

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

ÉVALUATION DE LA FAISABILITÉ D'UN PROGRAMME D'ENTRAÎNEMENT
DE LA MÉMOIRE DE TRAVAIL EN RÉALITÉ VIRTUELLE CHEZ DES
PERSONNES AÎNÉES : UNE ÉTUDE PILOTE

ESSAI DE 3^e CYCLE PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE DU

DOCTORAT CONTINUUM D'ÉTUDES EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL INTERVENTION)

PAR
ELIZABETH DUGUAY

AVRIL 2026

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

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

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

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
DOCTORAT CONTINUUM D'ÉTUDES EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL INTERVENTION) (D.Ps.)

Direction de recherche :

Benjamin Boller, Ph.D.,
Université du Québec à Trois-Rivières

directeur de recherche

Jury d'évaluation :

Benjamin Boller, Ph.D.,
Université du Québec à Trois-Rivières

directeur de recherche

Marie-Michèle Lord, Ph.D.,
Université du Québec à Trois-Rivières

évaluatrice interne

Frédéric Banville, Ph.D.,
Université du Québec à Rimouski

évaluateur externe

Sommaire

Au cours du vieillissement normal, certaines habiletés cognitives déclinent progressivement. L'entraînement cognitif constitue une piste prometteuse pour préserver les capacités avec l'avancée en âge, l'utilisation de la réalité virtuelle (RV) gagnant d'ailleurs en popularité grâce à sa capacité à reproduire des scénarios proches de la vie de tous les jours. Bien que la mémoire de travail soit essentielle dans le fonctionnement quotidien, peu d'interventions en RV ciblent spécifiquement son maintien chez les personnes âgées. En raison des contraintes non anticipées au moment d'entreprendre le présent projet, celui-ci a été converti en étude pilote dont l'objectif premier est d'évaluer la faisabilité d'un programme d'entraînement de la mémoire de travail en réalité virtuelle (*VR-WORK-M*), tandis que la réponse à l'intervention est explorée à titre préliminaire. Quatre participants âgés de 59 à 77 ans ont été évalués à deux reprises avant l'intervention et une fois après avoir complété le programme composé de trois séances d'entraînement. Les résultats appuient la faisabilité du programme, avec des scores moyens de présence et d'immersion conformes aux normes et de faibles symptômes de cybermalaises, ces derniers diminuant progressivement au fil des séances. Enfin, les résultats préliminaires suggèrent une tendance vers une amélioration de la performance à la tâche *VR-WORK-M* et en fluence verbale, bien que l'efficacité du programme doive être confirmée dans une étude future incluant un échantillon plus large.

Table des matières

Sommaire	iii
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures	xi
Remerciements.....	xii
Introduction.....	1
Contexte théorique	6
Vieillesse de la population.....	7
Vieillesse cognitive.....	8
Variabilité individuelle	13
Facteurs de protection.....	14
Plasticité cognitive	15
Interventions cognitives	17
Interventions cognitives à l'ordinateur	18
Interventions cognitives à l'aide de la réalité virtuelle	21
Entraînement cognitif en réalité virtuelle.....	22
Faisabilité des interventions en RV	24
Immersion et sentiment de présence	25
Cybermalaises.....	27
Efficacité de l'entraînement cognitif à l'aide de la réalité virtuelle.....	30
Entraînement des personnes âgées avec déclin cognitif	31

Entraînement des personnes âgées sans trouble cognitif.....	33
Objectifs et hypothèses de recherche.....	39
Hypothèse 1.....	41
Propension à l’immersion et sentiment de présence.....	41
Cybermalaises.....	41
Hypothèse 2.....	42
Hypothèse 2.a.....	42
Hypothèse 2.b.....	42
Hypothèse 2.c.....	43
Méthode.....	44
Devis.....	45
Participants.....	45
Critères d’inclusion et d’exclusion.....	45
Recrutement.....	47
Caractéristiques des participants.....	47
Matériel.....	50
Programme d’entraînement <i>VR-WORK-M</i>	51
Instruments de mesure.....	53
Mesures de faisabilité.....	54
Questionnaire sur la propension à l’immersion (QPI).....	54
Questionnaire sur l’état de présence (QÉP).....	55

Questionnaire sur les cybermalaises (SSQ).....	55
Mesures de réponse à l'intervention	56
Tâche expérimentale VR-WORK-M (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18)....	56
Mesures de transfert proximal	58
Séquences de chiffres	58
Séquences lettres-chiffres.	59
Mesures de transfert distal	60
Stroop.....	60
Trail Making Test (TMT).	61
Fluence verbale catégorielle et lexicale.	61
Procédure	62
Premier contact avec les participants	62
Évaluations pré-intervention.....	64
Pré 1	64
Pré 2	65
Séances d'entraînement	65
Fréquence et durée	65
Déroulement.....	66
Évaluation post-intervention (Post)	67
Analyses effectuées.....	67
Faisabilité de l'entraînement en RV : Hypothèse 1	67

Propension à l'immersion et sentiment de présence	68
Cybermalaises	68
Réponse à l'entraînement : Hypothèse 2	69
Test des signes	70
Calcul des variables	70
Effet test-retest.....	70
Réponse à l'intervention et direction du changement.....	71
Hypothèse 2.a.....	71
Hypothèse 2.b.	72
Hypothèse 2.c.....	72
Trajectoires individuelles.....	72
Résultats	74
Attrition des participants.....	75
Faisabilité de l'entraînement en RV.....	75
Propension à l'immersion et sentiment de présence	76
Cybermalaises	76
Réponse à l'entraînement.....	79
Tâche <i>VR-WORK-M</i>	79
Mesures de transfert proximal	82
Empan direct	84
Empan inverse.....	84

Empan lettres-chiffres.....	85
Mesures de transfert distal	86
Inhibition.....	88
Flexibilité.....	89
Fluence lexicale	90
Fluence catégorielle.....	90
Trajectoires individuelles.....	92
Participant 1	92
Participante 2	94
Participante 3	96
Participante 4	99
Discussion	101
Faisabilité de l'entraînement.....	103
Propension à l'immersion et sentiment de présence	103
Cybermalaises.....	105
Réponse à l'entraînement.....	108
Performance à la tâche <i>VR-WORK-M</i>	108
Mesures de transfert proximal	110
Mesures de transfert distal	114
Trajectoires individuelles.....	119
Participant 1	119

Participant 2	121
Participant 3	123
Participant 4	124
Limites du projet pilote	127
Implications cliniques potentielles.....	131
Pistes de réflexion pour les études futures.....	132
Conclusion	136
Références.....	139

Liste des tableaux

Tableau

1	Caractéristiques socio-démographiques des participants	49
2	Résultats des participants aux outils de vérification des critères d'inclusion et d'exclusion	50
3	Comparaison des scores moyens aux questionnaires de propension à l'immersion et de sentiment de présence avec les normes	78
4	Scores de cybermalaises par séance d'évaluation	79
5	Réponse à l'entraînement sur la tâche VR-WORK-M.....	81
6	Évolution des performances en mémoire de travail par participant : effet test-retest, réponse à l'intervention et direction du changement	83
7	Évolution des performances exécutives par participant : effet test-retest, réponse à l'intervention et direction du changement	87

Liste des figures

Figure

1	Déroulement des séances de participation au programme pilote	64
2	Trajectoire des performances individuelles à la tâche VR-WORK-M	81
3	Trajectoire des performances du participant 1 aux tâches évaluant la mémoire de travail.....	93
4	Trajectoire des performances du participant 1 aux tâches évaluant les fonctions exécutives	94
5	Trajectoire des performances de la participante 2 aux tâches évaluant la mémoire de travail.....	95
6	Trajectoire des performances de la participante 2 aux tâches évaluant les fonctions exécutives	96
7	Trajectoire des performances de la participante 3 aux tâches évaluant la mémoire de travail.....	98
8	Trajectoire des performances de la participante 3 aux tâches évaluant les fonctions exécutives	98
9	Trajectoire des performances de la participante 4 aux tâches évaluant la mémoire de travail.....	100
10	Trajectoire des performances de la participante 4 aux tâches évaluant les fonctions exécutives	100

Remerciements

L'auteure souhaite remercier Benjamin Boller, Ph.D., directeur de recherche à l'Université du Québec à Trois-Rivières, pour ses conseils et son appui tout au long de la rédaction du présent ouvrage. Elle tient également à remercier sa famille et ses amis pour leur soutien et leurs encouragements depuis le début de son parcours universitaire.

Introduction

L'augmentation de l'espérance de vie observée depuis plusieurs décennies a pour conséquence d'accentuer le vieillissement de la population. D'ici 2031, les plus de 65 ans pourraient constituer le quart de la population québécoise selon les prédictions de l'Institut de la statistique du Québec (2023). L'avancée en âge vient avec de multiples changements, notamment sur le plan des capacités cognitives, même en l'absence de maladie neurodégénérative (Cohen et al., 2019). En ce sens, il s'agit d'un phénomène naturel, caractérisé par une diminution progressive de certaines capacités cognitives au cours de la vie (Blazer & Wallace, 2016). L'impact du vieillissement cognitif normal est plus particulièrement observé sur les fonctions influencées par la vitesse et l'efficacité du traitement de l'information, telles que l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives (Cohen et al., 2019).

À la lumière de la littérature scientifique actuelle, les interventions cognitives apparaissent prometteuses pour freiner les effets du vieillissement (Bevilacqua et al., 2019; Martin et al., 2011; Papp et al., 2009; Sánchez-Izquierdo & Fernández-Ballesteros, 2021; Sanjuán et al., 2020). Un intérêt grandissant est notamment observé pour l'utilisation de la réalité virtuelle dans l'élaboration de programmes visant l'entraînement des fonctions cognitives des personnes âgées par la pratique d'activités inspirées du quotidien (Coyle et al., 2015). Selon Rizzo et Kim (2005), l'apprentissage dans un environnement réaliste appuie la validité écologique et un meilleur sentiment de présence,

ces deux aspects pouvant potentiellement favoriser la performance dans les tâches du quotidien. Le niveau de réalisme de l'environnement virtuel semble d'ailleurs jouer un rôle non négligeable sur l'entraînement des fonctions cognitives des personnes âgées (Bevilacqua et al., 2019).

La faisabilité des interventions en RV est généralement évaluée à partir de différents indicateurs de l'expérience subjective avec l'environnement virtuel tels que la propension à l'immersion et le sentiment de présence (Bouchard et al., 2012; Witmer et al., 2005; Witmer & Singer, 1998). De surcroît, il importe aussi de considérer que la qualité de l'expérience peut être affectée par la présence de symptômes désagréables ressentis par certaines personnes lors d'une expérience en RV, communément appelés cybermalaises.

Quant à l'efficacité des programmes d'entraînement cognitif en réalité virtuelle, la littérature scientifique recense plusieurs études rapportant l'amélioration significative de certaines fonctions cognitives à la suite d'un entraînement en réalité virtuelle, alors que d'autres mesures cognitives semblent inchangées (Buele et al., 2023; Gómez-Cáceres et al., 2023; Kim et al. 2022). Les fonctions cognitives où l'on retrouve des améliorations varient d'une étude à l'autre, même pour des programmes qui ciblent une même fonction. De plus, les connaissances scientifiques actuelles sont en grande partie basées sur des études menées auprès de personnes âgées souffrant d'atteinte cognitive légère ou de démence (Clay et al., 2020; Coyle et al., 2015; Sayma et al., 2020), signifiant que les effets de ce type d'intervention auprès des personnes âgées en santé sont relativement peu

connus. Plus encore, très peu de programmes d'entraînement en réalité virtuelle ciblent spécifiquement l'amélioration de la mémoire de travail. Considérant que cette fonction cognitive est sensible au déclin cognitif et qu'elle joue un rôle essentiel dans la réalisation de multiples activités de la vie quotidienne, le développement et la validation de programmes d'entraînement visant à améliorer et à préserver son fonctionnement apparaît primordial. Néanmoins, la littérature scientifique actuelle est pauvre en ce qui a trait à la validation de programmes d'entraînement en RV ciblant la mémoire de travail, d'où la pertinence de notre étude. En raison d'une prolongation non anticipée des délais nécessaires pour la programmation des niveaux d'entraînement ainsi que du nombre limité de participants recrutés, le projet de recherche initialement envisagé a dû être converti en projet pilote. L'objectif principal de la présente étude pilote est d'évaluer la faisabilité du programme d'entraînement en lien avec la propension à l'immersion, le sentiment de présence et la survenue de cybermalaises. Puis, à titre exploratoire, le deuxième objectif porte sur la réponse préliminaire des participants sur le plan des capacités cognitives, notamment la mémoire de travail.

Cet essai débute par une présentation générale des connaissances actuelles quant au vieillissement cognitif et aux interventions visant à préserver le fonctionnement des capacités cognitives, avec une attention plus particulière portée à l'entraînement à l'aide de la réalité virtuelle. Les caractéristiques principales de ce type d'intervention sont détaillées, notamment les facteurs influençant leur faisabilité auprès de la population âgée et les fonctions cognitives où sont mesurées des améliorations. Ensuite, une étude pilote

menée auprès de personnes âgées est présentée pour évaluer la faisabilité d'un programme d'entraînement en RV ciblant la mémoire de travail et explorer préliminairement la réponse à l'intervention. Enfin, les limites de l'étude et les implications pour les recherches futures sont également abordées.

Contexte théorique

Le phénomène du vieillissement de la population est discuté dans les sections suivantes, avec une attention particulière portée aux changements cognitifs pouvant être observés avec l'avancée en âge.

Vieillessement de la population

L'augmentation de l'espérance de vie observée depuis plusieurs décennies a pour conséquence d'accentuer le vieillissement de la population. À l'échelle mondiale, la population âgée de plus de 60 ans pourrait atteindre un total de 2.1 billions en 2050 dans le monde (World Health Organization, 2021). Au Canada, la population âgée de 85 ans et plus affiche une des plus rapides croissances de population et d'ici 2046, cette population pourrait tripler jusqu'à près de 2.5 millions d'individus (Statistique Canada, 2022). Le Québec ne fait pas exception au vieillissement croissant de la population alors que 20% des Québécois étaient âgés de 65 ans et plus en 2021. Cette proportion est en constante augmentation et les plus de 65 ans pourraient constituer le quart de la population québécoise d'ici 2031 selon les prédictions de l'Institut de la statistique du Québec (2023).

Au cours du vieillissement, les personnes âgées sont confrontées à plusieurs changements, notamment sur le plan du fonctionnement physique, de la mobilité, de l'état de santé général, des fonctions sensorielles, des capacités fonctionnelles et des capacités cognitives (Cohen et al., 2019). L'ensemble de ces facteurs contribuent à favoriser ou à

nuire à une expérience de vieillissement réussi. Le vieillissement est un phénomène hétérogène, c'est-à-dire que l'ampleur et la portée des changements observés varient grandement d'un individu à l'autre. L'OMS définit le vieillissement en bonne santé comme étant « le processus de développement et de maintien des aptitudes fonctionnelles qui permet aux personnes âgées de jouir d'un état de bien-être. » (p.33) (Organisation mondiale de la santé, 2016). Le maintien des capacités cognitives semble tout particulièrement déterminant dans une expérience positive de vieillissement. En ce sens, lorsqu'ils songent à l'avancée en âge, plusieurs individus s'inquiètent de la possibilité de perdre progressivement leurs capacités cognitives et fonctionnelles (Cutler, 2015).

Vieillessement cognitif

L'étude du cerveau de mêmes individus sur une période prolongée a démontré que des changements structurels cérébraux, comme une diminution de la substance blanche et une subtile atrophie corticale, se produisent au cours du vieillissement (Cohen et al., 2019). Le vieillissement cognitif est un phénomène naturel et normal, caractérisé par une diminution progressive de certaines capacités cognitives au cours de la vie (Blazer & Wallace, 2016). Ce déclin ne touche pas toutes les capacités cognitives et son ampleur présente une importante hétérogénéité, différant considérablement d'un individu à l'autre de même âge. Les variations du fonctionnement cognitif apparaissent étroitement liées au niveau de scolarité des individus et ces différences semblent de plus en plus marquées avec l'avancée en âge (Park, 2000). Ainsi, une réduction de l'efficacité de certaines fonctions cognitives est présente même chez les individus qui sont en bonne santé, tandis

que d'autres capacités sont globalement bien préservées au cours du vieillissement (Cohen et al., 2019). Cependant, pour certains individus, la sévérité et l'étendue des changements observés excèdent ce qui pourrait être attribué au vieillissement normal, évoluant vers le développement d'un déclin cognitif léger, communément appelé MCI selon son ancienne appellation anglaise *Mild Cognitive Impairment* (American Psychiatric Association, 2013). Soulignons toutefois que cette condition est dorénavant appelée trouble neurocognitif léger (TNCL), depuis la plus récente révision du DSM-5-TR (American Psychiatric Association, 2022).

Dans cet ordre d'idées, les capacités langagières telles que la compréhension, la lecture et le vocabulaire, ainsi que les connaissances sémantiques sont relativement stables tout au long de la vie. Cela dit, une certaine baisse des performances en production verbale, aussi appelée fluence verbale, est notée (Cohen et al., 2019). Ce déclin serait notamment observé lorsque le contenu verbal est plus abstrait ou ayant une moins grande valeur associative avec d'autres concepts. Les habiletés visuo-spatiales sont elles aussi globalement bien préservées avec l'âge, quoique les tâches plus complexes, notamment celles qui impliquent la rotation mentale ou l'ajout d'une composante temporelle, seraient moins bien réussies chez les individus âgés comparativement aux jeunes adultes. Sur le plan du raisonnement, les habiletés relevant de la sagesse et de l'expertise seraient généralement bien cristallisées même à un âge très avancé, tandis que l'effet du vieillissement sur d'autres facettes du raisonnement n'est à ce jour pas tout à fait bien compris. Une diminution de performance serait tout de même observée sur certaines

capacités de résolution de problème telles que celles qui sont sollicitées pour jouer aux échecs (Cohen et al., 2019). Ensuite, la mémoire des informations factuelles, la connaissance des mots et des concepts, la mémoire autobiographique et la mémoire procédurale, par exemple les compétences nécessaires pour faire de la bicyclette, seraient préservées chez les personnes âgées en santé (Henry et al., 2004). De plus, la capacité à apprendre de nouvelles choses et le stockage de l'information sembleraient généralement préservés dans le vieillissement normal sans pathologie neurodégénérative (Cohen et al., 2019). En revanche, il semblerait que ce soit davantage l'efficacité de l'apprentissage et la récupération de l'information apprise qui soient les plus sensibles au vieillissement cognitif.

D'un autre côté, la diminution de la vitesse de traitement de l'information est l'un des changements cognitifs les plus répandus chez les personnes vieillissantes et, selon Cohen et al. (2019), ce ralentissement contribue très probablement à plusieurs des changements cognitifs qui sont observés avec l'avancée en âge. En ce sens, l'impact du vieillissement cognitif normal est plus particulièrement observé sur les fonctions influencées par la vitesse et l'efficacité du traitement de l'information, telles que l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives.

Ainsi, les tâches attentionnelles simples seraient généralement bien réussies par les personnes âgées, tandis que des déficits seraient plutôt observés lors des tâches plus longues ou plus complexes (p. ex. : faire deux choses en même temps, sélectionner les

informations pertinentes, etc.). En ce sens, la performance attentionnelle diminuerait dans les situations impliquant plusieurs distractions ou lorsque d'autres habiletés cognitives seraient sollicitées simultanément. À ce sujet, des déficits plus importants sur le plan de l'attention sélective sont mesurés lorsque les capacités en mémoire de travail sont surchargées.

Lors du vieillissement normal, une baisse des performances dans les tâches évaluant la mémoire de travail est communément retrouvée (Belleville et al., 1996; Salthouse, 1994). La mémoire de travail (MT) est un système de mémoire à capacité limitée, permettant le maintien temporaire et la manipulation de l'information, deux processus impliqués dans la réalisation des tâches complexes. Selon le modèle théorique proposé par Baddeley et Hitch (Baddeley & Hitch, 1974) et révisé par Baddeley (Baddeley, 2000), la MT repose sur le fonctionnement de l'administrateur central, conceptualisé comme le responsable du contrôle attentionnel et de la coordination des deux systèmes de stockage de l'information : la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial, dédiés respectivement au traitement de l'information verbale et de l'information visuelle et spatiale. Ces deux systèmes spécialisés sont coordonnés et liés par le buffer épisodique qui constitue quant à lui un système d'intégration des informations issues des sous-systèmes de la mémoire de travail (boucle phonologique et calepin visuo-spatial) et de la mémoire à long terme, contribuant à l'établissement de liens cohérents.

La mémoire de travail est une fonction cognitive jouant un rôle essentiel dans la réalisation de nombreuses activités de la vie quotidienne, par exemple suivre une conversation entre plusieurs interlocuteurs au restaurant ou retenir un numéro de téléphone tout juste entendu pour le prendre en note. Selon Cohen et ses collègues, la performance aux tâches simples, nécessitant un traitement « passif » de l'information, serait globalement préservée chez les personnes âgées, alors qu'une diminution plus marquée serait retrouvée sur le plan de la mémoire de travail « active » qui sollicite davantage la manipulation de l'information. Par exemple, après avoir entendu une suite de chiffres, il devient plus difficile avec l'avancée en âge de la replacer en ordre croissant que de la répéter telle quelle. Cette baisse s'expliquerait par un déclin du fonctionnement exécutif de la mémoire de travail. En plus d'être sensible aux effets du vieillissement normal, le fonctionnement de la mémoire de travail peut être altéré par la dépression, des déficits de la MT et des fonctions exécutives étant documentés chez les personnes âgées souffrant de troubles dépressifs chroniques (Marvel & Paradiso, 2004; Snyder, 2013). Bien qu'il puisse être difficile de départager les effets du vieillissement normal sur la mémoire de travail de ceux liés à la dépression ou au vieillissement pathologique, on considère généralement l'ampleur des déficits, leur évolution et leur caractère réversible ou non. Tel que mentionné plus tôt, les effets du vieillissement normal sont graduels et touchent principalement l'efficacité de la manipulation de l'information, tandis que le fonctionnement global et l'autonomie fonctionnelle sont généralement bien préservés. Ensuite, les déficits associés à la dépression découlent des difficultés psychologiques, notamment une baisse de motivation, donc potentiellement réversibles avec la mise en

place d'un traitement (Ho et al., 2024). Enfin, les troubles neurocognitifs tels que le TNCL et la démence sont associés à des atteintes progressives plus marquées que ce qui est observé dans le contexte du vieillissement cognitif normal, se répercutant sur le fonctionnement dans la vie quotidienne (Kirova et al., 2015).

