure principale, j'ai collecté et analysé les données qualitatives. J'ai rédigé le manuscrit pour publication, sous la supervision de mes directrices de recherche Prof. Kairy et Prof. Higgins. Prof. Sweet a apporté des réflexions pertinentes par rapport à l'intégration de la

théorie de l'autodétermination au cours de l'intervention. Tous les coauteurs ont participé pertinemment au développement du protocole d'étude et ont révisé la version initiale du manuscrit. Cette étude a été présentée par l'auteure principale (DRA) dans un congrès international, tel que décrit dans l'Annexe 2.



### **6.3.1. Avant-propos**

Étant donnée la nature chronique des séquelles d'AVC, une intervention de réadaptation informée par la théorie de l'autodétermination pourrait faciliter le changement du comportement mal sain (compensation, négligence de l'hémicorps atteint, utilisation moins fréquente du membre supérieur atteint dans les activités quotidiennes) et accroître l'autonomisation des individus pour le maintien des gains à long terme.

La littérature en changement de comportement préconise les interventions informées par la théorie vu leur efficacité pour aboutir au comportement de santé désiré. Plus particulièrement, une méta-analyse récente sur les interventions informées par la théorie de l'autodétermination (Ntoumanis et al., 2021) a révélé des effets petits à moyens sur la santé physique (condition physique et fonctionnement, poids, pression artérielle, etc.) maintenus à long terme (variant d'une semaine à 30 mois après l'intervention). Par ailleurs, des études antérieures (McEwan et Sweet, 2012; Ryan et Deci, 2000) ont montré que l'implantation d'un environnement intégrant les trois besoins psychologiques de la théorie de l'autodétermination prédisait une plus grande motivation autonome, chez les personnes, qui se manifestait par une meilleure adhérence aux exercices.

Ainsi, combiner la téléadaptation et les jeux vidéo (VirTele) avec la théorie de l'autodétermination pourraient permettre aux survivants d'AVC de participer à des programmes d'exercices stimulants qui sont adéquatement ajustés, intégrés à leurs activités et adaptés à leurs capacités et préférences. Par ailleurs, les déterminants d'utilisation de la technologie VirTele ont été investigués auprès d'un seul participant lors de l'étude de cas unique, il est donc important de continuer à étudier ces facteurs auprès de plus de participants, afin d'avoir une compréhension plus commune des déterminants d'utilisation de la technologie.

L'Article n°4 a pour objectifs spécifiques :

- 1)** Identifier les techniques motivationnelles et comportementales utilisées, par les cliniciens, lors de l'intervention VirTele ;
- 2)** Explorer les indicateurs d'autonomisation chez les survivants d'AVC;

3) Explorer les déterminants d'utilisation de VirTele auprès des survivants d'AVC et des cliniciens

### 6.3.2. Abstract

*Background:* In Canada, stroke survivors have difficulty accessing community-based rehabilitation services due to a lack of resources. VirTele, a personalized remote rehabilitation program combining virtual reality exergames and telerehabilitation, was developed to provide stroke survivors an opportunity to pursue rehabilitation of their chronic upper extremity (UE) deficits at home while receiving ongoing follow-up from a clinician. The objectives of this study were to: 1) identify the behavioral and motivational techniques used by clinicians during VirTele intervention; 2) explore the indicators of empowerment among stroke survivors and 3) explore the determinants of the use of VirTele among stroke survivors and clinicians.

*Methods:* This multiple case study involved three stroke survivors with chronic UE deficits and their respective clinicians (physiotherapists) who participated in a VirTele intervention. VirTele is a two-month, remote rehabilitation intervention, using non-immersive virtual reality exergames and telerehabilitation aimed at improving UE deficits in stroke survivors. Study participants had autonomous access to Jintronix exergames and were asked to use them for 30 minutes, five times a week. VirTele also included one-hour videoconference sessions with a clinician 1 to 3 times a week, using the Reacts application (audio-video platform). During these sessions, the clinician was able to engage in motivational interviewing, supervise the stroke survivors' use of the exergames and monitor their use of the affected UE through activities of daily living. Semi-directed interviews were conducted with clinicians and stroke survivors 4 to 5 weeks after the end of the VirTele intervention. All interviews were audiotaped and transcribed verbatim. An abductive thematic analysis was conducted to generate new ideas through a dynamic interaction between data and theory.

*Results:* Three stroke survivors (2 females; 1 male), with a mean age of 58.8 years (SD=19.4), and two physiotherapists participated in the study. Five major determinants of VirTele use emerged from the qualitative analyses, namely technology performance (usefulness, perception of exergames), effort (ease of use), family support (encouragement), facilitators (stroke survivors' safety, trust and understanding of instructions), and challenges (miscommunication, exergame

limits). During the VirTele intervention, both clinicians used motivational and behavioral techniques to support autonomy, competence and connectivity. All these attributes were reflected as empowerment indicators in the three stroke survivors. Lessons learned from using telerehabilitation combined with exergames were provided, which will be relevant to other researchers and contexts.

*Conclusion:* This multiple case study provides a first glimpse into the impact that motivational interviewing can have on adherence to exergames and on changes in behavior in the use of the affected UE in stroke survivors. Lessons learned regarding the supportive role caregivers play and the new responsibilities clinicians have when using VirTele may inform the use of exergames via telerehabilitation. These lessons will also serve as a model to guide the implementation of similar interventions.

***JMIR Preprints. 10/07/2021:31305***

*Keywords:* Stroke; Rehabilitation; Virtual reality; Video games; Telerehabilitation; Upper Extremity; Motivation

### **6.3.3. Introduction**

In Canada, stroke survivors have difficulty accessing community-based rehabilitation services due to a lack of resources (Hebert et al., 2016). Evidence indicates that there is potential for recovery, even several years post stroke (Duncan et al., 1992; Hebert et al., 2016). However, rehabilitation services are generally provided in the acute and post-acute stages (Hebert et al., 2016). A common long-term consequence of stroke includes hemiparesis, or weakness of one side of the body, leading to loss of upper extremity (UE) motor function with a significant long-term impact on everyday activities (Agence de la santé publique du Canada, 2009). Given the chronic nature of stroke, it is essential to develop interventions that provide community-dwelling stroke survivors opportunities for further personalized training.

Telerehabilitation and virtual reality technologies could play an important role in providing novel rehabilitation approaches to optimize stroke recovery in the chronic phases, as suggested by Canadian stroke guidelines (Hebert et al., 2016). More specifically, telerehabilitation can be used

to increase accessibility to rehabilitation programs and follow-up for persons no longer receiving rehabilitation (or discharged from intensive rehabilitation), while virtual reality technologies, which involve engaging activities for practice, can provide the intensity needed for optimal recovery. Moreover, behavioral and motivational techniques (Hardcastle et al., 2016) could be used with these technologies to empower stroke survivors to continue exercising and using their affected UE in everyday activities (e.g., brushing their hair, getting dressed, eating, etc.). Few studies have examined the combined use of telerehabilitation and virtual reality technologies in stroke survivors (Dodakian et al., 2017; Piron et al., 2008, 2009). These studies reported an improvement in UE motor function and high adherence to the treatment plan, which suggests that adding a motivational component to the technology may foster gains and changes in behavior in the long term.

#### 6.3.3.1. VirTele: Virtual reality combined with telerehabilitation

VirTele, a personalized remote rehabilitation program combining virtual reality exergames and telerehabilitation, was developed to provide stroke survivors an opportunity to pursue rehabilitation of their chronic UE deficits at home while receiving ongoing follow-up from a clinician (Allegue et al., 2020). More specifically, VirTele used Jintronix exergames and the Reacts platform to provide personalized training for the UE and enable videoconference sessions with a clinician. At the time of the intervention, Jintronix exergames included 5 types of UE games ('Space Race', 'Fish Frenzy', 'Pop Clap', 'Catch and Carry an apple', 'Kitchen clean-up') performed in a sitting position (Jintronix, s. d.). Performance of the affected UE (score, % of compensation) and the duration and number of sessions played, can be accessed online through a clinician portal within the Jintronix system. Reacts is an interactive audiovideo platform that can be used via a computer or phone to conduct secure videoconferences and share content (images, videos, messages, etc.)(Reacts, s. d.). It enables screen sharing (view the participant's computer screen) to supervise in real time the stroke survivors' performance, provide direct feedback and adjust difficulty level in collaboration with the stroke survivor, taking in account preferences and capacities (as observed during real-time reacts sessions and through the data available in the online portal in Jintronix).

An initial study was conducted with one stroke survivor to test the VirTele technology and study protocol during the development phase of the intervention (Allegue et al., 2021). The results showed that it was feasible to use VirTele for remote UE rehabilitation (Allegue et al., 2021). Meaningful determinants of technology use were identified including performance (perceived improvement in UE use during daily activities, unlimited time of exercises), effort (felt comfortable using VirTele and experienced only minor technical issues, which the stroke survivor could easily resolve) and social influence (positive feedback from family and friends) (Allegue et al., 2021). Preliminary efficacy results showed improvement in UE motor function, UE quality and quantity of use in activities of daily living and quality of life (Allegue et al., 2021). Hence, there is interest in studying this technology further to explore varied experiences among more participants, including clinicians and stroke survivors.

#### 6.3.3.2. Sustaining gains through behavior modification and shared decision-making

Behavior modification strategies (eg, client-centered counselling, action planning, self-monitoring) have been implemented in exercise promotion interventions to enhance motivation, exercise participation and maintenance (Carraro & Gaudreau, 2013; Michie et al., 2009; Miller, 2013). Because gains achieved during rehabilitation are not always maintained long-term (Lindsay et al., 2010), chronic stroke survivors may benefit from such behavior modification strategy, when integrated into post rehabilitation programs. These strategies could be used to empower stroke survivors to continue exercising and using their UE in everyday activities (eg, brushing hair, getting dressed, eating). Furthermore, there is increased recognition that programs aimed at changing behaviors should have a strong theoretical basis (Gourlan et al., 2016).

Self-determination Theory (SDT) (Deci et Ryan, 2017) states that human beings have a natural tendency to autonomously pursue goals or achieve healthy changes when three of their psychological needs are satisfied, namely autonomy (a person's ability to act according to their own values and aspirations), competence (belief in a person's ability to achieve changes) and connectivity (feeling of belonging) (Deci et Ryan, 2017). Therefore, social environments where the clinician engages in a partner relationship with the stroke survivor, while supporting their

autonomy (shared decision-making, choice of exergames, etc.), competence (belief in the stroke survivor's capacity to achieve their goals, etc) and connectivity (a non-judgmental interaction) may result in greater autonomous motivation (Ryan et Deci, 2000). Previous studies (Barbeau et al., 2009; McEwan et Sweet, 2012) demonstrated that support of the three psychological needs predicted greater autonomous motivation, which resulted in better adherence to exercises (Barbeau et al., 2009; McEwan et Sweet, 2012). A recent meta-analysis of SDT-informed interventions (Ntoumanis et al., 2021) found small-to-medium effects of physical health outcomes (physical fitness and function, weight-related outcomes, blood pressure, etc.) at the end of the intervention and during the follow-up period (ranging from one week to 30 months post-intervention). Since autonomous motivation is a key element for developing maintained change, a supportive psychological needs environment should be integrated into the VirTele intervention. Thus, motivational interviewing (Miller, 1983), consistent with SDT, was incorporated into VirTele to ensure that shared decision-making and empowerment were consistently integrated into the intervention. The behavioral and motivational techniques, incorporated into motivational interviewing, may enhance autonomous motivation to adhere to the treatment plan and change behavior regarding UE use in activities of daily living. In addition, combining real-time video conferencing (telerehabilitation) with virtual reality could allow for adequately monitored and engaging theory-based UE rehabilitation programs, which may enhance stroke survivor's empowerment and sustain gains in the long term.

Eventually, SDT informed VirTele intervention not only help patients and clinicians decide together on the best treatment options, but also allow clinicians to identify potential problems once the person has reintegrated into the community. Thus, this study will also document the experience of both the stroke survivor and the clinician, when using VirTele, key aspects for the successful eventual implementation of such interventions.

The objectives of this study were to:

- 1) identify behavioral and motivational techniques used by clinicians during VirTele intervention;
- 2) explore indicators of empowerment among stroke survivors;
- 3) explore the determinants of VirTele use among stroke survivors and clinicians.

### **6.3.4. Methods**

#### **6.3.4.1. Study design**

This study used a multiple case design, which allows extensive data collection with varied methods across different cases (Mills et al., 2010). This design enables the exploration of the studied phenomenon across a more varied range of characteristics compared to a single case model (Mills et al., 2010). The unit of analysis in this multiple case study is each chronic stroke survivor participating in the VirTele intervention and their respective clinician (physiotherapist) in VirTele. A range of experiences in terms of age, gender, familiarity with technology and living arrangements were sought.

#### **6.3.4.2. Context**

This multiple case study is embedded into a two-armed randomized clinical trial comparing an experimental group (receiving VirTele) with a control group (receiving standard care) and registered at clinicaltrials.gov (NCT03759106) in Montreal, Canada (Allegue et al., 2020).

The qualitative data were collected between June 2019 and August 2020 by the first author (who was not involved in the VirTele intervention), a PhD student under the supervision of DK and JH who had previous experience in qualitative research and stroke rehabilitation research. This multiple case study was reported according to the standards for reporting qualitative research (O'Brien et al., 2014).

#### **6.3.4.3. Sampling strategy and participants**

This study targeted the stroke survivors who were assigned to the experimental group receiving VirTele in the context of the two-armed randomized clinical trial and who had completed the two-month intervention at the time that the study had to be stopped at the pandemic (n= 5). This group of stroke survivors was screened for eligibility before enrolment and participants were selected based on inclusion and exclusion criteria as described in the published protocol (see "Participant selection and recruitment strategy" section) (Allegue et al., 2020). The clinicians included in the main study (n=2) were physiotherapists who had experience with stroke rehabilitation. All participants had to speak French or English.

#### 6.3.4.4. Ethical considerations

This study received ethics approval from the Research Ethics Board of the Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal (June 28, 2018) (Allegue et al., 2020). All participants provided informed written consent prior to starting the VirTele intervention.

#### 6.3.4.5. VirTele protocol

The VirTele intervention protocol is illustrated in Figure 11. The stroke survivors were invited to use Jintronix exergames for 30 minutes at least 5 times a week (Jintronix, s. d.) and conduct one-hour video-conference sessions with a clinician, 1 to 3 times a week, using Reacts (Reacts, s. d.). The video-conference sessions took place three times a week for two weeks, twice a week for two weeks and then once a week for the remaining four weeks. The clinicians only received training to familiarize themselves with the VirTele technology (Jintronix exergames and Reacts platform), as they were already trained in motivational interviewing, an approach they had been using in their practice for more than two years before the study began.

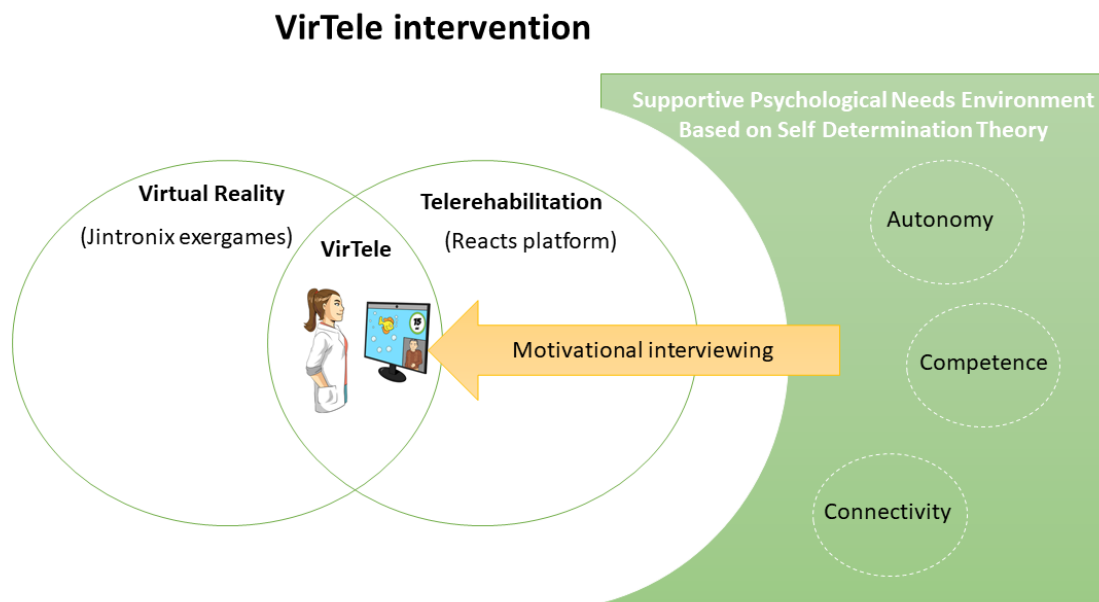


Figure 11. – Representation of the theoretical and technological components of the VirTele intervention



Although SDT and motivational interviewing were developed independently, a resemblance exists between them (Miller et Rollnick, 2012). In fact, motivational interviewing techniques (open-ended questions, affirmation, reflective and summary statements) (Hardcastle et al., 2016) are consistent with the three psychological needs of SDT (Miller et Rollnick, 2012). For example, motivational interviewing promotes shared decision-making (selection of treatment goals, exercises, etc.), behaviour change techniques (such as 9.2. express advantages and disadvantages of change; 1.1. goal setting; 1.5. review of goals) (Michie et al., 2013) and reflective listening (shows empathy), which emphasizes autonomy, competence and connectivity, respectively (Hardcastle et al., 2016). Thus, motivational interviewing, including motivational and behavioral techniques, was achieved through videoconferencing sessions conducted using the Reacts platform (Figure 11).

#### 6.3.4.6. Determinants of VirTele acceptability by end-users

The Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) (Venkatesh et al., 2003) was used to explore factors that may influence VirTele adoption intention and use behavior among stroke survivors and clinicians, in response to the third objective of this study. The theory states that the intention to adopt a new technology is determined by three main factors including expected performance (degree to which the technology is perceived as helpful and useful), expected effort (ease of use and complexity associated with using the technology) and social influence (positive or negative feedback that family and friends may have regarding the technology) (Venkatesh et al., 2003). In addition to the intention to adopt a new technology, contextual conditions (such as the ability and knowledge to use a new technology and interoperability) may facilitate the use behavior of the technology (Venkatesh et al., 2003).

UTAUT also incorporates four moderators, including age, sex, experience, and willingness of use, which can influence technology adoption intention and use behavior (Venkatesh et al., 2003). In the context of this study, it is interesting to capture the expectations of users as well as their actual experience to see whether the technology meets the end-user's needs. Operational definitions of UTAUT and concrete examples are provided in Annexe 1.

#### 6.3.4.7. Data collection

Triangulation was used for the multiple case study. This involved the use of varied methods to collect qualitative data (Carter et al., 2014). First, semi-structured interviews (30 minutes to 1 hour) were conducted 4-5 weeks after the end of the VirTele intervention with stroke survivors and clinicians. Two interview guides were developed and tailored to the clinicians (What was your role or responsibility during VirTele? Did you have any concerns when you first started using the technology?) and stroke survivors (Did you perceive any change in your arm function? Can you describe this change?) to facilitate the interview administration while allowing new ideas to emerge. Questions were structured to target the key concepts of each theory. Key UTAUT concepts were used to identify major factors that influenced VirTele experience in both stroke survivors and clinicians. For stroke survivors, SDT concepts were used to explore indicators of empowerment in terms of autonomy, competence and connectivity. For clinicians, SDT was used to identify which motivational interviewing technique was used and which need was supported (autonomy, competence or connectivity) when interacting with stroke survivors. The interview took place either face to face at the research centre or remotely through the Reacts platform.

Secondly, logbooks were used by the clinicians to collect data related to technical difficulties, number of video-conference meetings, complementary activities suggested in the exergames and motivational strategies used. Thirdly, reflexive notes were used by the researchers to collect VirTele intervention context-related data (technical difficulties, adverse events, etc.). Demographic information about the stroke survivors was also collected. A sample size of 10 stroke survivors and 4 clinicians was targeted to diversify the experiences and enrich the data. However, only data saturation will predict the final sample size (Fortin et Gagnon, 2010).

#### 6.3.4.8. Data analysis and processing

Abductive thematic analysis was conducted. This type of analysis seeks to go beyond inductive and deductive reasoning (Coffey et Atkinson, 1996, p. 156). By adopting this approach, researchers can generate new ideas through a dynamic interaction between data and theory (Coffey et Atkinson, 1996, p. 156). First, a predetermined coding scheme was developed based on UTAUT and SDT constructs. Then, the transcript text was examined to identify which meaning

unit reflected one of the predetermined codes. Codes and assemblies were frequently revised and relevant new codes were assigned meaning units that could not be coded or categorized within the initial scheme codes. Finally, new codes were examined and either represented as subcategories (reflecting border concepts related to UTAUT or SDT) or new categories of codes (enriching the corpus of existing theories).

QDA-miner (Provalis Research, s. d.) was used to enter the list of predetermined scheme codes, retrieve the highlighted text into meaning units, which were condensed and then coded and categorized using the scheme codes.

In each case, stroke survivors' and clinicians' experiences with VirTele and indicators of SDT variables were developed and examined independently and across the duos (stroke survivors and clinicians) for a within-case comparison. Then, experiences were examined between cases, using a cross-case analysis, to explore differences and similarities, regarding determinants of VirTele use and indicators of SDT-variables. Underlying similarities and constant associations were then developed to form more general explanations. The analysis was conducted by three members of the research team (DRA, DK, JH). Verbatims were translated from French to English for publication and verified by bilingual team members (DRA, DK).

#### 6.3.4.9. Rigor

The principles of Lincoln and Guba (Lincoln et Guba, 1985), including confirmability, credibility, reliability and transferability, were applied to ensure study rigor. Audit trails and verification were done to ensure confirmability. An external verification by members was carried out for credibility. Reliability was achieved through verification of a portion of the data by three coders. For transferability, reflexive notes and a detailed description of the context of the intervention were done. The variation of the cases may increase the robustness of the qualitative data (Fortin et Gagnon, 2010).

### 6.3.5. Results

Five stroke survivors were assigned to the intervention group and completed the VirTele intervention (Tableau 12).

ID	1	2	5	10	11
<b>Age</b>	41	67	89	47	50
<b>Sex</b>	F	M	F	M	M
<b>Dominance</b>	R	R	R	R	Ambidextrous
<b>Date of stroke</b>	2014	2011	2014	2010	2017
<b>Stroke side</b>	R	L	R	R	R
<b>Chedoke McMaster</b>	Stage 3	Stage 3	Stage 5	Stage 4	Stage 4
<b>Living arrangement</b>	Living with family	Living with spouse	Living with daughter	Living alone	Living with spouse
<b>Computer familiarity</b>	Very comfortable, accessible at home, use less than once a month	Comfortable, accessible at home, use one or more times a week	Not comfortable, accessible at home, never use	A little comfortable, accessible at home, use once a week	Very comfortable, accessible at home, use once or more times a week

**Tableau 12.** – Stroke survivor sociodemographic data (Article n°4).

However, recruitment was halted mid-March 2020 at the onset of the COVID-19 pandemic in Canada and all research activities were suspended from March 2020 to October 2020. Of the 5 stroke survivors allocated to the VirTele group, one could not be reached to conduct the interview and one was excluded as he did not speak French or English fluently. The sample (n=3) included two females (participant ID1 and participant ID5) and one male (participant ID11), with a mean

age of 58.8 years (SD=19.4) and varied in terms of computer familiarity, Chedoke McMaster score, time since stroke and dominance of UE. Two physiotherapists participated in administering the VirTele intervention. Participant ID11 received a three-month VirTele intervention instead of two months, as was also the case for participant ID1 and participant ID5, given that it was impossible to retrieve the technology material during the COVID-19 period. We decided to give this participant the opportunity to benefit from the services offered by this technology for an additional month. For readability, each participant was given a pseudonym as follows: participant ID1 identified as Carolina; participant ID5 identified as Helene; and participant ID11 identified as Jack.

#### 6.3.5.1. Case description and comparison

A detailed case description for the three duos (stroke survivor and respective clinician), collected from the interviews, logbooks and the exergame portal, is provided in Annexe 9. A summary of the techniques used by the clinicians during motivational interviewing and their impact on stroke survivor empowerment, collected from logbooks and interviews, are provided in Tableau 13. Only the behavior change techniques that were included in the intervention were evaluated. The differences between the three cases are illustrated in Multimedia Appendix 3 (available in the preprint). The determinants of VirTele use during the interviews, as expressed by stroke survivors and clinicians, are presented in Tableau 14. Although we did not reach our target sample size due to the COVID-19 pandemic, the data collected from the 5 participants allowed us to achieve a certain level of data saturation, as many of the reported experiences were repeated across cases.

**Tableau 13.** – Indicators of empowerment and support of psychological needs (Article n°4).

	Support of psychological needs by the clinician	Stroke survivor	Empowerment
	Technique used to change behavior	Strategies specific to VirTele	
<b>Autonomy</b>			
	9.2 Allows participant to express advantages and disadvantages	Gives the participant an opportunity to talk about UE use in daily activities and encountered difficulties	Speaks about UE use in daily activities
		Changes the difficulty parameters of the exergames according to the participant preferences.	Chooses the parameters of difficulty in exergames ("Make it faster, make it slower")
		Shared decision-making	Makes decisions related to choice of exergames and level of difficulty
<b>Competence</b>			
	15.1 Verbal persuasion about capability	Answers participants' questions and helps solve problem discussed.	"If I had a problem or a question, I'd text him"
	1.1 Goal setting	Shows the participant how to do stretches and exercises with affected arm	Feeling supported to do exercises and arm stretches through

			demonstration and encouragement
	1.5 Review of goals	Demonstrates exercises in exergames	Feels supported to play exergames and use UE in activities of daily living due to advice given on performance
	1.1 Goal setting	Gives advices on performance during exergames	Feels supported to use exergames due to advice, demonstrations, and feedback
	1.4 Action planning	Celebrates small successes	
	1.2 Problem Solving	Encourages participant to maintain some postures, even for a few seconds	
	2.7 Feedback on behavior results (positive feedback)		
	2.2 Feedback on behavior		
	7.1 Prompts and cues		

<b>Connectivity</b>			
		Has a calm way of speaking.	Feels comfortable and finds it easy to be around and work with the clinician.
		Establishes a trust relationship	Feels comfortable interacting with the clinician
		Uses reflective listening (expresses empathy)	Finds the clinician to be kind
		Listens and acknowledges the participants' opinion	
		Be patient and enthusiastic	

#### 6.3.5.2. Determinants of VirTele use

Differences and similarities have emerged regarding the determinants of VirTele use, between the duos (stroke survivor and clinician).

**Tableau 14.** – Determinants of VirTele use (Article n°4).

<b>Category</b>	<b>Subcategory of codes</b>	
	Stroke survivors	Clinicians
Performance		
	Relative advantage	Relative advantage



	Perceived limits of exergames	Stroke survivor empowerment
	Stroke survivors' perception of exergames	Perceived limits of exergames
	Perceived change in the affected arm use	Stroke survivors' perception of exergames
	Awareness of usefulness of the technology	Perceived change in the affected arm use
	Stroke survivors' adherence to exergames	Clinician's instructions and demonstrations of exercises through technology
	Stroke survivors' experience with exergames	Clinicians are apprehensive about demonstrating exercise through technology
		Clinicians' role in VirTele-context
Effort		
	Managing technical issues	Managing technical issues
	Perceived ease of use of the technology	Perceived ease of use of the technology
Social influence		

	Feedback from family and friends, agreement, and assistance with the technology	
	Clinician support and encouragement	
Contextual facilitating conditions		
		Stroke survivor safety
		Stroke survivor capacity to understand the clinician' instructions
		Trust between clinicians and stroke survivors
		Clinicians' apprehension related to stroke survivors' trust
Contextual challenges		
	Comfort in using the technology	Miscommunication between the stroke survivor and clinician
	Internet access	
	Miscommunication between the stroke survivor and clinician	

#### 6.3.5.2.1. Performance

##### 6.3.5.2.1.1. Relative advantages

In terms of relative advantages, the clinicians believed that VirTele facilitated access to rehabilitation services and that exergames and follow-up enhanced stroke survivor motivation and compliance to the rehabilitation program. One clinician felt that the feedback (scores of games, clinician feedback) and the follow-up increased stroke survivor empowerment. Neither clinicians nor stroke survivors expressed expectations regarding the benefits of VirTele and only apprehensions were reported.