En raison des différentes composantes du contrôle exécutif, l'impact du vieillissement cognitif sur les fonctions exécutives est difficilement généralisable, mais certaines études ont montré des déficits sur le plan de l'inhibition et de la flexibilité (Cohen et al., 2019; Harada et al., 2013). Les fonctions exécutives représentent les processus cognitifs de haut niveau qui permettent à l'individu d'initier, d'inhiber et d'adapter ses réponses, mentales ou comportementales, de façon flexible et adaptée au contexte.

Variabilité individuelle

Les études longitudinales réalisées dans le dernier siècle ont permis de mettre en évidence la présence d'une grande variabilité cognitive au sein de la population âgée (Sánchez-Izquierdo & Fernández-Ballesteros, 2021). Bien que certaines fonctions, notamment les fonctions exécutives, semblent généralement plus affectées par l'avancée en âge, les changements cognitifs observés dans le vieillissement normal varient énormément d'un individu à l'autre (Hultsch et al., 2002). En ce sens, les facteurs génétiques, environnementaux et comportementaux joueraient un rôle déterminant sur le vieillissement cognitif (Kirkwood, 2005; Sánchez-Izquierdo & Fernández-Ballesteros, 2021). Par exemple, les variations du déclin cognitif à travers la population sont

influencées par une multitude de facteurs dont le statut socio-économique, le mode de vie, la prise de médicaments, la présence de maladies chroniques, l'exposition antérieure à des infections virales et les traumatismes crâniens (Baltes et al., 2005; Cohen et al., 2019). La présence de troubles du sommeil peut d'ailleurs être associée à des déficits mesurables du fonctionnement cognitif des personnes âgées, notamment sur le plan de l'attention, de la mémoire de travail, des fonctions exécutives et de certains processus mnésiques (Casagrande et al., 2022; Lo et al., 2016). La mise en évidence de facteurs environnementaux et comportementaux influençant les variations du déclin cognitif à travers la population de personnes âgées suggère la possibilité d'intervenir au cours de la vie pour favoriser un vieillissement cognitif optimal (Baltes et al., 2005). Considérant l'impact des changements associés au vieillissement cognitif sur le bien-être et le fonctionnement des personnes âgées, les possibilités d'évolution vers des troubles plus importants tels que le trouble neurocognitif léger ou la démence (Cohen et al., 2019; Eshkoor et al., 2015; Harada et al., 2013), de même que la proportion élevée de la population qu'elles représentent, il paraît primordial d'identifier des solutions pour limiter les problématiques liées au vieillissement cognitif.

Facteurs de protection

La littérature scientifique met en évidence plusieurs facteurs favorisant le maintien d'une bonne santé cognitive tels qu'une alimentation saine, l'exercice physique, la stimulation mentale et le traitement des conditions de santé physique (World Health Organization, 2019). Par exemple, en plus de ses bienfaits sur la santé physique et

psychologique, l'activité physique, notamment l'exercice aérobique, favorise le maintien et même l'amélioration des capacités cognitives des personnes âgées qui ne sont pas atteintes de démence (Angevaren et al., 2008; Jak, 2012; Muscari et al., 2010; Paterson & Warburton, 2010; Sánchez-Izquierdo & Fernández-Ballesteros, 2021; van Uffelen et al., 2008). Également, les résultats d'études longitudinales ont permis de démontrer qu'un niveau élevé d'activité physique serait associé à un risque réduit de déclin cognitif et de démence (Blondell et al., 2014). De plus, la pratique d'activités mentalement stimulantes prédirait un meilleur maintien cognitif à long terme et serait associée à un meilleur fonctionnement quotidien (Gross et al., 2011; Miller et al., 2012).

Certaines revues systématiques et méta-analyses sur le fonctionnement cognitif dans le vieillissement non pathologique ont montré des effets faibles à modérés de l'entraînement cognitif sur l'amélioration du fonctionnement cognitif (Butler et al., 2018; Hou et al., 2020; Karbach & Verhaeghen, 2014; Teixeira-Santos et al., 2019). Notamment, de nombreuses études expérimentales ont souligné les effets positifs de l'entraînement cognitif sur les fonctions ciblées telles que la mémoire, la vitesse de traitement, le raisonnement, la mémoire de travail et le fonctionnement exécutif (Ball et al., 2002; Stine-Morrow et al., 2014; Wolinsky et al., 2013).

Plasticité cognitive

La plasticité cognitive est le principe biologique selon lequel le cerveau possède une certaine malléabilité, c'est-à-dire la capacité à améliorer ses capacités en réponse à une

expérience soutenue telle qu'une stimulation répétée (Park & Bischof, 2013). En ce sens, même si une certaine détérioration neuronale se produit avec l'avancée en âge, le cerveau a la capacité de développer de nouvelles connexions pour réguler la fonction cognitive et ainsi compenser certains effets associés au vieillissement (Hertzog et al., 2003; Park & Bischof, 2013). L'augmentation du volume neuronal qui peut être observée à la suite d'un entraînement ou d'une stimulation cognitive indique que certains changements cérébraux se produisent en réponse à une expérience cognitive. L'amélioration de l'efficacité cognitive ou le maintien des capacités qui peuvent être observés à la suite d'une intervention cognitive soutiennent ce principe biologique selon lequel une plasticité cognitive est présente jusqu'à un âge très avancé.

Selon Park et ses collègues (2013), l'une des preuves les plus solides soutenant la plasticité cérébrale chez les individus âgés est la présence d'améliorations considérables du fonctionnement cognitif des patients ayant vécu un accident vasculaire cérébral (AVC) à la suite d'une intervention soutenue telle qu'un entraînement cognitif. Ainsi, même après avoir subi des lésions permanentes et une mort neuronale dans certaines régions cérébrales, ces patients parviennent à retrouver un meilleur fonctionnement post-intervention. De plus, les auteurs avancent que ce changement ne peut être attribué qu'à une certaine forme de plasticité cérébrale puisque la littérature scientifique soutient la capacité du cerveau à se réorganiser. En ce sens, lorsque des zones cérébrales sont endommagées, de nouvelles zones peuvent reprendre en charge certaines fonctions cognitives qui ne peuvent plus être assurées par les zones lésées. Puis, ces mêmes

chercheurs soulignent que pour engendrer des bénéfices cognitifs, l'intervention ou l'environnement doit solliciter de manière constante les fonctions cognitives centrales telles que la vitesse, la mémoire de travail, la mémoire épisodique et le raisonnement. Cela dit, les auteurs mentionnent que les changements d'activation cérébrale qui sont observés en réponse à un entraînement pourraient possiblement indiquer un changement de stratégie plutôt qu'une réelle plasticité neuronale. Enfin, même si les processus exacts qui se produisent sur le plan cérébral ne sont pas connus avec certitude, il demeure que les effets mesurés après un entraînement cognitif sont étonnamment durables dans le temps et qu'il y a donc des bénéfices cognitifs associés à ce type d'intervention.

Dans cet ordre d'idées, le déclin cognitif observé au cours du vieillissement pourrait être partiellement réversible si les capacités plastiques du cerveau, mobilisables jusqu'à des âges très avancés, étaient sollicitées à l'aide d'interventions cognitives (Martin et al., 2011; Papp et al., 2009).

Interventions cognitives

À la lumière de la littérature scientifique, les interventions cognitives apparaissent prometteuses pour freiner les effets du vieillissement cognitif (Bevilacqua et al., 2019; Martin et al., 2011; Papp et al., 2009; Sánchez-Izquierdo & Fernández-Ballesteros, 2021; Sanjuán et al., 2020). Par ailleurs, l'Organisation Mondiale de la Santé inclut les interventions d'orientation cognitive parmi les traitements visant à prévenir et diminuer les risques de trouble neurocognitif léger et de démence qui peuvent survenir au cours du

vieillesse (World Health Organization, 2019). Ces interventions ont pour objectif de maintenir ou d'améliorer les fonctions cognitives (Simon et al., 2020) et sont généralement divisées en trois principales catégories : la stimulation, l'entraînement et la réhabilitation. Elles partagent plusieurs caractéristiques communes, mais ont aussi leurs particularités. La stimulation cognitive regroupe les activités qui sollicitent les habiletés cognitives et sociales, sans viser spécifiquement leur entraînement. L'entraînement cognitif désigne des interventions explicitement conçues pour améliorer un ou plusieurs processus cognitifs. Enfin, la réhabilitation cognitive est davantage axée sur l'amélioration du fonctionnement de l'individu dans ses activités de la vie quotidienne.

Interventions cognitives à l'ordinateur

Les avancements technologiques des dernières décennies ont permis l'élaboration de traitements d'orientation cognitive à l'ordinateur. Également utilisé pour la stimulation et la réhabilitation cognitive, le support informatique est fréquemment employé pour l'entraînement cognitif. Tel que souligné par Herrera et ses collègues (2012), contrairement aux méthodes traditionnelles de type « papier-crayon », les logiciels d'entraînement cognitif à l'ordinateur rendent possible la stimulation simultanée de plusieurs domaines cognitifs (Herrera et al., 2012). Les interventions peuvent être adaptées en augmentant graduellement le niveau de difficulté des tâches en fonction de la progression individuelle de l'utilisateur. En plus d'améliorer significativement leurs habiletés sur le plan de la fonction cognitive ciblée, les participants entraînés peuvent également voir des effets sur leurs performances dans d'autres domaines cognitifs,

indiquant la possibilité de transferts vers des fonctions non entraînées (Herrera et al., 2012).

Des effets de transfert ne sont toutefois pas systématiquement retrouvés à la suite d'un entraînement cognitif. Selon les résultats présentés dans une méta-analyse regroupant 25 études, l'entraînement cognitif à l'ordinateur aurait davantage de bénéfices chez les personnes âgées présentant un TNCL, comparativement à celles atteintes de démence (Hill et al., 2017). En ce sens, chez les participants avec un TNCL, des effets modérés sont observés sur le plan du fonctionnement cognitif global ainsi que dans plusieurs fonctions cognitives spécifiques telles que la mémoire verbale, la mémoire de travail et l'attention. En revanche, des améliorations de même ampleur n'ont été retrouvées que sur le plan du fonctionnement cognitif global et des habiletés visuospatiales chez des personnes atteintes de démence. Par ailleurs, les auteurs n'ont pas rapporté d'effet de transfert significatif vers le fonctionnement dans les activités de la vie quotidienne chez les participants présentant une démence. Du côté des personnes présentant un TNCL, l'effet de ce type d'intervention sur le fonctionnement quotidien n'a pas pu être évalué comme seulement une des études recensées abordait cet aspect.

Selon les résultats d'une méta-analyse à propos de l'entraînement cognitif informatisé auprès de personnes âgées en santé, ce type d'intervention serait globalement modérément efficace (Lampit et al., 2014). Les auteurs soulignaient toutefois que l'efficacité des différents programmes recensés varie d'un domaine cognitif à l'autre.

Dans l'ensemble, des bénéfices ont été mesurés sur le plan de la mémoire, de la vitesse d'exécution, de la mémoire de travail et des habiletés visuospatiales, mais pas du côté de l'attention et des fonctions exécutives. De plus, il semble que le domaine cognitif spécifiquement ciblé par l'entraînement fut un facteur déterminant de l'efficacité des programmes. Par exemple, les résultats suggèrent que les interventions ciblant spécifiquement la mémoire de travail sont globalement inefficaces. Parmi les limites identifiées, les chercheurs soulèvent l'absence d'indications sur le maintien à long terme des bénéfices et sur les possibilités de transferts sur le fonctionnement quotidien.

En somme, bien que la performance à des tâches cognitives soit améliorée chez des personnes âgées présentant divers profils cognitifs à la suite d'un entraînement cognitif, il n'est pas clair si cela se traduit également par des effets bénéfiques dans le fonctionnement de la vie de tous les jours (Sánchez-Izquierdo & Fernández-Ballesteros, 2021; Sprague et al., 2019). En ce sens, peu d'études ont montré une généralisation des bénéfices sur le fonctionnement dans la vie quotidienne (Jak et al., 2013; Rebok et al., 2014). Comme le trouble neurocognitif léger et la démence sont liés à un déclin de la performance des personnes âgées dans les activités quotidiennes, par exemple la préparation des repas et la gestion des médicaments et des finances, le développement d'interventions susceptibles de favoriser le maintien de l'autonomie fonctionnelle semble important (Tulliani et al., 2022). À ce sujet, certains auteurs considèrent que la création d'interventions basées sur les activités de la vie de tous les jours pourrait possiblement favoriser un transfert des apprentissages au-delà du contexte de l'intervention (Buele et

al., 2023). En reproduisant des scénarios d'entraînement proches de situations de la vie réelle, la réalité virtuelle permet la création de tâches plus écologiques, ouvrant des perspectives intéressantes pour répondre à cet enjeu.

Interventions cognitives à l'aide de la réalité virtuelle

D'abord devenue populaire pour l'évaluation cognitive, la réalité virtuelle (RV) a connu un essor important dans le domaine de l'intervention cognitive auprès de différentes populations cliniques, jeunes et âgées. Ces interventions reposent sur des approches variées, incluant des programmes d'entraînement, la simulation d'environnements écologiques et des programmes de réadaptation fonctionnelle. Il existe de nombreuses interventions en RV auprès des enfants, par exemple pour améliorer les habiletés de communication sociale chez les jeunes présentant un trouble du spectre de l'autisme (Mittal et al., 2024; Zhao et al., 2022), soutenir le développement des compétences en lecture et en écriture chez les jeunes avec un trouble d'apprentissage (Maresca et al., 2022), favoriser l'amélioration des habiletés cognitives et motrices des jeunes avec une paralysie cérébrale (Tobaiqi et al., 2023) et plus encore. En ce qui a trait à la clientèle adulte, plusieurs interventions ont été développées, notamment pour les patients présentant des lésions cérébrales acquises ou à la suite d'un accident vasculaire cérébral, pour favoriser le fonctionnement cognitif, la santé mentale et l'autonomie dans les activités de la vie quotidienne (Chen et al., 2022; Grewal et al., 2024; Landim et al., 2024; Zhang et al., 2021). De façon similaire, plusieurs programmes d'intervention cognitive en RV adressés à la clientèle âgée ont été développés avec pour objectif premier de produire

un impact positif sur la réalisation des activités de la vie quotidienne, puisque ces dernières jouent un rôle primordial dans le maintien de l'autonomie et du bien-être des personnes âgées (Gamito et al., 2020; Liao et al., 2020).

Entraînement cognitif en réalité virtuelle

Grâce aux avancées technologiques, un intérêt grandissant est observé pour l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'entraînement des fonctions cognitives des personnes âgées par la pratique d'activités inspirées du quotidien (Coyle et al., 2015). Ce type d'intervention est basé sur l'utilisation de programmes informatisés générant des environnements réalistes permettant aux personnes de solliciter une ou plusieurs fonctions cognitives de façon répétée tout en recevant des rétroactions diverses, notamment visuelles, auditives et même tactiles. Ces environnements immersifs peuvent être présentés avec l'aide d'un écran, d'une projection ou d'un casque spécifiquement conçu pour la RV pour une expérience hautement immersive (Clay et al., 2020).

Rizzo et Kim ont mis en évidence plusieurs avantages liés à l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'entraînement cognitif (Rizzo & Kim, 2005). De façon similaire aux programmes à l'ordinateur, le niveau de difficulté des activités d'entraînement en RV peut être ajusté selon les capacités propres à chaque individu pour assurer une stimulation optimale, sans qu'il ne se retrouve trop surchargé. De plus, les rétroactions fournies au cours de l'entraînement favorisent la progression et l'apprentissage des participants. Par exemple, Foloppe et ses collègues décrivent le cas d'une femme atteinte de la maladie

d'Alzheimer ayant été entraînée dans une cuisine virtuelle dans laquelle les différentes tâches à effectuer étaient divisées en plusieurs étapes et où des indices visuels et auditifs lui étaient fournis lorsqu'elle éprouvait des difficultés (Foloppe et al., 2018).

De plus, la réalité virtuelle permet également aux personnes âgées de s'entraîner à effectuer une variété d'activités en toute sécurité. Par exemple, elles peuvent sécuritairement se pratiquer à cuisiner et à conduire, deux activités qui comportent des risques de blessure et qui pourraient s'avérer plus particulièrement dangereuses pour des personnes ayant d'importantes pertes cognitives. Dans cet ordre d'idées, les programmes de réalité virtuelle peuvent être adaptés pour entraîner simultanément le fonctionnement cognitif et physique et de plus en plus d'éléments suggèrent l'efficacité des interventions combinées pour maintenir ou améliorer le fonctionnement global des personnes âgées (Gheysen et al., 2018). Considérant les coûts élevés associés au développement des logiciels de RV sur mesure qui sont utilisés dans le domaine de la recherche, les jeux vidéo commercialisés, à l'ordinateur ou sur console, notamment la *Nintendo Wii* et la *Xbox 360*, représentent une alternative plus abordable et accessible pour offrir un entraînement cognitif et physique dans un environnement virtuel attrayant (Hughes et al., 2014). Les jeux vidéo d'exercice physique, aussi appelés *exergames*, gagnent en popularité dans les contextes d'interventions d'orientation cognitive auprès de la clientèle âgée (Choi et al., 2017). Bien que des études supplémentaires soient nécessaires avant de pouvoir conclure à un transfert des bénéfices vers un meilleur fonctionnement dans la vie quotidienne, la création de programmes d'entraînement cognitif adaptés sous forme de jeux vidéo

représente une piste intéressante pour faciliter l'accès aux interventions préventives, favorisant le maintien d'une bonne santé cognitive au cours du vieillissement.

En plus de ses applications multiples, la RV est une technologie bien tolérée par les personnes âgées atteintes de TNCL et certaines interventions auraient même un impact positif sur l'humeur (D'Cunha et al., 2019). Plus encore, les interventions en RV pourraient favoriser une meilleure adhérence au traitement auprès de cette population selon les résultats d'une étude comparant une tâche d'entraînement en RV à sa version papier-crayon (Manera et al., 2016). Enfin, la meilleure validité écologique est sans doute l'un des avantages qui distingue le plus l'entraînement en RV des méthodes traditionnelles et à l'ordinateur, c'est-à-dire que les conditions et le matériel utilisés sont plus représentatifs de l'environnement naturel de la personne. Selon Rizzo et Kim (2005), l'apprentissage dans un environnement réaliste appuie la validité écologique et un meilleur sentiment de présence, ces deux aspects pouvant potentiellement favoriser la performance dans les tâches du quotidien. Par ailleurs, le niveau de réalisme de l'environnement virtuel semble jouer un rôle non négligeable sur l'entraînement des fonctions cognitives des personnes âgées (Bevilacqua et al., 2019).

Faisabilité des interventions en RV

L'évaluation de la faisabilité d'une intervention est une étape essentielle lors de l'élaboration de tout programme d'intervention, indépendamment de la nature de celui-ci et de la clientèle ciblée. De façon générale, la faisabilité d'une intervention renvoie à

plusieurs dimensions, notamment à la mesure dans laquelle sa mise en place est pertinente, réaliste, acceptable et susceptible de réussir (Bowen et al. 2009). En ce qui concerne les interventions en RV, la faisabilité est généralement évaluée à partir de différents indicateurs de l'expérience subjective avec l'environnement virtuel tels que la propension à l'immersion et le sentiment de présence (Bouchard et al., 2012; Witmer et al., 2005; Witmer & Singer, 1998). Lorsqu'on s'intéresse à évaluer la faisabilité de telles interventions, il importe aussi de considérer que la qualité de l'expérience peut être affectée par la présence de symptômes désagréables ressentis par certaines personnes lors d'une expérience en RV, communément appelés cybermalaises.

Immersion et sentiment de présence

Les interfaces de réalité virtuelle sont nombreuses et elles présentent des degrés d'immersion variables, allant de non-immersif à pleinement immersif. Par exemple, l'utilisation de manettes ou d'une souris d'ordinateur rend l'expérience moins immersive que lorsque les mouvements naturels du corps, détectés par des capteurs de mouvements, sont utilisés pour interagir dans l'environnement virtuel. Le niveau d'immersion est donc intimement lié au degré auquel l'utilisateur est isolé de l'environnement réel qui l'entoure lorsqu'il interagit dans l'environnement virtuel. Slater et Wilbur (1997) conceptualisent l'immersion comme la capacité du logiciel de RV à produire chez l'utilisateur l'illusion d'être dans un environnement réel (Slater & Wilbur, 1997). Pour leur part, Witmer et Singer (1998) représentent plutôt l'immersion comme un état psychologique subjectif qui influence le sentiment de présence du participant dans l'environnement virtuel (Witmer

& Singer, 1998). L'utilisation de la RV immersive est généralement associée à un niveau de présence élevé : plus le niveau d'immersion est élevé, plus grand est le sentiment de présence de l'utilisateur (Meehan et al., 2002; Slater, 2009; Weech et al., 2019; Witmer & Singer, 1998).