##### 6.3.5.2.1.2. Stroke survivors' perceptions of exergames

The stroke survivors had different perceptions of exergames (perceived either as a playing instrument or a therapeutic intervention). Helene compared exergames to “bridge card games” and stated that she liked to win, which motivated her to continue playing during the two-month intervention. Jack initially showed some apprehension regarding the therapeutic value of the exergames, which diminished with practice.

##### 6.3.5.2.1.3. Perceived change in use of affected arm

All stroke survivors demonstrated high adherence to exergames; however, only Carolina and Helene expressed using the affected UE in daily activities, which was maintained after the end of the VirTele intervention. Jack had expressed no intention in using the affected UE in daily activities, which was corroborated by the clinicians. Helene experienced no improvement in motor function. She reported no change in her arm function but said that she had begun to use her arm in daily activities.

, explaining the increase in activity scores (frequency and quality of use of the UE).

##### 6.3.5.2.1.4. Clinicians' role in VirTele context

From the clinicians' perspective, their main role when using VirTele can be summarized in the following tasks: adjust the difficulty level of the exergames, monitor the stroke survivor's adherence to the exergames and their compliance to carrying out activities of daily living, observe

the movements during exergames, correct posture and movements and act as a coach to motivate and encourage and maintain adherence.

#### 6.3.5.2.1.5. Instructions and demonstrations of exercises through technology

When it comes to demonstrating the exercises through the videoconference technology, without physical contact (hands on), the clinicians reported considerable apprehension, which subsided as the stroke survivors were able to correctly comprehend the instructions. In addition, the clinicians were able to demonstrate the exercise through clear, concise and simple instructions, which was challenging at times due to the participants' loss of attention (not listening to the instructions, sound getting cut off).

#### 6.3.5.2.1.6. Perceived limits of exergames and stroke survivors' experience

The clinicians pointed out some limits of the exergames, which may influence technology performance such as limited choice of exergames, which could become repetitive (significant focus on shoulder movements), limited parameters of difficulty and insufficient rest time between set of repetitions (need to click manually on pause). This feedback was provided by Jack. According to one of the clinicians, the lack of diversification in the difficulty parameters may induce a ceiling effect in terms of difficulty, which can be demotivating for the stroke survivor.

Helene and Carolina reported a problem with the avatar in some of the games (avatar did not always follow the real movements). The clinicians believe that the avatar issues were related to not following recalibration instructions before starting the game, an important phase that allows the Kinect camera to capture both arms and recalibrate the degrees of movement in each limb, enabling better control over the avatar.

#### 6.3.5.2.2. *Effort*

With regard to effort, both clinicians and stroke survivors encountered technological issues (e.g., the screen froze or slowed down, the sound or the Internet were cut off), which caused some frustration among the stroke survivors. The issues were managed either by the research team or

the clinician (phone support) or by the stroke survivors themselves or with the help of a family member (restarting the computer, reconnecting, etc.).

All the clinicians and stroke survivors, except Helene, found the technology intuitive and user-friendly. Helene needed the help of a family member to turn on and use VirTele.

#### *6.3.5.2.3. Social influence (only for stroke survivors)*

Positive feedback from friends and family, after seeing or hearing about the system, encouraged the stroke survivors to start or continue using VirTele. The clinicians also played an important role in supporting (demonstration, instructions, advice, etc) and encouraging stroke survivors to adhere to the exergame and use the affected UE in daily activities. This may have contributed to their empowerment. Further details regarding stroke survivors empowerment are provided in Tableau 13.

#### *6.3.5.2.4. Contextual facilitators and challenges*

According to the clinicians, three main factors facilitated their use of VirTele, including the stroke survivors' safety (exergames were performed in a sitting position and no adverse events occurred), the capacity of the participant to comprehend their instructions through the technology and the trust relationship established with the stroke survivor (through shared decision-making), which clinicians was apprehensive about prior to the intervention.

The main challenge encountered by one of the clinicians with Jack was aphasia. This led to miscommunication between the clinician and stroke survivor and frustration for Jack. Thus, the clinician encountered difficulty carrying out the motivational interviews and customizing the intervention according to Jack's needs as these were not well understood. Furthermore, challenges related to lack of comfort in using the technology (unfamiliarity with computers) and limited access to the Internet were problems that Helene and Jack deal with.

#### *6.3.5.3. Clinicians' recommendations regarding the use of VirTele*

In the clinicians' interviews, some meaning units, reflecting different recommendations related to the use of VirTele, were assembled and presented in bullet points in Annexe 10. Lessons can be learned from these recommendations (Tableau 15) regarding the use of telerehabilitation

combined with exergames. In fact, these lessons provide relevant instructions for the use of exergames via telerehabilitation and suggest useful strategies to optimize the potential of this technology for the rehabilitation of the affected UE (Annexe 10).

**Tableau 15.** – Lessons learned about using telerehabilitation combined with exergames  
(Article n°4).

- a) Both stroke survivors and clinicians are receptive to using the technology, despite technological limitations.
- b) The caregiver has a supportive role in using the technology, particularly among stroke survivors who are not familiar with information technology.
- c) The clinicians' transition into the new roles and responsibilities may be facilitated by the stroke survivors' safety, capacity to understand the instructions and trust.
- d) Aphasia may lead to frustration among stroke survivors when interacting with clinicians, but it does not affect technology use.
- e) The use of telerehabilitation combined with exergames may empower stroke survivors, through autonomy, competence and connectivity, and increase frequency of use of the affected UE in activities of daily living during and after the end of the VirTele intervention.

### **6.3.6. Discussion**

The objectives of this multiple case study were to: 1) identify behavioral and motivational techniques used by clinicians during the VirTele intervention; 2) explore indicators of empowerment among stroke survivors and 3) explore the determinants of VirTele use among stroke survivors and clinicians.

#### **6.3.6.1. Principal findings**

#### 6.3.6.1.1. Indicators of empowerment and support of psychological needs

The clinicians used numerous motivational interviewing strategies that helped create supportive psychological need environments. Stroke survivors demonstrated empowerment at different levels in term of autonomy, competence, and connectivity. This is likely to result in better management of self-care, more independence from clinicians and increased motivation to pursue a rehabilitation program (Bravo et al., 2015). In fact, all participants complied with the exergames and achieved a great amount of autonomous use of the platform (number of autonomous exergame sessions ranged from 37 to 68). More importantly, Carolina and Helene continued using their affected UE in daily activities and self-directed exercises at the end of the VirTele intervention.

Jack did not express any intention to use his UE in daily activities at the end of the VirTele program, even if he used his arm in self-directed exercises during the VirTele program as per the clinician's recommendations and instructions. Jack may have been externally motivated, which means that he wanted to change only for external reasons, not because he wanted to. For example, he did an exercise because the clinician asked him to or he used exergames because he knew that he was being monitored. In addition, Jack's indicators of empowerment were less developed at the connectivity and competence level, which can be explained by the miscommunication challenge (aphasia) that he faced. In fact, Jack's clinician pointed out that the participant's needs were not well understood. This made it difficult to customize the program and provide adequate support for competence and left little space for a sense of connectiveness and belongingness. Therefore, the lack of participant empowerment, in terms of autonomy, competence and connectivity, may reflect externally regulated motivation, rather than internal motivation, which often involves short-term changes (e.g., stop using UE after the end of the VirTele program).

Helene also demonstrated external motivation as she stated that she continued to use the exergames to win, not to exercise her UE since she did not perceive any significant change with her UE. However, external motivation can be internalized and accepted to lead to effective changes (Deci et Ryan, 2017). At the end of VirTele, Helene reported that she had started self-directed exercises to avoid deterioration of her health condition and even started using her

affected UE more frequently, which may reflect a self-regulated or identified motivation (Deci et Ryan, 2017). It is also important to note that other factors may increase autonomous motivation in stroke survivors, such as enjoyment during exergames or when improvements are perceived. This should be further examined in future studies.

Furthermore, recommendations reported by the clinicians reflecting what they have learned from using VirTele, were also provided even though these data were supplementary and not the original focus of the study (Annexe 10). These recommendations can be relevant to other researchers and transferable to other populations and contexts when incorporating virtual reality and telerehabilitation technologies.

#### 6.3.6.1.2. Determinants of VirTele use

Among the main determinants that were identified from UTAUT, performance came out as being meaningful in the three cases. In fact, both clinicians and stroke survivors perceived relative advantages of VirTele compared to standard therapy (facilitate access to therapy and enhance motivation) and felt comfortable interacting with each other.

The main role of the clinician during VirTele was to monitor the use of the affected UE by the stroke survivor through self-directed exergames and activities of daily living, which aims to enhance the stroke survivor's autonomy to continue using his affected UE after the end of the study. This is particularly relevant in the chronic stage of stroke, since not all stroke survivors have access to rehabilitation services after discharge (Hebert et al., 2016). VirTele could be offered at the end of inpatient rehabilitation, to learn how to self-manage the UE rehabilitation at home, while having a close monitoring with a clinician.

The limits of the exergames, as pointed out by the clinicians and stroke survivors, may have reduced the technology performance to attain individual stroke survivors' goals. Hence, it did not seem to affect the behavioral intention and use behavior of the technology among clinicians and stroke survivors. Furthermore, the family member ended up playing a supportive role during VirTele program, particularly with Helene who was not familiar with computers (manage technical difficulties, support technology use, motivate and encourage VirTele use).



Communication difficulties, such as with aphasia, were considered as the main challenge to motivational interviewing administration, which led to frustration in Jack, but did not affect technology use among stroke survivors. Furthermore, three factors were identified by the clinicians as facilitators of technology use including trust, the participants' safety, and their capacity to comprehend the clinician's instructions. In addition to these factors, the previous experiences of clinicians in motivational interviewing and their ease of use of VirTele may have facilitated the transition to their new roles and responsibilities in the VirTele context. This also suggests that the VirTele intervention may be easily transferred into actual clinical practice to offer stroke survivors' opportunities for practice and change their unhealthy behaviors.

#### 6.3.6.2. Comparison to prior work

This study's results corroborates the findings of previous studies (Caughlin et al., 2020), which confirmed the supportive role of caregivers during telerehabilitation interventions (facilitate the use of the technology). The high level of adherence to exergames and the increased use of UE in stroke survivors echo with the findings of a previous systematic review (Ntoumanis et al., 2021), which found that interventions involving tailored counselling strategies, such as goal setting and monitoring, motivational interviewing and follow-up seem to be effective at promoting long-term physical activity participation after stroke. Furthermore, the use of the affected UE in self-directed exercises may result in improved motor functions. At this stage of the study only the evaluations of the first participants of the randomized clinical trial (Allegue et al., 2022) were performed and firm conclusions cannot be drawn about the results obtained on the sensorimotor measures collected. However, a trend in improvement was observed, regarding the motor function measured by the Fugl-Meyer, in Carolina and Jack, and UE activity measured by the Motor Activity Log (quality and quantity of use) in all participants (Allegue et al., 2022). These gains were maintained two months after completion of the VirTele intervention (Allegue et al., 2022).

The high adherence to the exercise program as demonstrated by the participants could optimize the motor gains. In addition, the change in behavior with respect to the use of the UE in daily activities, as observed in Carolina and Helene, could justify the maintenance of the gains in the long term. Furthermore, it is important to note that Jack, who did not intend to use the affected

arm after the end of VirTele, still managed to maintain long-term gains, highlighting the importance of adhering to the VirTele program and its potential to maximize gains.

In a previous study, Sit et al., (2016) found that stroke survivors (n=105) receiving similar motivational techniques as our study (encouragement, verbal persuasion, goal setting, partnership relationship between the clinician and the patient, action plan, self-management steps) significantly improved functional indices (Barthel and Lawton indices: scales used to assess activities of daily life performance on independent living) and self-management outcomes (medication adherence, self-blood monitoring, communication with physician, etc), compared to a control group receiving standard care (Sit et al., 2016). Hence further research is needed to explore the correlation between motivational interviewing and UE motor functional outcomes among stroke survivors.

Moreover, the determinants of VirTele use, identified through this study, are in part consistent with determinants reported by other studies deploying telerehabilitation (Chen et al., 2020) and virtual reality exergames (Desrochers, 2016). Despite the technical issues, the three cases were receptive to the VirTele program and continued using the system, which echoes the findings of previous studies, among stroke patients and clinicians using telerehabilitation (Caughlin et al., 2020).

#### 6.3.6.3. Limitations

Participants' expectations regarding the VirTele intervention prior to the start of the study were not documented. Therefore, it was not clear whether or not VirTele has met the participants' expectations, which could impact technology acceptability and their compliance to the rehabilitation program. Future studies could investigate expectations before the start of the intervention to better capture the end-user's expectations of similar interventions. Furthermore, given the small sample size, the results of this study should be interpreted with caution.

#### 6.3.6.4. Conclusion

In conclusion, factors predicting intention to use VirTele and use behaviour among stroke survivors and clinicians include technology performance, effort, social influence, contextual

facilitators and challenges. The empowerment attained by stroke survivors is promising for the future deployment of such an intervention to encourage the use of the affected UE in activities of daily living and achieve impactful long-term improvement. The lessons learned from this study, regarding the resilience of stroke survivors and clinicians to technology limitations, the role of the caregiver, the new responsibilities of clinicians during VirTele, the impact of aphasia and empowerment of stroke survivors, may help guide the implementation of similar interventions. However, further studies in different contexts are needed to better understand the factors impacting intention of use and use behavior of such technologies.

### **6.3.7. Acknowledgments**

This work was supported by the Canadian Institutes of Health Research (385297, 2017) and a scholarship from the Mission Universitaire de Tunisie. The funding source had no involvement in the conduct of the research or the preparation of the article. Special thanks to all the study participants who made this study possible.

### **6.3.8. Conflicts of Interest**

None declared.

### **6.3.9. Abbreviations**

BCTs: Behaviour Change Techniques

SDT: self-determination theory

UE: upper extremity

UTAUT: Unified theory of acceptance and use of technology

VirTele: a program that combines non-immersive virtual reality exergames and telerehabilitation

### 6.3.10. References

- Agence de la santé publique du Canada. (2009). *2009 tracking heart disease and stroke in Canada*. Public Health Agency of Canada. <https://www.canada.ca/content/dam/phac-aspc/migration/phac-aspc/publicat/2009/cvd-avc/pdf/cvd-avs-2009-eng.pdf>
- Allegue, D. R., Kairy, D., Higgins, J., Archambault, P., Michaud, F., Miller, W., Sweet, S. N., et Tousignant, M. (2020). Optimization of Upper Extremity Rehabilitation by Combining Telerehabilitation With an Exergame in People With Chronic Stroke : Protocol for a Mixed Methods Study. *JMIR Research Protocols*, *9*(5), e14629. <https://doi.org/10.2196/14629>
- Allegue, D. R., Kairy, D., Higgins, J., Archambault, P. S., Michaud, F., Miller, W. C., Sweet, S. N., et Tousignant, M. (2021). A Personalized Home-Based Rehabilitation Program Using Exergames Combined With a Telerehabilitation App in a Chronic Stroke Survivor : Mixed Methods Case Study. *JMIR Serious Games*, *9*(3), e26153. <https://doi.org/10.2196/26153>
- Allegue, D. R., Higgins, J., Sweet, S. N., Archambault, P. S., Michaud, F., Miller, W., Tousignant, M., & Kairy, D. (2022). Rehabilitation of Upper Extremity by Telerehabilitation Combined With Exergames in Survivors of Chronic Stroke: Preliminary Findings From a Feasibility Clinical Trial. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, *9*(2), e33745. <https://doi.org/10.2196/33745>
- Barbeau, A., Sweet, S. N., et Fortier, M. (2009). A Path-Analytic Model of Self-Determination Theory in a Physical Activity Context. *Journal of Applied Biobehavioral Research*, *14*(3), 103-118. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9861.2009.00043.x>
- Bravo, P., Edwards, A., Barr, P. J., Scholl, I., Elwyn, G., McAllister, M., et the Cochrane Healthcare Quality Research Group, C. U. (2015). Conceptualising patient empowerment : A mixed methods study. *BMC Health Services Research*, *15*(1), 252. <https://doi.org/10.1186/s12913-015-0907-z>
- Carraro, N., & Gaudreau, P. (2013). Spontaneous and experimentally induced action planning and coping planning for physical activity: A meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, *14*(2), 228–248. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.10.004>

- Carter, N., Bryant-Lukosius, D., DiCenso, A., Blythe, J., et Neville, A. J. (2014). The Use of Triangulation in Qualitative Research. *Oncology Nursing Forum*, 41(5), 545-547. <https://doi.org/10.1188/14.ONF.545-547>
- Caughlin, S., Mehta, S., Corriveau, H., Eng, J. J., Eskes, G., Kairy, D., Meltzer, J., Sakakibara, B. M., et Teasell, R. (2020). Implementing Telerehabilitation After Stroke : Lessons Learned from Canadian Trials. *Telemedicine Journal and E-Health: The Official Journal of the American Telemedicine Association*, 26(6), 710-719. <https://doi.org/10.1089/tmj.2019.0097>
- Chen, Y., Chen, Y., Zheng, K., Dodakian, L., See, J., Zhou, R., Chiu, N., Augsburger, R., McKenzie, A., & Cramer, S. C. (2020). A qualitative study on user acceptance of a home-based stroke telerehabilitation system. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 27(2), 81–92. <https://doi.org/10.1080/10749357.2019.1683792>
- Coffey, A., et Atkinson, P. (1996). *Making sense of qualitative data : Complementary research strategies*. Sage. <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb37739464p>
- Deci, E. L., et Ryan, R. M. (2017). *Self-Determination Theory : Basic psychological needs, motivation, development, and wellness* (Guilford Press).
- Desrochers, P. (2016). *Impact des jeux vidéo sur la motivation dans la réadaptation pour membre supérieur suite à un AVC: Perspectives des patients*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/16288>
- Dodakian, L., McKenzie, A. L., Le, V., See, J., Pearson-Fuhrhop, K., Burke Quinlan, E., Zhou, R. J., Augsberger, R., Tran, X. A., Friedman, N., Reinkensmeyer, D. J., et Cramer, S. C. (2017). A Home-Based Telerehabilitation Program for Patients With Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 31(10-11), 923-933. <https://doi.org/10.1177/1545968317733818>
- Duncan, P. W., Goldstein, L. B., Matchar, D., Divine, D. W., et Feussner, J. (1992). Measurement of motor recovery after stroke. Outcome assessment and sample size requirements. *Stroke*, 23(8), 1084-1089. <https://doi.org/10.1161/01.STR.23.8.1084>
- Fortin, M.-F., et Gagnon, J. (2010). *Fondements et étapes du Processus de Recherche : Méthodes Quantitatives et Qualitatives*. Les Editions de la Cheneliere, Incorporated.
- Gourlan, M., Bernard, P., Bortolon, C., Romain, A. J., Lareyre, O., Carayol, M., Ninot, G., & Boiché, J. (2016). Efficacy of theory-based interventions to promote physical activity. A meta-

- analysis of randomised controlled trials. *Health Psychology Review*, 10(1), 50–66.  
<https://doi.org/10.1080/17437199.2014.981777>
- Hardcastle, S. J., Fortier, M., Blake, N., et Hagger, M. S. (2016). Identifying content-based and relational techniques to change behaviour in motivational interviewing. *Health Psychology Review*, 11(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/17437199.2016.1190659>
- Hebert, D., Lindsay, M. P., McIntyre, A., Kirton, A., Rumney, P. G., Bagg, S., Bayley, M., Dowlatshahi, D., Dukelow, S., Garnhum, M., Glasser, E., Halabi, M.-L., Kang, E., MacKay-Lyons, M., Martino, R., Rochette, A., Rowe, S., Salbach, N., Semenko, B., ... Teasell, R. (2016). Canadian stroke best practice recommendations : Stroke rehabilitation practice guidelines, update 2015. *International Journal of Stroke*, 11(4), 459-484.  
<https://doi.org/10.1177/1747493016643553>
- Jintronix. (s. d.). *Sense Your Progress*. Jintronix. Consulté 3 décembre 2018, à l'adresse <http://www.jintronix.com/>
- Lincoln, Y. S., et Guba, E. G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. SAGE.
- Lindsay, M., Gubitz, G., Bayley, M., Hill, M., Davies Schinkel, C., Singh, S., & Phillips, S. (2010). *Canadian Best Practice Recommendations for Stroke Care (Update 2010)*. On behalf of the Canadian Stroke Strategy Best Practices and Standards Writing Group.
- McEwan, D., et Sweet, S. N. (2012). Needs satisfaction, self-determined motivation and health-enhancing physical activity. *The Health et Fitness Journal of Canada*, 5(3), 3-17.  
<https://doi.org/10.14288/hfjc.v5i3.120>
- Michie, S., Abraham, C., Whittington, C., McAteer, J., & Gupta, S. (2009). Effective techniques in healthy eating and physical activity interventions: A meta-regression. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 28(6), 690–701. <https://doi.org/10.1037/a0016136>
- Miller, W. (1983). *Motivational Interviewing with Problem Drinkers*.  
<https://doi.org/10.1017/S0141347300006583>

- Miller, W. R., et Rollnick, S. (2012). Meeting in the middle : Motivational interviewing and self-determination theory. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9, 25. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-25>
- Miller, W. R. (2013). *Motivational interviewing: Helping people change* (3rd ed.). Guilford Press. ISBN:978-1-60918-227-4
- Mills, A., Durepos, G., et Wiebe, E. (2010). *Encyclopedia of Case Study Research*. <https://doi.org/10.4135/9781412957397>
- Ntoumanis, N., Ng, J. Y. Y., Prestwich, A., Quested, E., Hancox, J. E., Thøgersen-Ntoumani, C., Deci, E. L., Ryan, R. M., Lonsdale, C., et Williams, G. C. (2021). A meta-analysis of self-determination theory-informed intervention studies in the health domain : Effects on motivation, health behavior, physical, and psychological health. *Health Psychology Review*, 15(2), 214-244. <https://doi.org/10.1080/17437199.2020.1718529>
- O'brien, C., Harris, B., Beckman, J., Reed, A., et Cook, A. (2014). Standards for Reporting Qualitative Research : A Synthesis of Recommendations. *Academic Medicine*, 89(9), 1245-1251. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000388>
- Piron, L., Turolla, A., Agostini, M., Zucconi, C., Cortese, F., Zampolini, M., Zannini, M., Dam, M., Ventura, L., Battauz, M., et Tonin, P. (2009). Exercises for Paretic Upper Limb After Stroke : A Combined Virtual-Reality and Telemedicine Approach. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(12), 1016-1020. <https://doi.org/10.2340/16501977-0459>
- Piron, L., Turolla, A., Tonin, P., Piccione, F., Lain, L., et Dam, M. (2008). Satisfaction with care in post-stroke patients undergoing a telerehabilitation programme at home. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 14(5), 257-260. <https://doi.org/10.1258/jtt.2008.080304>
- Provalis Research. (s. d.). Logiciel d'analyse qualitative pour recherche avec méthodes mixtes. *Provalis Research*. Consulté 14 juin 2021, à l'adresse <https://provalisresearch.com/fr/produits/logiciel-d-analyse-qualitative/>
- Reacts. (s. d.). *Reacts | Interactive audio-video platform—"Hyperpresence"—Reacts*. Consulté 18 septembre 2018, à l'adresse <https://www.iitreacts.com/>

- Ryan, R. M., et Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68-78. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
- Sit, J. W., Chair, S. Y., Choi, K. C., Chan, C. W., Lee, D. T., Chan, A. W., Cheung, J. L., Tang, S. W., Chan, P. S., et Taylor-Piliae, R. E. (2016). Do empowered stroke patients perform better at self-management and functional recovery after a stroke? A randomized controlled trial. *Clinical Interventions in Aging*, 11, 1441-1450. <https://doi.org/10.2147/CIA.S109560>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., et Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology : Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.



## **7. Discussion**

### **7.1. Faisabilité et efficacité préliminaire d'un programme de réadaptation par la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation**

Le premier objectif de cette thèse était de déterminer la faisabilité de VirTele, un nouveau système de réalité virtuelle non immersive combinée à la téléadaptation, pour la réadaptation du membre supérieur à domicile, auprès des survivants d'AVC en phase chronique. Les résultats obtenus dans le cadre de l'étude de cas unique et l'évaluation des premiers participants de l'essai clinique randomisé soutiennent la faisabilité de prodiguer un service de réadaptation à distance par la technologie VirTele. Le taux d'attrition observé dans le contexte de l'essai clinique s'élève à 18 % (2/11), comparable aux taux rapportés par d'autres études (10 %- 25 %) déployant la réalité virtuelle non immersive (Duff et al., 2013 ; Levin et al., 2012 ; Norouzi-Gheidari et al., 2019).

Dans le cadre de l'évaluation des premiers participants de l'essai clinique randomisé, les raisons de perte de suivi dans le groupe expérimental (n=2) sont liées à un manque de temps à participer aux évaluations, comme prescrit au protocole, et de compétence en technologie de l'information. En effet, l'un des deux participants n'avait jamais utilisé d'ordinateur auparavant. Bien que l'expérience en technologie de l'information s'avère importante pour utiliser VirTele, dans certains cas, un proche aidant ayant cette expérience pourrait notamment accompagner l'utilisateur dans son utilisation de la technologie. Par ailleurs, aucun problème technique majeur n'a été rapporté dans nos travaux. Toutefois, il est difficile de déterminer si c'est le cas pour les technologies déployées dans d'autres études, car l'information n'est souvent pas suffisamment détaillée (Hung et al., 2019 ; Levin et al., 2012 ; Norouzi-Gheidari et al., 2019). Par ailleurs, certains participants ont relaté de la fatigue et de la douleur, comparables à ce qui a été rapporté dans d'autres études expérimentales (Hung et al., 2019 ; Levin et al., 2012 ; Norouzi-Gheidari et al., 2019). Ces symptômes ne persistent pas et semblent être facilement contrôlés par des positions d'étirements et de repos (Article n°2, Article n°3 et Article n°4), appuyant les constats des autres

études (Hung et al., 2019 ; Levin et al., 2012 ; Norouzi-Gheidari et al., 2019). En outre, aucun effet indésirable n'a été signalé dans nos travaux (Article n°2, Article n°3) et dans d'autres études déployant la réalité virtuelle non immersive seule, ou en combinaison avec la télé-réadaptation (Levin et al., 2012 ; Piron et al., 2009 ; Shin et al., 2015). Ces résultats soulignent la sécurité de l'intervention VirTele pour la réadaptation à distance du membre supérieur atteint, à la suite d'un AVC. Par ailleurs, les participants de nos deux études (Article n°2 et Article n°3) ont démontré une adhérence élevée au programme VirTele, comparable à celles d'autres études déployant la réalité virtuelle non immersive (95.14 % (Lee et al., 2016), 100 % (Dodakian et al., 2017 ; Norouzi-Gheidari et al., 2019)). En plus d'une satisfaction élevée, exprimée en regard de la facilité d'utilisation et l'utilité de la technologie VirTele (Article n°3). Ces résultats soutiennent donc la faisabilité et la sécurité de prodiguer des services de réadaptation par VirTele et appuient la pertinence d'intégrer ce programme dans la pratique clinique pour les personnes qui en ont le plus besoin.

Le deuxième objectif de cette thèse explorait l'efficacité préliminaire de VirTele sur la fonction motrice du membre supérieur, la quantité et la qualité d'utilisation du membre supérieur atteint, la qualité de vie et la motivation des survivants d'AVC en phase chronique, comparé au traitement conventionnel. L'évaluation des premiers participants de l'essai clinique randomisé suggère que l'efficacité préliminaire de VirTele est comparable à un traitement conventionnel standardisé tel que le GRASP. Particulièrement pour améliorer la fonction motrice (*Fugl Meyer*) et la quantité et la qualité d'utilisation du membre supérieur (*Motor Activity Log*), avec maintien des gains un à deux mois après la fin de l'intervention. Toutefois, des différences ont été observées entre le groupe expérimental et contrôle pour certaines mesures telles que le *Stroke Impact Scale* et le *Treatment Self-Regulation Questionnaire* (processus régulateurs de la motivation). En regard du *Stroke Impact Scale*, le groupe contrôle a démontré une amélioration plus importante comparée au groupe expérimental, particulièrement pour la dimension fonction de la main. Pour les autres dimensions (activités de la vie quotidienne et mobilité), les deux groupes ont obtenu des résultats relativement comparables. Cependant ces résultats doivent être prudemment interprétés considérant la taille relativement petite de notre échantillon (n=9) et la possibilité d'un effet plafond et d'atténuation, présents dans nos résultats. En effet, il importe de souligner que nous

avons observé un effet plafond et d'atténuation de 17,59 % (19/108)<sup>4</sup> et 6,48 % (7/108)<sup>5</sup>, respectivement sur le *Stroke Impact Scale*. Ces effets sont supérieurs à ceux rapportés par Lai et al. (2003) (effet d'atténuation : 0 % ; plafond : 4 %) obtenus auprès d'une population en phase subaiguë d'AVC (n= 278 ; de 28 jours à 3 mois post AVC) et relativement comparable aux effets rapportés par Katzan IL et al. (2016) (effet d'atténuation : 0,36 % ; plafond : 19,6 %), obtenus auprès de patients ambulatoires ayant eu un AVC (n= 1 946 ; aucune indication sur la période post AVC). Ces constatations suggèrent que le *Stroke Impact Scale* n'est peut-être pas adapté pour une clientèle AVC en phase chronique (et ambulatoire) malgré qu'il soit largement utilisé. Cette mesure est peut-être mieux adaptée pour une clientèle en phase subaiguë pour mesurer adéquatement l'effet d'une intervention.