Le sentiment de présence réfère à la perception du participant de se trouver dans l'environnement virtuel et d'en faire partie, une sensation qui se produit lorsqu'il est coupé de l'environnement réel dans lequel il se trouve. Il s'agit d'un phénomène complexe, à la fois influencé par des facteurs technologiques du logiciel de RV et des facteurs psychologiques de l'utilisateur (Straaten, 2000). Dans cet ordre d'idées, Zahorik et Jenison (1998) soutiennent que le sentiment de présence est dépendant de la capacité du logiciel de donner au participant des rétroactions équivalentes à celles qu'il aurait dans l'environnement réel lors de ses interactions de la vie quotidienne (Zahorik & Jenison, 1998). Ainsi, les possibilités d'interaction, par exemple déplacer des objets ou ouvrir une porte pour entrer dans une pièce, jouent un rôle dans l'émergence du sentiment de présence. Pour leur part, Schubert et Friedmann (1999) considèrent que le sentiment de présence est plutôt un état psychologique qui se produit lorsque l'utilisateur est en mesure de se représenter mentalement ses actions dans l'environnement, c'est-à-dire qu'il peut s'imaginer y agir (Schubert et al., 1999). L'intensité du sentiment de présence ressenti est généralement mesurée à l'aide d'un questionnaire auto-rapporté complété par le participant à la suite de l'immersion en RV. Différents outils existent à cet effet, notamment celui élaboré par Witmer & Singer (Witmer et al., 2005; Witmer & Singer,

1998). L'utilisation de ce type de questionnaire permet de vérifier que le sentiment de présence soit suffisamment élevé pour appuyer la faisabilité des interventions à l'aide de la réalité virtuelle immersive. Généralement, des scores modérés à élevés aux questionnaires évaluant la propension à l'immersion et le sentiment de présence sont considérés suffisants pour soutenir l'engagement du participant dans l'environnement virtuel et la faisabilité de l'intervention (Bouchard et al., 2012; Witmer et al., 2005; Witmer & Singer, 1998). Lorsqu'on évalue la faisabilité d'une intervention en RV, il importe aussi de considérer que le sentiment de présence est modulé par l'utilisation de tout interface « personne-machine », c'est-à-dire les dispositifs tels qu'un casque immersif ou des manettes qui permettent à l'utilisateur d'interagir avec l'environnement virtuel (Alonso-Valerdi et al., 2017). Enfin, le sentiment de présence peut également être amenuisé par la présence de symptômes désagréables ressentis par certains participants lors d'une expérience en RV.

Cybermalaises

Lorsqu'ils utilisent la réalité virtuelle, certains individus ressentent des effets secondaires désagréables, communément appelés « cybermalaises » (Caserman et al., 2021; Kennedy et al., 1993). Les effets rapportés sont généralement de faible intensité, de courte durée et ils ne touchent qu'une très faible proportion d'utilisateurs. Ils sont communément mesurés à l'aide de questionnaires où l'utilisateur évalue l'intensité à laquelle il a ressenti différents inconforts tels que des nausées, des maux de tête et des étourdissements. Le *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ), élaboré par Kennedy et ses

collaborateurs en 1993 reste encore à ce jour largement répandu au sein de la communauté scientifique pour mesurer ce type de symptômes et évaluer la faisabilité des interventions en RV. Il n'y a pas de seuils précis, universels et validés pour l'interprétation des cybermalaises, mais la littérature scientifique suggère que les scores totaux au SSQ élaboré par Kennedy inférieurs à 15 ou à 20 peuvent être considérés comme étant relativement faibles (Kennedy et al., 1993). Pour sa part, le *Questionnaire sur les cybermalaises*, une version francophone du SSQ, révisée et adaptée en français, ne suit pas les mêmes principes de pondération pour la comptabilisation des items et l'interprétation doit donc être adaptée en conséquence (Bouchard et al., 2007). En ce sens, comme il existe une multitude de questionnaires différents pour évaluer les cybermalaises, plusieurs travaux appuient plutôt une interprétation descriptive et relative des symptômes (Saredakis et al., 2020; Stanney et al., 2020; Weech et al., 2019). Plus précisément, on peut généralement considérer la présence élevée de cybermalaises lorsqu'il y a des symptômes modérés à sévères sur plusieurs items ou lorsque le score total de l'échelle est situé à un écart-type ou plus de la moyenne.

Certains chercheurs considèrent que les interventions en réalité virtuelle non-immersive sont intéressantes pour la réhabilitation des personnes âgées puisqu'elles produiraient moins de symptômes associés aux cybermalaises, comparativement aux interventions complètement immersives (Bevilacqua et al., 2019). Cette opinion n'est pas partagée par l'ensemble de la communauté scientifique et plusieurs études ont démontré que la RV est généralement bien acceptée par la population âgée. Appel et ses collègues

se sont intéressés à l'expérience d'utilisation d'un casque immersif chez des personnes âgées présentant différents profils cognitifs (normal, TNCL, déficit modéré, déficit sévère) (Appel et al., 2019). Les participants de l'étude ont tous rapporté ne pas avoir ressenti d'étourdissements, de la désorientation ou de l'interférence avec les appareils auditifs et seulement 8% d'entre eux ont indiqué avoir eu des nausées. De façon similaire, dans le cadre d'un entraînement cognitif où les participants devaient réaliser une tâche de magasinage dans une épicerie virtuelle, Arlati et ses collègues se sont penchés sur l'acceptation de la réalité virtuelle immersive par des individus âgés avec un TNCL ou un déclin cognitif subjectif (Arlati et al., 2021). Les résultats de l'étude indiquent que la RV immersive a été bien acceptée par tous les participants, excepté un seul. Globalement, ils ont répondu avoir apprécié l'expérience et ressenti des effets secondaires négligeables. L'environnement virtuel était considéré très réaliste et un participant serait même tombé en tentant de s'appuyer sur un objet de l'environnement virtuel parce qu'il s'est senti immergé au point d'avoir oublié être dans un scénario de RV. Les chercheurs soulignent que les déficits cognitifs pourraient favoriser ce type de comportement plus risqué en lien avec l'interaction avec les éléments de l'environnement virtuel et que certaines précautions pourraient être mises en place à l'avenir. Par exemple, l'utilisation d'un harnais pour les participants en position debout permettrait de limiter les risques de chute en cas d'étourdissement, de désorientation ou de trébuchement.

En somme, les possibilités d'application de la RV pour favoriser le fonctionnement des personnes âgées sont multiples, comme en témoigne la diversité de domaines du

fonctionnement ciblés par les programmes d'entraînement existants, par exemple l'amélioration de l'autonomie dans les activités domestiques ou le maintien des capacités cognitives et physiques. Les différentes interventions en RV se distinguent les unes des autres par leurs cibles d'amélioration, par exemple l'autonomie dans les activités domestiques ou les capacités cognitives et physiques, ainsi que par le degré auquel l'utilisateur se sent immergé dans l'environnement virtuel. Le niveau d'immersion, le sentiment de présence et la survenue de cybermalaises sont tous des éléments importants à considérer dans l'élaboration de ce type d'intervention. Ces caractéristiques sont d'ailleurs généralement mesurées pour évaluer la faisabilité des programmes d'entraînement en RV. De façon générale, les résultats disponibles dans la littérature scientifique indiquent que la réalité virtuelle immersive est une technologie qui est bien tolérée par la population âgée, appuyant son utilisation pour le développement de programmes d'entraînement cognitif écologiques, basés sur la pratique d'activités de la vie quotidienne.

Efficacité de l'entraînement cognitif à l'aide de la réalité virtuelle

L'efficacité des programmes d'entraînement cognitif en RV est généralement évaluée en comparant les résultats obtenus avant et après l'intervention afin de déterminer si une différence statistiquement significative est retrouvée au sein du groupe de participants entraînés, comparativement au groupe témoin. Tout d'abord, il est possible de mesurer l'efficacité de l'intervention à partir de la performance des participants aux tâches de RV utilisées dans le programme d'entraînement. Ensuite, des mesures standardisées telles que

des tâches neuropsychologiques, peuvent être utilisées pour mesurer les capacités cognitives des participants et ainsi détecter la présence de bénéfices sur la ou les fonctions cognitives ciblées par l'intervention en RV, soit un effet de transfert proximal. Enfin, l'efficacité d'un programme d'entraînement peut aussi être évaluée en s'intéressant à mesurer les potentiels effets de transfert distal, c'est-à-dire un transfert des effets bénéfiques de l'intervention au-delà des fonctions cognitives ciblées par le programme et par la nature des tâches d'entraînement qui le composent. À l'heure actuelle, il existe cependant peu de preuves suggérant une véritable généralisation des effets vers des fonctions cognitives non entraînées ou vers un meilleur fonctionnement quotidien à long terme. Prenons l'exemple d'une étude contrôlée randomisée où des chercheurs ont examiné si un entraînement de la mémoire en RV favorise un transfert vers des tâches de rappel : les résultats obtenus montrent un transfert dans les tâches de mémoire similaires à l'entraînement, mais aucun effet de transfert significatif vers un questionnaire de mémoire auto-rapporté n'a été observé (Boller et al., 2021).

Entraînement des personnes âgées avec déclin cognitif

Les résultats d'une revue systématique publiée par Coyle et ses collaborateurs révèlent des bénéfices associés aux programmes d'entraînement en RV chez des personnes âgées atteintes de TNCL ou de démence. Des effets de transfert sont notamment retrouvés sur le plan de la mémoire de travail, de la mémoire verbale et de la mémoire visuelle (Coyle et al., 2015). Cependant, les études identifiées n'ont pas montré d'effet de transfert sur le plan des fonctions exécutives et des habiletés visuospatiales. Une

toute récente méta-analyse portant sur l'efficacité des interventions en réalité virtuelle pour entraîner le fonctionnement cognitif des personnes âgées avec un TNCL rapporte des résultats variables selon les domaines cognitifs évalués (Gómez-Cáceres et al., 2023). Plus précisément, toutes durées confondues, les interventions ont mené à des effets de transfert significatifs sur la cognition globale (effet modéré), sur l'attention (effet faible) et sur le fonctionnement exécutif (effet élevé), mais pas sur la mémoire de travail, la mémoire épisodique, le langage et les habiletés visuoconstructives. Les analyses supplémentaires ont révélé que la durée de l'intervention serait un modérateur de l'efficacité, avec des effets plus importants observés sur plusieurs domaines cognitifs pour les programmes comportant 15 heures ou plus d'intervention. Par exemple, les analyses primaires réalisées à partir des résultats de quatre études ont montré de prime abord un effet non significatif des interventions sur les habiletés en mémoire de travail (Hwang & Lee, 2017; Kang et al., 2021; J. H. Park et al., 2020; J. S. Park et al., 2020; Thapa et al., 2020). Cela dit, lorsque la durée des interventions est considérée, il apparaît que les programmes de plus de 15 heures d'intervention en réalité virtuelle ont montré une taille d'effet modérée et significative sur le plan de la mémoire de travail, tandis que ceux d'une durée moindre n'ont pas présenté d'effets significatifs. (Gómez-Cáceres et al., 2023).

Enfin, même si de plus en plus de données appuient la pertinence de l'entraînement en réalité virtuelle pour améliorer le fonctionnement cognitif des personnes âgées atteintes de TNCL, les effets de transfert sur les fonctions cognitives spécifiques ne sont pas encore évidents et les résultats sont inconstants d'une étude à l'autre. Dans le cas des

études recensées dans la revue systématique de Coyle et ses collègues (2015) ainsi que dans la méta-analyse de Gómez-Cáceres et ses collaborateurs (2023), ces inconsistances semblent en grande partie expliquées par les différences qui existent entre les programmes d'entraînements évalués, notamment en lien avec le niveau d'immersion, le nombre de séances et leur durée, la taille de l'échantillon de participants et les domaines du fonctionnement cognitif qui sont ciblés par les activités réalisées dans l'environnement virtuel. Par exemple, plusieurs auteurs soulèvent la variabilité importante des effets de transfert sur la mémoire de travail, cette dernière apparaissant liée à la durée des interventions (Gómez-Cáceres et al., 2023; Kim et al., 2022). De par son rôle essentiel dans la mémorisation à court terme de l'information, cette fonction cognitive influence sans équivoque le fonctionnement de multiples processus cognitifs (Hyer et al., 2016). Malgré cela, peu de recherches sont menées dans l'objectif de favoriser son fonctionnement au cours du vieillissement.

Entraînement des personnes âgées sans trouble cognitif

Bien que l'entraînement cognitif en réalité virtuelle représente une piste prometteuse pour favoriser le maintien du fonctionnement cognitif avec l'avancée en âge, la littérature scientifique actuelle est pauvre en ce qui concerne l'efficacité de ces interventions chez les personnes âgées sans trouble cognitif. La recension de la littérature scientifique a permis d'identifier quatre études portant sur l'évaluation de programmes d'entraînement cognitif en RV (Gamito et al., 2020; Gamito et al., 2019; Makmee & Wongupparaj, 2022; Zajac-Lamparska et al., 2019) ainsi que deux programmes d'entraînement combiné, c'est-

à-dire ciblant le fonctionnement cognitif et le fonctionnement moteur (Haeger et al., 2018; Huang, 2020).

Dans le cadre d'une étude pilote, Zajac-Lamparska et ses collègues ont évalué les effets d'un programme d'entraînement cognitif en réalité virtuelle auprès d'individus âgés en santé (n=72) et d'autres atteints de trouble neurocognitif léger (n=27) (Zajac-Lamparska et al., 2019). En raison de l'absence de groupe témoin, des versions alternatives (lorsque disponibles) des tests utilisés lors de l'évaluation pré-intervention ont été administrées au post-test afin de limiter l'effet de pratique, soit une amélioration qui serait attribuable à l'administration répétée des tâches neuropsychologiques et non aux effets de l'intervention. Les participants de l'étude ont suivi un programme d'entraînement basé sur le jeu *GRADYS*, composé de quatre modules ciblant respectivement l'attention, la mémoire, le langage et le raisonnement visuo-spatial. Chaque module comportait trois niveaux de difficulté et les différentes tâches d'entraînement étaient inspirées d'activités de la vie quotidienne. Après huit séances d'entraînement d'une durée de 45 à 60 minutes, à raison de deux séances par semaine, les participants du groupe sans déclin cognitif ont affiché des effets de transfert proximal sur le plan des habiletés visuospatiales, de mémoire visuelle et de mémoire de travail visuelle passive, mais aucune amélioration n'a été observée sur les mesures évaluant les apprentissages verbaux et le langage, fonctions également ciblées par les activités.

Gamito et ses collègues ont développé la *Systemic Lisbon Battery (SLB)*, un programme d'entraînement cognitif dans lequel l'utilisateur peut naviguer dans une ville virtuelle et pratiquer diverses activités de la vie quotidienne sollicitant l'attention, la mémoire de travail, la mémorisation et les fonctions exécutives (Gamito et al., 2019). L'effet de l'intervention a été évalué à l'aide de l'index de changement fiable (*Reliable Change Index, RCI*), calculé pour chaque mesure cognitive, une approche statistique qui permet de mesurer les changements individuels en tenant compte de l'effet test-retest, utile en l'absence de groupe témoin. Au terme du programme de 12 séances de 30 minutes réparties sur trois mois, les participants (n=25) ont significativement amélioré leurs performances aux tâches de mémoire visuelle, d'attention et de flexibilité cognitive. De plus, selon les résultats obtenus, il semblerait que les participants ayant les performances initiales les plus faibles soient ceux chez qui les plus importantes améliorations ont été mesurées après l'intervention. Enfin, les effets de transfert sur la mémoire de travail sont inconnus puisque aucune mesure évaluant cette habileté cognitive n'a été incluse dans la batterie de tests administrée, bien que la MT fût ciblée par l'entraînement.

En 2020, Gamito et d'autres collègues ont évalué l'efficacité d'un programme d'entraînement d'une durée de 6 semaines à l'aide de la SLB, mais cette fois auprès d'un échantillon total de 43 participants âgés divisés entre un groupe d'intervention et un groupe témoin ayant reçu une stimulation cognitive traditionnelle « papier et crayon » de même durée (Gamito et al., 2020). L'intervention en RV était composée de deux séances de 30 minutes par semaine, alors que l'intervention traditionnelle (témoin) consistait en

une séance hebdomadaire de 60 minutes. Au terme du programme, un effet de transfert a été mesuré chez les participants entraînés en RV, plus spécifiquement sur leurs scores aux tâches évaluant le fonctionnement cognitif global, les fonctions exécutives, l'attention et la mémoire visuelle. Tout comme dans leur précédente étude (Gamito et al., 2019), l'effet de transfert sur la mémoire de travail n'a pas été évalué.

Plus récemment, Makmee et ses collègues ont évalué un programme d'entraînement cognitif en RV ciblant l'amélioration des fonctions exécutives et de la mémoire de travail (Makmee & Wongupparaj, 2022). Comme certaines études suggèrent un lien entre le fonctionnement exécutif et la mémoire de travail (Brown et al., 2012; Wang et al., 2018) ainsi qu'avec l'adaptation visuomotrice (Li et al., 2021; Stirling et al., 2013), les activités d'entraînement ont spécialement été conçues pour solliciter ces fonctions. Notamment, l'utilisation de manettes sans fil a permis aux participants de toucher, prendre, classer et regrouper les objets dans l'environnement virtuel pour effectuer diverses tâches quotidiennes dans la cuisine, la chambre à coucher et le jardin. Ainsi, 60 personnes âgées de 60 à 69 ans ont été réparties entre le groupe témoin passif et le groupe expérimental bénéficiant de deux séances hebdomadaires d'entraînement en RV d'une durée de 60 minutes. Au terme des quatre semaines du programme, comparativement au groupe témoin, les participants entraînés ont uniquement présenté un effet de transfert sur le plan de la flexibilité et de la mémoire de travail auditive passive, mais pas sur les mesures évaluant la mémoire de travail auditive active et l'inhibition.

En 2018, des chercheurs se sont intéressés à l'efficacité d'un entraînement en réalité virtuelle basé sur la conduite automobile pour améliorer l'attention visuelle, la mémoire de travail, les fonctions exécutives et les habiletés motrices chez des individus âgés (Haeger et al., 2018). Durant quatre semaines, les participants du groupe expérimental (n=16) ont entraîné leurs habiletés de conduite automobile dans l'environnement virtuel à raison de trois séances de 50 à 60 minutes par semaine. Au terme du programme, des effets significatifs de transfert ont été mesurés sur la performance en attention visuelle, alors que la mémoire de travail passive visuelle, la flexibilité cognitive et la motricité n'ont pas connu d'augmentation.

Une équipe de recherche a entraîné des personnes âgées (n=33) avec le jeu vidéo d'exercice *Fruit Ninja* afin d'améliorer leur fonctionnement exécutif et leurs capacités en mémoire de travail (Huang, 2020). Les participants ont été répartis entre une condition expérimentale non immersive (écran) et une condition immersive (casque de RV). Dans l'environnement virtuel, les participants devaient réagir rapidement pour trancher des fruits projetés vers eux en bougeant leurs membres supérieurs représentés par des couteaux virtuels. Au terme du programme de quatre semaines, composé de 8 séances de 20 minutes, des effets de transfert ont été retrouvés sur les scores des mesures d'inhibition et de flexibilité. Cependant, de tels gains n'ont pas été mesurés sur le plan de la mémoire de travail. Pour expliquer ces résultats, l'auteur avançait que la durée de l'intervention était possiblement insuffisante pour produire un effet sur cette fonction cognitive. En effet, en dépit d'un plus faible niveau d'immersion, deux études précédentes ont montré une

amélioration de la mémoire de travail chez des individus âgés ayant reçu une intervention de type *exergames* pendant 8 semaines (Eggenberger et al., 2016; Schättin et al., 2016). De plus, l'utilisation d'une tâche évaluant la mémoire de travail verbale, alors que l'intervention stimulait plutôt les aspects visuels du fonctionnement cognitif a pu nuire à la possibilité de détecter un effet de transfert sur le plan de la mémoire de travail.

En somme, il semble que ce type d'intervention puisse améliorer la performance aux tâches évaluant certaines fonctions cognitives, mais un changement positif n'est pas systématiquement observé sur l'ensemble des fonctions stimulées. De plus, les effets de transfert aux fonctions ciblées sont hétérogènes d'une étude à l'autre, certaines rapportant par exemple une amélioration de la mémoire de travail et d'autres non. Pour expliquer ces divergences de résultats, il est possible de se demander si la nature des tâches réalisées dans les programmes d'entraînement combiné en RV, soit conduire ou trancher des fruits, stimulait suffisamment les habiletés de mémoire de travail pour détecter un changement sur les mesures neuropsychologiques administrées. De plus, la courte durée des séances d'entraînement avec le jeu *Fruit Ninja* peut avoir limité les possibilités de transfert. Puis, considérant que la SLB inclut des activités d'entraînement ciblant l'amélioration de la MT, les possibilités de transfert sur cette fonction cognitive gagneraient à être explorées. Enfin, en plus de la taille réduite des échantillons de participants, la grande variabilité entre les études présentées, notamment sur le plan des activités d'entraînement, du nombre de séances et du design expérimental, limite la généralisation des résultats quant aux effets de transfert.

Enfin, la littérature scientifique recense plusieurs études rapportant l'amélioration significative de certaines fonctions cognitives à la suite d'un entraînement en réalité virtuelle, alors que d'autres mesures cognitives semblent inchangées. Les fonctions cognitives où sont retrouvées des améliorations varient d'une étude à l'autre, même pour des programmes qui partagent une même cible d'entraînement, par exemple les fonctions exécutives. De plus, bien que plusieurs revues systématiques et méta-analyses se soient penchées sur l'efficacité de l'entraînement cognitif en RV, celles-ci étaient en grande partie basées sur les résultats d'études menées auprès de personnes souffrant d'atteinte cognitive légère ou de démence (Clay et al., 2020; Coyle et al., 2015; Sayma et al., 2020). Ainsi, les effets de ce type d'intervention auprès des personnes âgées en santé sont relativement inconnus. Plus encore, très peu de programmes d'entraînement en réalité virtuelle ciblent spécifiquement l'amélioration de la mémoire de travail, un système de mémoire impliqué dans le maintien temporaire et la manipulation d'information. Considérant que cette fonction cognitive est sensible au déclin cognitif et qu'elle joue un rôle essentiel dans la réalisation de multiples activités de la vie quotidienne, le développement et la validation de programmes d'entraînement visant à améliorer et à préserver son fonctionnement apparaît primordial, tout particulièrement dans une perspective de prévention et de promotion de la santé.

Objectifs et hypothèses de recherche

Dans cet ordre d'idées, l'essai suivant porte sur une étude pilote dont l'objectif premier est d'évaluer la faisabilité d'un programme d'entraînement en réalité virtuelle

ciblant la mémoire de travail chez des personnes âgées : le *VR-WORK-M* (Ansado et al., 2018). Plus concrètement, afin de déterminer si l'expérience subjective des participants soutient la faisabilité du programme pilote, les réponses fournies et les scores moyens obtenus aux questionnaires évaluant la propension à l'immersion, le sentiment de présence et les cybermalaises seront comparés aux seuils attendus, établis à la lumière de la littérature scientifique actuelle.

Dans un deuxième temps, considérant la nature pilote du programme à l'étude, la réponse à l'entraînement sera explorée de façon préliminaire. Ainsi, le deuxième objectif porte sur la réponse des participants au programme, sur le plan des capacités cognitives, plus particulièrement la mémoire de travail, fonction spécifiquement ciblée dans l'élaboration des tâches d'entraînement utilisées. Considérant le manque d'études au sein de la littérature scientifique portant sur la validation de programmes d'entraînement en RV ciblant le maintien de la mémoire de travail des personnes âgées sans trouble cognitif, en dépit de son rôle majeur dans la réalisation des activités quotidiennes et de sa sensibilité au vieillissement, la présente étude pilote est menée pour tenter de répondre à cette lacune. Par ailleurs, afin d'explorer la réponse à l'entraînement tout en tenant compte de l'effet pratique lié à l'administration répétée des tâches cognitives, nous avons mis en place un devis longitudinal permettant de pouvoir séparer auprès d'un même participant la réponse à l'intervention des effets test-retest. Ainsi, dans le contexte où il n'y avait pas de groupe témoin, la mise en place de deux évaluations pré-intervention (Pré 1 et Pré 2) et d'une évaluation post-intervention (Post) a été choisie.

Hypothèse 1

En lien avec le premier objectif, il est attendu que le programme d'entraînement pilote présente une bonne faisabilité auprès des participants, mesurée à partir de trois indicateurs : la propension à l'immersion, le sentiment de présence et les cybermalaises.

Propension à l'immersion et sentiment de présence

En adéquation avec la littérature scientifique sur la RV immersive, il est prévu que les scores de propension à l'immersion et de sentiment de présence des participants soient modérés à élevés, c'est-à-dire qu'ils soient comparables ou supérieurs au score moyen de l'échantillon normatif de leurs questionnaires respectifs. Il est attendu que ces scores restent élevés tout au long de l'intervention.

Cybermalaises

Puisque la faisabilité du programme d'entraînement dépend également de la bonne tolérance des participants face à l'utilisation de la RV immersive, il est attendu que les participants rapportent des cybermalaises faibles ou négligeables, c'est-à-dire qu'une majorité d'items soient évalués à 0 (pas du tout) ou à 1 (un peu). Par ailleurs, un effet d'habituation à la RV immersive est anticipé, soit une diminution des symptômes indésirables au fil des séances d'évaluation.

Hypothèse 2

En lien avec le deuxième objectif portant sur la réponse préliminaire des participants au programme d'entraînement en RV, trois hypothèses exploratoires sont formulées. Considérant la taille restreinte de l'échantillon et le nombre réduit de séances, de véritables effets d'intervention ne sont pas attendus à ce stade-ci du projet pilote. Ainsi, un meilleur résultat post-intervention, comparativement au résultat pré-intervention, sera considéré représentatif d'une amélioration relative du participant, soit une tendance vers une réponse positive à l'intervention.

Hypothèse 2.a.

Les résultats obtenus par les participants à la tâche *VR-WORK-M* (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18) seront examinés afin d'explorer si des améliorations relatives sont retrouvées après avoir complété le programme, comparativement aux résultats pré-intervention. Puisque cette mesure est composée d'items directement tirés du logiciel utilisé lors des séances d'entraînement en RV, il s'agit de la mesure d'évaluation de la mémoire de travail la plus représentative des habiletés entraînées.

Hypothèse 2.b.

La réponse à l'intervention, sur le plan des mesures de transfert proximal, sera également examinée. Plus précisément, nous explorerons si une amélioration relative des performances aux tâches évaluant la mémoire de travail est retrouvée lors de l'évaluation post-intervention comparativement à l'évaluation pré-intervention. Différentes mesures

seront utilisées afin d'examiner les possibilités de réponse sur le plan de la MT « active » et la MT « passive ».

Hypothèse 2.c.

Enfin, nous examinerons la réponse préliminaire au programme en ce qui concerne les mesures de transfert distal, soit les fonctions non ciblées par l'entraînement. Ainsi, nous explorerons si une amélioration relative des performances aux tâches évaluant diverses fonctions exécutives est retrouvée lors de l'évaluation post-intervention, comparativement à l'évaluation pré-intervention.

Méthode

Les prochaines sections décrivent la méthodologie de la présente étude pilote. Plus précisément, les aspects suivants sont abordés : le devis de recherche, les participants, le matériel utilisé, les instruments de mesure, la procédure suivie à chacune des étapes du projet et les analyses effectuées.

Devis

Le projet de recherche devait initialement inclure un minimum de 32 participants. Toutefois, en raison d'une prolongation non anticipée des délais nécessaires pour la programmation des niveaux alternatifs par une équipe tierce, le projet de recherche sur lequel porte le présent essai doctoral a été converti en projet pilote. Considérant la nature du projet et le nombre restreint de participants, un devis d'études de cas multiples a été choisi.

Participants

Les prochaines sections portent sur les critères d'admissibilité, le processus de recrutement et les caractéristiques des participants ayant complété le programme pilote.

Critères d'inclusion et d'exclusion

Pour participer à l'étude, les individus devaient être âgés de 60 à 85 ans. Étant donné la nature de l'expérimentation, une bonne capacité à comprendre des consignes orales et

écrites en langue française était également requise. Puis, les individus qui présentaient une condition neurologique, cognitive ou psychiatrique pouvant interférer significativement avec la cognition étaient exclues de l'étude. Afin de s'assurer que les personnes remplissaient les critères d'inclusion et d'exclusion, les personnes intéressées ont répondu à un questionnaire en ligne, composé d'un questionnaire d'informations générales permettant la cueillette des informations socio-démographiques et de divers questionnaires cliniques. Plus précisément, le *Beck's Depression Inventory* (BDI) et le *Beck's Anxiety Inventory* (BAI), l'*Index de qualité du sommeil de Pittsburgh* (IQSP), l'*Échelle de somnolence d'Epworth* (ESE), et l'*Index de sévérité de l'insomnie* (ISI) ont été utilisés. L'exclusion des participants souffrant de conditions de santé mentale ou de sommeil visait à limiter les variables confondantes susceptibles d'influencer le fonctionnement cognitif. Ces variables n'ont pas été considérées dans les analyses effectuées dans le contexte de l'étude pilote. Cependant, dans le cadre du projet initial, nous avons prévu explorer la relation entre les effets de l'entraînement et la présence de symptômes d'anxiété, de dépression et de difficultés de sommeil.

De plus, lors de l'évaluation pré-intervention, deux tests de dépistage cognitif ont été administrés aux participants par un membre de l'équipe de recherche. Plus précisément, le *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA) a été administré (Nasreddine et al., 2005) à la première évaluation (Pré 1) et les participants ont répondu au *Questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire – Version abrégée* (QAM-A) à la deuxième évaluation (Pré 2) (Van der Linden et al., 1989).

Recrutement

Les participants ont été recrutés au printemps et à l'été 2023. Les associations de retraités de la Mauricie ont été contactées par courriel afin de les inviter à partager l'affiche de recrutement à leurs membres. De plus, certains individus participant à différents projets de recherche du laboratoire NeuroAge ont été contactés puisqu'ils avaient mentionné être intéressés à participer à d'autres projets dans l'avenir. Le formulaire d'information et de consentement a d'abord été présenté aux participants à l'aide du questionnaire en ligne pour qu'ils puissent le remplir et consentir de façon libre et éclairée à participer à l'étude. Une version papier du formulaire a aussi été présentée aux participants lors de leur première séance de participation pour répondre à leurs potentielles questions et ainsi s'assurer qu'ils puissent donner ou retirer leur consentement de façon libre et éclairée pour participer à la recherche intitulée « Évaluation de la faisabilité et de l'efficacité d'un programme d'entraînement de la mémoire de travail en réalité virtuelle chez des personnes âgées ». Cette recherche a été approuvée par le comité d'éthique de la recherche – Psychologie et psychoéducation de l'Université du Québec à Trois-Rivières et un certificat portant le numéro CERPPE-21-03-07.17 a été émis le 7 avril 2022.

Caractéristiques des participants

Les caractéristiques socio-démographiques des participants de l'étude pilote sont présentées dans le Tableau 1. Leurs résultats aux échelles globales des outils utilisés pour la vérification des critères d'inclusion et d'exclusion sont affichés dans le Tableau 2. Considérant la modification du projet initial vers une version pilote abrégée, de même que

le nombre limité de personnes ayant démontré un intérêt pour participer, nous avons ultimement décidé de faire preuve de flexibilité dans l'application des critères d'inclusion et d'exclusion. Plus spécifiquement, la participante 4, âgée de 59 ans, a été admise même si la tranche d'âge cible était de 60 à 85 ans. De plus, le participant 1 a été admis bien que ses résultats au MoCA et au QAM-A étaient inférieurs aux seuils considérés représentatifs d'un fonctionnement cognitif normal. Ce choix a été effectué à la lumière des résultats de certaines études suggérant que le seuil diagnostique du MoCA (26/30) tend à surévaluer les déficits cognitifs et qu'un seuil plus bas, par exemple de 23/30 ou de 24/30, plus spécifique, serait préférable (Carson et al., 2018; Thomann et al. 2020).

Tableau 1*Caractéristiques socio-démographiques des participants*

	Participant (P1)	Participante (P2)	Participante (P3)	Participante (P4)
Âge (années)	77	70	68	59
Sexe	Homme	Femme	Femme	Femme
Années de scolarité	18	20	12	17
Niveau de scolarité	Baccalauréat	Doctorat	Certificat	Baccalauréat

Tableau 2

Résultats des participants aux outils de vérification des critères d'inclusion et d'exclusion

Outil	P1	P2	P3	P4
ESE	8	7	2	3
ISI	7	2	10 ^a	6 ^a
IQSP	6 ^b	2	7 ^b	4
BAI	3	0	4	1
BDI	13	2	3	1
MoCA	24 ^c	29	26	28
QAM-A	28 ^d	20	16	18

Note. Échelle de somnolence d'Epworth (ESE), Index de sévérité de l'insomnie (ISI), Index de qualité du sommeil de Pittsburgh (IQSP), Beck's Anxiety Inventory (BAI), Beck's Depression Inventory (BDI), Montreal Cognitive Assessment (MoCA), Questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire – Version abrégée (QAM-A).

^a Insomnie sous-clinique (légère).

^b Habituellement, un résultat global supérieur à 5 est un indicateur de troubles du sommeil.

^c Les résultats supérieurs ou égaux à 26 indiquent un fonctionnement cognitif normal.

^d Les scores de 26 à 40 correspondent à une plainte cognitive modérée.

Matériel

Le matériel utilisé pour l'expérimentation a été installé dans un local réservé pour le présent projet, situé au 2^e sous-sol du pavillon Michel-Sarrazin de l'UQTR. Il comprenait des tables, des chaises, un ordinateur muni d'une souris, d'un clavier, de hauts-parleurs,

d'un casque immersif porté devant les yeux et ajusté de façon personnalisée à l'aide de sangles sur le dessus et l'arrière de la tête, utilisé pour présenter la tâche d'entraînement en RV. La licence du programme *VR-WORK-M* a été achetée via le Laboratoire de Cyberpsychologie de l'Université du Québec en Outaouais (UQO). L'environnement virtuel a été développé à l'aide du logiciel *Unity Edition Professionnal* (<http://unity3d.com>). Le programme a été installé et exécuté sur un ordinateur *Alienware Aurora R8*, équipé d'un processeur *Intel Core i7* de 8^e génération (cadencé à 3.2GHz), de 8 Go de mémoire vive (DDR4), d'une carte graphique *NVIDIA® GeForce® GTX 1080* avec 8 Go de mémoire GDDR5X et d'un système d'exploitation *Windows 10*). Enfin, les participants ont été immergés dans l'environnement à l'aide d'un casque *Oculus Rift S*, doté d'une résolution de 1280 × 1440 pixels par œil, d'un champ de vision nominal de 115 degrés et d'une fréquence de rafraîchissement d'image de 80 Hz.

Programme d'entraînement *VR-WORK-M*

Le logiciel utilisé dans le cadre du présent projet est une adaptation française d'un programme d'entraînement de la mémoire de travail élaboré il y a quelques années par Ansado et ses collègues, soit le *VR-WORK-M (Virtual Reality Working-Memory-Training program)* (Ansado et al., 2018). Rappelons que la mémoire de travail (MT) est un système de mémoire à capacité limitée, permettant le maintien temporaire et la manipulation de l'information et reposant sur le fonctionnement de l'administrateur central. Ce dernier est conceptualisé comme le responsable du contrôle attentionnel et de la coordination des systèmes de stockage de l'information : la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial,

tous les deux coordonnés et liés par le buffer épisodique, c'est-à-dire le système assurant l'intégration des informations issues de la boucle phonologique, du calepin visuo-spatial et de la mémoire à long terme. Dans cet ordre d'idées, le programme d'entraînement *VR-WORK-M* a été élaboré pour stimuler la boucle phonologique de la MT en sollicitant le maintien et la répétition mentale d'informations verbales entendues par le participant dans le contexte d'un dîner d'affaire virtuel. De plus, l'augmentation graduelle du nombre d'items présentés, des délais de rappel et l'introduction de tâches à effectuer avant de rappeler l'information et l'ajout de distracteurs auditifs et visuels sollicitent plus particulièrement l'administrateur central de la mémoire de travail. En effet, ces éléments augmentent la charge cognitive associée au contrôle attentionnel, à l'inhibition des distractions et à la mise à jour de l'information. Par ailleurs, le *VR-WORK-M* implique le buffer épisodique puisque l'information verbale est présentée dans un contexte écologique ressemblant à la vie réelle, favorisant l'intégration de l'information par l'établissement de liens entre les informations maintenues actives par la boucle phonologique et les connaissances du participant qui sont issues de la mémoire à long terme.

Ainsi, à l'aide d'un casque immersif, ce programme reproduit une salle de restaurant virtuelle dans laquelle le participant doit exécuter différentes tâches sollicitant sa mémoire de travail dans un contexte de présentation de projet d'affaire. Le programme comporte plusieurs niveaux de difficulté, élaborés selon quatre facteurs de complexité : le type d'entreprise concernée par la proposition (exemple : ouverture d'une boulangerie ou d'un magasin de fleurs), le nombre d'articles à mémoriser/répéter, le nombre de sous-tâches à

accomplir avant de devoir présenter le projet (exemple : se présenter, commander une boisson, etc.) et le nombre de distracteurs présentés durant l'interaction (exemple : bébé qui pleure). Le programme *VR-WORK-M* comprend 54 niveaux de difficulté.

Afin de limiter la redondance dans le contexte d'un programme d'entraînement échelonné sur plusieurs séances, une équipe de recherche du Cognac, groupe de recherche en psychologie cognitive à l'UQTR, a adapté le *VR-WORK-M* pour développer deux versions parallèles, composées chacune de 54 niveaux. La première version consiste à devoir présenter un projet d'affaire et les différents membres de l'équipe (noms de métiers). Ensuite, la deuxième version porte sur la présentation du projet d'affaire et du budget annuel (montant du budget alloué à chaque trimestre). En raison de délais supplémentaires quant à la programmation des versions parallèles, celles-ci n'ont pas pu être utilisées dans le cadre de la première vague d'entraînement réalisée à l'été 2023. Ainsi, l'essai suivant porte sur une version pilote du programme d'entraînement incluant uniquement les 54 niveaux disponibles (version francophone).

Instruments de mesure

Les différents instruments de mesures utilisés sont présentés dans les sections suivantes.

Mesures de faisabilité

Les différentes mesures utilisées pour évaluer la faisabilité du programme pilote sont présentées dans les prochaines sections.

Questionnaire sur la propension à l'immersion (QPI)

Développé par le Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO (Robillard et al., 2002), inspiré de la version originale de Witmer & Singer (Witmer & Singer, 1998), ce questionnaire a été utilisé pour évaluer la tendance qu'a un individu à être facilement immergé dans un environnement virtuel (p. ex. : réalité virtuelle, film, etc.). Il comporte quatre sous-échelles : l'échelle « Focus » représente la capacité à diriger son attention, l'échelle « Implication » mesure l'engagement de la personne dans l'expérience, l'échelle « Émotions » évalue les émotions ressenties durant l'expérience et l'échelle « Jeu » renseigne sur les habitudes d'utilisation de jeux vidéo du participant. Dans le cadre de la présente étude, le score total du questionnaire a été choisi comme mesure pour les analyses. Le questionnaire comprend 18 items auxquels le participant doit indiquer sa tendance à être engagé dans différentes activités sur une échelle de type Likert de 1 (« Jamais ») à 7 (« Souvent »), le score total pouvant aller jusqu'à un maximum de 126. L'alpha de Cronbach, s'élevant à 0,78, indique une bonne consistance interne (Robillard et al., 2002).

Questionnaire sur l'état de présence (QÉP)

Le QÉP a été utilisé pour mesurer la qualité de l'immersion dans l'environnement virtuel en évaluant le sentiment de présence, soit le fait de se sentir réellement présent dans l'environnement. Le questionnaire a été développé par le Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO (Robillard et al., 2002), adapté de la version originale de Witmer & Singer (Witmer et al., 2005; Witmer & Singer, 1998). Il comporte un total de 24 items répartis en 7 sous-échelles, dont 5 faisant partie des analyses factorielles de l'outil : « Réalisme », « Possibilité d'agir », « Qualité de l'interface », « Possibilité d'examiner », « Auto-évaluation de la performance ». Dans le cadre de la présente étude, le score total des 19 items composant ces 5 sous-échelles a été choisi comme mesure pour les analyses. Pour chaque item, le participant doit décrire son expérience dans l'environnement virtuel sur une échelle de type Likert de 1 (ex. « Pas du tout engagé », « Extrêmement artificiel », etc.) à 7 (« Complètement absorbé », « Complètement naturel », etc.), le score total pouvant aller jusqu'à un maximum de 133. L'alpha de Cronbach, s'élevant à 0,84, indique une bonne consistance interne (Robillard et al., 2002).

Questionnaire sur les cybermalaises (SSQ)

Traduit en français par le Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO (Bouchard et al., 2007), depuis la version originale de Kennedy et al. (Kennedy et al., 1993), ce questionnaire a été utilisé pour détecter et quantifier la présence de cybermalaises engendrés par la réalité virtuelle. Il comporte 3 sous-échelles de symptômes : « Nausée », « Oculo-Moteur » et « Désorientation ». Dans le cadre de la présente étude, les symptômes

rapportés et le score total du questionnaire ont été choisis comme mesure pour les analyses. Le questionnaire comprend 16 items auxquels le participant doit indiquer à quel point il se sent affecté par un symptôme sur une échelle de type Likert de 0 (« Pas du tout ») à 3 (« Sévèrement »), le score total pouvant aller jusqu'à un maximum de 48. La consistance interne de l'outil est élevée, avec un alpha de Cronbach de 0.87 (Kennedy et al., 1993).

Mesures de réponse à l'intervention

Différentes mesures cognitives ont été choisies pour évaluer l'ensemble des mécanismes impliqués dans le fonctionnement de la mémoire de travail qui sont sollicités par le programme *VR-WORK-M*. De plus, comme la MT est un système cognitif complexe, lié à différents processus tels que l'inhibition et la flexibilité, l'utilisation de mesures évaluant le fonctionnement exécutif a permis d'explorer la réponse à l'intervention au-delà des processus spécifiquement entraînés.

Tâche expérimentale VR-WORK-M (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18)

Rappelons que l'entraînement *VR-WORK-M*, composé de 54 niveaux, consistait à mémoriser et à manipuler des informations verbales selon différentes conditions de distractions sonores ou visuelles, représentant ainsi une mesure d'empan mnésique écologique et intégrative évaluant globalement la boucle phonologique, l'administrateur central et le buffer épisodique. (Ansado et al., 2018).

Les résultats préliminaires d'une étude de validation menée par le Cognac appuyaient l'utilisation des niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18 du VR-WORK-M pour mesurer la mémoire de travail (Beaudet et al., 2022). En ce sens, comme le vieillissement cognitif est communément lié à une baisse de performance aux tâches traditionnelles évaluant la mémoire de travail, la performance plus faible d'un groupe de participants âgés à la tâche *VR-WORK-M* (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18), comparativement à un groupe de jeunes adultes, appuyait préliminairement la validité de construit des niveaux sélectionnés en tant que mesure d'évaluation de la mémoire de travail. De plus, la corrélation retrouvée entre la performance à la tâche *VR-WORK-M* (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18) et la performance à une tâche de mémoire de travail passive soutenait préliminairement la validité convergente des niveaux sélectionnés.

Ainsi, les niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18 de la tâche *VR-WORK-M* ont été utilisés comme outil d'évaluation de la réponse à l'entraînement dans la présente étude pilote. Chaque niveau est constitué d'un « item-sujet » à rappeler (p. ex. : Il s'agit d'un *magasin de vêtements*) et de deux à trois « items-empan » à mémoriser (p. ex. : On veut y vendre des *jupes* et des *ceintures*). À l'exception des niveaux 1 et 4, chaque niveau comporte également une ou deux « sous-tâches » à effectuer (p. ex. : commander à haute voix *un thé glacé*). À chaque niveau, un point est accordé pour chaque item/sous-tâche correct, pour un maximum de 31 points. Le score total a été choisi comme mesure pour les analyses de la présente étude.