Par ailleurs, le groupe expérimental a démontré une motivation autonome (*Treatment Self Regulation questionnaire*) plus élevée, comparée au groupe contrôle. La motivation autonome pourrait contribuer à un changement de comportement à long terme, se traduisant par une meilleure adhérence au programme d'exercice et changement des habitudes de vie mal saines (p. ex. négligence du membre supérieur atteint). Les résultats de nos études (Article n°3 et Article n°4) rapportent justement, en regard du groupe expérimental, une adhérence élevée au programme de jeux et une utilisation fréquente du membre supérieur atteint dans les activités quotidiennes, maintenus deux mois après la fin de l'intervention (Article n°2 et Article n°3). Cette constatation suggère que l'utilisation de la téléadaptation pourrait optimiser l'effet de la réalité virtuelle, par une meilleure adhérence au programme d'exercices et par l'identification d'opportunités de consolidation de l'apprentissage moteur à travers des activités pertinentes pour la personne.

De surcroît, nos résultats (Article n°3) rejoignent les observations d'autres études expérimentales comparant l'efficacité de la réalité virtuelle non immersive (à base de capture de mouvement) à un traitement conventionnel, au niveau du *Fugl Meyer* (Hung et al., 2019 ; Kottink et al., 2014 ; Shin et al., 2015) et *Stoke Impact Scale* (Duff et al., 2013). Toutefois, les résultats observés en

---

<sup>4</sup> Nombre de fois le score 100 atteint/ le nombre de scores récoltés durant les 4 évaluations

<sup>5</sup> Nombre de fois le score 0 atteint/ le nombre de scores récoltés durant les 4 évaluations

regard du *Motor Activity Log* (Article n°3) divergent de ceux rapportés dans d'autres études (Aminov et al., 2018 ; Hung et al., 2019 ; Levin et al., 2012). Ces études n'ont observé aucun effet significatif de la réalité virtuelle sur l'échelle de mesure *Motor Activity Log* ou un effet significatif sans rétention des gains à long terme (Aminov et al., 2018 ; Hung et al., 2019 ; Levin et al., 2012). Ces observations soulignent donc l'hypothèse que la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation pourrait contribuer à des résultats meilleurs du *Motor Activity Log* avec rétention des gains, comparativement à une utilisation individuelle de la réalité virtuelle. En effet, la téléadaptation offre aux survivants d'AVC l'opportunité d'échanger avec leur clinicien afin d'identifier des stratégies d'intégration du membre supérieur atteint dans les activités quotidiennes. Cette opportunité de maillage entre l'environnement virtuel et le monde physique pourrait bien expliquer l'amélioration maintenue au niveau du *Motor Activity Log*, rapportée par notre étude (Article n°3). En outre, l'intégration de l'entretien motivationnel par la téléadaptation pourrait aussi expliquer les résultats observés au niveau du *Motor Activity Log* (Article n°3), étant donné que cette approche visait l'optimisation de l'adhérence au programme d'exercices et l'utilisation du membre supérieur atteint dans les activités quotidiennes.

En ce qui a trait à la motivation, nos résultats rejoignent l'étude de Hung et al. (2019) qui a observé un niveau de motivation plus élevée (*Pittsburgh Rehabilitation Participation Scale*: participation à l'intervention), chez le groupe recevant les jeux (Kinect2Scratch games) comparativement au groupe du traitement conventionnel. Or dans l'étude de Lee et al. (2016), la motivation (mesurée par un questionnaire développé par l'équipe de recherche) était plus élevée lorsque les séances de jeux étaient exécutées en groupe, en comparaison à des séances individuelles.

Bien que la motivation puisse affecter l'adhérence au programme d'exercices et les mesures d'efficacité, il existe encore peu de mesures validées, mesurant la motivation, dans la littérature en réalité virtuelle (Lohse et al., 2014). D'autant plus, la motivation pourrait être modulée par plusieurs facteurs (l'effet de groupe, l'aspect ludique des jeux, etc.) qui nécessitent d'être examinés afin de maintenir l'intérêt des survivants d'AVC au programme d'exercices.

Par ailleurs, les quelques études déployant la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation (Dodakian et al., 2017 ; Piron et al., 2008, 2009) ont également rapporté des résultats

comparables à ceux de notre étude (Article n°3). Dans une première étude, Piron et al. (2008) ont rapporté une amélioration significative sur le *Fugl Meyer* en faveur du groupe recevant la réalité virtuelle par téléadaptation (changement pré-post intervention de 51.2 à 56.6 ;  $P = ,05$ ), comparé à une utilisation individuelle de la technologie à l'hôpital. Dans une deuxième étude, Piron et al. (2009) ont rapporté une amélioration significative sur le *Fugl Meyer*, en faveur du groupe recevant la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation (changement pré-post intervention de 48.3.2 à 53.6 ;  $P < ,05$ ), comparé à un traitement conventionnel. En plus, la même étude a rapporté une amélioration du *ABILHAND* (évalue les difficultés dans les activités bimanuelles) chez les deux groupes avec maintien des gains un mois après la fin de l'intervention (Piron et al., 2009).

Pareillement, Dodakian et al. (2017) ont rapporté une amélioration significative du *Fugl-Meyer* (changement pré-post intervention de 4,8 (SD 3.8 points) ;  $p = ,0015$ ) chez les participants recevant la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation, avec les gains dépassant le *Minimal Clinically Important Difference* (MCID) chez plus de 50 % (6/12) des participants (Dodakian et al., 2017). De même, les auteurs ont observé une amélioration significative sur le *Box and Block Test* (augmentation de 13 à 16 blocs transférés en 60 secondes ;  $p = ,01$ ) avec le MCID (6 blocs) atteint auprès de 33 % (4/12) des participants. Toutefois, aucun groupe contrôle n'a été inclus dans cette étude (Dodakian et al., 2017), limitant la comparaison des résultats avec le traitement conventionnel.

En sommes, les résultats de nos études appuyés par les constats d'autres études expérimentales (Piron et al., 2008, 2009) soutiennent l'idée que la téléadaptation semble optimiser l'effet de la réalité virtuelle non immersive sur la récupération du membre supérieur atteint à la suite d'un AVC. Cet effet est particulièrement observé au niveau de la fonction et structure du corps (*Fugl Meyer*) et des activités avec le membre supérieur (*Motor Activity Log*). En comparaison au traitement conventionnel, l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et la téléadaptation semble contribuer à une efficacité similaire (Article n°3) ou supérieure au niveau du *Fugl Meyer* (Piron et al., 2009), à des effets similaires au niveau du *Motor Activity Log* (Article n°3), et des effets variables au niveau du *Stroke Impact Scale* (considérant l'effet plafond et d'atténuation

observé), en plus d'une motivation autonome plus élevée (*Treatment Self Regulation questionnaire*), chez les survivants d'AVC. Toutefois, les ingrédients actifs de l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et de la télé-réadaptation ne sont pas clairement identifiés dans la littérature. De plus, les stratégies pouvant optimiser l'utilisation de cette technologie dans le cadre de la réadaptation à la suite d'un AVC demeurent méconnues.

## **7.2. Les ingrédients actifs d'un programme de réadaptation par réalité virtuelle non immersive combinée à la télé-réadaptation**

### **7.2.1. Rétroaction multisensorielle**

Dans le cadre de la réadaptation, la réalité virtuelle peut avoir des effets similaires sur les changements neuroplastiques à ceux de l'entraînement dans le monde réel (Adamovich et al., 2009). Toutefois, l'avantage de l'environnement virtuel est sa polyvalence qui permet un meilleur contrôle sur les types de rétroactions sensorielles qui pourraient moduler l'effet du traitement, incluant par exemple des rétroactions visuelles, auditives, tactiles et proprioceptives. Dans le contexte de l'intervention VirTele, des rétroactions visuelles et auditives ont été incorporées aux jeux vidéo Jintronix. À titre d'exemple, des scores sont affichés à la fin de chaque jeu indiquant le nombre de tâches réussies pour chaque membre supérieur (droit et gauche), le temps passé sur le jeu et le score total de réussite (score sur 100 %). Il est également possible de changer la trajectoire et l'amplitude du mouvement et de spécifier le degré de précision du mouvement à réaliser pour atteindre l'objet virtuel cible (par exemple, le jeu implique que le poisson touche entièrement l'étoile ou effleure à peine l'étoile). Ce type de manipulation visuelle pourrait stimuler davantage les mécanismes de récupération en exigeant un mouvement réel exagéré de la part du survivant d'AVC. De plus, plusieurs types d'avatars (des mains, modèle humain) ont été opérationnalisés, imitant en temps réel les mouvements du corps grâce à la caméra Kinect.

Quant à la rétroaction auditive, elle a été opérationnalisée par des sons annonçant l'échec ou la réussite, l'interaction avec l'objet virtuel, des sons de fond lors d'un jeu, de la rétroaction verbale sur le mouvement à réaliser, sur la compensation ou de l'encouragement. Toutes ces rétroactions (visuelles et auditives) pourraient stimuler l'apprentissage moteur par différents mécanismes. En

effet, l'observation ou l'imitation de mouvements réalisés par un avatar ou modèle humain virtuel semble renforcer les changements neuroplastiques au niveau des aires motrices reliées au système de neurones miroirs (Calabrò et al., 2017). Le système de neurones miroirs permet l'apprentissage moteur par imitation telle que l'observation d'une action ou d'un mouvement pour les reproduire (Calabrò et al., 2017). Toutefois, il semblerait que le processus sous-tendant l'activation des aires motrices n'est pas le même entre l'observation d'actions réelles et virtuelles (Merians et al., 2009). Il a été rapporté que l'observation d'une main humaine virtuelle entraînerait une activation corticale moins importante comparée à une main humaine réelle (Perani et al., 2001), suggérant que la réalité augmentée pourrait être plus adaptée pour ce type de stimulation.

De même, la manipulation visuelle à travers des discordances (p.ex. discordance entre le mouvement virtuel et réel au niveau de la précision et de l'amplitude) pourrait stimuler l'aire sensorimotrice du cortex moteur et activer les réseaux neuronaux associés à l'apprentissage moteur (Merians et al., 2009). Ceci a été démontré par Merians et al. (2014) qui ont utilisé deux types de discordances visuelles avec le jeu *Space Pong Game* pour stimuler la récupération de la motricité fine des doigts. Ces discordances incluaient des modifications de l'échelle de gain et l'augmentation de l'erreur (Merians et al., 2014). Le gain avait été modifié de manière à ce que le mouvement virtuel implique un déplacement réel exagéré pour arriver à accomplir une tâche bien particulière. Quant à l'augmentation de l'erreur, celle-ci consistait à accentuer l'erreur du mouvement par rapport à une trajectoire préférée, forçant les participants à améliorer leur contrôle. La discordance entre le mouvement exécuté et la rétroaction observée (dans le jeu) a été associée à une intensification de l'activation du cortex moteur, comme si l'aire motrice (M1) cherchait à réduire cet écart pour aboutir au mouvement désiré (Merians et al., 2014). En se basant sur la littérature, l'efficacité de cette manipulation sur le développement des habiletés semble être supérieure à une pratique intensive (Merians et al., 2014).

### **7.2.2. Rétroaction sur la performance et le résultat**

Quel que soit le type de rétroaction, auditive ou visuelle, ces entrées sensorielles sont utilisées soit dans le but d'assurer un retour sur la performance (correction du mouvement, détection de

la compensation, rappel verbal de la trajectoire du mouvement, illustration d'un exemple) ou le résultat (score, encouragement, punition et récompense). Le retour sur le résultat (par exemple par la génération d'un son désagréable lorsque la personne met beaucoup de temps pour atteindre l'objet virtuel cible) semble favoriser l'apprentissage moteur à travers des processus cognitifs (Salmoni et al., 1984, dans Maier et al., 2019). Selon Quattrocchi et al. (2017), la récompense (encouragement, affichage du score) ou la punition (sons déplaisants, rétroaction verbale sur la performance, apparition d'alerte), faciliteraient l'adaptation des compétences motrices pendant la séance d'entraînement chez les survivants d'AVC. L'adaptation qui est liée à la rapidité avec laquelle une performance au cours d'un entraînement retourne à l'état précédant la perturbation (Shishov et al., 2017), peut avoir des effets bénéfiques à long terme sur la récupération fonctionnelle (Quattrocchi et al., 2017). Cet effet semble persister même lorsque la rétroaction (punition ou récompense) n'est plus présente (Quattrocchi et al., 2017).

Le retour sur la performance, dans le jeu Jintronix a été opérationnalisé à travers une alerte sonore ou visuelle lors de la compensation, ou par des instructions verbales sur le mouvement lors de la performance. Dans d'autres études utilisant des jeux vidéo non immersifs, la rétroaction sur la performance a été opérationnalisée par un retour sur le pourcentage d'erreur, la vitesse, le positionnement des articulations du membre supérieur et la direction du mouvement et force de résistance (Jang et al., 2005) ou par un retour sur la compensation avec le tronc, la vitesse et la précision des mouvements (Subramanian et al., 2013). Les survivants d'AVC recevant de la rétroaction sur la performance ou sur le résultat, à travers un programme de jeu, présentent souvent une amélioration de la fonction motrice (*Fugl Meyer*) et de l'activité (*Motor Activity Log*) (Jang et al., 2005 ; Subramanian et al., 2013). Il importe de noter que le suivi par le clinicien, au cours de VirTele, pourrait aussi contribuer aux rétroactions sur la performance et le résultat. À titre d'exemple, lorsque ce dernier intervient pour corriger le mouvement du survivant d'AVC lors d'un jeu, ou l'encourage lorsqu'il réussit le jeu.



### **7.2.3. Espacement entre les séances d'exercices et réduction progressive de la rétroaction**

Parmi les ingrédients actifs qui permettent l'amélioration de la performance à la fin d'une intervention en réadaptation et le maintien des gains à long terme sont l'espacement entre les séances et la réduction progressive de la rétroaction, respectivement (Maier et al., 2019 ; Timmermans et al., 2010). Dans le cadre de l'intervention VirTele, le participant était invité à effectuer les exercices 5 fois par semaine, mais il était libre de l'utiliser à la fréquence souhaitée. L'autogestion des séances d'exercices permettait à ce dernier de choisir le temps d'entraînement à sa convenance et à son rythme, ce qui lui laissait le temps de consolider et intégrer le nouvel apprentissage. En effet, dans une étude antérieure faite sur des animaux, l'espacement entre les séances d'entraînement a permis la formation d'une mémoire à long terme, comparé à un entraînement intensif (sans espacement) (Yamazaki et al., 2015 dans Maier et al., 2019). De plus, le suivi avec le clinicien (rétroaction sur la performance et le résultat) était progressivement réduit à trois séances durant les deux premières semaines ; deux séances les deux semaines suivantes et une séance par semaine durant le deuxième mois d'intervention (et 3e mois quand applicable) afin d'augmenter l'autonomie du participant. Ce paradigme d'entraînement ayant une rétroaction progressivement réduite a pour visée de renforcer la capacité de la personne à résoudre les problèmes de façon indépendante tout en évitant la dépendance négative à la rétroaction du clinicien (Jang et al., 2005). Dans l'étude de Jang et al. (2005), l'intégration d'un paradigme d'entraînement semblable (suivi thérapeutique réduit progressivement) aux jeux vidéo (système IREX), a entraîné une amélioration significative de la fonction motrice (*Fugl Meyer*) et la quantité et la qualité d'utilisation du membre supérieur (*Motor Activity Log*). En plus d'une réorganisation corticale ipsilésionnelle (mesurée par l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle).

Un autre facteur qui pourrait contribuer au maintien des gains, mais qui n'a pas été considéré dans le cadre de notre étude est la sélection aléatoire des exercices dans chaque séance (programme d'exercice non organisé) (Timmermans et al., 2010). En effet, ce facteur semble avoir un effet bénéfique sur l'apprentissage moteur par l'activation de la mémoire et l'adaptation à la perturbation de la performance (Shea et Morgan, 1979).

#### 7.2.4. Dosage

Bien que plusieurs études préconisent l'intensité élevée dans les séances de réadaptation (p. ex. la thérapie par contrainte induite), il n'existe aucun consensus quant à l'intensité nécessaire pour obtenir une amélioration cliniquement importante, et maintenue à long terme. C'est aussi le cas pour l'environnement virtuel pour lequel aucun consensus n'existe quant au dosage d'utilisation nécessaire pour maximiser la récupération. Par ailleurs, les évidences émergentes sont équivoques quant au rôle du dosage dans l'environnement virtuel (Karamians et al., 2020 ; Laver et al., 2017). Alors que plusieurs études prônent la réalité virtuelle sur le traitement conventionnel, étant donné sa capacité à implanter une pratique intense et répétitive (Doumas et al., 2021 ; Maier et al., 2019), plusieurs métaanalyses (Aminov et al., 2018 ; Karamians et al., 2020 ; Laver et al., 2017) rapportent une influence non significative du dosage sur l'effet du traitement par réalité virtuelle. Dans le cadre de notre étude, le dosage a été mesuré en termes de durée, de nombre de répétitions de mouvement (détecté par la caméra Kinect) et la fréquence d'utilisation des jeux vidéo (enregistrement en ligne dans la plateforme de jeux). Grâce à des analyses descriptives, nous avons pu constater qu'un nombre de répétitions de 17 000 permettait d'atteindre une amélioration cliniquement significative au niveau de la fonction motrice mesurée par *Fugl Meyer* (n=4) et qu'une durée de 20 h à 29 h de jeux était nécessaire pour atteindre une amélioration cliniquement significative pour la participation sociale, mesurée par *Motor Activity Log* (n=4).

Quelques études expérimentales déployant la réalité virtuelle non immersive ont rapporté le dosage des séances de jeux en termes de nombre de répétitions et de durée (Dodakian et al., 2017 ; Wittmann et al., 2016 ; Zondervan et al., 2015). Dans ces études, le nombre de répétitions par séance variait entre  $387 \pm 522$  (min 40, max 1486 ; total de répétition calculé par l'étudiante :  $10\,255 \pm 13\,833$ ) (Wittmann et al., 2016), 383 (total de répétitions : 6 000) (Zondervan et al., 2015) et  $879 \pm 355$  (total de répétitions :  $24\,607 \pm 9,934$ ) (Dodakian et al., 2017). Chacune de ces trois études présentait une durée de jeux de  $137 \pm 120$  min par semaine (durant 6 semaines consécutives ; durée totale calculée par l'étudiante :  $13,7 \pm 12$  heures au total) (Wittmann et al., 2016), 3 heures par semaine (durant 3 semaines consécutives ; soit 9 heures au total) (Zondervan et al., 2015) et 1 heure par jour (durant 28 jours, soit 28 heures au total) (Dodakian et al., 2017).

Les trois études ont rapporté une augmentation statistiquement significative de la fonction motrice mesurée par *Fugl Meyer*. Cependant, seules les études de Wittmann et al. (2016) et Dodakian et al. (2017), qui ont enregistré les nombres de répétitions les plus élevés, ont rapporté un changement cliniquement significatif sur le *Fugl Meyer* (MCID : 4,2) chez 45 % (5/11) et 50 % (6/12) des participants, respectivement. D'ailleurs Wittmann et al. (2016) ont observé une corrélation significative entre les scores du *Fugl Meyer* et le dosage en termes de nombre de répétitions ( $10\,255 \pm 13\,833$ ) et d'autres paramètres (p. ex. le temps pour atteindre la cible), sans aucun effet en termes de durée ( $13,7 \pm 12$  heures au total). De plus, Zondervan et al. (2015), qui ont enregistré la durée et le nombre de répétitions les moins élevés, ont rapporté une augmentation statistiquement significative du *Motor Activity Log*, à la fin de l'intervention et après un mois de suivi, mais sans aucun changement cliniquement significatif (MCID : 1,1).

Ces évidences corroborent les résultats préliminaires de notre essai clinique randomisé et soutiennent l'hypothèse qu'un lien pourrait exister entre le dosage en termes de nombre de répétitions et une amélioration cliniquement significative au score *Fugl Meyer*. Il semblerait qu'un nombre de répétitions situé entre 17 000 et 24 607 ( $\pm 9,934$ ) est optimal pour stimuler des gains cliniquement significatifs auprès des survivants d'AVC en phase chronique. Il est tout aussi important de souligner que les gains dépendent du nombre de répétitions qui ne déclenchent pas de symptôme (douleur) lors de la performance (Hauptmann et al., 2005). Ceci peut expliquer cette variabilité de dosage, étant donné que le niveau d'atteinte du membre supérieur et la perception de la douleur sont différents d'une personne à une autre. De plus, l'étude de Zondervan et al. (2015) dans laquelle la durée de jeux était plus courte (9 heures au total) a entraîné des gains cliniquement non significatifs sur le *Motor Activity Log*, appuyant notre hypothèse que la durée de jeux pourrait bien influencer les scores de cette mesure de participation sociale. Étant donné que peu d'études ont examiné le lien entre le dosage et les mesures de la participation sociale, il est difficile de tirer des conclusions solides. Les méta-analyses précédentes suggérant qu'il n'existe aucun effet modérateur du dosage sur l'effet de la réalité virtuelle incluent peu de mesures sur la participation sociale et ne tiennent pas compte du type d'intervention proposée (exercices complémentaires, suivi par téléadaptation, etc.) (Aminov et al., 2018 ; Karamians et al., 2020 ; Laver et al., 2017).

Par ailleurs, il importe de souligner que l'étude qui a rapporté le nombre de répétitions le plus élevé ( $24\ 607 \pm 9,934$ ) et la durée de jeu la plus longue (28 heures au total), proposait des séances de réalité virtuelle combinées à la téléadaptation (Dodakian et al., 2017). La téléadaptation incluait des vidéoconférences hebdomadaires avec un clinicien et un membre de l'équipe de recherche pour des fins de suivi (3 fois par semaine/durant une période de 28 jours) (Dodakian et al., 2017). Ces résultats suggèrent que la téléadaptation pourrait effectivement augmenter l'engagement des survivants d'AVC à leur programme d'entraînement, qui peut subséquemment influencer le potentiel de gains au niveau de la fonction motrice et la qualité et la quantité d'utilisation du membre supérieur.

### **7.2.5. Stratégies motivationnelles et comportementales**

Dans le cadre de l'intervention VirTele, un entretien motivationnel a été intégré aux séances de vidéoconférences avec le clinicien afin d'échanger avec le participant à propos de son utilisation des jeux et de son membre supérieur atteint dans les activités de la vie quotidienne. L'entretien motivationnel incluait des techniques motivationnelles spécifiques à VirTele et des techniques de changement de comportement (Article n°4), utilisées dans le but d'aboutir au comportement souhaité chez le survivant d'AVC. Par conséquent, le troisième objectif de cette thèse était d'identifier les techniques motivationnelles et comportementales utilisées par les cliniciens, lors de l'intervention VirTele, et d'explorer leur impact sur l'autonomisation des survivants d'AVC. Les résultats obtenus dans le cadre de l'étude de cas multiples (Article n°4) soutiennent la faisabilité d'intégrer l'entretien motivationnel dans le cadre de l'intervention VirTele. En effet, par des entrevues semi-structurées, les cliniciens de l'étude ont exprimé leur soutien aux trois principes sous-tendant l'entretien motivationnel, soient le respect de l'autonomie de la personne, le support du développement de ses compétences et l'établissement d'un lien de confiance avec la personne (Article n°4). Ils ont utilisé plusieurs techniques de changement de comportement et techniques motivationnelles spécifiques à VirTele auprès de tous les participants recevant VirTele (Tableau 13). Le fait que les cliniciens soient déjà familiers et formés à l'entretien motivationnel avant le début de l'étude a énormément facilité son intégration au cours de l'intervention.

Les techniques motivationnelles et comportementales semblent optimiser la motivation et l'engagement des survivants d'AVC envers leur programme d'exercice, étant donné qu'un niveau d'adhérence élevée aux jeux a été enregistré chez tous les participants. Il est aussi suggéré que ces techniques contribuent au transfert des gains acquis dans l'environnement virtuel au monde physique, par l'optimisation du changement de comportement du survivant d'AVC par rapport à l'utilisation de son membre supérieur atteint dans les activités quotidiennes. Étant donné que notre étude est la première à tenter d'informer une intervention à base de jeu vidéo avec une théorie motivationnelle, il n'est pas possible de comparer les résultats obtenus à ceux d'autres études. Toutefois, plusieurs études ont démontré l'effet bénéfique des stratégies motivationnelles et comportementales sur l'adhérence aux activités physiques (Morris et al., 2014), l'amélioration des mesures fonctionnelles (ex, Indice de Barthel : mesure de l'incapacité fonctionnelle ;) et l'autogestion des soins (adhérence aux médicaments, autosuivi de la pression artérielle, etc.) auprès de survivants d'AVC (Sit et al., 2016).

Il importe de noter que d'autres éléments liés à l'environnement virtuel pourraient contribuer à l'adhérence au programme d'exercices. Entre autres, la progression dans la difficulté, la qualité des graphiques et du son, pourraient améliorer l'expérience de jeu et procurer un réel sentiment de plaisir et d'amusement, contribuant à la motivation autonome de la personne (Farič et al., 2019 ; Lukic et al., 2021). Dans l'étude de Levin et al. (2012), il a été rapporté que les participants trouvaient les exercices à base de jeux vidéo plus « dynamiquement intéressants » et « motivants » comparativement au traitement conventionnel. De même, le retour sur la performance et le résultat, au cours des jeux, pourraient contribuer à une motivation contrôlée (sentiment d'accomplissement, récompense par l'affichage du score et l'encouragement) (Lukic et al., 2021 ; Maier et al., 2019). Autrement dit, l'expérience de jeu pourrait contribuer à une motivation autonome et contrôlée chez le survivant d'AVC, qui pourrait augmenter son engagement et son adhérence au programme d'exercices et même à des changements à long terme dans les habitudes de vie.

Pour conclure, l'entretien motivationnel semble constituer un ingrédient actif important dans le cadre de l'intervention VirTele. Cette stratégie semble agir comme un ingrédient de consolidation

entre les différents ingrédients présentés auparavant, maximisant leur potentiel à travers des techniques motivationnelles et de changement de comportement. Si les techniques motivationnelles visent à augmenter l'adhérence au programme d'exercices, les techniques de changement de comportement aspirent à augmenter les possibilités de consolidation de l'apprentissage moteur acquis par la réalité virtuelle, et ceci, à travers l'identification d'opportunités d'intégration du membre supérieur atteint dans des activités quotidiennes.

### **7.3. Les déterminants de l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele**

Le quatrième objectif de cette thèse était d'explorer les déterminants de l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele auprès des survivants d'AVC et des cliniciens. Le devis mixte de notre projet de recherche nous permet d'intégrer les données qualitatives et quantitatives récoltées à travers les trois études, afin de permettre une interprétation plus complète du fonctionnement de VirTele et sur les facteurs dont il faut tenir compte pour son utilisation par les parties prenantes.

La Figure 12 illustre l'ensemble des déterminants qui ont émergé lors des entrevues semi-structurées administrées auprès des survivants d'AVC au cours de l'étude de cas unique (n=1) et l'étude de cas multiples (n=3), en plus des données d'évaluation des premiers participants de l'essai clinique randomisé.

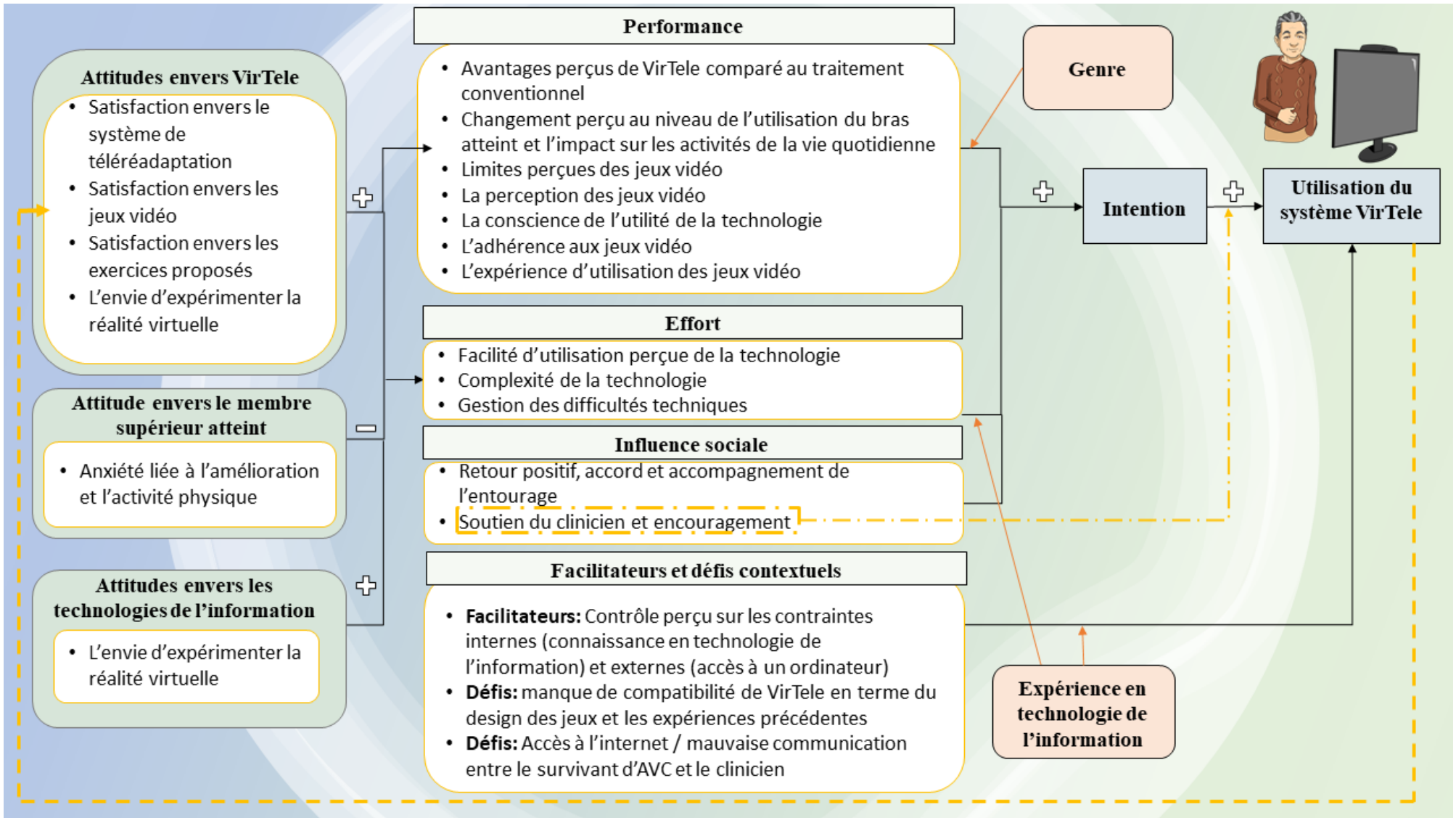


Figure 12. – Les déterminants d'intention et de comportement d'utilisation de VirTele de la perspective des survivants d'AVC.

Les résultats des deux études qualitatives se complètent bien dans le sens où certains facteurs liés à l'attitude et les facilitateurs sont ressortis seulement dans l'étude de cas unique alors que d'autres facteurs liés aux quatre déterminants (performance, effort, influence sociale et facilitateurs/défis contextuels) ont pu être identifiés dans l'étude de cas multiples permettant d'enrichir les données déjà récoltées. L'attitude ou la réaction affective d'une personne par rapport à l'utilisation de la technologie (Venkatesh et al., 2003) s'est traduite par des réactions négatives (anxiété par rapport à la capacité d'amélioration) et positives (satisfaction envers le programme VirTele et envie d'expérimenter la réalité virtuelle) chez le survivant d'AVC. Les réactions négatives reflétaient l'attitude du survivant d'AVC avant l'utilisation de VirTele alors que les réactions positives telles que la satisfaction envers la technologie reflétaient l'attitude de ce dernier après avoir expérimenté l'intervention.

Ces résultats suggèrent que l'utilisation concrète de la technologie VirTele modelait l'attitude de la personne envers l'intervention qui subséquemment pourrait influencer l'utilité perçue de la technologie et la facilité d'utilisation. En effet, il est fort possible que la satisfaction du survivant d'AVC par rapport à VirTele, ait pu renforcer son intérêt pour la réalité virtuelle et sa motivation à adhérer à son programme d'exercices, et l'ait aidé à aller au-devant des difficultés rencontrées (problèmes techniques), corroborant les résultats observés dans l'étude de Desrochers (2016), déployant la réalité virtuelle non immersive (Jintronix). Ces résultats soutiennent l'hypothèse stipulant que l'attitude n'avait pas de lien direct avec l'intention d'utilisation d'une nouvelle technologie, mais agissait à travers son influence sur la performance et l'effort pour moduler l'intention et le comportement envers une technologie (Venkatesh, 2000; Venkatesh et al., 2003).

Les facteurs liés à la performance tels que le changement perçu au niveau de l'utilisation du membre supérieur et l'impact sur les activités de la vie quotidienne rejoignent le facteur « amélioration perçue dans les activités physiques » rapporté dans l'étude qualitative de Chen et al. (2020), examinant l'acceptabilité d'utilisation d'un système de téléadaptation à domicile par des survivants d'AVC. D'autres facteurs liés à la performance ont pu être identifiés à travers l'étude de Chen et al. (2020) incluant l'amélioration perçue au niveau des capacités cognitives et l'amélioration perçue sur le bien-être social émotionnel par l'interaction avec le thérapeute. Ces



évidences suggèrent que l'amélioration perçue au cours de l'intervention pourrait renforcer l'intention d'utilisation de la technologie par les survivants d'AVC. Il est donc possible que la rétroaction sur le résultat (scores lors des jeux, etc.) incluse à VirTele ait pu influencer de façon positive l'intention des survivants d'AVC à utiliser les jeux.

La technologie VirTele était perçue, par la plupart des participants, comme étant facile à utiliser (Article n°2, Article n°4). Lorsque des problèmes techniques se produisaient, des solutions pouvaient être trouvées par le participant lui-même ou à l'aide du proche aidant ou le clinicien (Article n°2, Article n°4), ce qui corrobore les résultats des études précédentes déployant la téléadaptation (Chen et al., 2020) et la réalité virtuelle non immersive (Desrochers, 2016).

En plus du support de l'entourage, le soutien du clinicien a notamment joué un rôle important dans l'intention d'utilisation de la technologie semblable à ce qui a été rapporté par d'autres études sur la téléadaptation (Chen et al. 2020) et la réalité virtuelle non immersive (Desrochers, 2016). De plus, l'intervention du clinicien, dans le cadre de VirTele, était basée sur des stratégies motivationnelles et comportementales qui aspiraient l'atteinte du comportement désiré. Il a été donc jugé pertinent d'établir un lien direct entre le facteur « soutien du clinicien et encouragement » et la transition entre l'intention et le comportement. En effet, le soutien du clinicien pourrait non seulement influencer l'intention des survivants d'AVC à utiliser la technologie, mais faciliterait la transformation de cette intention en un comportement concret, à travers les différentes techniques motivationnelles et techniques de changement de comportement incluses dans l'entretien motivationnel (planification de l'action, établissement de l'objectif, etc.). De surcroît, quelques défis (problème d'internet, difficulté de communication entre le participant et le clinicien, le choix d'avatar) ont été soulevés dans les deux études (Article n°2, Article n°4). Toutefois, ils ne semblent pas influencer pour autant l'utilisation de la technologie par les survivants d'AVC. Néanmoins, des solutions peuvent être suggérées pour éviter que cela cause des problèmes majeurs à l'utilisation de technologies semblables. À titre d'exemple des clés internet 3G peuvent être données aux participants ayant une mauvaise accessibilité à l'internet domiciliaire. De même, face aux problèmes de communication entre le clinicien et le survivant d'AVC due à l'aphasie, le participant pourrait illustrer ses idées par des

images ou l'écriture avec le clavier, des modalités disponibles dans la plupart des systèmes de vidéoconférences.

Par ailleurs, l'expérience en technologie de l'information semble faciliter l'effort qu'implique l'utilisation de VirTele (familiarisation rapide avec la technologie, gestion efficace des difficultés techniques), qui pourrait favoriser l'intention d'utilisation de la technologie. De même, l'expérience en technologie pourrait favoriser le comportement d'utilisation de VirTele, étant donné que la personne est plus prédisposée à avoir les connaissances nécessaires pour utiliser les interfaces du système (p.ex. lancer les jeux, entrer les mots de passe, etc.). Toutefois, il est important de noter qu'un proche aidant ayant une expérience en technologie pourrait notamment aider le survivant d'AVC dans son utilisation. Ensuite, l'évaluation des premiers participants de l'essai clinique randomisé démontrait une adhérence plus élevée chez les femmes (n=2) comparées aux hommes (n=2), au programme VirTele. Il est vrai qu'il est important d'interpréter ces résultats avec prudence étant donnée la taille relativement petite de l'échantillon, mais des observations semblables ont pu être faites dans une étude précédente examinant l'utilisation des jeux vidéo auprès d'une population saine âgée entre 18 à 51 ans (Phan et al., 2012). Cette étude explique ces observations par le fait que les femmes semblent être plus intéressées par les jeux actifs (qui visent l'activité physique), tandis que les hommes ont plus d'intérêt pour les jeux ludiques (les jeux classiques). Le genre pourrait donc affecter l'intention d'utilisation de la technologie, mais cela devrait être examiné avec un échantillon plus grand dans les futures études.

Par contre, l'âge ne semble pas influencer l'utilisation de la technologie, en accord avec ce qui a été rapporté dans d'autres études (Dodakian et al., 2017; Levin et al., 2012). Dans une étude expérimentale menée par Levin et al. (2012), il a été rapporté que les personnes âgées n'avaient pas exprimé le besoin de s'adapter à l'utilisation des jeux vidéo (p. ex. se former à l'utilisation, acquérir certaines compétences) (Levin et al., 2012). De plus, l'étude de Dodakian et al. (2017) a démontré que l'âge n'avait ni de l'influence sur l'adhérence aux jeux vidéo et ni les gains moteurs, même si les habiletés en technologie de l'information tendent à régresser avec l'âge.

La Figure 13 illustre les déterminants les plus importants qui ont émergé, auprès des cliniciens (n=2) lors de l'étude de cas multiples. Ces déterminants sont essentiellement liés à la performance, l'effort et les facilitateurs et défis contextuels. L'influence sociale ne semblait pas exercer une influence importante sur l'intention des cliniciens à utiliser VirTele. Ceci peut être expliqué par le fait que les cliniciens de l'étude travaillaient en libre pratique, ils étaient propriétaires de cabinets de physiothérapie. Ainsi, ces derniers agissaient sans l'influence des pairs ou des supérieurs (gestionnaire cheffe service) qui pourraient entraîner des pressions. Partant du principe de la motivation autonome, plus une personne est indépendante dans sa prise de décision, plus elle sera apte à changer son comportement, incluant l'utilisation d'une nouvelle technologie. Une observation comparable à notre étude a été rapportée par Liu et al. (2015), examinant les facteurs pouvant influencer l'intention et le comportement d'utilisation d'une nouvelle technologie (iPad, jeux vidéo sur ordinateur), auprès de cliniciens, travaillant dans un hôpital de réadaptation. Les auteurs expliquent ce résultat par le fait que les cliniciens ont utilisé la technologie de façon volontaire, sans l'influence des pairs faisant en sorte que le déterminant de l'influence sociale n'a aucun poids sur l'intention. À l'opposé des résultats de Liu et al. (2015), l'effort qu'implique l'utilisation de la technologie a été considéré comme étant un facteur important dans nos deux études. Il semblerait que le déterminant de l'effort est plus significatif lorsqu'il s'agit d'une utilisation récente de la technologie et semble se dissiper avec le temps, lorsque les utilisateurs se familiarisent avec cette dernière (Davis, 1989). Toutefois, les difficultés techniques ne semblent pas avoir influencé l'intention d'utilisation de la technologie étant donné que les cliniciens ont mené toutes les séances de vidéoconférences comme convenu dans le protocole de l'étude. La performance de la technologie, ou le degré auquel le clinicien perçoit la technologie comme étant utile et aidante dans sa pratique et pour son client semble plus importante que l'effort qu'implique son utilisation, ce qui corrobore les résultats de Liu et al. (2015).

En somme, la combinaison des résultats des trois études a permis de concevoir une image plus complète des déterminants qui peuvent influencer l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele par les survivants d'AVC et les cliniciens. Il est vrai qu'il n'est pas possible d'agir sur les facteurs tels que l'expérience en technologie de l'information et le genre, mais il est possible

d'optimiser l'acceptabilité d'une technologie par la conception d'une plateforme intuitive, facile à utiliser, qui tient compte du besoin de l'utilisateur et l'aide dans sa pratique. Ceci est d'autant plus important étant donné que l'utilisation concrète de la technologie pourrait moduler l'attitude qu'a une personne face à la technologie et influencer son acceptabilité (poursuivre ou arrêter l'utilisation). Il importe aussi de bien former les cliniciens et les proches aidants si possible, pour mieux accompagner les survivants d'AVC dans leur utilisation de VirTele, et d'identifier de nouvelles stratégies pour faire face aux défis rencontrés qui peuvent limiter l'utilisation de technologies semblables.

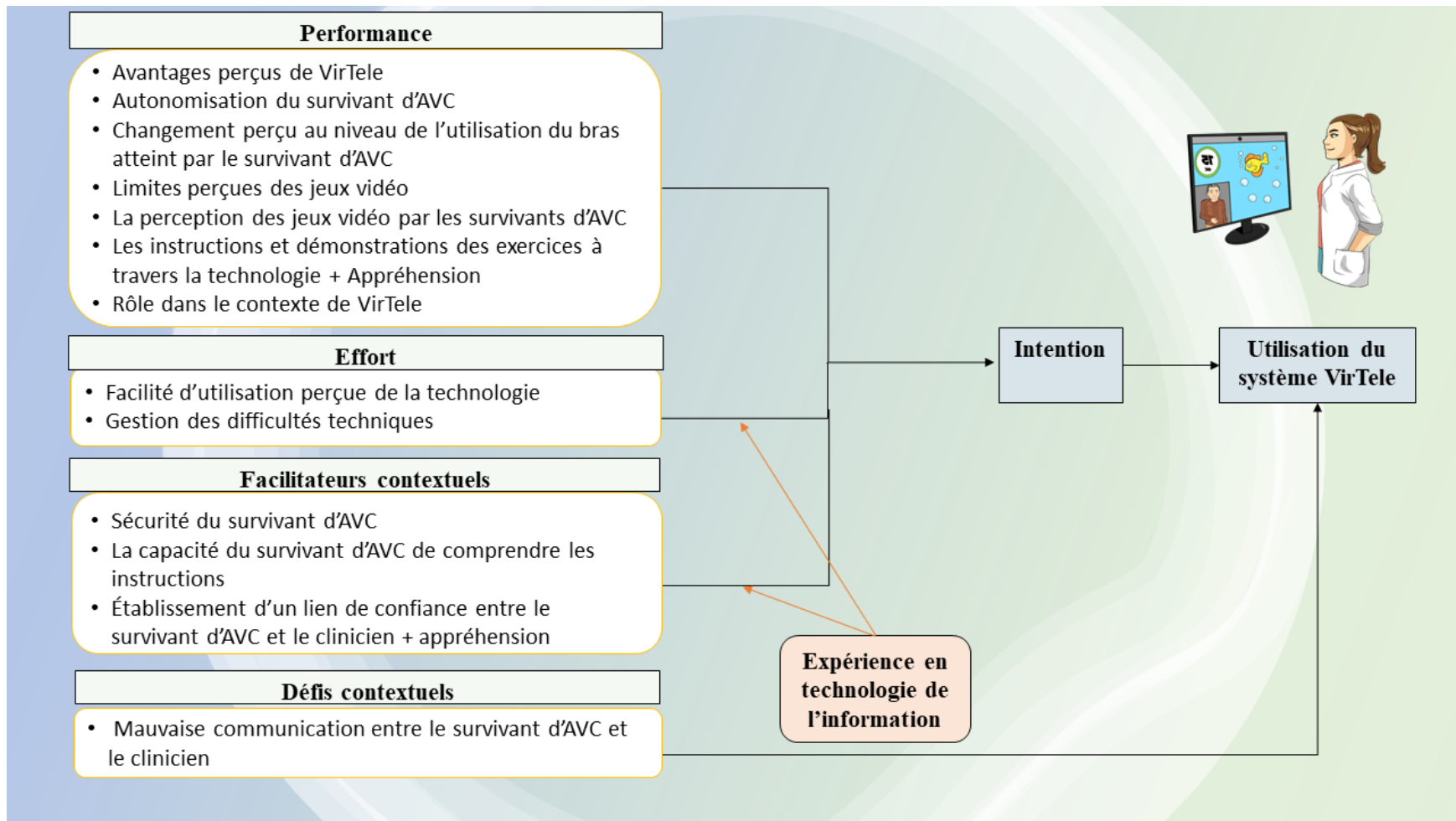


Figure 13. – Les déterminants d'intention et de comportement d'utilisation de VirTele de la perspective des cliniciens.

## **7.4. Limites du projet de recherche**

En plus des limites rapportées pour chacune des études (Article n°2, Article n°3, Article n°4), il est important de rappeler que la principale limite de notre projet de recherche est la taille d'échantillon relativement petite, qui doit être prise en considération lors de l'interprétation des résultats, particulièrement dans les Article n°3 et n°4. Cette taille limite la capacité à généraliser les résultats concernant la faisabilité et l'efficacité préliminaire de VirTele pour la réadaptation du membre supérieur à la suite d'un AVC. Pareillement, cette taille pourrait limiter la capacité d'atteindre la saturation des données qualitatives récoltées auprès des survivants d'AVC et des cliniciens par rapport aux déterminants d'utilisation de VirTele. Certes, des redondances ont pu être observées entre les propos des cliniciens et des survivants d'AVC, et entre les participants ayant eu un AVC (Article n°4). Toutefois, face à la complexité de l'intervention, il est fort possible que l'on ait pu observer des expériences différentes auprès d'autres participants. De plus, en regard au contexte particulier dans lequel cette étude s'est déroulée, la perception des gens par rapport à la télésanté pourrait changer en fonction du contexte sanitaire, ce qui pourrait influencer à l'avenir l'intention d'utiliser des technologies pour la réadaptation.

## **7.5. Implications pour la pratique clinique**

### **7.5.1. Technologies et expertises**

La téléadaptation connaît un essor fulgurant, et ce surtout depuis l'arrivée du contexte sanitaire dans lequel nous avons été plongés. Depuis le 16 mars 2020, plus de 350 000 consultations ont été accomplies à distance selon la fédération des cliniques de physiothérapie du Québec (Ordre professionnel de la physiothérapie du Québec, 2020). Les cliniciens sont donc plus prédisposés à acquérir les informations nécessaires pour s'engager dans l'offre de ce type de service. Cette thèse informe l'utilisation combinée de la téléadaptation et de la réalité virtuelle par jeux vidéo sérieux et présente des leçons pertinentes à la pratique clinique (Article n°4). D'un point de vue pragmatique, l'intervention VirTele développée dans le cadre de nos travaux de recherche peut être facilement transférée à la pratique clinique étant donné que les technologies déployées et les expertises requises (formation en entretien motivationnel) sont accessibles et émanent

directement de la pratique courante. Le système Reacts, certifié par le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, a été déployé depuis le 28 mars 2019 par le centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du nord de l'île de Montréal comme outil de communication sécurisé pour les professionnels de la santé (Reacts, 2019). De même, le jeu Jintronix est déjà implanté dans l'hôpital Juif de réadaptation à Laval, pour la réadaptation des déficits fonctionnels auprès des patients internes et ambulatoires. L'expertise en entretien motivationnel pourrait être acquise par la participation à une formation continue accessible en ligne (<https://psymontreal.com/pour-les-professionnels-de-la-sante/>).

### **7.5.2. Stage de transfert de connaissances**

Par ailleurs, dans le but de capitaliser sur l'intérêt des milieux cliniques envers l'intervention par jeux vidéo, l'auteure de la thèse (DRA) a entrepris un stage de transfert de connaissance entre le 20 septembre 2021 au 26 décembre 2021, au centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal (CCSMTL). Par ce projet de stage, l'étudiante (DRA) visait d'abord à mieux comprendre la réalité des intervenants en réadaptation et à les accompagner dans leur intégration d'une innovation au sein de leur pratique, auprès de leur clientèle. Pour le milieu d'accueil, la modalité de traitement avec jeu vidéo pourrait contribuer à une pratique optimale d'exercices chez les usagers et maximiser ainsi leur potentiel de récupération ou de maintien.

Dans cette optique, l'étudiante (DRA) a choisi les services de réadaptation axée sur l'intégration sociale offerts au pavillon Laurier du CCSMTL. Pour ce stage, l'étudiante se proposait de suivre une démarche inspirée des modèles des sciences de l'implantation auxquels elle été initiée pendant sa formation. Ainsi, elle avait pour objectifs 1) d'identifier les modalités et protocoles d'entraînements proposés à la clientèle dans le milieu d'accueil ; 2) d'identifier des opportunités de même que les leviers et les barrières à l'intégration d'un protocole d'entraînement à base de jeux vidéo ; 3) d'accompagner le ou les intervenants dans l'utilisation des jeux vidéo pour l'essai du nouveau protocole d'entraînement et 4) de préparer la pérennisation du nouveau protocole d'entraînement, si jugé pertinent par le milieu d'accueil. Pour cela, l'équipement nécessaire pour l'utilisation des jeux vidéo (Jintronix) a été mis à la disposition de l'équipe clinique par l'équipe de

recherche (DK), pour toute la durée du stage. Au cours de ses premières semaines de *shadowing* des cliniciens, l'étudiante a observé différentes interventions auprès de personnes souffrant de sclérose en plaques, de la maladie de Parkinson et d'amyotrophie. En s'inspirant des protocoles d'entraînement proposés par les cliniciens du milieu, l'étudiante a réussi à co-concevoir avec les intervenants, un programme d'exercice à base de jeux vidéo adapté à chaque client suivi. Les programmes d'exercices conçus visaient essentiellement les membres inférieurs et l'équilibre. Étant donné que cette modalité d'exercice n'a pas été intégrée au programme VirTele, l'étudiante a profité de cette opportunité pour en apprendre plus sur le choix d'exercice disponible dans le système de jeu. L'étudiante a approché 6 cliniciens du milieu pour tester les jeux auprès de leurs clients.

Dans l'ensemble, les suivis effectués au cours du stage ont permis de réaliser les constatations suivantes. La technologie ne semble pas adaptée à une clientèle ayant des déficits fonctionnels très sévères, étant donné que les capteurs du jeu nécessitent une certaine amplitude de mouvement pour bouger l'avatar et jouer. Toutefois, il était intéressant de constater que la technologie n'était pas aussi adaptée à des patients présentant des déficits moyens à légers, souvent qualifiés étant des patients : « très performants », pour la technologie. D'autant plus lorsque le programme d'exercice visait essentiellement le renforcement musculaire. En effet, même si les jeux reproduisaient le même patron du mouvement du protocole conventionnel, le fait qu'aucune forme de résistance ne soit incluse semblait limiter la performance de la technologie à atteindre l'objectif de certains patients.

Par ailleurs, les jeux semblaient plus adaptés pour l'entraînement de l'équilibre, plus particulièrement pour la réadaptation des troubles d'équilibre liés à la sclérose en plaques. Enfin, les patients ont démontré beaucoup de motivation et d'intérêt pour les jeux, ce qui soutient la pertinence de continuer à explorer les déterminants de l'intégration de cette technologie dans la pratique clinique.

En sommes, ces observations inattendues ouvrent la porte vers d'autres avenues de recherche qui n'ont pas été explorées jusqu'à présent dans le cadre des technologies en réalité virtuelle et VirTele (téléadaptation combinée aux jeux vidéo). Ces avenues pourraient se focaliser sur les



pistes d'amélioration des technologies en réalité virtuelle afin de répondre aux besoins des patients ayant des déficits modérés à légers, dans le but de rendre les jeux plus stimulants d'un point de vue sensorimoteur. D'autant plus, d'explorer la faisabilité et l'efficacité de la réalité virtuelle pour la réadaptation des troubles d'équilibre dans le contexte de la sclérose en plaques. Jintronix a été utilisé à titre d'exemple représentatif de la réalité virtuelle non immersive. Mais avec le temps, l'industrie de la réalité virtuelle serait peut-être capable de développer d'autres technologies qui correspondent aux besoins des clientèles visées.

## **7.6. Perspectives et recherches futures**

### **7.6.1. Pistes d'amélioration des interventions en réalité virtuelle et téléadaptation**

#### **7.6.1.1. La rétroaction tactile et des forces d'interaction**

Étant donné que les études en neurosciences encouragent la pratique dans un environnement riche en stimuli à la suite d'un AVC (Janssen et al., 2010; Weiss et al., 2014), l'intégration de la rétroaction tactile dans le cadre de l'intervention VirTele pourrait bien se compléter aux rétroactions visuelles et auditives afin d'optimiser les gains et l'apprentissage moteur. Les systèmes robotiques sont de plus en plus utilisés dans les environnements virtuels dans le but de fournir de la rétroaction tactile (Adamovich et al., 2009). Dans un jeu, elle pourrait être utilisée pour ajouter la perception de contact à des objets virtuels tels que frapper un ballon de football ou toucher une note de piano (Adamovich et al., 2009). Les rétroactions tactiles peuvent notamment être utilisées de façon synchronique avec la rétroaction visuelle afin d'enrichir l'expérience sensorielle et améliorer la sensation d'interaction dans l'environnement virtuel (Adamovich et al., 2009). Chez des patients ayant des limitations fonctionnelles sévères, l'intégration de forces de stabilisation et antigravitaire pourraient soutenir la performance du membre supérieur atteint et aider les patients à accomplir des tâches dans un environnement tridimensionnel (Adamovich et al., 2009).

#### 7.6.1.2. Apprentissage automatique

Le système de jeu déployé dans le cadre de VirTele nécessitait une intervention hebdomadaire du clinicien pour ajuster les paramètres de difficultés. Cette manœuvre pourrait être automatisée par des algorithmes d'apprentissage automatique qui se définit comme étant :

un mode d'apprentissage par lequel un agent évalue et améliore ses performances et son efficacité sans que son programme soit modifié, en acquérant de nouvelles connaissances et aptitudes à partir de données et/ou en réorganisant celles qu'il possède déjà. (Office québécois de la langue française, 2020)

L'apprentissage automatique relève de l'intelligence artificielle et nécessite des données empiriques, ainsi qu'une compréhension claire du problème et des besoins pour pouvoir l'intégrer (Verma et al., 2021). Dans le domaine de la santé, cette technique peut automatiser certaines tâches ou prédire des actions, dans le but de faciliter les décisions cliniques (Verma et al., 2021).

Dans le cadre de VirTele, des automatismes pourraient être appliqués au jeu pour certains paramètres de difficulté (p. ex. précision du mouvement, vitesse d'apparition des objets virtuels, amplitude du mouvement). Cela est dans le but de rendre de façon automatique l'exercice plus difficile ou facile en fonction de la performance de la personne (score, pourcentage de réussite, pourcentage de compensation). L'apprentissage automatique pourrait assurer que la difficulté des jeux soit adaptée à la progression du survivant d'AVC tout le long de l'intervention, et ce afin de maintenir son intérêt et sa motivation pour son programme d'exercice. Quelques études récentes ont intégré cette technique dans le cadre des jeux vidéo sérieux pour détecter de façon automatique la performance du client (précision du mouvement, le score, etc.) (Varga et al., 2021) ou les compensations (Cai et al., 2020), afin de donner de la rétroaction visuelle ou tactile en temps réel et ajuster convenablement la difficulté. Cette technique semble prometteuse pour guider les cliniciens dans leurs décisions en lien avec le programme d'exercice et rendre l'expérience de jeu plus personnalisée et efficace auprès des utilisateurs (Cai et al., 2020; Varga et al., 2021).