Il importe de considérer que l'amélioration relative de la performance à cette tâche ne signifie pas nécessairement une amélioration des capacités en mémoire de travail et qu'elle peut être le résultat d'un effet de pratique ou attribuable à une variation individuelle normale.

Mesures de transfert proximal

Les différentes mesures de transfert proximal utilisées pour explorer la réponse à l'intervention sur le plan de la mémoire de travail sont présentées dans les prochaines sections.

Séquences de chiffres. Le sous-test Séquences de chiffres (ordre direct et ordre inverse), tiré de l'Échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes - Quatrième édition : Édition de recherche—Version pour francophones du Canada (WAIS-IV) a été administré afin de mesurer la boucle phonologique et l'administrateur central de la mémoire de travail (Wechsler, 2008). La condition directe permet d'évaluer la boucle phonologique comme elle sollicite la capacité de stockage verbal à court terme. Ensuite, en plus d'évaluer la boucle phonologique, la condition inverse a permis d'évaluer le contrôle exécutif de l'administrateur central puisqu'elle requière une manipulation active de l'information à mémoriser.

Ainsi, dans la condition « ordre direct », le participant doit rappeler sans erreur une série de chiffres énoncés à haute voix par l'évaluateur. L'exercice est répété avec des

séquences de plus en plus longues, jusqu'à ce que le participant échoue au rappel de deux séquences de même longueur. Un point est accordé pour chaque séquence de chiffres correctement rappelée. Ensuite, la condition « ordre inverse » est administrée selon les mêmes modalités, excepté que cette fois, le participant doit rappeler dans l'ordre inverse les chiffres de chacune des séquences présentées. La première condition mesure les habiletés de mémorisation à court terme dites « passives », alors que la deuxième condition sollicite également les capacités de manipulation de l'information maintenue active en mémoire. Le score total de la condition directe (empan direct) et le score total de la condition inverse (empan inverse) ont été choisis comme mesures pour les analyses de la présente étude.

Séquences lettres-chiffres. Le sous-test *Séquences lettres-chiffres* (WAIS-IV) a également été utilisé pour évaluer la boucle phonologique et l'administrateur central de la mémoire de travail (Wechsler, 2008). Plus précisément, la réorganisation mentale de l'information verbale, effectuée selon les règles spécifiques (ordre chronologique et ordre alphabétique), sollicite fortement l'administrateur central en impliquant la flexibilité cognitive et le contrôle attentionnel.

Concrètement, à chaque essai de la tâche, l'évaluateur dicte à haute voix une série composée de chiffres et de lettres que le participant doit rappeler dans un ordre spécifique : d'abord les chiffres (en ordre croissant), puis les lettres (en ordre alphabétique). L'exercice est répété avec des séquences de plus en plus longues jusqu'à ce que le participant échoue

au rappel de trois séquences de même longueur. Un point est accordé pour chaque séquence correctement rappelée. Ce sous-test sollicite la manipulation et le regroupement de l'information maintenue active en mémoire. Le score total a été choisi comme mesure pour les analyses de la présente étude.

Mesures de transfert distal

Puisque la mémoire de travail est un système cognitif complexe, lié à différents processus tels que l'inhibition et la flexibilité, l'utilisation de mesures évaluant le fonctionnement exécutif a permis d'explorer la réponse à l'intervention sur le plan des processus n'ayant pas été spécifiquement entraînés.

Stroop. Le test de *Stroop*, plus précisément la version tirée de la batterie de test *Delis-Kaplan Executive Function System* (DKEFS) est une tâche qui permet entre autres de mesurer les capacités d'inhibition cognitive (Delis et al., 2001). Cette tâche a été choisie puisque, tel que mentionné précédemment, les distractions présentes dans l'entraînement *VR-WORK-M* mobilisent l'administrateur de la mémoire de travail, tout particulièrement en lien avec le contrôle attentionnel et les capacités d'inhibition du participant. Le test de *Stroop* est divisé en 4 conditions : « Dénomination de couleurs », « Lecture de mots », « Inhibition » et « Inhibition/Alternance ». La tâche a été administrée en entier à chacune des séances d'évaluation, mais seules les mesures de temps d'exécution des conditions « Dénomination de couleurs » (condition 1) et « Inhibition » (condition 3) ont été choisies pour calculer la mesure d'inhibition utilisée pour les analyses de la présente étude. Dans

la condition 1, le participant doit nommer aussi rapidement et précisément que possible la couleur d'une suite de carrés présentés sur une feuille. Dans la condition 3, le participant doit nommer la couleur de l'encre d'une suite de mots de couleurs (p. ex. : mot « bleu » écrit en rouge, mot « rouge » écrit en vert, mot « vert » écrit en rouge, etc.). Pour ce faire, il doit inhiber l'interférence de la condition 2 où il devait simplement lire les mots qui étaient tous écrits en encre noire. Ainsi, la capacité d'inhibition du participant est représentée par la différence (en secondes) entre le temps d'exécution de la condition « Inhibition » et celui de la condition « Dénomination de couleurs ». Un résultat élevé représente une faible capacité d'inhibition.

Trail Making Test (TMT). Le *Trail Making Test* a été utilisé pour mesurer la flexibilité cognitive (Bowie & Harvey, 2006). Dans la première partie (TMT-A), le participant doit relier aussi rapidement que possible, en ordre croissant, les chiffres de 1 à 25 présentés sur une feuille. Dans la deuxième partie (TMT-B), le participant doit relier des chiffres (en ordre croissant) et des lettres (en ordre alphabétique), en alternant entre un chiffre et une lettre (p. ex. 1-A-2-B-3-C-...). La différence (en secondes) entre le temps d'exécution de la deuxième partie (TMT-B) et le temps d'exécution de la première partie (TMT-A) a été calculée pour obtenir le score de flexibilité choisi pour les analyses de la présente étude. Un résultat élevé représente une faible flexibilité.

Fluence verbale catégorielle et lexicale. La tâche de *Fluence verbale catégorielle et lexicale* a permis de mesurer l'aisance à utiliser des lettres et des catégories dans son

discours (Cardebat et al., 1990). Il s'agit également d'une mesure de la flexibilité spontanée du fonctionnement exécutif. Plus concrètement, cette tâche évalue l'habileté à générer des mots selon une lettre ou une catégorie donnée. La première partie de la tâche évalue la fluence lexicale, aussi appelée fluence phonémique. Le participant doit nommer autant de mots débutant par la lettre « P » que possible durant une période de deux minutes. L'exercice est répété pour la lettre « R », puis pour la lettre « V ». La deuxième partie de la tâche évalue la fluence sémantique, aussi appelée fluence catégorielle. Le participant doit nommer autant de mots que possibles qui sont des « animaux » durant une période de deux minutes. L'exercice est répété pour la catégorie « Meubles » ainsi que la catégorie « Fruits ». Pour chaque condition de la tâche, les mots nommés par le participant sont notés par l'évaluateur qui accorde un point par mot correct pour calculer le total. Dans la présente étude, les deux mesures utilisées pour les analyses sont le total des trois conditions de *Fluence lexicale* et le total des trois conditions de *Fluence catégorielle*.

Procédure

La procédure suivie à chacune des étapes de l'étude pilote est présentée dans les sections suivantes.

Premier contact avec les participants

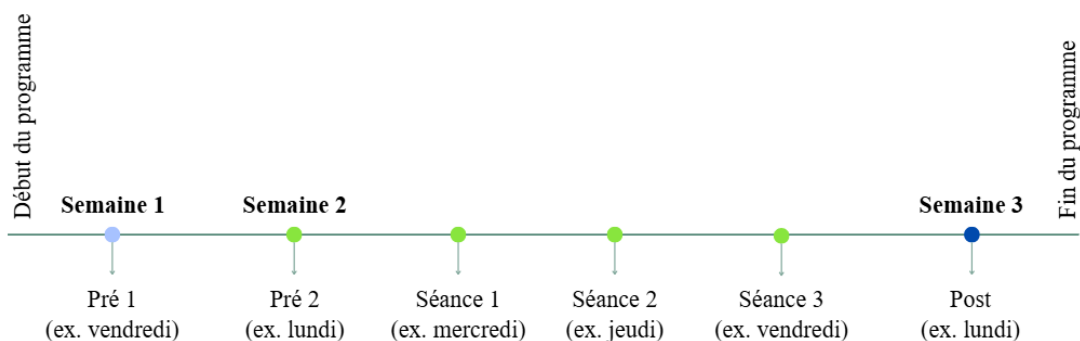
Dans un premier temps, un membre de l'équipe de recherche a communiqué par courriel avec les personnes intéressées pour leur fournir une explication détaillée du projet et du déroulement des différentes séances d'activités prévues. Les individus toujours

intéressés ont ensuite reçu un lien personnalisé et sécurisé vers le questionnaire LimeSurvey à remplir pour la cueillette des informations préalables à la participation et à la vérification des critères d'inclusion. Le consentement à la participation et les disponibilités des participants ont également été recueillis par l'entremise du questionnaire en ligne.

Après cette première collecte d'information, les participants ont reçu par courriel un horaire pour les séances d'évaluation et d'entraînement construit en fonction de leurs disponibilités. Au besoin, les changements nécessaires ont ensuite été apportés à l'horaire initialement proposé. Les séances d'évaluation et d'entraînement ont été réparties entre les membres de l'équipe de recherche afin de limiter les biais d'évaluation. Ainsi, pour chaque participant, la personne responsable de l'évaluation n'a pas été témoin de sa performance aux séances d'entraînement. Toutes les séances d'activités se sont déroulées dans les locaux de l'Université du Québec à Trois-Rivières au Pavillon Michel-Sarrazin. La Figure 1 illustre le déroulement des différentes séances de participation au programme pilote.

Figure 1

Déroulement des séances de participation au programme pilote



Évaluations pré-intervention

Dans le contexte où il n'y avait pas de groupe témoin, les deux évaluations pré-intervention (Pré 1 et Pré 2) ont visé à contrôler l'effet test-retest, soit une amélioration relative qui serait attribuable à l'effet de pratique de l'administration répétée des tests et non à une réponse positive à l'entraînement.

Pré 1

Lors de la première séance d'évaluation pré-intervention (Pré 1), les participants ont commencé par répondre au questionnaire sur la propension à l'immersion et ont ensuite complété les niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18 du *VR-WORK-M*. Puis, ils ont répondu au questionnaire sur les cybermalaises et au questionnaire sur l'état de présence. Par la suite, les tâches neuropsychologiques suivantes ont été administrées par l'évaluateur: *Séquences*

de chiffres (ordre direct et ordre inverse), Séquences lettres-chiffres, Stroop, Trail Making Test et Fluence verbale catégorielle et lexicale. Pour terminer, le MoCA a été administré.

Pré 2

La deuxième séance d'évaluation pré-intervention (Pré 2) était identique à la première (Pré 1), à l'exception de l'administration du MoCA qui a été substituée par le QAM-A.

Séances d'entraînement

Les caractéristiques principales des séances d'entraînement sont détaillées dans les sections suivantes.

Fréquence et durée

Les rencontres ont été planifiées selon les disponibilités des participants. L'entraînement pilote devait initialement être composé de 6 rencontres étalées sur une période de 2 semaines, avec 3 séances d'une heure par semaine. Afin de limiter la répétition excessive des niveaux d'entraînement en fonction du nombre restreint de niveaux programmés et du rythme d'entraînement des participants qui s'est avéré plus rapide qu'anticipé, le calendrier du programme pilote a dû être révisé en cours de route. Plus précisément, la deuxième semaine d'entraînement a été annulée et l'évaluation post-intervention a été devancée à la date prévue pour la 4^e séance d'entraînement. Finalement, les participants ont donc pris part à 3 séances d'entraînement d'une heure, réparties sur une seule semaine.

À chaque séance, la personne responsable a accueilli le participant, l'a invité à s'asseoir sur la chaise et s'est assurée d'ajuster confortablement le casque immersif avant de débiter l'entraînement. Ensuite, les participants ont débuté l'entraînement avec la tâche *VR-WORK-M* et l'intervention immersive a duré approximativement 30 à 35 minutes. Par la suite, le casque immersif a été retiré et le participant est resté assis pendant environ 10 minutes afin de se réhabituer à l'environnement réel et limiter les potentiels cybermalaises.

Déroulement

L'entraînement *VR-WORK-M* a d'abord été administré selon le protocole d'utilisation du programme existant, c'est-à-dire que les 54 niveaux disponibles ont été administrés dans l'ordre. À la première séance d'entraînement, les participants ont tous débuté au premier niveau en enchaînant avec les niveaux suivants jusqu'à la fin de la séance. À la séance suivante, l'entraînement a été repris à partir du dernier niveau complété à la séance précédente et ainsi de suite.

Ensuite, une fois tous les niveaux complétés, généralement durant la troisième séance d'entraînement, l'intervention a été poursuivie au-delà du protocole original. Plus précisément, des niveaux précédemment administrés ont été répétés jusqu'à ce que le temps prévu pour l'intervention soit écoulé.

Évaluation post-intervention (Post)

L'évaluation post-intervention (Post) s'est déroulée de la même manière que les deux séances d'évaluation pré-intervention, la seule différence étant que ni le MoCA ni le QAM-A n'ont été administrés lors du Post.

Analyses effectuées

En raison de la taille restreinte de l'échantillon de participants et du devis d'études de cas multiple choisi pour la présente étude pilote, des tests statistiques non paramétriques ont été utilisés pour réaliser les analyses, comme ils sont moins dépendants des hypothèses de normalité qui sont difficilement vérifiables avec de petits échantillons. Il importe toutefois de considérer que ces tests présentent une puissance statistique plus faible et que les résultats doivent être interprétés avec prudence. Ainsi, les résultats sont interprétés à titre descriptif et exploratoire, conformément à la nature préliminaire de l'étude pilote et de son objectif principal étant d'évaluer la faisabilité. En lien avec l'exploration de la réponse à l'intervention, l'utilisation du *Reliable Change Index* (RCI) a été envisagée, mais jugée non appropriée dans l'optique où de réels changements attribuables à l'intervention apparaissaient peu probables après seulement trois séances.

Faisabilité de l'entraînement en RV : Hypothèse 1

En lien avec l'hypothèse 1, la faisabilité du programme d'entraînement en RV a été évaluée à l'aide de statistiques descriptives portant sur le score moyen des participants aux échelles totales des questionnaires portant sur l'utilisation de la RV.

Propension à l'immersion et sentiment de présence

Ainsi, pour chaque séance d'évaluation (Pré 1, Pré 2, Post), le score moyen de propension à l'immersion et le score moyen de sentiment de présence ont été calculés à partir des scores individuels des participants à l'échelle totale des questionnaires afin de vérifier qu'ils étaient suffisamment élevés, c'est-à-dire comparables (+/- 1 écart-type) ou supérieurs au score moyen de l'échantillon normatif de leurs questionnaires respectifs.

Cybermalaises

Par ailleurs, pour chaque séance d'évaluation (Pré 1, Pré 2, Post), les scores individuels des participants à l'échelle totale du questionnaire de cybermalaises ont été calculés et examinés afin de vérifier qu'ils présentaient tous un niveau faible à négligeable d'inconforts, c'est-à-dire qu'une majorité d'items-symptômes étaient évalués à 0 (pas du tout) ou à 1 (un peu). Les symptômes identifiés et leur intensité (entre 0 et 3) ont également été détaillés de façon descriptive.

Dans un deuxième temps, pour vérifier l'effet d'habituation à la RV immersive, un score moyen de cybermalaises a été calculé à partir des scores individuels des participants à l'échelle totale du questionnaire pour chaque séance d'évaluation (Pré 1, Pré 2, Post) et les différences respectives entre les scores moyens du Pré 2 et du Pré 1 ($\text{Pré 2} - \text{Pré 1}$) et les scores moyens du Post et du Pré 2 ($\text{Post} - \text{Pré 2}$) ont été calculées. Les résultats de valeur négative supportaient la présence d'un effet d'habituation, caractérisé par une diminution progressive des cybermalaises.

Réponse à l'entraînement : Hypothèse 2

En lien avec l'hypothèse 2, la réponse au programme d'entraînement en RV a été explorée à l'aide de tests des signes réalisés à partir des scores des participants aux tâches cognitives.

Considérant l'importante variabilité des mesures répétées, c'est-à-dire les différences de résultats qui sont souvent retrouvées lorsqu'un même individu effectue une même tâche à plusieurs reprises, sans que cela ne soit pour autant indicateur d'un effet d'intervention, nous avons choisi de comparer le score post-intervention au meilleur score pré-intervention dans l'objectif de minimiser l'impact de l'effet test-retest sur l'interprétation de la réponse à l'intervention. Il est néanmoins important de considérer que cette procédure de calcul peut conduire à une surinterprétation d'un déficit. Ainsi, le lecteur se doit de considérer qu'une baisse de résultat à l'évaluation post-intervention ne signifie pas nécessairement que l'entraînement a conduit à une diminution de l'efficacité cognitive.

Cela étant dit, pour chaque mesure cognitive analysée, la différence entre le score post-intervention et le meilleur score pré-intervention obtenus par chacun des participants a été calculée. Un résultat positif aux scores représentant un nombre de bonnes réponses indiquait alors une amélioration relative de la performance du participant. Pour les scores représentant un temps d'exécution, soit ceux obtenus au *Stroop* et au *Trail Making Test*, c'est plutôt un résultat négatif au calcul de la différence qui indiquait une amélioration relative de performance.

Test des signes

Le test des signes est un test non paramétrique qui permet d'analyser des paires de données appariées au sein d'un échantillon, en se basant sur la direction du changement observé. Afin de tenir compte de l'effet de pratique, le score post-intervention a été comparé au meilleur score pré-intervention en calculant la différence entre ces deux valeurs. Ensuite, un signe positif (+) a été attribué pour chaque différence positive (ou négative dans le cas du *Stroop* et du *Trail Making Test*), représentant une amélioration relative. Un signe négatif (-) a été attribué pour chaque différence négative (ou positive dans le cas du *Stroop* et du *Trail Making Test*), indiquant quant à elle une détérioration relative. Lorsque la différence était nulle (0), la paire de données a été exclue de l'analyse et aucun signe n'a été attribué. L'analyse consistait à compter puis à comparer le nombre de signes positifs (+) et le nombre de signes négatifs (-) attribués aux participants pour chaque mesure cognitive examinée. La prédominance d'un signe sur l'autre indiquait la direction globale du changement relatif observé dans l'échantillon, indiquant soit une tendance générale vers une amélioration ou une détérioration relative pour chaque mesure.

Calcul des variables

L'effet test-retest et la réponse à l'intervention ont été calculés selon les procédures présentées dans les sections suivantes.

Effet test-retest. L'effet de pratique, aussi appelé effet test-retest, a été calculé pour chaque mesure cognitive à partir de la différence entre le score obtenu par le participant

à la deuxième évaluation pré-intervention (Pré 2) et celui de la première évaluation pré-intervention (Pré 1). La formule utilisée pour calculer l'effet de pratique (Δ Test-retest) est la suivante : Δ Test-retest = Pré 2 – Pré 1.

Réponse à l'intervention et direction du changement. La réponse à l'intervention, aussi appelée réponse à l'entraînement, a été calculée pour chaque mesure cognitive à partir de la différence entre le score obtenu par le participant à l'évaluation post-intervention (Post) et celui de l'évaluation pré-intervention (Pré 1 ou Pré 2) où il a obtenu la meilleure performance (Meilleur Pré). La formule utilisée pour calculer la réponse à l'intervention (Δ Intervention) est la suivante : Δ Intervention = Post – Meilleur Pré. À partir de ce résultat, un signe (+, - ou 0) a été attribué pour indiquer la direction du changement observé et ensuite procéder au test des signes.

Hypothèse 2.a.

Afin de tester l'hypothèse exploratoire portant sur l'amélioration relative de la performance à la tâche *VR-WORK-M* (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18), un test des signes a été effectué pour comparer le score post-intervention au meilleur score pré-intervention de chaque participant et ainsi connaître la direction du changement observé chez la majorité des participants. Plus précisément, une réponse positive au programme était appuyée par la prédominance des signes positifs (+) sur les signes négatifs (-).

Hypothèse 2.b.

Afin d'explorer la réponse à l'intervention sur le plan des mesures de transfert proximal, des tests des signes ont été effectués pour comparer le score post-intervention au meilleur score pré-intervention de chaque participant pour les tâches *Séquences de chiffres* (condition directe et condition inverse) et *Séquences lettres-chiffres* respectivement et ainsi connaître la direction du changement observé chez la majorité des participants. Plus précisément, une réponse positive au programme était appuyée par la prédominance des signes positifs (+) sur les signes négatifs (-).

Hypothèse 2.c.

Les possibilités de réponse à l'entraînement sur le plan des mesures de transfert distal ont été explorées à l'aide de tests des signes réalisés pour comparer le score post-intervention au meilleur score pré-intervention de chaque participant pour les tâches évaluant les fonctions exécutives, soit le test de *Stroop* (inhibition), le *Trail Making Test* (flexibilité de consigne) et la tâche de *fluence verbale catégorielle et lexicale* (fluence catégorielle et fluence lexicale) et ainsi connaître la direction du changement observé chez la majorité des participants. Plus précisément, une réponse positive au programme était appuyée par la prédominance des signes positifs (+) sur les signes négatifs (-).

Trajectoires individuelles

Dans l'objectif de renforcer la valeur descriptive de l'étude pilote, les trajectoires individuelles des participants, en ce qui a trait aux performances aux tâches évaluant la

mémoire de travail et les fonctions exécutives, ont été représentées sous forme de graphique.

Résultats

L'ensemble des résultats concernant l'échantillon de participants, les analyses effectuées et les trajectoires individuelles sont présentés dans les prochaines sections.