## 7.6.2. Études futures

### 7.6.2.1. Portrait des utilisateurs

Il sera pertinent d'examiner les caractéristiques des utilisateurs de la réalité virtuelle dans le cadre de la réadaptation à la suite d'un AVC, afin de tenter d'expliquer la variabilité des résultats et permettre une compréhension commune du fonctionnement de ces technologies. Pour cela, un examen de la portée pourrait être réalisé sur les études axées sur des systèmes de réalité virtuelle non immersive, semi-immersive et immersive, pour des fins de réadaptation à la suite d'un AVC, afin d'identifier le portrait des participants inclus. Ce portrait renvoie aux caractéristiques sociodémographiques, au niveau d'atteinte, et le changement, perçu ou mesuré au niveau des échelles cliniques, à la suite du programme reçu. L'établissement de ce portrait pourrait permettre aux cliniciens de mieux cibler la clientèle qui pourrait bénéficier de la réalité virtuelle et prendre des décisions éclairées quant au choix de services offerts aux survivants d'AVC. De même, il sera plus facile à l'industrie des jeux vidéo sérieux de concevoir des technologies adaptées aux besoins des survivants AVC et mieux personnaliser l'expérience de jeu.

### 7.6.2.2. Mesures adaptées aux systèmes de téléadaptation

Malgré le nombre croissant de technologies en téléadaptation et en réalité virtuelle, visant des interventions à distance dans le but de faciliter l'accès aux soins, aucune étude ne propose une échelle de performance qui permet d'évaluer à distance la récupération motrice à la suite d'un AVC (W-S. Kim, communication personnelle, 24 décembre 2020). La faisabilité d'administration du *Fugl Meyer* à distance a été testée dans deux études incluses dans notre thèse; en premier lieu dans l'étude de cas unique et par la suite dans le cadre de l'essai clinique randomisé. Malgré les modifications apportées à l'échelle afin de permettre son administration à distance, le MCID a été détecté chez les survivants d'AVC dans les deux études, soulignant le haut potentiel de sensibilité au changement de cette version du *Fugl Meyer*. Étant donné que le *Fugl Meyer* est l'échelle la plus utilisée dans les études en réalité virtuelle et la téléadaptation (Laver et al., 2017; Maier et al., 2019; Putrino, 2014), il sera pertinent de valider la version proposée dans le cadre de nos études, afin de faciliter le suivi et l'évaluation à distance des survivants d'AVC, que ce soit dans le contexte clinique ou de la recherche. Par ailleurs, l'évaluation de l'impact réel de

l'intervention sur l'utilisation du membre atteint pourrait être identifiée de façon quantitative dans des études futures à l'aide de capteurs.

#### 7.6.2.3. Impact sur les fonctions cognitives

Étant donné que l'entraînement par réalité virtuelle exige certaines capacités de traitement de l'information, de mémorisation, d'attention et de résolution de problème, il sera pertinent d'inclure des mesures des fonctions cognitives dans les études futures. Ces études pourraient permettre de comprendre l'impact qu'a ces technologies sur les capacités cognitives. L'étude de Nithianantharajah et Hannan (2006) a démontré qu'un environnement riche en stimuli (stimulation cognitive, sensorielle et motrice) pourrait augmenter la capacité de raisonnement à travers des changements neuroplastiques au sein du cortex cérébral. Ces changements faciliteraient l'apprentissage et les performances cognitives suite à une lésion cérébrale (étude faite sur des souris) (Nithianantharajah et Hannan, 2006). Dans un essai clinique randomisé pilote, des jeux (sur téléphone) visant l'entraînement cognitive a entraîné une amélioration statistiquement significative des fonctions cognitives et l'attention chez des survivants d'AVC, en phase chronique (Jung et al., 2020).

#### 7.6.2.4. Évaluation économique

Malgré le potentiel des systèmes de téléadaptation à réduire les coûts directs et indirects liés à la gestion des maladies chroniques telle que l'AVC, il existe encore peu d'études qui proposent des évaluations économiques des dépenses du traitement conventionnel comparé au traitement par téléadaptation (McLean et al., 2013; Putrino, 2014). Ceci pourrait être expliqué par le fait qu'il n'existe aucun consensus sur les procédures de remboursement et le paiement des factures des services par téléadaptation (Putrino, 2014). Par ailleurs, les évidences économiques récoltées jusqu'à présent ne semblent pas tenir compte du point de vue du patient ou la société et de la manière avec laquelle les services de soin sont distribués (McLean et al., 2013). Il sera donc pertinent pour les études futures de se pencher sur cet aspect pour tenter de projeter des estimations sur les dépenses avec les deux types de services (téléadaptation et traitement conventionnel). D'autant plus des dépenses liées à l'utilisation combinée de la réalité virtuelle et

la téléreadaptation, afin d'informer les décideurs et les aider à prendre des décisions éclairées quant à la gestion des ressources et le choix des services offerts dans le système de la santé.



## Conclusion

L'AVC est à l'origine de plusieurs séquelles sensorimotrices, ce qui lui confère le titre de la maladie la plus handicapante chez l'adulte. Étant donné les ressources limitées dans le système de santé et l'accès restreint aux services de réadaptation communautaires, les survivants d'AVC se retrouvent souvent avec des séquelles chroniques au niveau du membre supérieur, les empêchant d'accomplir des activités de la vie quotidienne, qui pourraient limiter leur participation sociale et leur qualité de vie. Les évidences ont montré qu'il est possible de récupérer la fonction motrice du membre supérieur, même en phase chronique d'AVC. Il est donc primordial d'innover les approches de réadaptation communautaires afin de maximiser la récupération des survivants d'AVC tout en tenant compte de leur réalité et leurs besoins. La réalité virtuelle et le système de téléadaptation sont de plus en plus intégrés à la pratique clinique, pour des fins de réadaptation et de suivi chez les survivants d'AVC. De plus, les services de téléadaptation connaissent actuellement un essor important face au contexte sanitaire lié au COVID-19. Bien que les deux technologies soient soutenues par plusieurs évidences scientifiques pour leur effet bénéfique dans le contexte de la réadaptation à la suite d'un AVC, l'utilisation combinée des deux approches demeure peu explorée dans la littérature. D'autant plus, l'impact de l'intégration de techniques comportementales et motivationnelles à la réalité virtuelle combinée à la téléadaptation (VirTele), pour le maintien des gains à long terme, et les ingrédients actifs d'un tel programme restent méconnus. Il est donc important d'explorer la faisabilité et l'efficacité préliminaire d'un tel programme pour la réadaptation du membre supérieur, chez les survivants d'AVC en phase chronique, afin de mieux informer les cliniciens et les décideurs dans le choix des services offerts en communauté.

Cette thèse visait quatre objectifs spécifiques : 1) Déterminer la faisabilité de VirTele, pour la réadaptation du membre supérieur à domicile, auprès des survivants d'AVC en phase chronique; 2) Explorer l'efficacité préliminaire de VirTele sur la fonction motrice du membre supérieur, la quantité et la qualité d'utilisation du membre supérieur atteint, la qualité de vie et la motivation, chez les survivants d'AVC en phase chronique, comparé au traitement conventionnel; 3) Identifier

les stratégies motivationnelles et comportementales utilisées par les cliniciens, lors de l'intervention VirTele, et explorer leur impact sur l'autonomisation des survivants d'AVC; 3) Explorer les déterminants de l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele auprès des survivants d'AVC et des cliniciens.

Les données récoltées à travers une étude de cas unique et l'évaluation des premiers participants d'un essai clinique randomisé appuient la faisabilité de prodiguer un programme d'entraînement à distance, par la technologie VirTele, pour la réadaptation du membre supérieur. D'autant plus d'assurer un suivi hebdomadaire de la progression et l'adéquation des exercices aux besoins du survivant d'AVC. Bien que le programme d'entraînement par VirTele soit faisable et sécuritaire, l'évaluation des premiers participants de l'essai clinique randomisé ne démontre pas la supériorité du programme VirTele sur l'amélioration de la fonction motrice et la qualité et quantité d'utilisation du membre supérieur, comparé au traitement conventionnel. Toutefois, des différences ont été observées entre les deux interventions (VirTele versus traitement conventionnel), en regard de la qualité de vie qui était meilleure dans le groupe contrôle et la motivation qui était plus élevée dans le groupe recevant VirTele. Les constats de l'étude de cas multiples imbriquée à l'essai clinique randomisé ont démontré que les cliniciens ont bien intégré des techniques de changement de comportement et des techniques motivationnelles spécifiques à VirTele, au cours des suivis, auprès de tous les participants recevant VirTele. Ces techniques auraient possiblement potentialisé l'autonomisation des survivants d'AVC qui s'est manifesté par une adhérence élevée au programme de jeux et une utilisation plus accrue du membre supérieur atteint dans des activités de la vie quotidienne, maintenue deux mois après la fin de l'intervention VirTele. De plus, les leçons apprises, par rapport à l'utilisation de VirTele, ont pu être formulées et présentées dans l'étude de cas multiples afin de guider l'utilisation de la technologie auprès de survivants d'AVC, dans la pratique clinique.

Enfin, la combinaison des résultats des trois études a permis de concevoir une image plus complète des déterminants qui peuvent influencer l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele par les survivants d'AVC et les cliniciens. Entre autres, la performance de la technologie, l'effort d'utilisation de la technologie, l'influence sociale, les défis contextuels et les facilitateurs,



l'attitude envers VirTele et la capacité d'amélioration, l'expérience en technologie de l'information et le genre constituaient les déterminants les plus importants pouvant influencer l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele par les survivants d'AVC. Alors qu'auprès des cliniciens, la performance de la technologie, l'effort d'utilisation de la technologie, les défis et facilitateurs contextuels, ainsi que l'expérience en technologies de l'information constituaient les déterminants les plus importants de l'intention et le comportement d'utilisation de VirTele. En somme, tous ces résultats soutiennent la pertinence de continuer les efforts de recherche dans le contexte de la réadaptation à la suite d'un AVC par la réalité virtuelle combinée à la télé-réadaptation.

À travers les résultats, les constats et les limites de chacune des trois études décrites, cette thèse contribue à l'avancement du savoir autour de la faisabilité et l'efficacité préliminaire d'un programme d'entraînement prodigué par la télé-réadaptation combinée à la réalité virtuelle. D'autant plus, cette thèse rapporte les résultats inédits de l'intégration de techniques motivationnelles et comportementales à la technologie VirTele, qui pourraient enrichir le corpus de connaissances dans le domaine de la réadaptation, à la suite d'un AVC.

Par ailleurs, les résultats de cette thèse ouvrent la voie vers différentes avenues de recherche à explorer, incluant par exemple la standardisation d'une nouvelle version de l'échelle de mesure *Fugl Meyer* qui pourrait être administrée à distance sans la présence physique de l'évaluateur. Cette version du *Fugl Meyer* pourrait être utile dans le cadre de la télé-réadaptation, permettant de mesurer à distance la récupération motrice du membre supérieur atteint à la suite d'un AVC. De même, un examen de la portée pourrait être entrepris afin d'établir un portrait des survivants d'AVC recrutés dans les études déployant la réalité virtuelle et d'identifier les caractéristiques associées à une récupération optimale dans le cadre d'un tel programme. Enfin, cette thèse ouvre la porte vers des possibilités de collaborations avec les développeurs des jeux vidéo et de l'intelligence artificielle, ainsi que les chercheurs, dans le but de concevoir des approches plus adaptées à la réalité des survivants d'AVC.



## Références bibliographiques

- Adamovich, S. V., Fluet, G. G., Tunik, E., et Merians, A. S. (2009). Sensorimotor training in virtual reality : A review. *NeuroRehabilitation*, 25(1), 29-44. <https://doi.org/10.3233/NRE-2009-0497>
- Adie, K., Schofield, C., Berrow, M., Wingham, J., Humfryes, J., Pritchard, C., James, M., et Allison, R. (2017). Does the use of Nintendo Wii Sports™ improve arm function? Trial of Wii™ in Stroke: a randomized controlled trial and economics analysis. *Clinical Rehabilitation*, 31(2), 173-185. <https://doi.org/10.1177/0269215516637893>
- Agence de la santé publique du Canada. (2009). *2009 tracking heart disease and stroke in Canada*. Public Health Agency of Canada. <https://www.canada.ca/content/dam/phac-aspc/migration/phac-aspc/publicat/2009/cvd-avc/pdf/cvd-avs-2009-eng.pdf>
- Ahn, S., et Hwang, S. (2019). Virtual rehabilitation of upper extremity function and independence for stroke : A meta-analysis. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(3), 358-369. <https://doi.org/10.12965/jer.1938174.087>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Aminov, A., Rogers, J. M., Middleton, S., Caeyenberghs, K., et Wilson, P. H. (2018). What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 15(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0370-2>
- Assaad, J.-M., Kayser, J., et Michaliszyn, D. (2018, novembre 26). *Introduction à l'entretien motivationnel* [Formation continue]. <https://psymontreal.com/>
- Aujoulat, I., d'Hoore, W., et Deccache, A. (2007). Patient empowerment in theory and practice : Polysemy or cacophony? *Patient Education and Counseling*, 66(1), 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2006.09.008>

- Baus, O., et Bouchard, S. (2014). Moving from virtual reality exposure-based therapy to augmented reality exposure-based therapy : A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 112. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00112>
- Beer, R. F., Ellis, M. D., Holubar, B. G., et Dewald, J. P. A. (2007). Impact of gravity loading on post-stroke reaching and its relationship to weakness. *Muscle et Nerve*, 36(2), 242-250. <https://doi.org/10.1002/mus.20817>
- Bobath, B. (1970). *Adult Hemiplegia : Evaluation and Treatment*. Heinemann Medical.
- Bourbonnais, D., et Noven, S. V. (1989). Weakness in Patients With Hemiparesis. *American Journal of Occupational Therapy*, 43(5), 313-319. <https://doi.org/10.5014/ajot.43.5.313>
- Brunnstrom, S. (1966). Motor testing procedures in hemiplegia : Based on sequential recovery stages. *Phys Ther*, 46, 357-375. /z-wcorg/.
- Buckley, B., et Conomos, J. (2020). *A Companion to Curation*. John Wiley et Sons.
- Cai, S., Wei, X., Su, E., Wu, W., Zheng, H., et Xie, L. (2020). Online compensation detecting for real-time reduction of compensatory motions during reaching : A pilot study with stroke survivors. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 17(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00687-1>
- Calabrò, R. S., Naro, A., Russo, M., Leo, A., De Luca, R., Balletta, T., Buda, A., La Rosa, G., Bramanti, A., et Bramanti, P. (2017). The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG : A randomized clinical trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>
- Carraro, N., et Gaudreau, P. (2013). Spontaneous and experimentally induced action planning and coping planning for physical activity : A meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, 14(2), 228-248. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.10.004>
- Chen, Y., Chen, Y., Zheng, K., Dodakian, L., See, J., Zhou, R., Chiu, N., Augsburger, R., McKenzie, A., et Cramer, S. C. (2020). A qualitative study on user acceptance of a home-based stroke telerehabilitation system. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 27(2), 81-92. <https://doi.org/10.1080/10749357.2019.1683792>

- Cheung, V. C. K., Piron, L., Agostini, M., Silvoni, S., Turolla, A., & Bizzi, E. (2009). Stability of muscle synergies for voluntary actions after cortical stroke in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(46), 19563–19568. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910114106>
- Cikajlo, I., Rudolf, M., Goljar, N., Burger, H., et Matjai, Z. (2012). Telerehabilitation using virtual reality task can improve balance in patients with stroke. *Disability and Rehabilitation*, *2012*, Vol.34(1), p.13-18, 34(1), 13-18. <https://doi.org/10.3109/09638288.2011.583308>
- Commission de l'éthique en science et en technologie. (2014). *La télésanté clinique au Québec : Un regard éthique*. 132.
- Compeau, D. R., et Higgins, C. A. (1995). Application of Social Cognitive Theory to Training for Computer Skills. *Information Systems Research*, *6*(2), 118-143. <https://www.jstor.org/stable/23011006>
- Coninx, K., Raymaekers, C., Boeck, J., Weyer, T., Alders, G., Gijbels, D., Eijnde, B., et Feys, P. (2008). Using the Phantom Device for Rehabilitation of the Arm in MS Patients : A Case Study. *Proceedings of Measuring Behavior*.
- Conner, M., et Norman, P. (2017). Health behaviour : Current issues and challenges. *Psychology et Health*, *32*(8), 895-906. <https://doi.org/10.1080/08870446.2017.1336240>
- Cramer, S. C., Sur, M., Dobkin, B. H., O'Brien, C., Sanger, T. D., Trojanowski, J. Q., Rumsey, J. M., Hicks, R., Cameron, J., Chen, D., Chen, W. G., Cohen, L. G., deCharms, C., Duffy, C. J., Eden, G. F., Fetz, E. E., Filart, R., Freund, M., Grant, S. J., ... Vinogradov, S. (2011). Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain*, *134*(6), 1591-1609. <https://doi.org/10.1093/brain/awr039>
- CyberGlove Systems LLC. (s. d.). CyberGlove Systems LLC. Consulté 10 décembre 2020, à l'adresse <http://www.cyberglovesystems.com>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319-340. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., et Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology : A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, *35*(8), 982-1003. <https://www.jstor.org/stable/2632151>

- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., et Warshaw, P. R. (1992). Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace. *Journal of Applied Social Psychology*, 22(14), 1111-1132. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1992.tb00945.x>
- Deci, E. L., et Ryan, R. M. (2000). The « What » and « Why » of goal pursuits : Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227-268. [https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01)
- Desrochers, P., Fortin, C., & Kairy, D. (2016). *Impact des jeux vidéo sur la motivation dans la réadaptation pour membre supérieur suite à un AVC: Perspectives des patients* (p. 1 ressource en ligne) [Français]. <http://hdl.handle.net/1866/16288>
- Deutsch, J. E. (2021, juillet). *Untangling Virtual Reality and Video Game Definitions : Discussion of Unifying Terminology*. International Conference on Virtual Rehabilitation. [http://virtual-rehab.org/2021/wp-content/uploads/2021/07/ICVR2021\\_Proceedings\\_v2-1.pdf](http://virtual-rehab.org/2021/wp-content/uploads/2021/07/ICVR2021_Proceedings_v2-1.pdf)
- Dewald, J. P., Pope, P. S., Given, J. D., Buchanan, T. S., et Rymer, W. Z. (1995). Abnormal muscle coactivation patterns during isometric torque generation at the elbow and shoulder in hemiparetic subjects. *Brain: A Journal of Neurology*, 118 (Pt 2), 495-510. <https://doi.org/10.1093/brain/118.2.495>
- Dietz, V., et Sinkjaer, T. (2007). Spastic movement disorder : Impaired reflex function and altered muscle mechanics. *The Lancet Neurology*, 6(8), 725-733. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(07\)70193-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(07)70193-X)
- Dodakian, L., McKenzie, A. L., Le, V., See, J., Pearson-Fuhrhop, K., Burke Quinlan, E., Zhou, R. J., Augsberger, R., Tran, X. A., Friedman, N., Reinkensmeyer, D. J., et Cramer, S. C. (2017). A Home-Based Telerehabilitation Program for Patients With Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 31(10-11), 923-933. <https://doi.org/10.1177/1545968317733818>
- Doumas, I., Everard, G., Dehem, S., et Lejeune, T. (2021). Serious games for upper limb rehabilitation after stroke : A meta-analysis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18(1), 100. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00889-1>
- Duff, M., Chen, Y., Cheng, L., Liu, S.-M., Blake, P., Wolf, S. L., et Rikakis, T. (2013). Adaptive mixed reality rehabilitation improves quality of reaching movements more than traditional

- reaching therapy following stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(4), 306-315.  
<https://doi.org/10.1177/1545968312465195>
- Duncan, P. W., Goldstein, L. B., Matchar, D., Divine, D. W., et Feussner, J. (1992). Measurement of motor recovery after stroke. Outcome assessment and sample size requirements. *Stroke*, 23(8), 1084-1089. <https://doi.org/10.1161/01.STR.23.8.1084>
- Eschwège, E., et Bouvenot, G. (1994). Essais explicatifs ou pragmatiques, le dualisme. *La Revue de Médecine Interne*, 15(5), 357-361. [https://doi.org/10.1016/S0248-8663\(05\)81445-6](https://doi.org/10.1016/S0248-8663(05)81445-6)
- Farič, N., Potts, H. W. W., Hon, A., Smith, L., Newby, K., Steptoe, A., et Fisher, A. (2019). What Players of Virtual Reality Exercise Games Want : Thematic Analysis of Web-Based Reviews. *Journal of Medical Internet Research*, 21(9), e13833. <https://doi.org/10.2196/13833>
- Fawcett, J. (2020). Thoughts About Meanings of Compliance, Adherence, and Concordance. *Nursing Science Quarterly*, 33(4), 358-360. <https://doi.org/10.1177/0894318420943136>
- Fearon, P., Langhorne, P., et Early Supported Discharge Trialists. (2012). Services for reducing duration of hospital care for acute stroke patients. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 9, CD000443. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000443.pub3>
- Fishbein, M., et Ajzen, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention, and Behavior : An Introduction to Theory and Research*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Folcher, C. (2012). *Le « patient internaute » et la relation soignant-soigné* [Institut de formation en soins infirmiers de Bagnols sur Ceze]. <https://www.infirmiers.com/pdf/tfe-clarisse-folcher.pdf>
- Fondation des maladies du cœur et de l'AVC. (2014). *Bulletin sur l'AVC 2014*. <https://heartstrokeprod.azureedge.net/-/media/1-stroke-best-practices/quality/french/strokereport2014v2fr.ashx?rev=0d85d1205ecd48eebcc5eaff23eb5766>
- Fortier, M. S., Sweet, S. N., O'Sullivan, T. L., et Williams, G. C. (2007). A self-determination process model of physical activity adoption in the context of a randomized controlled trial. *Psychology of Sport and Exercise*, 8(5), 741-757. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.10.006>

- Fortier, M. S., Wiseman, E., Sweet, S. N., O'Sullivan, T. L., Blanchard, C. M., Sigal, R. J., et Hogg, W. (2011). A moderated mediation of motivation on physical activity in the context of the Physical Activity Counseling randomized control trial. *Psychology of Sport and Exercise*, 12(2), 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2010.08.001>
- Fortin, F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche : Méthodes quantitatives et qualitatives* (2e éd.). Chenelière éducation.
- Gauthier, L. V., Kane, C., Borstad, A., Strahl, N., Uswatte, G., Taub, E., Morris, D., Hall, A., Arakelian, M., et Mark, V. (2017). Video Game Rehabilitation for Outpatient Stroke (VIGoROUS) : Protocol for a multi-center comparative effectiveness trial of in-home gamified constraint-induced movement therapy for rehabilitation of chronic upper extremity hemiparesis. *BMC Neurology*, 17. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-0888-0>
- Grefkes, C., & Fink, G. R. (2020). Recovery from stroke: Current concepts and future perspectives. *Neurological Research and Practice*, 2, 17. <https://doi.org/10.1186/s42466-020-00060-6>
- Grigsby, J., Rigby, M., Hiemstra, A., House, M., Olsson, S., et Whitten, P. (2002). Telemedicine/telehealth : An international perspective. The diffusion of telemedicine. *Telemedicine Journal and E-Health: The Official Journal of the American Telemedicine Association*, 8(1), 79-94. <https://doi.org/10.1089/15305620252933428>
- Guba, E. G., et Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. Dans *Handbook of qualitative research* (p. 105-117). Sage Publications, Inc.
- Hardcastle, S. J., Fortier, M., Blake, N., et Hagger, M. S. (2016). Identifying content-based and relational techniques to change behaviour in motivational interviewing. *Health Psychology Review*, 11(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/17437199.2016.1190659>
- Harris, J. E., Eng, J. J., Miller, W. C., et Dawson, A. S. (2009). A self-administered Graded Repetitive Arm Supplementary Program (GRASP) improves arm function during inpatient stroke rehabilitation : A multi-site randomized controlled trial. *Stroke*, 40(6), 2123-2128. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.108.544585>
- Hatem, S. M., Saussez, G., Della Faille, M., Prist, V., Zhang, X., Dispa, D., & Bleyenheuft, Y. (2016). Rehabilitation of Motor Function after Stroke: A Multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10 (442). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00442>



- Hauptmann, B., Reinhart, E., Brandt, S. A., et Karni, A. (2005). The predictive value of the leveling off of within session performance for procedural memory consolidation. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 24(2), 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.012>
- Hearnshaw, H., et Lindenmeyer, A. (2006). What do we mean by adherence to treatment and advice for living with diabetes? A review of the literature on definitions and measurements. *Diabetic Medicine*, 23(7), 720-728. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2005.01783.x>
- Heart and Stroke Foundation of Canada. (2016). *Taking Action for Optimal Community and Long-Term Stroke Care : A Resource for Healthcare Providers*. Canadian Stroke Best Practices. <https://www.strokebestpractices.ca/en/recommendations/stroke-rehabilitation/>
- Hebert, D., Lindsay, M. P., McIntyre, A., Kirton, A., Rumney, P. G., Bagg, S., Bayley, M., Dowlatshahi, D., Dukelow, S., Garnhum, M., Glasser, E., Halabi, M.-L., Kang, E., MacKay-Lyons, M., Martino, R., Rochette, A., Rowe, S., Salbach, N., Semenko, B., ... Teasell, R. (2016). Canadian stroke best practice recommendations : Stroke rehabilitation practice guidelines, update 2015. *International Journal of Stroke*, 11(4), 459-484. <https://doi.org/10.1177/1747493016643553>
- Holden, M. K., et Todorov, E. (2002). Use of Virtual Environments in Motor Learning and Rehabilitation. Dans *In Handbook of Virtual Environments : Design, Implementation, and Applications*.
- Home. (s. d.). Motekmedical.Com. Consulté 25 décembre 2020, à l'adresse <https://www.motekmedical.com/>
- Hung, J.-W., Chou, C.-X., Chang, Y.-J., Wu, C.-Y., Chang, K.-C., Wu, W.-C., et Howell, S. (2019). Comparison of Kinect2Scratch game-based training and therapist-based training for the improvement of upper extremity functions of patients with chronic stroke : A randomized controlled single-blinded trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 55(5), 542-550. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05598-9>
- IREX | Gesturetek Health. (s. d.). Consulté 4 janvier 2021, à l'adresse <http://www.gesturetekhealth.com/products/irex>

- Jabbour, B. (2014). *Contrôle corticospinal sur les circuits neuronaux spinaux au cours de la locomotion chez l'homme*. Université Pierre et Marie Curie.
- Jang, S. H., You, S. H., Hallett, M., Cho, Y. W., Park, C.-M., Cho, S.-H., Lee, H.-Y., et Kim, T.-H. (2005). Cortical Reorganization and Associated Functional Motor Recovery After Virtual Reality in Patients With Chronic Stroke : An Experimenter-Blind Preliminary Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(11), 2218-2223. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.04.015>
- Janssen, H., Bernhardt, J., Collier, J. M., Sena, E. S., McElduff, P., Attia, J., Pollack, M., Howells, D. W., Nilsson, M., Calford, M. B., et Spratt, N. J. (2010). An enriched environment improves sensorimotor function post-ischemic stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(9), 802-813. <https://doi.org/10.1177/1545968310372092>
- Jay, S., Litt, I. F., et Durant, R. H. (1984). Compliance with therapeutic regimens. *Journal of Adolescent Health Care*, 5(2), 124-136. [https://doi.org/10.1016/S0197-0070\(84\)80012-1](https://doi.org/10.1016/S0197-0070(84)80012-1)
- Jung, H.-T., Daneault, J.-F., Nanglo, T., Lee, H., Kim, B., Kim, Y., et Lee, S. I. (2020). Effectiveness of a Serious Game for Cognitive Training in Chronic Stroke Survivors with Mild-to-Moderate Cognitive Impairment : A Pilot Randomized Controlled Trial. *Applied Sciences*, 10(19), 6703. <https://doi.org/10.3390/app10196703>
- Kandel, E., Schwartz, J., Jessell, T., Siegelbaum, S., et Hudspeth, A. J. (2012). *Principles of Neural Science, 5th Edition* (5 edition). McGraw-Hill Education / Medical.
- Karamians, R., Proffitt, R., Kline, D., et Gauthier, L. V. (2020). Effectiveness of Virtual Reality- and Gaming-Based Interventions for Upper Extremity Rehabilitation Poststroke : A Meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 101(5), 885-896. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.10.195>
- Katzan IL, Fan Y, Uchino K, et Griffith SD. (2016). The PROMIS physical function scale : A promising scale for use in patients with ischemic stroke. *Neurology*, 86(19), 1801-1807. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002652>
- Kelly, M. P., et Barker, M. (2016). Why is changing health-related behaviour so difficult? *Public Health*, 136, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2016.03.030>