Attrition des participants

Au départ, six participants ont été recrutés pour participer au projet, mais un d'entre eux a dû annuler sa participation en raison d'un voyage de plusieurs semaines prévu au même moment que la période d'entraînement, tandis qu'un autre a préféré participer uniquement aux séances d'évaluation en raison de la grande distance entre son domicile et le laboratoire. Ainsi, quatre participants ont suivi le programme d'entraînement et tous l'ont complété en entier. L'échantillon comprenait trois femmes et un homme, âgés entre 59 et 77 ans ($M = 68,5$ ans) au moment de leur participation. Ainsi, les analyses portant sur la faisabilité et la réponse préliminaire à l'intervention portaient uniquement sur les quatre participants ayant complété l'entraînement.

Faisabilité de l'entraînement en RV

Les résultats portant sur la faisabilité de l'entraînement en RV sont présentés dans le Tableau 3 et le Tableau 4.

Propension à l'immersion et sentiment de présence

Pour chacune des séances, les scores moyens des participants aux questionnaires de propension à l'immersion et de sentiment de présence se situaient respectivement à plus ou moins un écart-type de la moyenne de l'échantillon normatif de chaque questionnaire. Ces résultats traduisaient des niveaux adéquats de propension à l'immersion et de sentiment de présence, comparables à ce qui est observé dans un contexte de réalité immersive, appuyant la faisabilité du programme pilote.

Cybermalaises

À chacune des séances d'évaluation, l'ensemble des participants ont obtenu des scores faibles à l'échelle totale du questionnaire sur les cybermalaises, indiquant la présence négligeable d'inconforts liés à l'expérience immersive. Plus précisément, ils évaluaient entre 0 et 3, sur un maximum de 48, l'ampleur de leurs symptômes de cybermalaises. Les symptômes rapportés, tous d'intensité négligeable (0 ou 1) étaient les suivants : inconfort général, impression de lourdeur dans la tête, vertiges, difficulté à se concentrer et difficulté à faire le focus. Aucun symptôme d'intensité modérée ou sévère n'a été rapporté.

Par ailleurs, une diminution progressive du score moyen de cybermalaises de l'échantillon total de participants a été observée entre le Pré 2 et le Pré 1 (-0,75) ainsi qu'entre le Post et le Pré 2 (-0,5), indiquant une baisse de l'étendue des effets indésirables

ressentis durant l'expérience immersive. Ces résultats appuyaient la faisabilité du programme pilote.

Tableau 3

Comparaison des scores moyens aux questionnaires de propension à l'immersion (QIP) et de sentiment de présence (QÉP) avec les normes

Questionnaire	Pré 1		Pré 2		Post		Normes du questionnaire	
	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>
QPI-total (max 126)	76	10,23	62,25	13,20	61,75	13,89	64,11	13,11
QÉP-total (max 133)	104	13,37	108,25	9,29	103,25	11,47	104,39	18,99

Tableau 4*Scores de cybermalaises par séance d'évaluation*

	P1	P2	P3	P4	Échantillon total
Pré 1	3	1	0	2	1,5 (1,29)
Pré 2	2	0	0	1	0,75 (0,96)
Post	0	1	0	0	0,25 (0,5)

Réponse à l'entraînement

Les résultats portant sur la réponse à l'entraînement sont présentés dans le Tableau 5, le Tableau 6, le Tableau 7 et la Figure 2.

Tâche *VR-WORK-M*

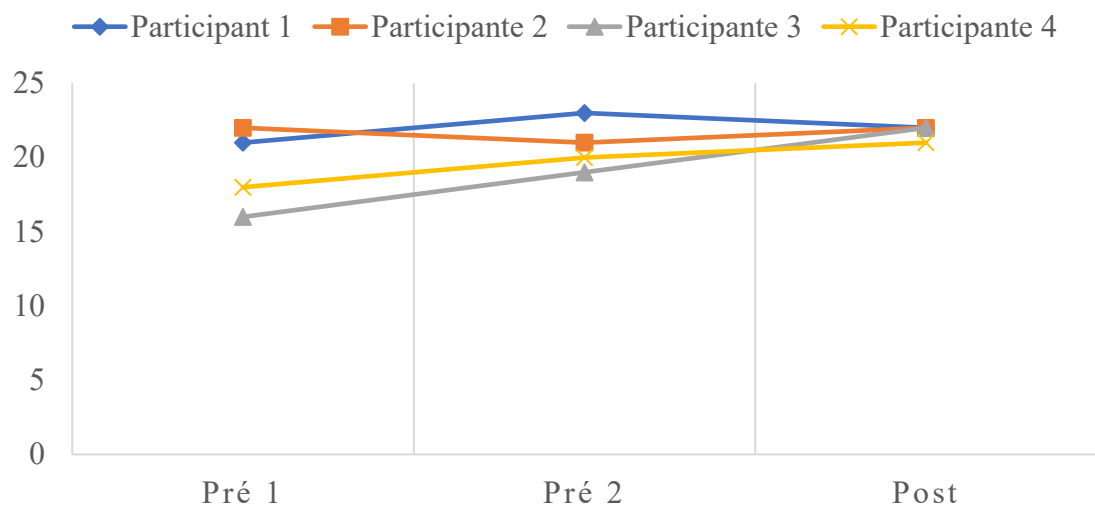
La Figure 2 montre l'évolution des scores de chaque participant à la tâche *VR-WORK-M*. Deux participantes sur quatre ont affiché une amélioration relative post-intervention, soit un résultat post-intervention supérieur au meilleur résultat pré-intervention. Concrètement, ce changement positif signifiait que les participantes 3 et 4 ont réussi à rappeler davantage d'items à mémoriser après avoir suivi l'entraînement.

La direction du changement de performance et le signe attribué à chaque participant sont présentés au tableau 5. Des signes positifs ont été attribués aux participantes 3 et 4, tandis qu'un signe négatif a été attribué au participant 1, chez qui la meilleure performance

fut observée au Pré 2. La participante 2 a été exclue de l'analyse du test des signes comme son résultat post-intervention était égal à son meilleur résultat pré-intervention. En somme, les signes positifs prédominaient sur les signes négatifs, suggérant une tendance vers une amélioration relative de la performance à la tâche *VR-WORK-M* au sein de l'échantillon de participants, soutenant préliminairement une réponse positive au programme d'entraînement pilote.

Tableau 5*Réponse à l'entraînement sur la tâche VR-WORK-M*

Participant	Δ Test-retest	Δ Intervention (changement)
P1	+2	-1 (-)
P2	-1	0 (0)
P3	+3	3 (+)
P4	+2	1 (+)

Figure 2*Trajectoire des performances individuelles à la tâche VR-WORK-M*

Mesures de transfert proximal

Les résultats des analyses préliminaires portant sur la réponse à l'intervention sur le plan des mesures de transfert proximal sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6

Évolution des performances en mémoire de travail par participant : effet test-retest, réponse à l'intervention et direction du changement

Mesure d'empan	Participant	Pré 1	Pré 2	Post	Δ Test-retest	Δ Intervention (changement)
Direct ^a	P1	11	8	11	-3	0 (0)
	P2	8*	9	8*	1	-1 (-)
	P3	10	12	10	2	-2 (-)
	P4	8*	10	12	2	2 (+)
Inverse ^b	P1	7	11	10	4	-1 (-)
	P2	7	6*	8	-1	1 (+)
	P3	7	9	6*	2	-3 (-)
	P4	9	12***	10	3	-2 (-)
Lettre-chiffres ^c	P1	16	20	17	4	-3 (-)
	P2	18	17	18	-1	0 (0)
	P3	22**	22**	21	0	-1 (-)
	P4	20	19	19	-1	-1 (-)

^a Les scores de 9 à 12 (55 à 64 ans; 65 à 69 ans; 70 à 74 ans) et de 8 à 11 (75 à 79 ans) correspondent à un résultat situé dans la moyenne normative.

^b Les scores de 7 à 10 (55 à 64 ans; 65 à 69 ans; 70 à 74 ans; 75 à 79 ans) correspondent à un résultat situé dans la moyenne normative.

^c Les scores de 17 à 22 (55 à 64 ans), de 17 à 21 (65 à 69 ans) correspondent à un résultat situé dans la moyenne normative. Il n'y a pas de données normatives pour les tranches d'âge supérieures.

* Moyenne faible. ** Moyenne élevée. *** Supérieur à la moyenne.

Empan direct

Concernant la mesure d'empan direct, seule la participante 4 a affiché une amélioration relative post-intervention, soit un résultat post-intervention supérieur à son meilleur résultat pré-intervention. Concrètement, ce changement positif signifie qu'elle a réussi à mémoriser à court terme une plus grande quantité d'informations pour la répéter dans le même ordre directement après l'avoir entendue.

La direction du changement de performance et le signe attribué à chaque participant sont présentés au tableau 6. Un signe positif a été attribué à la participante 4, tandis que des signes négatifs ont été attribués aux participantes 2 et 3, chez qui les meilleures performances individuelles ont été observées au Pré 2. Le participant 1 a été exclu de l'analyse du test des signes comme son résultat post-intervention était égal à son meilleur résultat pré-intervention. En somme, les signes négatifs prédominaient sur les signes positifs, traduisant une tendance vers une diminution relative de la performance à la tâche de séquences de chiffres (ordre direct) au sein de l'échantillon de participants.

Empan inverse

Concernant la mesure d'empan inverse, seule la participante 2 a affiché une amélioration relative post-intervention, soit un résultat post-intervention supérieur à son meilleur résultat pré-intervention. Concrètement, ce changement positif signifie qu'elle a réussi à mémoriser à court terme et à manipuler une plus grande quantité d'informations pour la répéter en ordre inverse directement après l'avoir entendue.

La direction du changement de performance et le signe attribué à chaque participant sont présentés au tableau 6. Un signe positif a été attribué à la participante 2, tandis que des signes négatifs ont été attribués au participant 1 et aux participantes 2 et 3, chez qui les meilleures performances individuelles ont été observées au Pré 2. En somme, les signes négatifs prédominaient sur les signes positifs, traduisant une tendance vers une diminution relative de la performance à la tâche de séquences de chiffres (ordre inverse) au sein de l'échantillon de participants.

Empan lettres-chiffres

Du côté de l'empan lettres-chiffres, aucun participant n'a affiché une amélioration relative post-intervention, soit un résultat post-intervention supérieur à son meilleur résultat pré-intervention. Concrètement, cela signifie qu'ils n'ont pas réussi à mémoriser à court terme et à manipuler une plus grande quantité d'informations pour la répéter dans un ordre spécifique directement après l'avoir entendue.

La direction du changement de performance et le signe attribué à chaque participant sont présentés au tableau 6. Des signes négatifs ont été attribués au participant 1 et aux participantes 3 et 4, chez qui les meilleures performances individuelles ont été observées à l'une ou l'autre des séances pré-intervention. La participante 2 a été exclue de l'analyse du test des signes comme son résultat post-intervention était égal à son meilleur résultat pré-intervention. En somme, les signes négatifs prédominaient au sein de l'échantillon de

participants, traduisant une tendance vers une diminution relative de la performance à la tâche de séquences lettres-chiffres.

En somme, bien que certains participants aient relativement amélioré leur performance, les résultats des tests des signes réalisés pour chacune des mesures de transfert proximal n'ont pas permis de démontrer que les participants présentaient une réponse positive au programme d'entraînement pilote, c'est-à-dire que le changement observé tendait plutôt à être négatif, traduisant une tendance globale vers une détérioration relative. Cela dit, ces résultats se doivent d'être interprétés à titre exploratoire, tout particulièrement lorsqu'on considère la faible dose d'entraînement. En effet, comme il aurait été prématuré d'examiner l'ampleur de la réponse à l'entraînement à ce stade-ci du projet pilote, seule la direction du changement a été explorée. Par ailleurs, il importe de considérer que les changements mesurés auprès de chaque participant, positifs ou négatifs, étaient probablement en grande partie expliqués par des variations individuelles normales. En effet, les résultats obtenus au Post et à l'une ou l'autre des séances Pré-intervention se situaient tous dans les limites de la moyenne normative respective à chacun des outils utilisés.

Mesures de transfert distal

Les résultats des analyses sur la réponse à l'intervention sur le plan des mesures de transfert distal sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 7

Évolution des performances exécutives par participant : effet test-retest, réponse à l'intervention et direction du changement

Mesure	Participant	Pré 1	Pré 2	Post	Δ Test-retest	Δ Intervention (changement)
Inhibition	P1	32	62	39	30	7 (-)
	P2	47	29	30	-18	1 (-)
	P3	80	42	38	-38	-4 (+)
	P4	31	24	21	-7	-3 (+)
Flexibilité	P1	37	23	25	-14	2 (-)
	P2	17	12	15	-5	3 (-)
	P3	15	31	11	16	-4 (+)
	P4	48	16	26	-32	10 (-)
Fluence lexicale	P1	54	64	74	10	10 (+)
	P2	60	65	76	5	11 (+)
	P3	52	53	57	1	4 (+)
	P4	63	60	62	-3	-1 (-)

Tableau 7

Évolution des performances exécutives par participant : effet test-retest, réponse à l'intervention et direction du changement (suite)

Fluence catégorielle	P1	79	78	83	-1	4 (+)
	P2	58	65	84	7	19(+)
	P3	67	70	73	3	3 (+)
	P4	65	82	80	17	-2 (-)

Note. Pour les mesures d'inhibition et de flexibilité, les résultats indiquent un temps d'exécution (en secondes). Une baisse de résultats (-) aux colonnes « Δ Test-retest » et « Δ Intervention » correspond donc à une amélioration relative de la performance. Les signes (+/-) présentés dans la parenthèse de la direction du changement ont été ajustés pour que les améliorations relatives (+) soient identifiées de façon uniforme pour chacune des mesures afin de faciliter l'analyse des signes.

^a La manipulation des scores bruts effectuée pour obtenir les scores utilisés pour les analyses ne permet pas de comparer ceux-ci aux normes des tests utilisés. Soulignons toutefois que les scores bruts obtenus par l'ensemble des participants ne suggéraient pas la présence de déficits cognitifs.

Inhibition

Concernant la mesure d'inhibition, les participantes 3 et 4 ont relativement amélioré leur rapidité d'exécution et ont obtenu un score inférieur à l'évaluation post-intervention, comparativement à leur meilleure performance pré-intervention. Concrètement, ce changement positif signifie qu'elles ont réussi à exécuter plus rapidement une tâche où elles devaient inhiber l'interférence d'un réflexe cognitif.

La direction du changement de performance et le signe attribué à chaque participant sont présentés au tableau 7. Un signe positif a été attribué aux participantes 3 et 4, tandis

que des signes négatifs ont été attribués au participant 1 et à la participante 2, chez qui les temps d'exécution les plus courts ont été observés à l'une ou l'autre des séances pré-intervention. En somme, le nombre de signes positifs était équivalent au nombre de signes négatifs, ne permettant pas d'identifier une tendance positive franche quant à la direction du changement observé au sein de l'échantillon de participants.

Flexibilité

Du côté de la mesure de flexibilité, seule la participante 3 a relativement amélioré sa rapidité d'exécution et a obtenu un score inférieur à l'évaluation post-intervention, comparativement à sa meilleure performance pré-intervention. Concrètement, ce changement positif signifie qu'elle a réussi à exécuter plus rapidement une tâche où elle devait relier en alternance des chiffres et des lettres.

La direction du changement de performance et le signe attribué à chaque participant sont présentés au tableau 7. Un signe positif a été attribué à la participante 3, tandis que des signes négatifs ont été attribués au participant 1 et aux participantes 2 et 4, chez qui les temps d'exécution les plus courts ont été observés au Pré 2. En somme, les signes négatifs prédominaient sur les signes positifs, traduisant une tendance vers une diminution relative de la performance à la tâche de flexibilité au sein de l'échantillon de participants.

Fluence lexicale

Pour la mesure de fluence lexicale, le participant 1 et les participantes 2 et 3 ont affiché une amélioration post-intervention relative, soit un résultat post-intervention supérieur au meilleur résultat pré-intervention. Concrètement, ce changement positif signifie que 3 participants sur 4 ont réussi à nommer davantage de mots débutant par une lettre spécifique à l'intérieur du temps alloué après avoir suivi l'entraînement.

La direction du changement de performance et le signe attribué à chaque participant sont présentés au tableau 7. Des signes positifs ont été attribués au participant 1 et aux participantes 2 et 3, tandis qu'un signe négatif a été attribué à la participante 4, chez qui la meilleure performance a été observée au Pré 1. En somme, les signes positifs prédominaient sur les signes négatifs, traduisant une tendance vers une amélioration relative de la performance en fluence lexicale au sein de l'échantillon de participants, appuyant préliminairement la présence d'une réponse positive au programme d'entraînement pilote.

Fluence catégorielle

Pour la mesure de fluence catégorielle, le participant 1 et les participantes 2 et 3 ont affiché une amélioration post-intervention relative, soit un résultat post-intervention supérieur au meilleur résultat pré-intervention. Concrètement, ce changement positif signifie que 3 participants sur 4 ont réussi à nommer davantage de mots correspondant à une catégorie donnée à l'intérieur du temps alloué après avoir suivi l'entraînement.

La direction du changement de performance et le signe attribué à chaque participant sont présentés au tableau 7. Des signes positifs ont été attribués au participant 1 et aux participantes 2 et 3, tandis qu'un signe négatif a été attribué à la participante 4, chez qui la meilleure performance a été observée au Pré 2. En somme, les signes positifs prédominaient sur les signes négatifs, traduisant une tendance vers une amélioration relative de la performance en fluence catégorielle au sein de l'échantillon de participants, appuyant préliminairement la présence d'une réponse positive au programme d'entraînement pilote.

En somme, les résultats des tests des signes réalisés pour chacune des mesures de transfert distal suggéraient une tendance vers une réponse positive de l'intervention sur les scores de fluence verbale (lexicale et catégorielle), mais pas sur l'inhibition ni sur la flexibilité cognitive. Ainsi, ces résultats n'appuyaient que partiellement la présence d'une réponse positive au programme d'entraînement pilote. Encore une fois, ces résultats se doivent d'être interprétés à titre exploratoire et ne peuvent permettre de tirer des conclusions quant à la réponse au programme. En ce sens, bien que certains participants aient relativement amélioré leur performance, tous les changements, positifs ou négatifs, ont été interprétés avec haute prudence à la lumière des limites du présent projet pilote. Plus précisément, seule la direction du changement a été explorée et toute analyse de l'ampleur de la réponse à l'entraînement se serait avérée prématurée considérant les multiples limites du projet pilote. De surcroît, il importe de considérer que les changements mesurés auprès de chaque participant, positifs ou négatifs, étaient

probablement en grande partie expliqués par des variations individuelles normales. Ainsi, bien que la manipulation des scores bruts effectuée pour obtenir les scores utilisés pour les analyses n'ait pas permis de comparer ceux-ci aux normes des tests utilisés, il apparaît important de souligner que les résultats obtenus par chaque participant indiquaient un fonctionnement cognitif normal tout au long du projet.

Trajectoires individuelles

Les Figures 3, 5, 7 et 9 montrent respectivement les trajectoires individuelles des participants 1, 2, 3 et 4 quant aux performances aux tâches évaluant la mémoire de travail. Les Figures 4, 6, 8, 10 montrent respectivement les trajectoires individuelles des participants 1, 2, 3 et 4 quant aux performances aux tâches évaluant les fonctions exécutives. Pour connaître les scores exacts obtenus à chaque séance d'évaluation, le lecteur peut se référer au Tableau 6 et au Tableau 7 où sont présentées les performances individuelles des quatre participants ayant complété le programme d'entraînement pilote.

Participant 1

Comparativement à sa meilleure performance pré-intervention, le participant 1 a uniquement amélioré ses résultats aux mesures de fluence lexicale et catégorielle lors de l'évaluation post-intervention. À la condition lexicale, la réponse à l'intervention (+10 mots nommés) était équivalente à l'effet test-retest. De façon similaire, la réponse à l'intervention (+4 mots nommés) était relativement supérieure à l'effet test-retest (+1 mot nommé) à la condition catégorielle. Ainsi, même en tenant compte des gains relatifs

possiblement attribués à l'effet de pratique, on a observé une amélioration relative de sa performance en fluence verbale (lexicale et catégorielle) à la suite de l'intervention.

Enfin, bien que le participant 1 ait présenté un maintien ou une détérioration relative de sa performance aux mesures de mémoire de travail, les résultats obtenus à chaque temps de mesure étaient tous situés dans la moyenne normative attendue chez un individu de cet âge, appuyant encore une fois que toute différence soulevée était susceptible de refléter une variation individuelle normale.