- Kim, W.-S., Cho, S., Ku, J., Kim, Y., Lee, K., Hwang, H.-J., et Paik, N.-J. (2020). Clinical application of virtual reality for upper limb motor rehabilitation in stroke : Review of technologies and clinical evidence. *Journal of Clinical Medicine*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/jcm9103369>
- Kiper, P., Szczudlik, A., Venneri, A., Stozek, J., Luque-Moreno, C., Opara, J., Baba, A., Agostini, M., et Turolla, A. (2016). Computational models and motor learning paradigms : Could they provide insights for neuroplasticity after stroke? An overview. *Journal of the Neurological Sciences*, 369, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.08.019>
- Kottink, A. I. R., Prange, G. B., Krabben, T., Rietman, J. S., et Buurke, J. H. (2014). Gaming and Conventional Exercises for Improvement of Arm Function After Stroke : A Randomized Controlled Pilot Study. *Games for Health Journal*, 3(3), 184-191. <https://doi.org/10.1089/g4h.2014.0026>
- Krueger, H., Koot, J., Hall, R. E., O'Callaghan, C., Bayley, M., et Corbett, D. (2015). Prevalence of Individuals Experiencing the Effects of Stroke in Canada. *Stroke*, 46(8), 2226-2231. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009616>
- Kwakkel, G., Kollen, B. J., van der Grond, J., et Prevo, A. J. H. (2003). Probability of Regaining Dexterity in the Flaccid Upper Limb. *Stroke*, 34(9), 2181-2186. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000087172.16305.CD>
- Lai, S.-M., Perera, S., Duncan, P. W., et Bode, R. (2003). Physical and Social Functioning After Stroke. *Stroke*, 34(2), 488-493. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000054162.94998.CO>
- Lance, J. W. (1980). The control of muscle tone, reflexes, and movement : Robert Wartenberg Lecture. *Neurology*, 30(12), 1303-1313. <https://doi.org/10.1212/wnl.30.12.1303>
- Lanctôt, K. L., Lindsay, M. P., Smith, E. E., Sahlas, D. J., Foley, N., Gubitz, G., Austin, M., Ball, K., Bhogal, S., Blake, T., Herrmann, N., Hogan, D., Khan, A., Longman, S., King, A., Leonard, C., Shoniker, T., Taylor, T., Teed, M., ... Swartz, R. H. (2020). Canadian Stroke Best Practice Recommendations : Mood, Cognition and Fatigue following Stroke, 6th edition update 2019. *International Journal of Stroke*, 15(6), 668-688. <https://doi.org/10.1177/1747493019847334>

- Lang, C. E., MacDonald, J. R., et Gnip, C. (2007). Counting Repetitions : An Observational Study of Outpatient Therapy for People with Hemiparesis Post-Stroke. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 31(1), 3-10. <https://doi.org/10.1097/01.NPT.0000260568.31746.34>
- Laver, K. E., George, S., Thomas, S., Deutsch, J. E., et Crotty, M. (2011). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 9, CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub2>
- Laver, K. E., George, S., Thomas, S., Deutsch, J. E., et Crotty, M. (2015). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub3>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., et Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Lee, H. S., Park, Y. J., et Park, S. W. (2019). The effects of virtual reality training on function in chronic stroke patients : A systematic review and meta-analysis. *BioMed Research International*, 2019, 7595639. <https://doi.org/10.1155/2019/7595639>
- Lee, M., Son, J., Kim, J., Pyun, S.-B., Eun, S.-D., et Yoon, B. (2016). Comparison of individualized virtual reality- and group-based rehabilitation in older adults with chronic stroke in community settings : A pilot randomized controlled trial. *European Journal of Integrative Medicine*, 8(5), 738-746. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2016.08.166>
- Levac, D., Miller, P., et Missiuna, C. (2012). Usual and Virtual Reality Video Game-based Physiotherapy for Children and Youth with Acquired Brain Injuries. *Physical et Occupational Therapy In Pediatrics*, 32(2), 180-195. <https://doi.org/10.3109/01942638.2011.616266>
- Levesque, C. S., Williams, G. C., Elliot, D., Pickering, M. A., Bodenhamer, B., et Finley, P. J. (2007). Validating the theoretical structure of the Treatment Self-Regulation Questionnaire (TSRQ) across three different health behaviors. *Health Education Research*, 22(5), 691-702. <https://doi.org/10.1093/her/cyl148>
- Levin, M. F. (2011). Can virtual reality offer enriched environments for rehabilitation? *Expert Review of Neurotherapeutics*, 11(2), 153-155. <https://doi.org/10.1586/ern.10.201>

- Levin, M. F. (2021, juillet). *Untangling Virtual Reality and Video Game Definitions : Discussion of Unifying Terminology*. International Conference on Virtual Rehabilitation. [http://virtual-rehab.org/2021/wp-content/uploads/2021/07/ICVR2021\\_Proceedings\\_v2-1.pdf](http://virtual-rehab.org/2021/wp-content/uploads/2021/07/ICVR2021_Proceedings_v2-1.pdf)
- Levin, M. F., Michaelsen, S. M., Cirstea, C. M., et Roby-Brami, A. (2002). Use of the trunk for reaching targets placed within and beyond the reach in adult hemiparesis. *Experimental Brain Research*, 143(2), 171-180. <https://doi.org/10.1007/s00221-001-0976-6>
- Levin, M. F., Snir, O., Liebermann, D. G., Weingarden, H., et Weiss, P. L. (2012). Virtual reality versus conventional treatment of reaching ability in chronic stroke : Clinical feasibility study. *Neurology and Therapy*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s40120-012-0003-9>
- Li, Y., Cai, Y., Zhao, M., et Sun, J. (2017). Risk factors between intracranial–extracranial atherosclerosis and anterior–posterior circulation stroke in ischaemic stroke. *Neurological Research*, 39(1), 30-35. <https://doi.org/10.1080/01616412.2016.1250856>
- Linder, S. M., Rosenfeldt, A. B., Bay, R. C., Sahu, K., Wolf, S. L., et Alberts, J. L. (2015). Improving quality of life and depression after stroke through telerehabilitation. *The American Journal of Occupational Therapy*, 69(2), 6902290020p1-10. <https://doi.org/10.5014/ajot.2015.014498>
- Dawson, A., Knox, J., McClure, A., Foley, N., et Teasell, R. (2013). *Chapter 5 Stroke Rehabilitation* (p. 79). [http://www.ipts.org.il/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/SBP2013\\_Stroke-Rehabilitation-Update\\_July-10\\_FINAL.pdf](http://www.ipts.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/SBP2013_Stroke-Rehabilitation-Update_July-10_FINAL.pdf)
- Lindsay, M., Gubitz, G., Bayley, M., Hill, M., Davies Schinkel, C., Singh, S., et Phillips, S. (2010). *Canadian Best Practice Recommendations for Stroke Care (Update 2010)*. On behalf of the Canadian Stroke Strategy Best Practices and Standards Writing Group.
- Liu, L., Miguel Cruz, A., Rios Rincon, A., Buttar, V., Ranson, Q., et Goertzen, D. (2015). What factors determine therapists' acceptance of new technologies for rehabilitation – a study using the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). *Disability and Rehabilitation*, 37(5), 447-455. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.923529>
- Lohse, K. R., Hilderman, C. G. E., Cheung, K. L., Tatla, S., et Van der Loos, H. F. M. (2014). Virtual reality therapy for adults post-stroke : A systematic review and meta-analysis exploring

- virtual environments and commercial games in therapy. *PLoS ONE*, 9(3), e93318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093318>
- Loureiro, R. C. V., Harwin, W. S., Nagai, K., et Johnson, M. (2011). Advances in upper limb stroke rehabilitation : A technology push. *Medical et Biological Engineering et Computing*, 49(10), 1103. <https://doi.org/10.1007/s11517-011-0797-0>
- Lukic, Y. X., Shih, C.-H. (Iris), Reguera, A. H., Cotti, A., Fleisch, E., et Kowatsch, T. (2021). Physiological Responses and User Feedback on a Gameful Breathing Training App : Within-Subject Experiment. *JMIR Serious Games*, 9(1), e22802. <https://doi.org/10.2196/22802>
- Ma, M., et Zheng, H. (2011). Virtual reality and serious games in healthcare. Dans *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment* (p. 169-192). Springer. [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-17824-5\\_9](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-17824-5_9)
- Maier, M., Rubio Ballester, B., Duff, A., Duarte Oller, E., et Verschure, P. F. M. J. (2019). Effect of specific over nonspecific VR-based rehabilitation on poststroke motor recovery : A systematic meta-analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 33(2), 112-129. <https://doi.org/10.1177/1545968318820169>
- Massie, T. H., et Salisbury, J. K. (1994). The phantom haptic interface : A device for probing virtual objects. *Dynamic Systems and Control*, 1, 5. <https://alliance.seas.upenn.edu/~medesign/wiki/uploads/Courses/Massie94-DSC-Phantom.pdf>
- McComas, A. J., Fawcett, P. R., Campbell, M. J., et Sica, R. E. (1971). Electrophysiological estimation of the number of motor units within a human muscle. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 34(2), 121-131. <https://doi.org/10.1136/jnnp.34.2.121>
- McDermott, A. (2019, mars 28). *Motor Activity Log (MAL)*. Strokengine. <https://strokengine.ca/fr/assessments/motor-activity-log-mal/>
- McEwan, D., et Sweet, S. N. (2012). Needs satisfaction, self-determined motivation and health-enhancing physical activity. *The Health et Fitness Journal of Canada*, 5(3), 3-17. <https://doi.org/10.14288/hfjc.v5i3.120>

- McLean, S., Sheikh, A., Cresswell, K., Nurmatov, U., Mukherjee, M., Hemmi, A., et Pagliari, C. (2013). The Impact of Telehealthcare on the Quality and Safety of Care : A Systematic Overview. *PLOS ONE*, 8(8), e71238. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071238>
- Merians, A. S., Fluet, G., Tunik, E., Qiu, Q., Saleh, S., et Adamovich, S. (2014). Movement rehabilitation in virtual reality from then to now : How are we doing? *International Journal on Disability and Human Development*, 13(3). <https://doi.org/10.1515/ijdhhd-2014-0321>
- Merians, A. S., Tunik, E., et Adamovich, S. V. (2009). Virtual reality to maximize function for hand and arm rehabilitation : Exploration of neural mechanisms. *Stud Health Technol Inform .*, 145, 109-125. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19592790/>
- Michie, S., Abraham, C., Whittington, C., McAteer, J., et Gupta, S. (2009). Effective techniques in healthy eating and physical activity interventions : A meta-regression. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 28(6), 690-701. <https://doi.org/10.1037/a0016136>
- Michie, S., Richardson, M., Johnston, M., Abraham, C., Francis, J., Hardeman, W., Eccles, M. P., Cane, J., et Wood, C. E. (2013). The behavior change technique taxonomy (v1) of 93 hierarchically clustered techniques : Building an international consensus for the reporting of behavior change interventions. *Annals of Behavioral Medicine*, 46(1), 81-95. <https://doi.org/10.1007/s12160-013-9486-6>
- Microsoft. (s. d.). *Kinect—Windows app development*. Consulté 10 décembre 2020, à l'adresse <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/>
- Miller, W. R. (2013). *Motivational interviewing : Helping people change* (3rd ed.). Guilford Press.
- Miller, W. R., et Rollnick, S. (2012). Meeting in the middle : Motivational interviewing and self-determination theory. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9, 25. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-25>
- Monteiro-Junior, R., Vaghetti, C. O., Nascimento, O. J., Laks, J., et Deslandes, A. (2016). Exergames : Neuroplastic hypothesis about cognitive improvement and biological effects on physical function of institutionalized older persons. *Neural Regeneration Research*, 11(2), 201. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.177709>

- Moore, G. C., et Benbasat, I. (1991). Development of an Instrument to Measure the Perceptions of Adopting an Information Technology Innovation. *Information Systems Research*, 2(3), 192-222. <https://doi.org/10.1287/isre.2.3.192>
- Morris, J. H., Macgillivray, S., et McFarlane, S. (2014). Interventions to promote long-term participation in physical activity after stroke : A systematic review of the literature. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(5), 956-967. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.12.016>
- Mouawad, M., Doust, C., Max, M., et McNulty, P. (2011). Wii-based movement therapy to promote improved upper extremity function post-stroke : A pilot study. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 43(6), 527-533. <https://doi.org/10.2340/16501977-0816>
- Neuro-Concept. (s. d.). Système de réadaptation Jintronix (JRS)<sup>®</sup> | Neuro-Concept. *Neuro-Concept - Centre de réadaptation neurologique*. Consulté 4 janvier 2021, à l'adresse <https://neuro-concept.ca/fr/les-technologies-readaptation/jeux-interactifs/>
- Nintendo. (2014). *Wii Fit U - Packaged Version for Wii U - Nintendo Game Details*. <https://www.nintendo.com/games/detail/wii-fit-u-packaged-version-wii-u/>
- Nithianantharajah, J., et Hannan, A. J. (2006). Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(9), 697-709. <https://doi.org/10.1038/nrn1970>
- Norouzi-Gheidari, N., Hernandez, A., Archambault, P. S., Higgins, J., Poissant, L., et Kairy, D. (2019). Feasibility, Safety and Efficacy of a Virtual Reality Exergame System to Supplement Upper Extremity Rehabilitation Post-Stroke : A Pilot Randomized Clinical Trial and Proof of Principle. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), E113. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010113>
- Ntoumanis, N., Ng, J. Y. Y., Prestwich, A., Quested, E., Hancox, J. E., Thøgersen-Ntoumani, C., Deci, E. L., Ryan, R. M., Lonsdale, C., et Williams, G. C. (2021). A meta-analysis of self-determination theory-informed intervention studies in the health domain : Effects on motivation, health behavior, physical, and psychological health. *Health Psychology Review*, 15(2), 214-244. <https://doi.org/10.1080/17437199.2020.1718529>



- Nuss, K., Moore, K., Nelson, T., & Li, K. (2021). Effects of Motivational Interviewing and Wearable Fitness Trackers on Motivation and Physical Activity: A Systematic Review. *American Journal of Health Promotion*, 35(2), 226–235. <https://doi.org/10.1177/0890117120939030>
- Office québécois de la langue française. (2020). *Apprentissage automatique*. [http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=8395061](http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8395061)
- OMS. (s. d.). *OMS | Accident vasculaire cérébral (AVC)*. WHO; World Health Organization. Consulté 29 septembre 2020, à l'adresse [https://www.who.int/topics/cerebrovascular\\_accident/fr/](https://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/fr/)
- Ontario Stroke Network. (s. d.). *FACT SHEET: Stroke Statistics*. Corhealthontario. Consulté 11 octobre 2020, à l'adresse [http://www.ontariostrokenetwork.ca/wp-content/uploads/2013/07/Final\\_Fact\\_Sheet\\_Stroke\\_Stats\\_3.pdf](http://www.ontariostrokenetwork.ca/wp-content/uploads/2013/07/Final_Fact_Sheet_Stroke_Stats_3.pdf)
- Ordre des infirmières et infirmiers de l'Ontario. (2019). *La relation thérapeutique, édition 2006*. [https://www.cno.org/globalassets/docs/prac/51033\\_nurseclient.pdf](https://www.cno.org/globalassets/docs/prac/51033_nurseclient.pdf)
- Ordre professionnel de la physiothérapie du Québec. (2020). *Essor sans précédent de la téléadaptation pendant la pandémie*. <https://oppq.qc.ca/membres/actualites-et-dossiers/essor-telereadaptation-pandemie/>
- Oujamaa, L., Relave, I., Froger, J., Mottet, D., et Pelissier, J.-Y. (2009). Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 52(3), 269-293. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2008.10.003>
- O'Halloran, P. D., Blackstock, F., Shields, N., Holland, A., Iles, R., Kingsley, M., Bernhardt, J., Lannin, N., Morris, M. E., & Taylor, N. F. (2014). Motivational interviewing to increase physical activity in people with chronic health conditions: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*, 28(12), 1159–1171. <https://doi.org/10.1177/0269215514536210>
- Painter, J. E., Borba, C. P. C., Hynes, M., Mays, D., et Glanz, K. (2008). The Use of Theory in Health Behavior Research from 2000 to 2005 : A Systematic Review. *Annals of Behavioral Medicine*, 35(3), 358-362. <https://doi.org/10.1007/s12160-008-9042-y>

- Pekna, M., Pekny, M., et Nilsson, M. (2012). Modulation of Neural Plasticity as a Basis for Stroke Rehabilitation. *Stroke*, 43(10), 2819-2828. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.112.654228>
- Perani, D., Fazio, F., Borghese, N. A., Tettamanti, M., Ferrari, S., Decety, J., et Gilardi, M. C. (2001). Different brain correlates for watching real and virtual hand actions. *NeuroImage*, 14(3), 749-758. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0872>
- Phan, M. H., Jardina, J. R., Hoyle, S., et Chaparro, B. S. (2012). Examining the role of gender in video game usage, preference, and behavior. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 1496-1500. <https://doi.org/10.1177/1071181312561297>
- Piron, L., Tonin, P., Atzori, A. M., Zanotti, E., Massaro, C., Trivello, E., et Dam, M. (2002). Virtual environment system for motor tele-rehabilitation. *Studies in Health Technology and Informatics*, 85, 355-361.
- Piron, L., Turolla, A., Agostini, M., Zucconi, C., Cortese, F., Zampolini, M., Zannini, M., Dam, M., Ventura, L., Battauz, M., et Tonin, P. (2009). Exercises for Paretic Upper Limb After Stroke : A Combined Virtual-Reality and Telemedicine Approach. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(12), 1016-1020. <https://doi.org/10.2340/16501977-0459>
- Piron, L., Turolla, A., Tonin, P., Piccione, F., Lain, L., et Dam, M. (2008). Satisfaction with care in post-stroke patients undergoing a telerehabilitation programme at home. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 14(5), 257-260. <https://doi.org/10.1258/jtt.2008.080304>
- Platz, T. (2004). Impairment-oriented training (IOT)—Scientific concept and evidence-based treatment strategies. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 22(3-5), 301-315.
- Playstation wiki. (s. d.). *PlayStation® Official Site : Consoles, Games, Accessories et More*. Consulté 10 décembre 2020, à l'adresse [https://playstation.fandom.com/wiki/Category:EyeToy\\_games](https://playstation.fandom.com/wiki/Category:EyeToy_games)
- Ploughman, M., Windle, V., MacLellan, C. L., White, N., Doré, J. J., et Corbett, D. (2009). Brain-Derived Neurotrophic Factor Contributes to Recovery of Skilled Reaching After Focal Ischemia in Rats. *Stroke*, 40(4), 1490-1495. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.108.531806>

- Poucher, Z. A., Tamminen, K. A., Caron, J. G., et Sweet, S. N. (2020). Thinking through and designing qualitative research studies : A focused mapping review of 30 years of qualitative research in sport psychology. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 13(1), 163-186. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2019.1656276>
- Putrino, D. (2014). Telerehabilitation and emerging virtual reality approaches to stroke rehabilitation. *Current Opinion In Neurology*, 27(6), 631-636. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000152>
- Quattrocchi, G., Greenwood, R., Rothwell, J. C., Galea, J. M., et Bestmann, S. (2017). Reward and punishment enhance motor adaptation in stroke. *Journal of Neurology, Neurosurgery et Psychiatry*, 88(9), 730-736. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2016-314728>
- Rack, P. M., et Westbury, D. R. (1969). The effects of length and stimulus rate on tension in the isometric cat soleus muscle. *The Journal of Physiology*, 204(2), 443-460. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1969.sp008923>
- Raghavan, P. (2015). Upper Limb Motor Impairment Post Stroke. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, 26(4), 599-610. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.06.008>
- Reacts. (2019, mars 28). *Le CIUSSS du Nord-de-l'Île de Montréal déploie la plateforme Reacts comme outil de communication sécurisé*. <https://reacts.com/fr/le-ciusss-du-nord-de-lile-de-montreal-deploie-la-plateforme-reacts-comme-outil-de-communication-securise/>
- Reinkensmeyer, D. J., Wolbrecht, E. T., Chan, V., Chou, C., Cramer, S. C., et Bobrow, J. E. (2012). Comparison of three-dimensional, assist-as-needed robotic arm/hand movement training provided with Pneu-WREX to conventional tabletop therapy after chronic stroke. *American Journal of Physical Medicine et Rehabilitation*, 91(11 Suppl 3), S232-241. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31826bce79>
- Ridde, V., et Haddad, S. (2013). Pragmatisme et réalisme pour l'évaluation des interventions de santé publique. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 61, S95-S106. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2013.03.037>

- Robertson, J. V. G., et Roby-Brami, A. (2010). Augmented feedback, virtual reality and robotics for designing new rehabilitation methods. Dans *Rethinking physical and rehabilitation medicine* (p. 223-245). Springer Paris. [https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0034-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0034-9_12)
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovations* (4th edition). The Free Press.
- Ryan, R. M., et Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68-78. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
- Saposnik, G., et Levin, M. (2011). Virtual reality in stroke rehabilitation : A meta-analysis and implications for clinicians. *Stroke; a Journal of Cerebral Circulation*, 42(5), 1380-1386. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.605451>
- Schmid, L., Glässel, A., et Schuster-Amft, C. (2016). Therapists' Perspective on Virtual Reality Training in Patients after Stroke : A Qualitative Study Reporting Focus Group Results from Three Hospitals. *Stroke Research and Treatment*, 2016, 6210508. <https://doi.org/10.1155/2016/6210508>
- Schweighofer, N., Han, C. E., Wolf, S. L., Arbib, M. A., et Winstein, C. J. (2009). A Functional Threshold for Long-Term Use of Hand and Arm Function Can Be Determined : Predictions From a Computational Model and Supporting Data From the Extremity Constraint-Induced Therapy Evaluation (EXCITE) Trial. *Physical Therapy*, 89(12), 1327-1336. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080402>
- Shaffer, J. (2016). Neuroplasticity and Clinical Practice: Building Brain Power for Health. *Frontiers in Psychology*, 7, 1118. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01118>
- Shea, J. B., et Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5(2), 179-187. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.5.2.179>
- Shin, J.-H., Bog Park, S., et Ho Jang, S. (2015). Effects of game-based virtual reality on health-related quality of life in chronic stroke patients : A randomized, controlled study. *Computers in Biology and Medicine*, 63, 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2015.03.011>

- Shishov, N., Melzer, I., et Bar-Haim, S. (2017). Parameters and Measures in Assessment of Motor Learning in Neurorehabilitation; A Systematic Review of the Literature. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00082>
- Silva, M. N., Vieira, P. N., Coutinho, S. R., Minderico, C. S., Matos, M. G., Sardinha, L. B., et Teixeira, P. J. (2010). Using self-determination theory to promote physical activity and weight control : A randomized controlled trial in women. *Journal of Behavioral Medicine*, 33(2), 110-122. <https://doi.org/10.1007/s10865-009-9239-y>
- Sisto, S. A., Forrest, G. F., et Glendinning, D. (2015). Virtual Reality Applications for Motor Rehabilitation After Stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1310/YABD-14KA-159P-MN6F>
- Sit, J. W., Chair, S. Y., Choi, K. C., Chan, C. W., Lee, D. T., Chan, A. W., Cheung, J. L., Tang, S. W., Chan, P. S., et Taylor-Piliae, R. E. (2016). Do empowered stroke patients perform better at self-management and functional recovery after a stroke? A randomized controlled trial. *Clinical Interventions in Aging*, 11, 1441-1450. <https://doi.org/10.2147/CIA.S109560>
- Slater, M., et Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE) : Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators et Virtual Environments*. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- Standen, P., Threapleton, K., Richardson, A., Connell, L., Brown, D., Battersby, S., Platts, F., et Burton, A. (2017). A low cost virtual reality system for home based rehabilitation of the arm following stroke : A randomised controlled feasibility trial. *Clinical Rehabilitation*, 31(3), 340-350. <https://doi.org/10.1177/0269215516640320>
- Stein, J., Krebs, H. I., Frontera, W. R., Fasoli, S. E., Hughes, R., et Hogan, N. (2004). Comparison of two techniques of robot-aided upper limb exercise training after stroke. *American Journal of Physical Medicine et Rehabilitation*, 83(9), 720-728. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000137313.14480.ce>
- Subramanian, S., Lourenco, C., Chilingaryan, G., Sveistrup, H., et Levin, M. (2013). Arm motor recovery using a virtual reality intervention in chronic stroke : Randomized control trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(1), 13-23. <https://doi.org/10.1177/1545968312449695>

- Sutherland, I. E. (1965). The Ultimate Display. *Proceedings of the IFIP Congress*, 506-508.
- Sweet, S. N., Rocchi, M., Arbour-Nicitopoulos, K., Kairy, D., et Fillion, B. (2017). A Telerehabilitation Approach to Enhance Quality of Life Through Exercise Among Adults With Paraplegia : Study Protocol. *JMIR Research Protocols*, 6(10), e202. <https://doi.org/10.2196/resprot.8047>
- Taylor, S., et Todd, P. A. (1995). Understanding Information Technology Usage : A Test of Competing Models. *Information Systems Research*, 6(2), 144-176. <https://www.jstor.org/stable/23011007>
- Teixeira, P. J., Carraça, E. V., Markland, D., Silva, M. N., et Ryan, R. M. (2012). Exercise, physical activity, and self-determination theory : A systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 9(78). <https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-78>
- Tellier, J. (2015). *Implantation de la téléadaptation : Exploration de la perspective de l'utilisateur*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/14088>
- Thompson, R. L., Higgins, C. A., et Howell, J. M. (1991). Personal computing : Toward a conceptual model of utilization. *MIS Quarterly*, 15(1), 125-143. <https://doi.org/10.2307/249443>
- Timmermans, A. A. A., Spooren, A. I. F., Kingma, H., et Seelen, H. A. M. (2010). Influence of task-oriented training content on skilled arm-hand performance in stroke : A systematic review. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(9), 858-870. <https://doi.org/10.1177/1545968310368963>
- Tsoupikova, D., Stoykov, N., Vick, R., Li, Y., Kamper, D., et Listenberger, M. (2013). Use of virtual reality to promote hand therapy post-stroke. *ISetT/SPIE Electronic Imaging*, 8649, 86490K-86490K - 11. <https://doi.org/10.1117/12.2003373>
- Tyson, S. F., Hanley, M., Chillala, J., Selley, A. B., et Tallis, R. C. (2008). Sensory loss in hospital-admitted people with stroke : Characteristics, associated factors, and relationship with function. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 22(2), 166-172. <https://doi.org/10.1177/1545968307305523>
- Vanderah, T., et Gould, D. J. (2015). *Nolte's The Human Brain E-Book : An Introduction to its Functional Anatomy*. Elsevier Health Sciences.

- Varga, G., Stoicu-Tivadar, L., et Nicola, S. (2021). Serious Gaming and AI Supporting Treatment in Rheumatoid Arthritis. *Studies in Health Technology and Informatics*, 281, 699-703. <https://doi.org/10.3233/SHTI210262>
- Venkatesh, V. (2000). Determinants of Perceived Ease of Use : Integrating Control, Intrinsic Motivation, and Emotion into the Technology Acceptance Model. *Information Systems Research*, 11(4), 342-365. <https://www.jstor.org/stable/23011042>
- Venkatesh, V., et Davis, F. D. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model : Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46(2), 186-204. <https://doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., et Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology : Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- Verma, A. A., Murray, J., Greiner, R., Cohen, J. P., Shojania, K. G., Ghassemi, M., Straus, S. E., Pou-Prom, C., et Mamdani, M. (2021). Mise en œuvre de l'apprentissage machine en santé. *CMAJ*, 193(44), E1708-E1715. <https://doi.org/10.1503/cmaj.202434-f>
- Viau, A., Feldman, A. G., McFadyen, B. J., et Levin, M. F. (2004). Reaching in reality and virtual reality : A comparison of movement kinematics in healthy subjects and in adults with hemiparesis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1, 11. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-1-11>
- Virtual Reality Society. (2017). Applications Of Virtual Reality. *Virtual Reality Society*. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-applications/>
- Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, J. M., & de Villiers-Sidani, É. (2017). Dynamic Brains and the Changing Rules of Neuroplasticity: Implications for Learning and Recovery. *Frontiers in Psychology*, 8, 1657. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01657>
- Walker, J., et Whetton, S. (2002). The diffusion of innovation : Factors influencing the uptake of telehealth. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 8 Suppl 3(6), 73-75. <https://doi.org/10.1258/13576330260440934>
- Weiss, P. L., Keshner, E. A., et Levin, M. F. (2014). *Virtual reality for physical and motor rehabilitation*. Springer.

- Wiesendanger, M. (1984). Pyramidal tract function and the clinical « pyramidal syndrome ». *Human Neurobiology*, 2(4), 227-234.
- Wittmann, F., Held, J. P., Lamercy, O., Starkey, M. L., Curt, A., Höver, R., Gassert, R., Luft, A. R., et Gonzenbach, R. R. (2016). Self-directed arm therapy at home after stroke with a sensor-based virtual reality training system. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 13, 75. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0182-1>
- Xu, S., Lu, J., Shao, A., Zhang, J. H., & Zhang, J. (2020). Glial Cells: Role of the Immune Response in Ischemic Stroke. *Frontiers in Immunology*, 11, 294. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.00294>
- Yates, M., Kelemen, A., et Lanyi, C. S. (2016). Virtual reality gaming in the rehabilitation of the upper extremities post-stroke. *Brain Injury*, 30(7), 855-863. <https://doi.org/10.3109/02699052.2016.1144146>
- Zondervan, D., Augsburger, R., Bodenhofer, B., Friedman, N., Reinkensmeyer, D., et Cramer, S. (2015). Machine-based, self-guided home therapy for individuals with severe arm impairment after stroke : A randomized controlled trial. *Neurorehabilitation and neural repair*, 29(5), 395-406. <https://doi.org/10.1177/1545968314550368>



## Annexe 1 : Operational definitions.

Operational definitions of the concepts have been developed based on potential users (clinician and survivor) and are presented below, including concrete examples for a common understanding of the proposed conceptual framework.

**Performance:** the degree to which the user perceives the technology as efficient, in other words, useful and advantageous compared to standard practice. This definition includes both expected and actual performance, as it aims to capture the user's expectations of the technology and the actual experience of the technology, which might have an impact on the user's motivation to continue using the system (same principle applies for the rest of the determinants).

Clinicians: This could translate into ease of designing rehabilitation exercises (adapted levels of difficulty, control of the duration and number of repetitions, various exercises, etc), ability to follow up (video conference, secure sharing of documents, images, video), added value to standard practice (playfulness of games, motivation of the survivor, personalization of treatment) and functional results of the survivor.

Stroke survivors: This could be reflected in the ability of the technology to improve access to rehabilitation programs (follow-up by a clinician, access to a personalized exercise program, etc.), to facilitate the performance of exercises in terms of duration, frequency, level of difficulty, etc., and to achieve satisfactory results in the motor performance of the arm (eg, use of the arm in activities of daily living).

**Effort:** the degree of ease and / or complexity associated with using the technology.

Clinicians and stroke survivors: This could translate into the effort required to use technology including learning or training in the use of exergames and telerehabilitation platforms, ease of interaction with platforms (launch games, start a video conference call, etc), period of familiarization with the technology, management of technical problems (the Internet, system update, forgotten passwords, etc), redefinition of the role and responsibilities.

**Social influence:** the degree of impact that positive or negative feedback from those around you can have on the use of Virtual Reality - Telerehabilitation technology.

Clinicians: Influence of co-workers, director, manager, etc.

Stroke survivors: Influence of family members, friends, neighbors, etc.

**Facilitating conditions and obstacles:** factors that can facilitate or inhibit the use of the technology including internal (ability and knowledge to use a new technology) and external (technical and organizational infrastructure) constraints or the degree of compatibility of the technology with user needs.

Clinicians: interoperability of systems, knowledge and ability to use the system, access to a computer, access to the Internet, compatibility with clinical reasoning, participant safety

Stroke survivors: knowledge and ability to use the system, access to adequate space (enough space to position themselves well in front of the Kinect camera and move their arm), participant safety during exercises.

## Annexe 2 : Activités de transfert de connaissances.

Présentations orales et par affiche pour l'Article n°1 :

<p><b>Nom de la conférence</b></p> <p><b>Date et lieu</b></p>	<p><b>Titre de la présentation</b></p>	<p><b>Lien de l'abrégé publié/ présentation orale</b></p>
<p>Reportage de Radio-Canada</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>11 avril 2021, Montréal, Canada</li> </ul>	<p><i>Les jeux video au service de la téléadaptation</i></p>	<p><a href="https://ici.radio-canada.ca/ohdio/premiere/emissions/les-annees-lumiere/segments/reportage/350796/crir-telereadaptation-jeu-video-virtuel-dahlia-kairy-universite-montreal">https://ici.radio-canada.ca/ohdio/premiere/emissions/les-annees-lumiere/segments/reportage/350796/crir-telereadaptation-jeu-video-virtuel-dahlia-kairy-universite-montreal</a></p>
<p>The Healthy Living, Healthy Life Conference</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>19 septembre 2018, Halifax, Canada</li> </ul>	<p><i>Telerehabilitation combined with video-games: Rehabilitation Optimization Following a Stroke</i></p>	<p><a href="https://ojs.library.dal.ca/HLHL/article/view/7776">https://ojs.library.dal.ca/HLHL/article/view/7776</a></p>
<p>The 12th International Society of Physical and</p>	<p><i>Optimization of the upper limbs rehabilitation following a stroke by</i></p>	<p><a href="https://simul-europe.com/2018/isprm/posters">https://simul-europe.com/2018/isprm/posters</a></p>

Rehabilitation Medicine World Congress (ISPRM) <ul style="list-style-type: none"> <li>8-12 juillet 2018, Paris, France</li> </ul>	<i>telerehabilitation combined with video-games</i>	
Carrefour des connaissances en déficience motrice, sensorielle et du langage. <ul style="list-style-type: none"> <li>7 juin 2018, Montréal, Canda</li> </ul>	Optimisation de la réadaptation des membres supérieurs suite à un accident vasculaire cérébral par la téléadaptation combinée à la réalité virtuelle	<a href="https://ciuss-centresudmtl.gouv.qc.ca/sites/ciusscsmtl/files/media/document/Programme_cc2018_WEB_V2_0.pdf">https://ciuss- centresudmtl.gouv.qc.ca/sites/ciusscsmtl/files/media/document/Programme_cc2018_WEB_V2_0.pdf</a>
Colloque étudiant du CRIR 2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>1 mars 2018, Montréal Canada</li> </ul>	Optimisation de la réadaptation des membres supérieurs suite à un accident vasculaire cérébral par la téléadaptation combinée à la réalité virtuelle <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Prix gagné :</b> 1<sup>er</sup> coup de cœur étudiant</li> </ul>	Non disponible

Présentations orales et par affiche pour l'Article n°2

<p><b>Nom de la conférence</b></p> <p><b>Date et lieu</b></p>	<p><b>Titre de la présentation</b></p>	<p><b>Lien de l'abrégé publié/ présentation orale</b></p>
<p>Congres scientifique du CRIR 2021- Catalyseur d'innovation pour la réadaptation de demain</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conférence en ligne, 7-9 juin 2021</li> </ul>	<p>Réadaptation à distance du membre supérieur atteint en utilisant un système de téléadaptation combiné à des jeux vidéo : Étude de cas unique d'un survivant d'accident vasculaire cérébral en phase chronique</p>	<p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=p73zRLFULc0">https://www.youtube.com/watch?v=p73zRLFULc0</a></p>
<p>Compétition amicale de présentations orales du CRIR 2021</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conférence en ligne, 18 février 2021</li> </ul>	<p>Optimisation de la réadaptation du bras à la suite d'un Accident Vasculaire Cérébral par la téléadaptation combinée à des jeux vidéo : Étude de cas unique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Prix gagnés :</b></li> </ul> <p>1er prix Doctorat/Postdoc</p> <p>1er prix coup de cœur des étudiants</p>	<p><a href="https://crir.ca/partageons-nos-savoirs/nos-evenements/competition-amicale-de-presentations-orales-en-ligne/">https://crir.ca/partageons-nos-savoirs/nos-evenements/competition-amicale-de-presentations-orales-en-ligne/</a></p>
<p>Journée accès réadaptation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conférence en ligne, 4 décembre 2020</li> </ul>	<p>Optimisation de la réadaptation du bras à la suite d'un accident vasculaire cérébral par la téléadaptation combinée à des jeux vidéo : Étude de cas unique</p>	<p><a href="https://drive.google.com/file/d/13FtikUL17FcmO7mXjLCehmcGBhk79Jn_/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/13FtikUL17FcmO7mXjLCehmcGBhk79Jn_/view?usp=sharing</a></p>

<p>5 à 8 autour du jeu vidéo à l'Université de Montréal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 19 septembre 2019, Montréal, Canada</li> </ul>	<p>Réadaptation à distance en utilisant un système de téléadaptation combiné à un jeu vidéo : Étude de cas unique d'un patient atteint d'accident vasculaire cérébral</p>	<p>Non disponible en ligne</p>
<p>International Conference on Virtual Rehab-ICVR</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 21-24 juillet 2019, Tel Aviv, Israël</li> </ul>	<p><i>Remote rehabilitation training using the combination of an exergame and telerehabilitation application: A case report of an elderly chronic stroke survivor</i></p>	<p><a href="https://doi.org/10.1109/ICVR46560.2019.8994565">https://doi.org/10.1109/ICVR46560.2019.8994565</a></p>
<p>The 13th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine World Congress-ISPRM</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 9-13 juin 2019, Kobe, Japon</li> </ul>	<p><i>Remote rehabilitation training using the combination of an exergame and telerehabilitation application: a case report of an elderly chronic stroke survivor</i></p>	<p><a href="http://www.fujita-hu.ac.jp/~rehabmed/isprm2019/abstract/data/pdf/ISPRM2019Program-en.pdf">http://www.fujita-hu.ac.jp/~rehabmed/isprm2019/abstract/data/pdf/ISPRM2019Program-en.pdf</a></p>
<p>3e Congrès québécois de recherche en adaptation réadaptation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 16-17 mai 2019, Montréal, Canada</li> </ul>	<p><i>Remote rehabilitation training using the combination of an exergame and telerehabilitation application: A case report of an elderly chronic stroke survivor</i></p>	<p><a href="https://repar.ca/wp-content/uploads/2018/12/recueil_abreges_2019-1.pdf">https://repar.ca/wp-content/uploads/2018/12/recueil_abreges_2019-1.pdf</a></p>

Présentation orale pour l'Article n°4 :

<p><b>Nom de la conférence</b></p> <p><b>Date et lieu</b></p>	<p><b>Titre de la présentation</b></p>	<p><b>Lien de l'abrégé publié/ présentation orale</b></p>
<p>International Conference on Virtual Rehab-ICVR</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conférence en ligne, 14-16 juillet 2021</li> </ul>	<p><i>What we have learned about using telerehabilitation combined with exergames from clinicians and chronic stroke survivors: A multiple case study</i></p>	<p><a href="http://virtual-rehab.org/2021/wp-content/uploads/2021/07/ICVR2021_Proceedings_v2-1.pdf">http://virtual-rehab.org/2021/wp-content/uploads/2021/07/ICVR2021_Proceedings_v2-1.pdf</a></p>

## Annexe 3 : The predetermined qualitative coding scheme.

Themes	Main codes	Explanation of main codes	
		Participant	Therapist
<b>Experience with VirTele exergame system</b>	Performance	<p>Of the affected upper extremity</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• perceived change in arm functional performance / impact on activities of daily life compared to expectations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quality of interactions with technology</li> <li>• services rendered</li> <li>• compatibility with needs / expectations</li> <li>• obstacles or technical problems</li> </ul>
		<p>Of the technology</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• expected benefits</li> <li>• compatibility with needs / expectations</li> <li>• obstacles or technical problems</li> </ul>	
	Effort	<ul style="list-style-type: none"> <li>• apprehensions</li> <li>• expected ease of use/ actual effort required to use the technology</li> <li>• compatibility with needs / expectations</li> </ul>	



- |                         |  |
|-------------------------|--|
| Facilitating conditions | <ul style="list-style-type: none"> <li>• attitude towards the use of technology</li> <li>• resources put in place</li> <li>• ease with technology</li> </ul> |
|-------------------------|--|

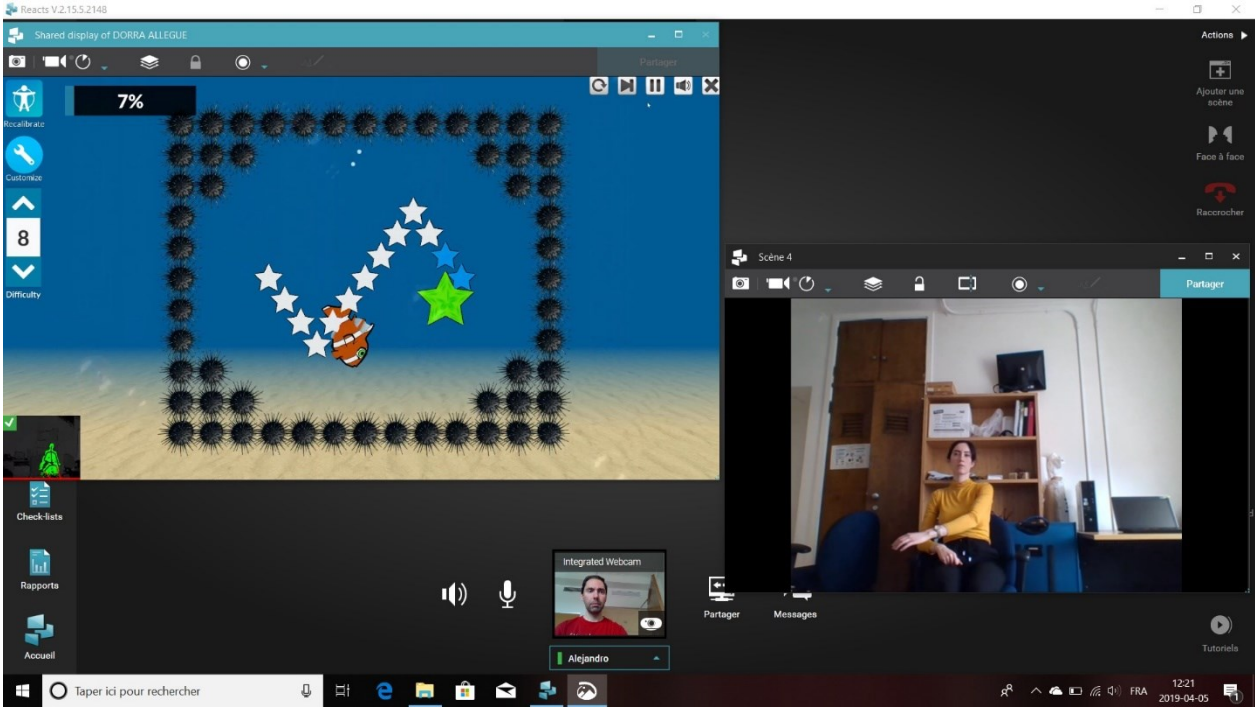
**Empowerment of the participant**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| Participation in shared decision-making | <ul style="list-style-type: none"> <li>• role during the consultation</li> <li>• experience with the guidance provided</li> <li>• goals fixed / patterns of achievement</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• responsibilities and role during the intervention</li> </ul> |
|---|--|---|

- |                    |   |  |
|--------------------|---|--|
| Management of care | <ul style="list-style-type: none"> <li>• management of the consultations and games sessions</li> <li>• resources put in place/ support</li> <li>• comparison with previous rehabilitation experience</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• the logic behind the choice of games, the adjustment of the difficulty level, number of repetitions and any other parameters</li> </ul> |
|--------------------|---|--|

- |                                   |   |   |
|-----------------------------------|---|---|
| Participant states and capacities | <ul style="list-style-type: none"> <li>• perceived personal control over health and healthcare</li> <li>• perceived general health condition after the end of the program</li> <li>• perceived motivation and autonomy support</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• transfer into activities of daily living</li> <li>• strategies used to support participant autonomy</li> </ul> |
|-----------------------------------|---|---|

# Annexe 4 : A screenshot of the combined use of Jintronix and Reacts.



# Annexe 5 : Renouvellement du certificat d'éthique.

Comité d'éthique de la recherche  
des établissements du CRIR



Montréal, le 13 août 2020

PAR COURRIER ÉLECTRONIQUE

## Membres institutionnels :

### CISSS de Laval

- Hôpital juif de réadaptation

### CISSS de la Montérégie-Centre

- Institut Nazareth et Louis-Braille

### CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal

- Institut universitaire sur la réadaptation en déficience physique de Montréal

┆ CRLB  
┆ IRD  
┆ IRGLM

### CIUSSS du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal

- Centre de réadaptation Lethbridge-Layton-Mackay

┆ Site Constance-Lethbridge  
┆ Site MAB-Mackay

## Membres partenaires :

### CISSS de Lanaudière

- Centre de réadaptation en déficience physique Le Bouclier

### CISSS des Laurentides

- Centre de réadaptation en déficience physique Le Bouclier

Madame Dahlia Kairy, Ph.D.

CRIR

Institut universitaire sur la réadaptation en déficience physique de Montréal du CCSMTL

6300, avenue Darlington

Montréal (Québec) H3S 2J4

**OBJET : Renouvellement de votre certificat d'éthique  
Notre dossier CRIR-1319-0218/multi**

Madame,

Vous avez soumis au Comité d'éthique de la recherche (CÉR) des établissements du CRIR, le 5 août 2020, une demande de renouvellement pour votre projet intitulé «Optimizing a home-based virtual reality exercise program for chronic stroke patients: A telerehabilitation approach» et présenté par :

- **Dahlia Kairy, Ph.D.**
- **François Michaud, Ph.D.**
- **Michel Toussignant, Ph.D.**
- **William Miller, Ph.D.**
- **Philippe Archambault, Ph.D.**
- **Shane Normand Sweet, Ph.D.**
- **Yannick Beaulieu, MD**
- **Dorra Rakia Allégué, candidate au doctorat**
- **Alejandro Hernandez, MSc.**

J'ai le plaisir de vous informer que votre demande de renouvellement a été approuvée par notre CÉR. Ainsi, vous pouvez poursuivre votre étude pour un an, et ce, du 28 juin 2020 au 28 juin 2021.

Veillez noter que le renouvellement est également disponible sur la plateforme de soumission des projets de recherche (Accès : <http://ethique.crir.ca/acceschercheur/>) et a été transmis aux établissements impliqués :

- **Hôpital juif de réadaptation du CISSS de Laval**
- **Institut universitaire sur la réadaptation en déficience physique de Montréal du CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal (installation Gingras-Lindsay)**

Ce renouvellement est valable pour un an. En acceptant le présent renouvellement de certificat d'éthique, le chercheur s'engage à :

1. Informer, dès que possible, le CÉR de tout changement qui pourrait être apporté à la présente recherche ou aux documents qui en découlent (Formulaire M) ;
2. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout incident ou accident lié à la procédure du projet ;
3. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout nouveau renseignement susceptible d'affecter l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche, ou encore, d'influer sur la décision d'un sujet de recherche quant à sa participation au projet ;
4. Notifier, dès que possible, le CÉR de toute suspension ou annulation d'autorisation relative au projet qu'aura formulée un organisme de subvention ou de réglementation ;
5. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout problème constaté par un tiers au cours d'une activité de surveillance ou de vérification, interne ou externe, qui est susceptible de remettre en question l'intégrité ou l'éthicité du projet ainsi que la décision du CÉR ;
6. Notifier, dès que possible, le CÉR de l'interruption prématurée, temporaire ou définitive du projet. Cette modification doit être accompagnée d'un rapport faisant état des motifs à la base de cette interruption et des répercussions sur celles-ci sur les sujets de recherche ;
7. Fournir annuellement au CÉR un rapport d'étape l'informant de l'avancement des travaux de recherche (formulaire R) ;
8. Demander le renouvellement annuel de son certificat d'éthique ;
9. Tenir et conserver, selon la procédure prévue dans la *Politique portant sur la conservation d'une liste des sujets de recherche*, incluse dans le cadre réglementaire des établissements du CRIR, une liste des personnes qui ont accepté de prendre part à la présente étude ;
10. Envoyer au CÉR une copie de son rapport de fin de projet / publication ;
11. En vertu de l'article 19.2 de la *Loi sur les services de santé et les services sociaux*, obtenir l'autorisation du Directeur des services professionnels de l'établissement sollicité avant d'aller consulter les dossiers des usagers de cet établissement, le cas échéant.

En raison de l'état d'urgence sanitaire déclaré par le gouvernement du Québec pour lutter contre la propagation de la COVID-19, veuillez noter que certaines activités de recherche (incluant le recrutement et la collecte de données en présentiel) sont actuellement suspendues ou ralenties, et ce, jusqu'à nouvel ordre au CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal ainsi qu'au CISSS de Laval. Nous vous référons à ces établissements pour évaluer la possibilité de poursuivre votre projet entre leurs murs.

## **Annexe 6 : Plan de discussion en entretien motivationnel.**

### **A. Motivation du participant à adhérer aux exercices proposés à travers Jintronix**

- Demandez la permission de discuter de son sujet : Seriez-vous d'accord pour que nous parlions de vos exercices avec Jintronix ?
- Est-ce que l'objectif de cette étude est réaliste pour vous ? serez-vous d'accord de l'établir comme objectif personnel au cours de cette semaine? si vous n'êtes pas convaincu par cet objectif, quel serait votre objectif d'utiliser Jintronix ? (1.1 établissement d'objectif) – semaine 1
  - L'objectif de l'étude: Améliorer la force et la fonction du membre supérieur atteint, en utilisant le jeu Jintronix à titre de 5 fois par semaine durant 30 minutes.
- Est-ce que l'utilisation du jeu Jintronix 5 fois par semaine durant 30 minutes est toujours convenable pour vous ? sinon quel changement comptez-vous apporter à cet objectif ? (1.5 révision d'objectif)

**Si le participant respecte l'adhérence de 5 séances de 30 min par semaine, vous continuez avec ces questions (un plan d'action pour poursuivre l'adhérence) :**

- Quel est votre plan de la semaine ? (Comment comptez-vous vous organiser pour effectuer vos 5 séances d'exercices de 30 minutes, quand, comment, durée, où ?) (1.4 planification de l'action)
- Quels sont les obstacles éventuels à votre adhérence, incluant une rechute et les façons de les surmonter ? obstacles possibles/ comment les surmonter (1.2 résolution de problème)
- Demandez la permission de proposer des solutions aux obstacles identifiés par le participant. Donnez des choix. (7.1 instructions/indices)

- Comment les personnes de votre entourage peuvent-elles vous aider ? (3.1 support social)
- Comment pourrez-vous suivre votre progrès ? la plateforme Jintronix enregistre votre progrès automatiquement après la fin de chaque séance, seriez-vous d'accord de recevoir ce retour automatisé ? Si le participant répond « oui » expliquez comment ça se déroule et demandez la fréquence du retour (plus d'une fois par semaine/hebdomadaire/ chaque deux semaines). (2.2 feedbacks sur le comportement et 2.7 feedbacks sur les résultats du comportement)
- Démontrez que vous croyez en la capacité du participant à adhérer au programme : je suis convaincu que lorsque vous prendrez une décision ferme et que vous vous engagerez envers vos exercices, vous trouverez une façon de les compléter (15.1 persuasion verbale sur la capacité).

#### **Si le participant ne respecte pas l'adhérence (Explorez l'ambivalence)**

- D'après vous, combien de fois faites-vous vos exercices par semaine ? est-ce que vous voulez savoir le minimum d'heures suggéré par la littérature scientifique ? Un minimum de 15 heures est suggéré pour qu'une intervention entraîne une amélioration modérée au niveau des activités de la vie quotidienne après un accident vasculaire cérébral, soit 5 séances de 30 minutes par semaine durant deux mois. Qu'en pensez-vous ?
- Posez des questions sur les raisons de ne pas adhérer au programme (les obstacles à l'adhérence) : quels seraient les avantages de garder les choses comme elles sont, sans changer ? (9.2 avantages et inconvénients)
- Si vous décidiez d'effectuer 5 séances par semaine à titre de 30 minutes chacune, quelles seraient certaines des difficultés auxquelles vous devriez faire face ? (9.2 avantages et inconvénients)
- Écoutez, écoutez, écoutez ?

- A faire : regarder la personne dans les yeux, utiliser les hochements de tête et adopter une attitude positive ? par exemple, je vois, oui continuez, pouvez-vous préciser votre pensée ?
- A ne pas faire : interrompre pour demander des précisions, donner des suggestions, des conseils, ou partager des expériences personnelles
- Posez des questions sur les raisons d'adhérer au programme : si vous décidiez de laisser les choses comme elles sont, quelles seraient les difficultés auxquelles vous devriez faire face ? (9.2 avantages et inconvénients)
- Quels seraient les points / conséquences positifs à adhérer au programme ? (9.2 avantages et inconvénients)
- Résumez avec vos propres mots les dires du participant sur les avantages et inconvénients du changement, afin de démontrer votre compréhension : « voyons, si j'ai bien saisi ce que m'avez dit, d'un côté ...(résumez les raisons pour ne pas changer), puis de l'autre cote ( résumez les raisons pour effectuer le changement)»
- Demandez la permission de décrire les avantages de l'adhérence au programme, d'un point de vue professionnel, sur la récupération motrice du membre supérieur atteint (5.1 informations sur les conséquences au niveau de la santé)
- Démontrez que vous croyez en la capacité du participant à adhérer au programme : je suis convaincu que lorsque vous prendrez une décision ferme et que vous vous engagerez envers vos exercices, vous trouverez une façon de les compléter (15.1 persuasion verbale sur la capacité).

**B. Motivation du participant à utiliser son membre supérieur atteint dans des activités de la vie quotidienne**

- Demandez la permission de discuter de son sujet : Seriez-vous d'accord pour que nous parlions de votre utilisation quotidienne de votre membre supérieur atteint ?

**Si le participant utilise son membre atteint dans les activités de la vie quotidienne, continuez avec ces questions (un plan d'action pour poursuivre l'utilisation)**

- Quelles sont les activités que vous aimeriez reprendre et qui implique l'utilisation du membre supérieur atteint ? (Identification des activités pertinentes pour le participant)
- Quel changement comptez-vous faire pour utiliser votre membre supérieur atteint au cours des activités identifiées ? (Aider le participant à développer un objectif SMART) (1.1 établissement d'objectif) – semaine 1
- Est-ce que l'objectif SMART pré identifié est toujours convenable pour vous ? sinon quel changement comptez-vous apporter à cet objectif ? (1.5 révision d'objectif)
- Comment comptez-vous vous organiser pour utiliser plus fréquemment votre membre supérieur dans ces activités (activité(s) identifiée(s) au cours de la dernière question) (1.4 planification de l'action)
- Quels sont les obstacles éventuels à votre utilisation du membre supérieur atteint au cours de(s) l'activité(s) précédemment identifiée(s), incluant une rechute et les façons de les surmonter ? (1.2 résolution de problème)
- Demandez la permission de proposer des solutions aux obstacles identifiés par le participant. (7.1 instructions/indices)
- Comment les personnes de votre entourage peuvent-elles vous aider ? (3.1 support social)
- Comment pourrez-vous suivre votre progrès ? (2.3 auto surveillance du comportement)



- Démontrez que vous croyez en la capacité du participant à utiliser plus fréquemment son membre supérieur atteint : je suis convaincu(e) que lorsque vous prendrez une décision ferme et que vous vous engagerez envers vos activités, vous trouverez une façon de les compléter. (15.1 persuasion verbale sur la capacité).