Figure 3

Trajectoire des performances du participant 1 aux tâches évaluant la mémoire de travail

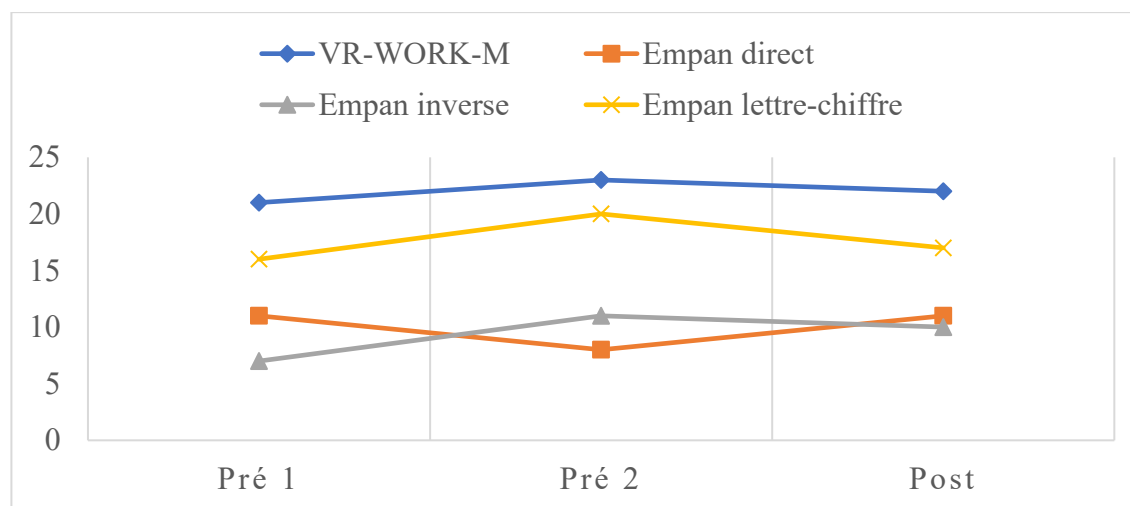
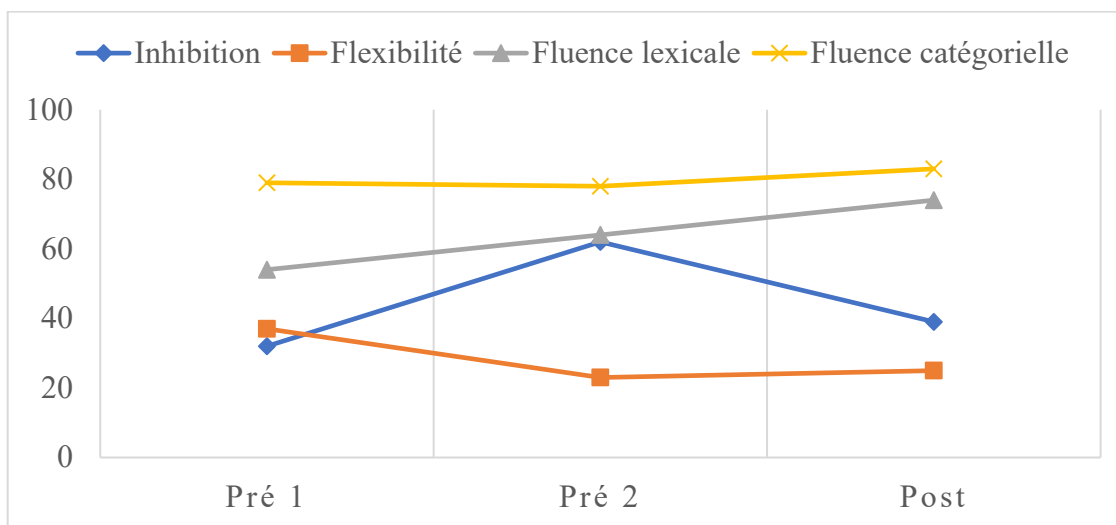


Figure 4

Trajectoire des performances du participant 1 aux tâches évaluant les fonctions exécutives



Participant 2

Comparativement à sa meilleure performance pré-intervention, la participante 2 a amélioré ses résultats aux mesures d'empan inverse et de fluence verbale lexicale et catégorielle lors de l'évaluation post-intervention. Du côté de l'empan inverse, la réponse à l'intervention (+1 item correct) était légèrement supérieure à l'effet test-retest (-1 item correct). À la condition lexicale, la réponse à l'intervention (+11 mots nommés) était relativement supérieure à l'effet test-retest (+5 mots). De façon similaire, la réponse à l'intervention (+19 mots nommés) était supérieure à l'effet test-retest (+7 mots) pour la condition catégorielle. Ainsi, même en tenant compte des gains relatifs possiblement attribués à l'effet de pratique, une amélioration relative de sa performance aux mesures

d'empan inverse et de fluence verbale (lexicale et catégorielle) a été observée à la suite de l'intervention.

Néanmoins, la variabilité des scores constatée aux différentes mesures cognitives appuyait l'importance de faire preuve de prudence dans l'interprétation des résultats, c'est-à-dire que les analyses choisies ne permettaient pas de déterminer si les changements étaient attribuables ou non à l'entraînement. Par exemple, la participante 2 a obtenu un résultat dans la moyenne à la tâche d'empan inverse au Pré 1 (7), puis un résultat dans la moyenne faible au Pré 2 (6). Cette variation, en l'absence de toute stimulation cognitive, a été considérée pour nuancer l'amélioration relative mesurée au Post (8), d'autant plus que le résultat obtenu se situait dans la moyenne attendue pour son âge.

Figure 5

Trajectoire des performances de la participante 2 aux tâches évaluant la mémoire de travail

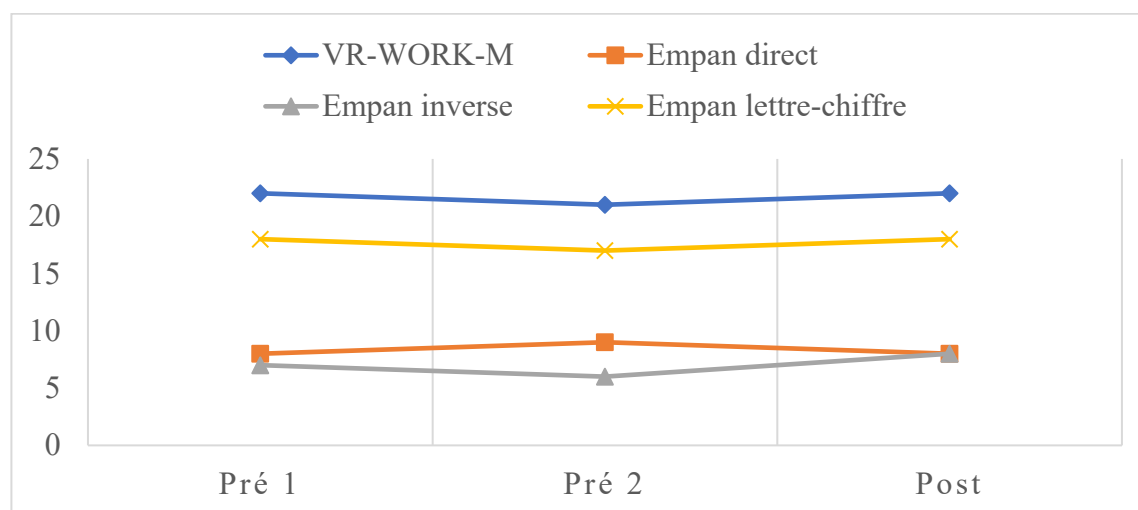
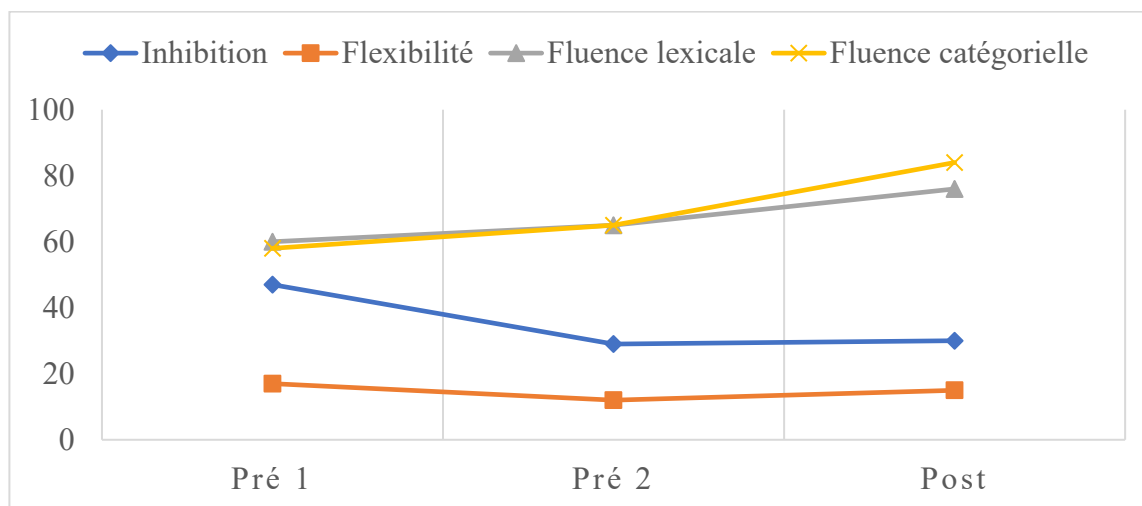


Figure 6

Trajectoire des performances de la participante 2 aux tâches évaluant les fonctions exécutives



Participant 3

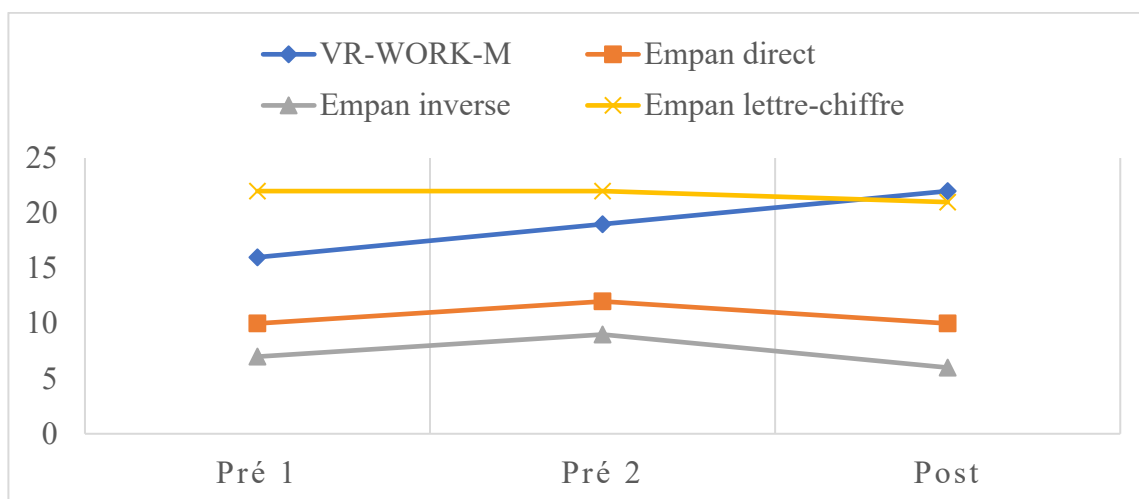
Comparativement à sa meilleure performance pré-intervention, la participante 3 a amélioré ses résultats à la tâche *VR-WORK-M* ainsi qu'aux mesures d'inhibition, de flexibilité et de fluence verbale (lexicale et catégorielle) lors de l'évaluation post-intervention. À la tâche *VR-WORK-M*, la réponse à l'intervention (+ 3 items corrects) était équivalente à l'effet test-retest (+ 3 items corrects). Du côté de la mesure d'inhibition, la réponse à l'intervention (-4 secondes) était inférieure à l'effet test-retest (-38 secondes). Concernant la flexibilité mesurée par le TMT, la participante 3 a affiché une baisse relative d'efficacité entre le Pré 1 et le Pré 2 et la réponse à l'intervention (-4 secondes) surpassait l'effet test-retest (+16 secondes). À la condition lexicale, la réponse à l'intervention (+4 mots nommés) était supérieure à l'effet test-retest (+1 mot nommé), tandis qu'à la

condition catégorielle, la réponse à l'intervention (+3 mots nommés) était équivalente à l'effet test-retest (+3 mots nommés). Ainsi, en tenant compte des gains possiblement attribués à l'effet de pratique, une augmentation relative de sa performance a été observée à la suite de l'intervention aux mesures de flexibilité et de fluence verbale lexicale.

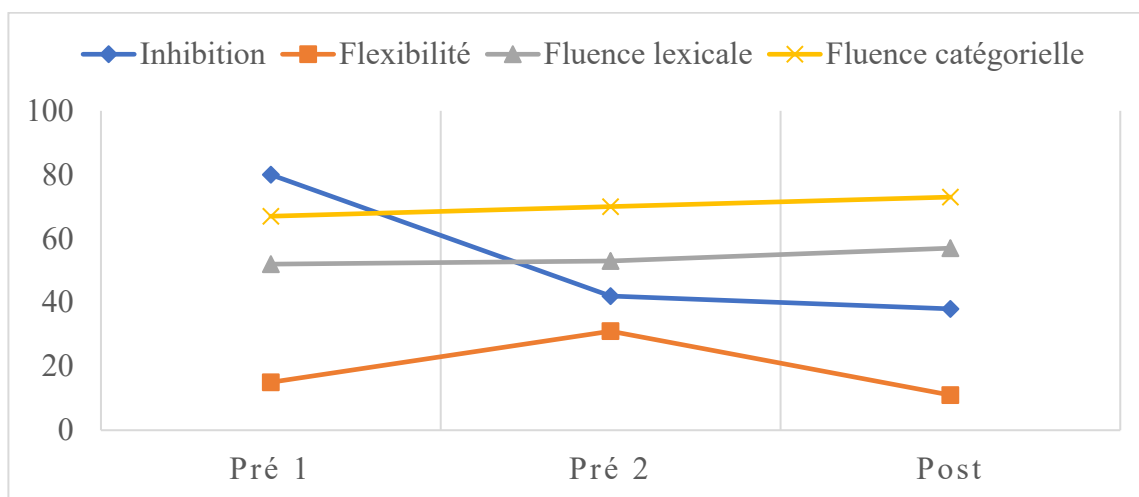
Enfin, la variabilité des scores constatée aux différentes mesures cognitives appuyait l'importance de faire preuve de prudence dans l'interprétation des résultats, tant pour les changements positifs que négatifs. Par exemple, la participante 3 a obtenu des résultats tous situés dans la moyenne à la tâche d'empan directe au Pré 1 (10), au Pré 2 (12) et au Post (10). La comparaison de ses résultats aux normes de l'outil a permis de renforcer l'idée que les différences entre la meilleure performance pré-intervention et la performance post-intervention puissent être expliqués par la présence de variations normales chez un même individu. Cette même prudence interprétative a donc été appliquée pour nuancer les améliorations relatives identifiées aux autres mesures.

Figure 7

Trajectoire des performances de la participante 3 aux tâches évaluant la mémoire de travail

**Figure 8**

Trajectoire des performances de la participante 3 aux tâches évaluant les fonctions exécutives



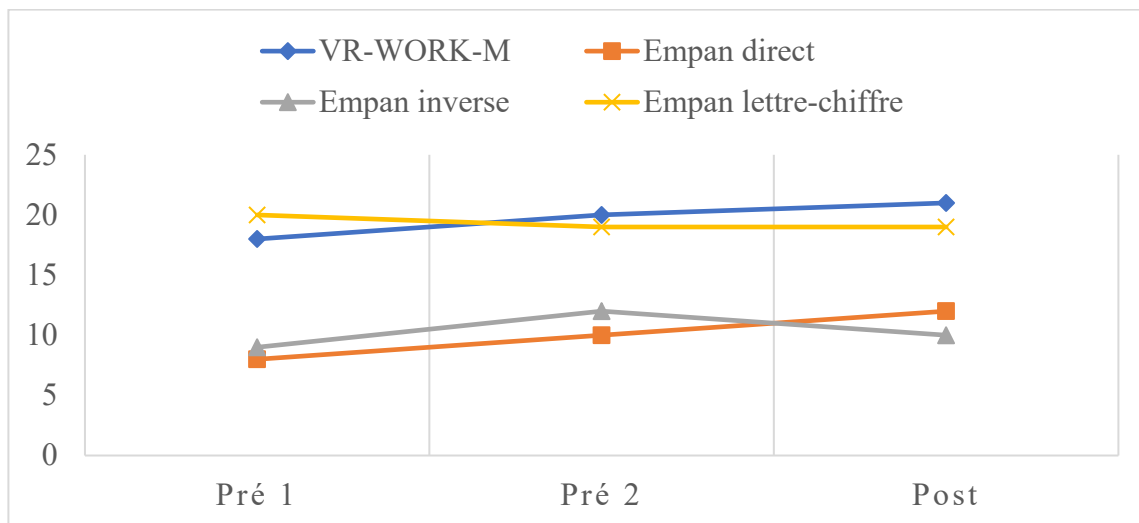
Participant 4

Comparativement à sa meilleure performance pré-intervention, la participante 4 a amélioré ses résultats à la tâche *VR-WORK-M* ainsi qu'aux mesures d'empan direct et d'inhibition lors de l'évaluation post-intervention. À la tâche *VR-WORK-M*, la réponse à l'intervention (+ 1 item correct) était inférieure à l'effet test-retest (+ 2 items corrects). À la mesure d'empan direct, la réponse à l'intervention (+ 2 items correct) était équivalente à l'effet test-retest (+ 2 items corrects). Du côté de la mesure d'inhibition, la réponse à l'intervention (-3 secondes) était inférieure à l'effet test-retest (-7 secondes). Ainsi, en tenant compte des gains possiblement attribués à l'effet de pratique, une détérioration relative de sa performance a été observée à la suite de l'intervention.

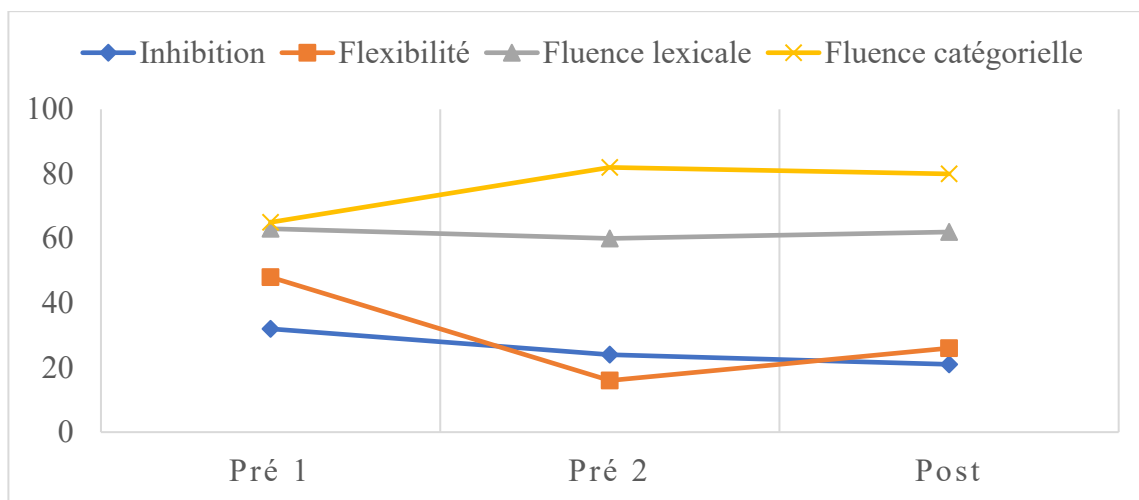
Encore une fois, la présence de variations individuelles normales a été considérée pour nuancer les résultats obtenus. Par exemple, à la tâche d'empan inverse, la participante 4 a obtenu un résultat dans la moyenne lors du Pré 1 (9), puis dans la moyenne élevée au Pré 2 (12), selon les normes de l'outil. La présence d'une telle différence en l'absence d'intervention a appuyé l'importance de ne pas tirer de conclusion hâtive à partir de la détérioration relative identifiée au Post (10).

Figure 9

Trajectoire des performances de la participante 4 aux tâches évaluant la mémoire de travail

**Figure 10**

Trajectoire des performances de la participante 4 aux tâches évaluant les fonctions exécutives



Discussion

L'objectif premier de la présente étude pilote était d'évaluer la faisabilité d'un programme d'entraînement en réalité virtuelle ciblant la mémoire de travail chez des personnes âgées sans trouble cognitif. Le deuxième objectif était d'explorer la réponse au programme de façon préliminaire. Tout d'abord, il était attendu que l'utilisation de la RV soit bien acceptée par les participants, c'est-à-dire qu'ils rapportent une propension à l'immersion et un sentiment de présence adéquats, ainsi que peu de cybermalaises. Par ailleurs, une diminution progressive des cybermalaises était anticipée au fil de l'étude. Ensuite, la réponse à l'entraînement a été explorée à partir des résultats obtenus par les participants aux tâches cognitives avant et après avoir complété le programme. Pour cela, nous avons examiné les possibilités d'amélioration relative de la performance à la tâche *VR-WORK-M* ainsi qu'aux mesures évaluant la mémoire de travail et les fonctions exécutives.

En raison des limites inhérentes à la modification du programme d'entraînement initial vers une version pilote abrégée, notamment le nombre limité de niveaux disponibles créant une redondance après quelques séances d'entraînement, la taille restreinte de l'échantillon et la durée réduite de l'intervention, des statistiques non-paramétriques ont dû être utilisées pour tester les hypothèses de recherche, limitant la portée et la généralisation des résultats obtenus, tout particulièrement par rapport à la réponse au

programme. L'ensemble des limites identifiées sont plus spécifiquement détaillées ultérieurement.

Faisabilité de l'entraînement

En lien avec le premier objectif, il était attendu que le programme d'entraînement pilote présente une bonne faisabilité auprès des participants, mesurée à partir de trois indicateurs : la propension à l'immersion, le sentiment de présence et les cybermalaises.

Propension à l'immersion et sentiment de présence

Pour chacune des séances, les scores moyens des participants aux questionnaires de propension à l'immersion et de sentiment de présence se situaient dans la moyenne attendue en fonction des normes de leurs questionnaires respectifs. Tout d'abord, bien que la propension à l'immersion des personnes âgées ne soit pas exclusivement évaluée dans les études expérimentales recensées et plutôt intégrée au concept de présence, nos résultats sont alignés avec la littérature existante, soutenant l'utilisation de la RV immersive auprès de la population âgée. Dans leur revue systématique, Healy et ses collègues se sont intéressés à décrire l'expérience d'utilisation de la RV chez des personnes âgées (Healy et al., 2022). Ainsi, ils ont répertorié 10 études rapportant l'expérience qualitative des participants en lien avec l'immersion et le sentiment de présence. De façon générale, les résultats présentés traduisent une bonne propension à l'immersion chez la grande majorité des participants âgés, alors que très peu d'entre eux ont rapporté ne pas avoir eu l'impression d'être immergés dans l'environnement virtuel.