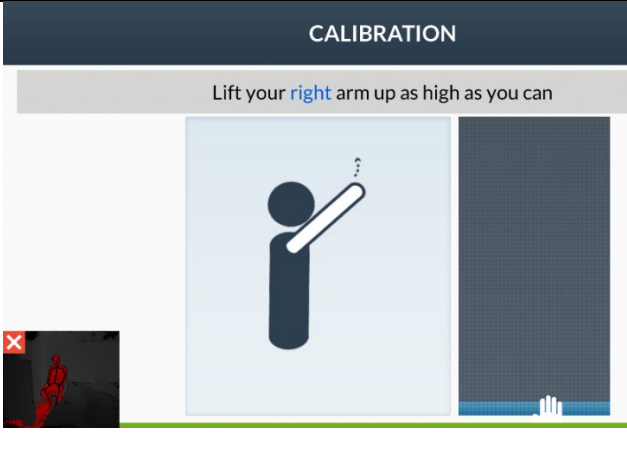
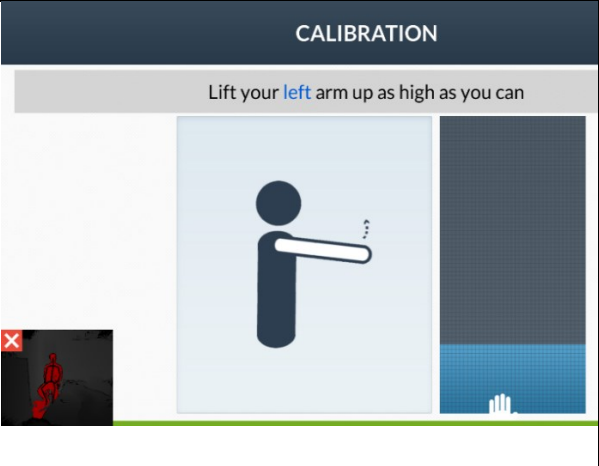
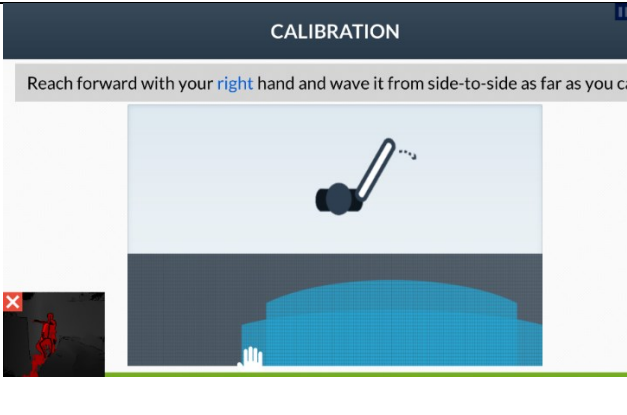
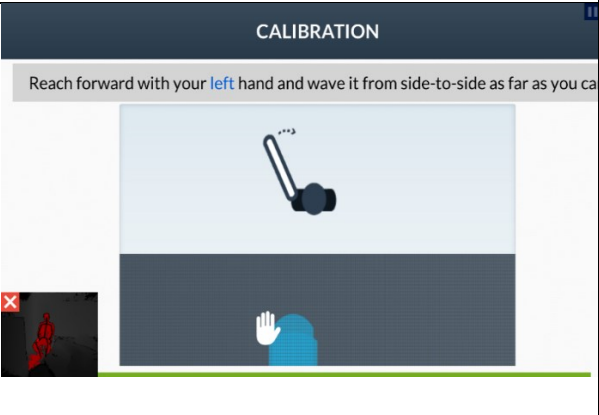
**Si le participant n'utilise pas son membre supérieur atteint (Explorez l'ambivalence)**

- D'après vous, combien de fois utilisez-vous votre membre supérieur atteint dans les activités de la vie quotidienne ? une utilisation fréquente du membre atteint dans différentes activités de la vie quotidienne permettrait une amélioration de la fonction motrice. Qu'en pensez-vous ?
- Posez des questions sur les raisons de ne pas utiliser le membre atteint : quels seraient les avantages de garder les choses comme elles sont, sans changer ? (9.2 avantages et inconvénients)
- Si vous décidiez d'effectuer un changement (d'utiliser plus fréquemment le membre supérieur atteint), quelles seraient certaines des difficultés auxquelles vous devriez faire face ? (9.2 avantages et inconvénients)
- Écoutez, écoutez, écoutez ?
- A faire : regarder la personne dans les yeux, utiliser les hochements de tête et adopter une attitude positive ? par exemple, je vois, oui continuez, pouvez-vous préciser votre pensée ?
- A ne pas faire : interrompre pour demander des précisions, donner des suggestions, des conseils, ou partager des expériences personnelles
- Posez des questions sur les raisons de changer : si vous décidiez de laisser les choses comme elles sont, quelles seraient les difficultés auxquelles vous devriez faire face ? (9.2 avantages et inconvénients)

- Quels seraient les points positifs à utiliser votre membre atteint dans les activités de la vie quotidienne ? (9.2 avantages et inconvénients)
- Résumez avec vos propres mots les dires du participant sur les avantages et inconvénients du changement, afin de démontrer votre compréhension : « voyons, si j'ai bien saisi ce que m'avez dit, d'un côté .(résumez les raisons pour ne pas changer), puis de l'autre cote ( résumez les raisons pour effectuer le changement)»
- Demandez la permission de décrire les avantages de l'intégration du membre supérieur atteint dans les activités de la vie quotidienne, d'un point de vue professionnel, sur la récupération motrice du membre supérieur atteint (5.1 informations sur les conséquences au niveau de la santé)
- Démontrez que vous croyez en la capacité du participant à adhérer au programme : je suis convaincu que lorsque vous prendrez une décision ferme et que vous vous engagerez envers vos exercices, vous trouverez une façon de les compléter (15.1 persuasion verbale sur la capacité).

# Annexe 7 : Screenshots of the Jintronix exergames.


**Calibration**

<p>CALIBRATION</p> <p>Lift your <b>right</b> arm up as high as you can</p> 	<p>CALIBRATION</p> <p>Lift your <b>left</b> arm up as high as you can</p> 
<p>CALIBRATION</p> <p>Reach forward with your <b>right</b> hand and wave it from side-to-side as far as you can</p> 	<p>CALIBRATION</p> <p>Reach forward with your <b>left</b> hand and wave it from side-to-side as far as you can</p> 

# Space race

Shoulder Abduction (Sitting)

Raise your **left** arm to the side to collect the fuel.





1 of 5

Controlled Movement

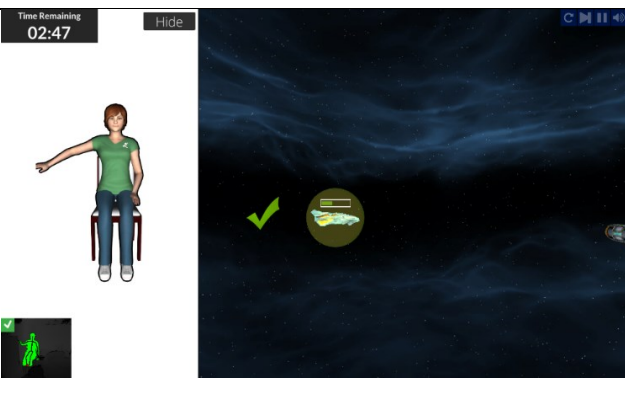
To continue, raise your hand and hold, or click here

Hide



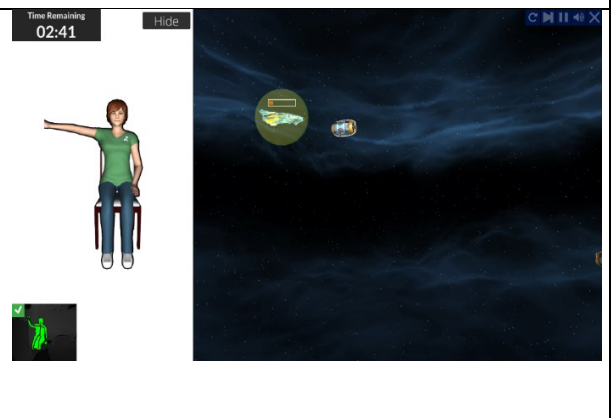
Time Remaining 02:47

Hide

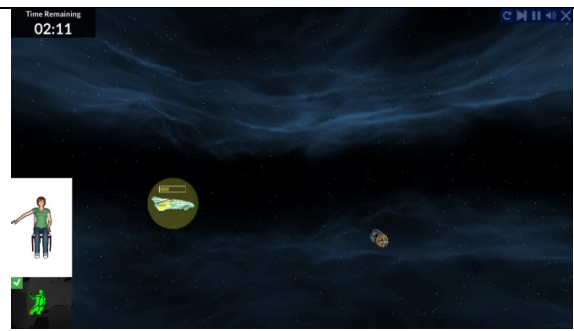


Time Remaining 02:41

Hide



Time Remaining 02:11

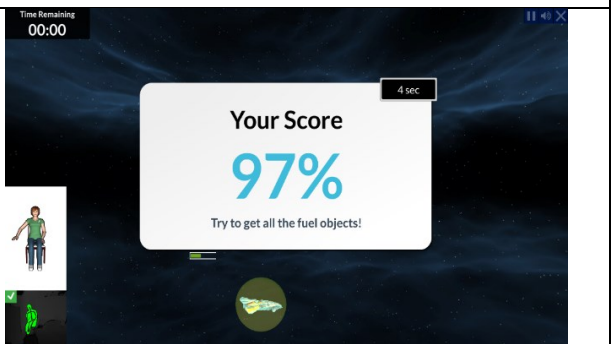


Time Remaining 00:00

Your Score **97%**

4 sec

Try to get all the fuel objects!



# Catch and Carry an Apple

**Bilateral Coordination (Sitting)**

Get as many apples in to the pipes as you can! Watch the example below.

Controlled Movement

Bilateral Coordination

3 of 5

To continue, raise your hand and hold, or click here

GO!

Time Remaining: 02:59

Skip

Time Remaining: 02:25

Skip

Time Remaining: 02:23

Skip

Time Remaining: 00:00

Your Score

87%

Careful to release the apples directly in the pipe

6 sec

# Pop Clap

Bilateral Coordination (Sitting)

Pop as many balloons as you can! Watch the example below.

Bilateral Coordination

Reaching Forward

4 of 5

To continue, lower your hands

Activity Time 00:22

Skip

Activity Time 00:57

Skip

Activity Time 01:01

Skip

Activity Time 01:04

Skip

Activity Time 01:40

3 sec

Your Score

76%

Work on clapping all the objects

# Kitchen clean up

Reaching Forward (Sitting)

Reach with your **left** hand to put away the dishes.

Bilateral Coordination



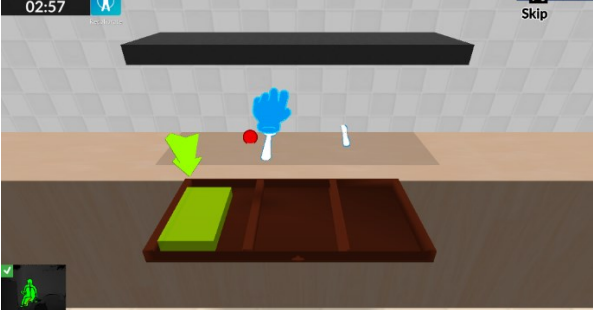
5 of 5

To continue, lower your hands

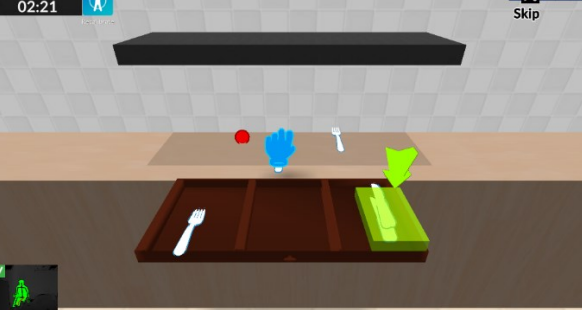
GO!



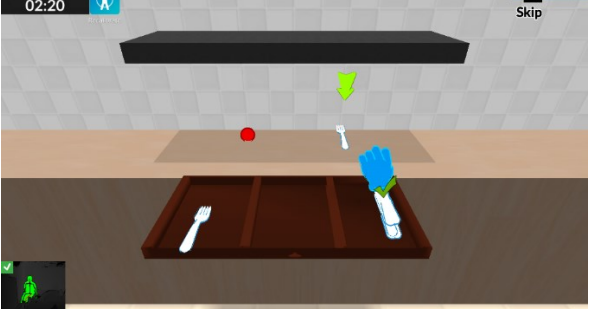
Time Remaining 02:57



Time Remaining 02:21



Time Remaining 02:20



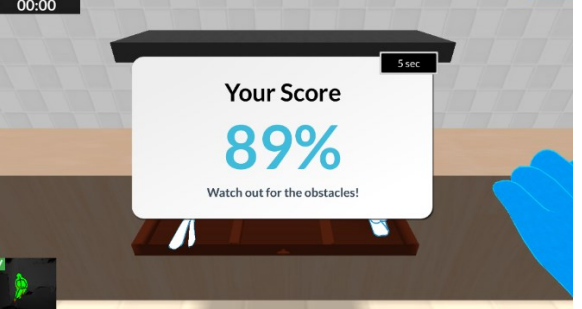
Time Remaining 00:00

Your Score

# 89%

Watch out for the obstacles!

5 sec



## **Annexe 8 : Guideline for motivational interviewing in the study.**

First, the interview begins by asking the participant for permission to discuss his daily use of the affected UE or adherence to exergames (respect autonomy). If the participant uses the affected UE in activities of daily living or adheres to VirTele, the clinician continues with questions related to action planning for maintenance (stimulate competence), for example: Is the pre-identified goal still suitable for you? if not what change do you plan to make to this objective? (1.5 objective revision), How do you plan to organize yourself to use your UE more frequently in the chosen activity (1.4 action planning), What are the possible obstacles to your use of your affected arm and hand during the previously identified activity (s), including relapse and ways to overcome them? (1.2 problem solving).

Second, in the scenario, if the survivor didn't use the affected UE or didn't play exergames at the frequency required, the clinician may continue with questions to explore and resolve ambivalence (while respecting his autonomy), for example, what would be the benefits of keeping things as they are, without changing? (9.2 advantages and disadvantages), If you decide to make a change (eg, to use the affected UE more frequently), what would be some of the challenges you would face? (9.2 advantages and disadvantages). Finally, the clinician is invited to demonstrate empathy towards the participants (connectivity), for example, I am convinced that when you make a firm decision and commit to your exercises, you will find a way to complete them (15.1 verbal persuasion of ability).



## Annexe 9 : Case description.

A case description is developed for the three stroke survivors and their respective clinician, focusing on determinants of VirTele use, indicators of stroke survivor empowerment and data which reflected clinician support of psychological needs.

### Case 1

Carolina was a 41-year-old female stroke survivor (7 years since stroke) with severe to moderate UE impairment (stage of arm: 3 in Chedoke McMaster). She was no longer receiving rehabilitation services and was leading an active lifestyle (fitness training, stretching postures for UE). She was very comfortable with computers (accessible at home) and didn't use it frequently (less than once a month). Carolina mentioned that a major advantage of VirTele compared to standard therapy was the capacity to show a real-life demonstration of the activity she improved in or has a difficulty with, to the clinician (through telerehabilitation system). She added that it was easier to show instead of just talking about it, especially given that she had memory deficits (due to stroke). Carolina perceived a meaningful change in the affected arm use, as described:

*"I put on my sweater, my socks, I do my zipper up and stuff. Yeah it's helping me."*

She played exergames every day during the two-month intervention and spent more than 1055,11 minutes or 18 hours on exergames, including 68 autonomous sessions and 16 supervised exergame sessions. Even if she described one of the five games (Fish Frenzy) as: *"Sort of hard"* she was able to sustain motivation to continue playing. In fact, Carolina reported a problem with the avatar of the game Fish Frenzy, which was difficult to control, as the Fish was going too fast or too slow, on the screen, not following the rhythm of the real movements. Therefore, Carolina hated the game Fish Frenzy which made her *"angry"* and *"upset"*. As for effort, Carolina encountered minor technical issues such as loss of password, sound or video cut off which were resolved by the technical research team. Overall, she reported that she felt *"very comfortable"* with the technology and that she got used to it as said: *"it just became a regular routine for me"*. Carolina reported that she received positive feedback (competence support) from her entourage

regarding the technology which encouraged her to use VirTele and felt the urge to show them (Friends and family) a demonstration of how it works. She said:

*“I mean everybody [friends and family] was happy and everybody spoke well about it and stuff so I was like “ok, sure why not”...they thought it was amazing... I need to show them what I do...it is something that I had to do...”.*

Furthermore, Carolina appreciated the interaction with her clinician (relatedness support) as she said:

*“It was awesome. I felt very comfortable with him [the clinician]... it was easy to be around him [the clinician]. He had this way of talking which was calm... and effective”.*

Carolina demonstrated empowerment through autonomous decisions and actions (choice of parameters of difficulties, speak about UE use in daily activities), competencies to handle problems (text the clinician when a problem is faced and discuss the solution together) and feeling belongingness (feeling comfortable around the clinician). She also indicated that her clinician respected her decisions (let her speak and choose the difficulty parameters of exergames) and supported her when she needed help (encouragement, demonstrations, answer to questions, resolve problems) and made her feel comfortable through his calm way of talking. She also pointed out : *“I can do stuff with my arm but not as hard as I wanted to. So I motivated myself.”*. Furthermore, she kept using her affected UE at the end of VirTele, in daily activities such as getting dressed, washing hair, etc.

Carolina’s clinician (male) reported during the interview that 2 or 3 telerehabilitation sessions in a week, increased compliance to rehabilitation program, at a frequency (quantity of use of the exergames) that is much more interesting than face-to-face sessions and at a more affordable cost. He said:

*“This is a very good motivational tool. I don't know if this is just the context of the study, but I have never seen patients as motivated as that...using a technology, a game, with a regular monitoring, I think that has a lot to do with it”*

According to him, this contributed not only to the motivation of Carolina but also to her empowerment. He also appreciated the monitoring option of the participant's results (through the exergame platform) and the exergame graphics and color, which he described as :

*“ ...much more dynamic and interesting to the eye than other software that may exist in a healthcare context”.*

The clinician also noticed an improvement in the affected arm, mainly in the shoulder area as he explained that there were not many games that were specifically targeting the extension of the elbow and the hand. Regarding exergames, he indicated that the exergame is a good start, but at a certain point the exercises become redundant, as there was not a lot of variability in the levels of difficulty and progression. He suggested that it might be advantageous to use different shapes or different directions, other than what already exists. He also reported that the participant always forgot to recalibrate (Kinect camera detection of movements) before she started playing which explains why she had difficulties with Fish Frenzy. The clinician reported having a lot of apprehension regarding the lack of *“physical contact”* to simulate and demonstrate the movement, at the start of the intervention, as he said: *“I had the impression that this was not optimal just by telecommunication.”*. The clinician's apprehension decreased during the intervention, as Carolina was able to understand the instructions and demonstrations.

As for effort, the clinician found the platform intuitive and easy to use both from his side or from the participant side. He mentions the same technical issues as those mentioned by Carolina, which he managed to resolve technically and emotionally (calm the participant down, explain that it's not her fault), over time. Finally, the clinician reported that the safety of the participant and the establishment of a trusting relationship with the latter facilitated his experience with VirTele, even if he had a lot of apprehension prior to starting the intervention. Furthermore, the clinician corroborated Carolina's statements on the support of her autonomy (let the participant choose the level of difficulty and games) and adds that he felt trusted by Carolina, corroborating the support of relatedness.

The clinician's logbook indicated that self-directed exercises (in addition to exergames) were performed by Carolina, during the VirTele intervention, such as elbow flexion and extension using a stick, writing with the affected UE and shoulder abduction and adduction using a stick.

The clinician's logbook indicated also that he used BCT's techniques and motivational techniques such as reflective listening (express empathy) (Tableau 13), which support competence, relatedness and autonomy.

## Case 2

Helene was an 89-year-old female stroke survivor (7 years since stroke) with moderate UE impairment (stage of arm: 5 in Chedoke McMaster). She was no longer receiving rehabilitation services and was doing some exercises for her affected UE. She was not comfortable with computers and had never used one before. Helene indicated that she had no expectation regarding the outcomes of the intervention on her affected UE and was negative regarding the intervention. However, when she received the technology at home, she said:

*"I conditioned myself to do it [exergames] at least two or three times a day. I really liked the experience."*

When compared to standard therapy, Helene described VirTele, as follows:

*"I find your system much more elaborate ... Maybe because I had other exercises before. But your system, I find it great for helping people exercise. I was doing them less and less [the standard exercises]."*

Helene spent 1178,32 minutes or 20 hours on exergames and used them at least 5 times a week, including 37 autonomous sessions and 12 supervised exergame sessions. She stated that she perceived no important change on her UE since the beginning of the experience, but she was able to sustain motivation to continue playing, for external reasons such winning. In fact, Helene enjoyed the playful aspect of exergames which she compared to "Bridge card games" and said:

*“I'm a winner! Young, I was a winner! It had to work!...Not always winning, but you have to make it work.”*

However, she pointed out a problem with the avatar of the Kitchen clean up game, which didn't follow the real hands movements. As for effort, Helene reported that she had difficulty launching the video-conferencing system and that it was her daughter who helped her turn on the system. On the other hand, she managed to start up the exergames by herself.

Helene indicated that her daughter not only helped her use the technology but also encouraged her to start and continue using VirTele. Helene also pointed out how positive, encouraging and motivating her clinician was during the video-conference sessions. In addition, Helene reported that she felt comfortable interacting with the clinician who was patient and enthusiastic and supported her to use exergames and UE in activities of daily life, through advices on performance (performance of UE during exergames and some activities).

After the end of intervention period, Helene felt more motivated to resume physical activities to avoid the deterioration of her health condition (loss of autonomy, stiffening of the arm, chronic deficits of arm due to stroke) and use her UE in daily activities such as making her bed, combing her hair.

In an interview with Helene's clinician (female), she reported that the VirTele technology was very good for reducing travel, especially for people who have limited access to rehabilitation services and given that face-to-face intervention is no longer necessary at this stage (7 years post stroke). Prior to starting VirTele, the clinician apprehended the lack of the “hands on” to demonstrate a movement or show a compensation as she explained:

*“when we are face to face, it is easier because we are able to touch with our hands, we are able to demonstrate with our hands, but this [VirTele] is more like a different approach”*

The clinician's apprehension decreased over time as the stroke survivor was able to understand the instructions provided on how to perform the exergame and use their UE. The clinician also noticed a high compliance of Helene to exergames and a more frequent use of UE in activities of

daily life as described by the participant. As for effort, the clinician reported only minor technical issues (video cut off and internet problem) which were managed by Helene's daughter or the clinician. She added that the use of the technology by Helene who had no previous experience with computers, was very difficult. According to the clinician, it is important to be at least comfortable at turning on a computer and using a mouse. The clinician stated that it was safe to provide the intervention at home since it implies performing exercises while sitting (no risk of falling) and pointed out that the videoconference component and shared decision making component played an important role in establishing a trusting relationship with the participant. Furthermore, the clinician indicated that she included Helene in every decision made:

*"I make sure to share my thought and see why I am progressing, why I am not increasing the difficulty; then I also take their [Helene and Jack] opinion, then I try to compromise"*

The clinician's logbook indicated that Helene often felt fatigued after exergames sessions, and that no complementary exercises were suggested. The logbook' notes also indicated that the clinician used BCT's and motivational techniques (eg, reflective listening) (Tableau 13), which support competence, relatedness and autonomy.

### **Case 3**

Jack was a 50-year-old male stroke survivor (4 years since stroke) with moderate impairment of the UE (stage of arm: 4 in Chedoke McMaster). He was no longer receiving rehabilitation services and was still using his UE for some household activities. He was very comfortable with computers (accessible at home) and used it at least once a week. He was the only participant with previous experience in information technology and videogames (he used to work as engineer in a company of videogames). Prior to starting the intervention, Jack had some hesitation and questions about the therapeutic value of exergames, which evolved over time with practice and resolved, as he said:

*"There were question marks which were quickly resolved by doing them [exergames]. There have been cases where I said to myself: um! Will it really do me good? After five times of practice, I saw the things that I understood was useful. It became more interesting."*

Jack appreciated the exergames as he said: *“it was a good activity to do because it's short, it's straightforward, you knew exactly what to do”*. He spent 996,97minutes or 17 hours on exergames and used them at least 5 times a week, including 46 autonomous sessions and 12 supervised exergame sessions. Jack reported that he felt better and described the change in his affected UE as subtle and positive. Jack believed that VirTele could be useful at the end of inpatient and outpatient rehabilitation services, depending on the stroke survivor's level. He also suggested that exercises could be taught while in clinic:

*“...people have things and exercises to learn before. Then, when they are ready enough, we offer them the exercises [VirTele].”*

Jack pointed out to one limit of exergames which was the lack of sufficient rest time between sets of repetitions in each game and suggested a break of 10 or 20 seconds. As for effort, Jack indicated that it was easy to use the system due to his previous experience and that he faced two major problems, the first related to internet access and the second related to his difficulty to communicate his ideas with the clinician due to aphasia. He also added that he could place the technology material (computer and Kinect camera) in his office.

Jack demonstrated autonomy in making decisions related to choices of exergames and level of difficulty, and indicated that the clinician supported his use of exergames, through tips, demonstrations and feedback. He also pointed out that he was autonomously motivated to play exergames and no one forced him to do it. Jack, who was followed by the same clinician as Helene, indicated that she was kind.

In addition to what was reported in case two, Jack's clinician indicated that a ceiling effect was rapidly reached in the difficulty level of exergames, for this participant, which impacted his motivation. She added that Jack understood the instructions and that it was easy to work with him. Minor technical issues were identified (the screen froze or slowed down, limited access to internet, faced by Jack). The clinician pointed out communication challenges faced during videoconference sessions with Jack due to the aphasia, which made it difficult for her to understand Jack's needs and customize the intervention appropriately.

The clinician also stated that the participant had demonstrated a lot of resistance to using his affected UE in daily activities, even if he was responsible and compliant, with regards to exergames.

Finally, the clinician indicated that she supported Jack's autonomy through shared decision making and Jack's relatedness through reflective listening. Regarding competence support, Jack's clinician indicated that she managed to show the participant that he was able to succeed in the exergames by valorizing small successes and encouraging him to maintain some positions, even for a few seconds.

The clinician's logbook indicated that self-directed exercises (in addition to exergames) were performed by Jack, during the VirTele intervention period and included, for example, elbow extension and supination, use of UE to turn on the lights, shoulder abduction and adduction using a stick. Furthermore, the logbook notes indicated that the clinician used BCT's and motivational techniques (eg, reflective listening) (Tableau 13), which support competence, relatedness and autonomy.



## **Annexe 10 : Clinicians' recommendations about using telerehabilitation combined with exergames.**

- This technology targets survivors who still have some functionality in the forearm and hand.
- Aphasia does not affect the technology use, as long as the survivor is able to understand the clinician's instructions. However, it is important to note that it limits the interaction with the clinician (ideas exchanges, discussion, motivational interviewing) and may cause frustration on the part of the survivor.
- Survivors with limited computer skills who can be assisted by a caregiver in their use of the technology, are eligible for this type of intervention.
- Clinicians are encouraged to demonstrate the exercises to participants to ensure they are well understood.
- Clinicians' instructions have to be clear, simple, and concise when showing a movement or an exercise. The movements may be showed from different angles and the participant may be asked to repeat the exercise, to ensure the correct reproduction
- Attention should be paid to the quality of movement during an exercise. For example, the clinician may ask the participant to concentrate or be more aware of the movements of the affected arm (eg, maintain supination of the arm, keep the shoulder elevated, etc.).
- It is important to support small successes, for example maintaining supination for few seconds, succeed in an exercise or correctly achieve an activity.

- In survivors with severe impairment, attention should be paid to the quality of movements (movements outside the pathological schema) and not quantity, which implies a slow progression in the exergames' level of difficulty.
- Progression in difficulty level of the exergames, may be based on the achievement of the movement quality, the absence of pain and the participant's perception (finds the exercise easy).
- The exergames' scores may not always be used as a benchmark measure to make a decision related to the difficulty level. However, they can be a source of motivation for survivors to persevere during the game.
- In addition to the exergames, activities involving the use of the affected hand (cut vegetables, make the bed, etc.) may be added to the rehabilitation program, since the hand is not targeted by the Kinect during exergames.
- Weekly objectives may be established in partnership with the participant, related to exergames adherence (frequency of use, duration, etc.) and compliance to activities of daily life, for example cut vegetables (size or quantity of vegetables, frequency, etc.).
- It is important to remind the participant, the link between the movements involved in the exergames and their relevance to the successful accomplishment of activities of daily life.
- Shared decision making (goal setting, choice of games and activities, discuss the difficulty level, etc.) during video conferences enhance the participant's trust in the therapist, which is difficult to establish, using only asynchronous technology.
- The role of the teleclinician in adopting this approach is to motivate, explain, reassure, and demonstrate the exercises, in order to help survivors attain their objectives.
- To help survivors become familiar with the technology, two to three training sessions are required, including a remote practice session (similar to an in-person the session with the clinician). The period between training and the first telerehabilitation session, should be short (less than one week) to avoid memory loss.

- A brochure showing the different interfaces of the technology with simple instructions is suggested to accompany the use of the technology and serve as a reminder.
- Intermittent face-to-face sessions (every two weeks) are suggested to collect objective data of motor function (eg, administer the Fugl Meyer), to do physical examination (movement quality) or interventions such as manual therapy (to address range of motion when there is no progression).