Ensuite, les résultats concernant l'évaluation du sentiment de présence ont permis d'appuyer la faisabilité du programme d'entraînement, ce qui est compatible avec la littérature scientifique existante, montrant que l'utilisation de la RV immersive est généralement associée à un niveau élevé de présence (Weech et al., 2019; Witmer & Singer, 1998). En effet, il semble que plus le niveau d'immersion est élevé, plus le sentiment de présence de l'utilisateur l'est également (Meehan et al., 2002; Slater, 2009). L'évaluation du sentiment de présence n'est pas systématiquement présentée dans les résultats des études expérimentales recensées portant sur l'entraînement cognitif en RV, mais les quelques publications incluant une mesure du sentiment de présence supportent la faisabilité de ce type d'intervention auprès de la population âgée. Notamment, Maeng et ses collègues ont évalué la faisabilité et l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif en RV ciblant la mémoire, l'attention et le fonctionnement exécutif (Maeng et al., 2021). Selon leurs résultats, les participants entraînés dans l'épicerie virtuelle présentaient un sentiment de présence adéquat, mesuré à l'aide de deux questionnaires auto-rapportés, tant pour les participants âgés en santé que ceux atteints de TNCL. Dans le même ordre d'idées, les résultats de l'étude menée par Huang (2020) ont montré que les personnes âgées sans trouble cognitif ayant pris part à un programme d'entraînement en RV de type *exergame* présentent un sentiment de présence significativement plus élevé que celles ayant suivi le même programme, sans matériel immersif (Huang, 2020). De façon similaire, les résultats d'une étude québécoise portant sur la validation d'une tâche d'évaluation de la mémoire en RV soutiennent l'utilisation de cette technologie auprès des personnes âgées (Corriveau Lecavalier et al., 2020). En effet, les questionnaires

administrés ont permis de mettre en évidence que les participants âgés rapportaient un niveau de sentiment de présence élevé ainsi que des symptômes de cybermalaises négligeables. En somme, il semble que l'utilisation d'un casque immersif ait joué un rôle déterminant dans le niveau de présence rapporté par les participants du présent projet pilote.

Cybermalaises

À chacune des séances, les participants ont obtenu des scores faibles au questionnaire sur les cybermalaises et les symptômes identifiés étaient tous d'intensité négligeable, supportant la faisabilité du programme d'entraînement. Plus encore, la diminution progressive du score moyen de cybermalaises, observée de séance en séance, a confirmé la présence anticipée d'un effet d'habituation à la RV immersive au sein de notre échantillon de participants. En ce sens, considérant l'intensité négligeable des sensations inconfortables rapportées tout au long de l'étude, cette diminution de scores traduisait une réduction de la variété des symptômes de cybermalaises ressentis par les participants.

Dans l'ensemble, ces résultats sont compatibles avec la littérature scientifique actuelle. Par exemple, l'étude menée par Makmee et Wongupparaj (2022) appuie elle aussi une bonne tolérance de la RV dans le contexte d'un programme d'entraînement cognitif en RV auprès d'individus âgés sans trouble cognitif. Les chercheurs ont évalué la présence d'inconforts liés à l'exposition à l'environnement virtuel à l'aide d'un questionnaire d'entrevue et il s'est avéré que seulement deux participants sur 30 ont

rapporté avoir ressenti des cybermalaises, et ce, seulement au cours de leur première séance d'entraînement. Ces résultats convergent donc aussi avec la diminution progressive des cybermalaises observée dans la présente étude pilote, appuyant d'autant plus la présence d'un effet d'habituation à la réalité virtuelle chez la population âgée.

Par ailleurs, les résultats d'une étude portant sur les utilisateurs âgés indiquent que leur attitude, initialement neutre, devenait significativement plus positive après une première expérience immersive, comparativement à un groupe témoin ayant regardé des vidéos sur un ordinateur (Huygelier et al., 2019). Ce changement d'attitude envers la RV est d'ailleurs soulevé comme étant un point saillant dans une revue de la littérature portant sur l'expérience qualitative des personnes âgées avec la technologie immersive (Healy et al., 2022). Bien que l'attitude n'ait pas été mesurée dans le cadre de la présente étude, il est possible de se demander si la diminution progressive des cybermalaises observée pourrait d'une certaine façon être liée au développement progressif d'une meilleure attitude des participants face à la RV au fil de leur participation au programme pilote.

La courte durée d'exposition en RV lors de chaque séance du projet pilote peut avoir contribué à limiter la survenue des cybermalaises chez les participants. En ce sens, les résultats présentés dans l'étude de Kwan et al. (2024), portant sur l'entraînement d'un groupe de personnes âgées atteintes de déficit cognitif léger et d'une vulnérabilité physique, suggèrent que les séances d'entraînement en RV immersive d'une durée approximative de 30 minutes sont généralement bien tolérées (Kwan et al., 2024). Par

ailleurs, la présence négligeable de cybermalaises auprès des participants de la présente étude pilote peut en partie être expliquée par certaines caractéristiques de l'interface utilisé. Plus précisément, le fait que le point de vue de l'utilisateur soit modulé par les mouvements naturels de la tête, le participant pouvant par exemple regarder derrière soi en tournant la tête, peut avoir favorisé le confort durant l'expérience. En effet, il semble que le design des interfaces de RV soit associé à la prévalence des cybermalaises, c'est-à-dire que des symptômes plus sévères peuvent être ressentis lorsque les mouvements dans l'environnement virtuel ne sont pas fluidement coordonnés aux mouvements de l'utilisateur dans l'environnement physique (Hag et al., 2026; Stanney & Hash, 1998). De plus, la position assise des participants durant l'immersion peut avoir favorisé le confort des participants du projet pilote. Maeng et ses collègues ont d'ailleurs avancé que la prévalence non négligeable d'inconforts chez les participants de leur étude puisse être en partie expliquée par la position debout des participants durant l'entraînement (Maeng et al., 2021). Néanmoins, ces chercheurs ont observé une diminution des cybermalaises au fil du programme, convergeant avec la tendance précédemment soulevée vers un effet d'habituation.

En somme, l'utilisation de la réalité virtuelle a été bien tolérée par les participants tout au long du programme d'entraînement pilote, appuyant sa faisabilité. Ainsi, la qualité de l'expérience immersive et la survenue limitée de symptômes désagréables ne semblent pas avoir influencé négativement l'intervention. Ces résultats vont dans le même sens que la littérature scientifique existante, appuyant que l'utilisation de la RV est bien acceptée

par les personnes âgées présentant divers profils cognitifs (Appel et al., 2019; Arlati et al., 2021; Kwan et al., 2024; Makmee & Wongupparaj, 2022). Plus encore, considérant que la littérature scientifique actuelle appuie l'existence d'un lien entre la propension à l'immersion, le sentiment de présence et les cybermalaises (Weech et al., 2019; Witmer & Singer, 1998), il n'est pas surprenant que ces caractéristiques aient été mesurées de façon comparable chez les participants de notre étude, c'est-à-dire avec des résultats adéquats obtenus à l'ensemble des questionnaires utilisés pour évaluer leur expérience avec la RV.

Réponse à l'entraînement

Le deuxième objectif de l'étude pilote était d'explorer de manière préliminaire la réponse au programme d'entraînement à l'aide de tests des signes réalisés à partir des scores des participants aux tâches cognitives.

Performance à la tâche *VR-WORK-M*

Rappelons que la tâche *VR-WORK-M* (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18) a été utilisée comme mesure de la réponse au programme d'entraînement puisqu'elle évalue les composantes de la MT ciblées par l'intervention réalisée à l'aide des 54 niveaux disponibles.

Les résultats des analyses exploratoires portant sur la performance à la tâche *VR-WORK-M* suggéraient une tendance vers une amélioration relative de la performance au

sein de l'échantillon de participants, appuyant préliminairement la réponse positive au programme d'entraînement pilote. En effet, les participantes 3 et 4 ont réussi à mémoriser et à rappeler correctement davantage d'items à la tâche *VR-WORK-M* (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18) après avoir été entraînées à l'aide des 54 niveaux disponibles. Le test des signes nous informait sur la direction du changement observé dans l'échantillon entre l'évaluation pré-intervention où chaque participant a le mieux performé et l'évaluation post-intervention. Bien que les résultats traduisent une tendance positive, ils doivent être interprétés prudemment puisque la performance à cette tâche n'indique pas nécessairement une amélioration des capacités en mémoire de travail et qu'elle peut être le résultat d'un effet de pratique ou d'une variation individuelle normale. Par ailleurs, la réponse à l'intervention mesurée chez les participants qui se sont améliorés est au plus équivalente à l'effet test-retest.

Néanmoins, ces résultats préliminaires sont cohérents avec ce qui est généralement observé dans le contexte d'études expérimentales préliminaires. Par exemple, Zając-Lamparska et ses collègues (2019) ont observé une progression significative chez des individus âgés, avec ou sans démence, dans l'exécution des différents modules d'entraînement en RV composant leur programme ciblant l'attention, la mémoire, le langage et le raisonnement visuo-spatial. De façon semblable, dans l'objectif d'évaluer la faisabilité d'un programme d'entraînement cognitif et moteur en RV auprès de personnes âgées atteintes de déficit cognitif léger et d'une vulnérabilité physique, Kwan et ses collègues ont mesuré le temps requis pour compléter les tâches d'entraînement cognitif

tout au long de l'intervention (Kwan et al., 2021). Selon eux, la réduction progressive du temps d'exécution observée au fil du programme, à chacune des tâches d'entraînement, indiquait la présence d'un effet d'apprentissage, soit une amélioration de l'efficacité liée à l'administration répétée des tâches d'entraînement.

Mesures de transfert proximal

Les résultats des analyses exploratoires portant sur la performance aux tâches évaluant la mémoire de travail, soit *Séquences de chiffres (ordre direct et ordre inverse)* et *Séquences lettres-chiffres*, n'ont pas indiqué pas la présence d'une tendance générale vers une amélioration de la performance au sein de l'échantillon de participants, mais plutôt une détérioration relative. Par ailleurs, la réponse à l'intervention mesurée était généralement inférieure ou au plus équivalente à l'effet test-retest. Par exemple, concernant la mesure d'empan direct, la participante 4 a présenté une amélioration relative de performance et le participant 1 s'est lui aussi légèrement amélioré, sans que le gain observé chez ce dernier ne surpasse toutefois sa meilleure performance pré-intervention. Ainsi, bien que l'on ait observé quelques améliorations relatives de performance aux tâches d'empan direct et d'empan inverse, les résultats des tests des signes réalisés pour l'ensemble des mesures de transfert proximal ne permettent pas d'appuyer une tendance générale vers une réponse positive au programme d'entraînement pilote à ce stade-ci, suggérant plutôt une tendance vers une réponse négative. Considérant la faible dose d'entraînement et le nombre réduit de participants, ces résultats se doivent d'être interprétés à titre exploratoire seulement et ils ne peuvent permettre de tirer des

conclusions quant à l'efficacité ou à l'inefficacité d'un tel programme, tout particulièrement lorsqu'on considère la présence limitée au sein de la littérature scientifique de résultats indiquant des effets de transfert sur les mesures de MT. De surcroît, comme les participants ont maintenu des résultats globalement situés dans les barèmes moyens pour leur âge, selon les normes des outils utilisés, toute interprétation de l'ampleur ou de la significativité des changements mesurés, peu importe la direction, se serait avérée prématurée dans le cadre de la présente étude. Cela étant dit, il est intéressant de souligner que la mesure où l'on a observé le plus d'améliorations relatives, soit la tâche *Séquences de chiffre en ordre direct*, évalue la composante « passive » de la mémoire de travail, cette dernière étant spécialement ciblée par la nature du programme d'entraînement.

Dans la littérature scientifique actuelle, la présence d'effet de transfert sur la mémoire de travail varie d'une étude expérimentale à l'autre. D'un côté, nos résultats préliminaires vont à l'encontre de ceux présentés dans la toute récente étude réalisée par Chuang et ses collègues (2025), portant sur l'efficacité d'un programme d'entraînement en RV pour les personnes âgées sans trouble cognitif. À raison de deux séances par semaine, durant huit semaines, les participants de cette étude ont été entraînés en pratiquant divers loisirs en RV, par exemple le jardinage, auxquels était intégrée la réalisation de tâches conçues spécifiquement pour solliciter les fonctions cognitives. Les participants étaient répartis entre le groupe expérimental en RV ($n=68$) et le groupe témoin actif ($n=69$) dans lequel étaient pratiquées différentes activités favorisant l'interaction sociale et l'engagement,

sans stimulation cognitive explicite. L'analyse des résultats révèle chez les participants du groupe expérimental une amélioration significativement plus élevée de la performance à la condition croissante du sous-test séquences de chiffres, comparativement au groupe témoin actif. Rappelons que cette tâche évalue la mémoire de travail active, en mesurant la capacité du participant à répéter en ordre croissant une suite de chiffres entendue. De plus, une amélioration significative du résultat obtenu à la condition inverse du sous-test a été retrouvée chez les participants après avoir complété l'entraînement en RV. Parmi les éléments qui distinguent cette étude de la présente étude pilote, la plus grande taille de l'échantillon et la durée prolongée de l'intervention apparaissent comme celles qui sont le plus susceptibles d'expliquer pourquoi nous n'avons pas trouvé d'améliorations relatives aux tâches de mémoire de travail chez la majorité des participants du projet pilote. En effet, il est possible de penser que la dose d'entraînement plus grande et la plus grande puissance statistique liée à la taille de l'échantillon et par le fait même à l'utilisation de tests statistiques paramétriques aient facilité la mise en évidence d'un effet de transfert dans l'étude Chuang et ses collègues (2025). Puis, la nature des activités pratiquées dans leur programme, sollicitant à la fois le fonctionnement cognitif et moteur, peut également avoir influencé l'ampleur des bénéfices cognitifs sur le plan de la mémoire de travail. En effet, une précédente étude portant sur un programme d'entraînement cognitif et moteur en RV non immersive rapportait elle aussi la présence d'améliorations significatives de la performance des participants entraînés à la condition directe du sous-test séquences de chiffres (J. S. Park et al., 2020). Ainsi, en plus des limites liées à la durée de l'entraînement et à la taille restreinte de l'échantillon, il est possible de se demander si l'absence de

stimulation motrice dans l'entraînement pilote à l'aide du *VR-WORK-M* pourrait avoir joué un rôle dans la réponse à l'intervention.

D'un autre côté, nos résultats préliminaires sont compatibles avec ceux de plusieurs études où des participants âgés n'ont pas connu d'améliorations sur une ou plusieurs mesures de mémoire de travail au terme d'un programme d'entraînement cognitif en RV (Haeger et al., 2018; Huang, 2020; Makmee & Wongupparaj, 2022). Par ailleurs, à la lumière des résultats de la méta-analyse de Gómez-Cáceres et ses collègues (2023), suggérant que la durée totale de l'entraînement offert soit un facteur déterminant de l'efficacité pour améliorer la performance des personnes âgées atteintes de TNCL sur le plan de la mémoire de travail (Gómez-Cáceres et al., 2023), il n'est pas étonnant que nous n'ayons pas été en mesure de détecter une réponse positive à l'intervention sur le plan des mesures de transfert proximal dans le contexte de la présente étude pilote. Enfin, malgré la durée réduite de l'entraînement pilote et la faible taille de l'échantillon, la comparaison des présents résultats avec ceux issus d'autres études doit être effectuée de façon prudente et critique considérant les limites de la littérature scientifique actuelle, notamment sur la population âgée sans trouble cognitif. Par ailleurs, il est important de garder en tête qu'il existe peu d'études expérimentales portant sur les effets de transfert sur la MT à la suite d'un entraînement en RV et que les limites respectives à chacune de ces études, ainsi que les nombreuses caractéristiques qui distinguent les différents programmes (p. ex. : fonction ciblée, nature des tâches d'entraînement, durée des séances, niveau d'immersion, etc.) nuisent à la généralisation des résultats.

Mesures de transfert distal

Les résultats des analyses exploratoires portant sur la performance aux tâches évaluant le fonctionnement exécutif, soit le test de *Stroop* (inhibition), le *Trail Making Test* (flexibilité de consigne) et la tâche de *Fluence verbale catégorielle et lexicale* (fluence catégorielle et fluence lexicale), ne supportent que partiellement la présence d'une tendance vers une réponse positive au programme d'entraînement pilote. En effet, les résultats des tests des signes réalisés pour chacune des mesures de transfert distal suggèrent la présence d'une tendance vers une amélioration relative de la performance au sein de l'échantillon de participants aux scores de fluence verbale (lexicale et catégorielle), mais pas sur l'inhibition ni sur la flexibilité cognitive. Encore une fois, ces résultats se doivent d'être interprétés à titre exploratoire et ils ne peuvent permettre de se positionner quant à l'efficacité ou à l'inefficacité d'un tel programme. De plus, malgré les légères variations mesurées au cours du programme, les résultats obtenus par chaque participant indiquaient un fonctionnement cognitif normal tout au long du projet selon les normes des tests utilisés, soutenant encore une fois qu'il aurait été imprudent et prématuré de tenter d'interpréter la significativité des changements mesurés. De surcroît, il importe de considérer que très peu de données sont actuellement disponibles dans la littérature scientifique existante en lien avec les effets de transfert distal associés à l'entraînement cognitif en RV auprès des personnes âgées. Dans une toute récente revue systématique incluant 12 études sur l'entraînement cognitif en RV chez des individus âgés atteints TNCL, les auteurs mettent en évidence la présence d'effets modérés à faibles sur certaines fonctions telles que la mémoire, l'attention, la vitesse de traitement et les fonctions

exécutives, sans toutefois identifier d'effets évidents de transfert généralisé aux mesures évaluant les fonctions non entraînées ou aux activités de la vie quotidienne (Navarro-Ramos et al., 2025). Par ailleurs, parmi les 12 études recensées, seulement quatre d'entre elles incluaient des mesures non directement liées aux fonctions ciblées. Enfin, les auteurs soulignent que les résultats doivent être interprétés prudemment puisque la qualité des preuves demeure très faible, considérant la qualité limitée des études recensées et des inconsistances qu'elles comportent.

Cela étant dit, nos résultats partagent certaines similitudes, mais aussi plusieurs différences avec ceux présentés dans la littérature scientifique disponible sur l'entraînement cognitif en RV des personnes âgées sans trouble cognitif. Tout d'abord, l'absence de tendance vers une amélioration relative sur le plan de l'inhibition est cohérente avec les résultats obtenus par Makmee et ses collègues (Makmee & Wongupparaj, 2022). Ces chercheurs ont évalué un programme d'entraînement cognitif en RV ciblant l'amélioration des fonctions exécutives, composé d'activités d'entraînement spécialement développées pour solliciter simultanément la mémoire de travail visuospatiale et l'adaptation visuomotrice, deux habiletés qui seraient étroitement liées au fonctionnement exécutif (Brown et al., 2012; Li et al., 2021; Stirling et al., 2013; Wang et al., 2018). Pendant quatre semaines, les participants entraînés en RV ont bénéficié de deux séances hebdomadaires durant lesquelles ils devaient effectuer différentes tâches de la vie quotidienne dans la cuisine, la chambre à coucher et le jardin. Au terme du programme, comparativement au groupe témoin, un effet significatif a été

retrouvé chez les participants du groupe entraîné sur le plan de l'inhibition, mais le changement ne représente pas une amélioration de performance. En effet, une élévation significative du temps de réponse à la tâche *Go/noGo* a été retrouvée, contrairement aux résultats attendus à la lumière de précédentes études montrant plutôt une diminution du temps de réponse, c'est-à-dire une augmentation de la vitesse d'exécution. Pour expliquer cette divergence de résultats, les auteurs avancent la possibilité que cette baisse de rapidité du traitement de l'information soit attribuable à une sollicitation plus importante du contrôle attentionnel chez les individus du groupe expérimental. Ils suggèrent également que les participants entraînés à l'aide de la réalité virtuelle faisaient possiblement preuve d'une plus grande prudence dans l'exécution de la tâche. Ainsi, il est possible que la réponse négative à l'intervention observée dans notre échantillon, c'est-à-dire la tendance vers une augmentation relative du temps d'exécution au *Stroop* et au TMT, évaluant respectivement l'inhibition et la flexibilité, soit en partie expliquée par une augmentation de la prudence des participants. Néanmoins, à la lumière des preuves limitées supportant la généralisation des effets de ce type d'intervention au-delà des fonctions ciblées et considérant la nature de l'entraînement *VR-WORK-M* ainsi que les limites de notre étude, nos résultats préliminaires appuient probablement plutôt l'absence d'un transfert distal de la réponse à l'intervention sur le plan de l'inhibition.

Ensuite, sur le plan de la flexibilité cognitive, les résultats préliminaires de la présente étude pilote diffèrent de ceux obtenus par Makmee et ses collègues. Dans les activités d'entraînement composant leur programme, les participants pouvaient toucher, prendre,

classer et regrouper les objets de l'environnement virtuel à l'aide de manettes. Au terme du programme, une augmentation significative du pourcentage de classifications correctes au *Berg's Card Sorting Test* a été observée, traduisant une meilleure flexibilité cognitive. Il est possible de penser que ces résultats puissent être en partie expliqués par les similitudes partagées entre la nature de cette mesure de flexibilité et celle des activités réalisées dans l'environnement virtuel, impliquant également la classification et le regroupement d'objets. Ainsi, peut-être que les facettes du fonctionnement cognitif sollicitées dans l'environnement *VR-WORK-M* s'éloignaient trop de la flexibilité cognitive, telle qu'évaluée par le *Trail Making Test*, pour espérer détecter une réponse positive à l'intervention sur les mesures de transfert distal après si peu de séances, d'autant plus considérant la rareté des preuves scientifiques supportant la généralisation des effets aux fonctions non ciblées par les programmes d'entraînement en RV.

Par ailleurs, les résultats obtenus au *Stroop* et au TMT lors des deux séances pré-intervention montraient une hétérogénéité non négligeable, suggérant que les changements observés, positifs ou négatifs, reflétaient les variations individuelles normales lors de la pratique répétée de la tâche plutôt qu'une réponse directe à l'intervention. En effet, il importe de considérer que les scores utilisés dans nos analyses représentent un temps d'exécution, mesuré en secondes, qui est nécessairement hautement sensible aux légères variations. Dans la pratique clinique, le temps d'exécution exact importe peu et on le compare plutôt à l'intervalle de temps habituellement attendu en fonction de l'âge de la personne. Prenons l'exemple de la participante 4 chez qui on a

identifié une amélioration relative de sa rapidité d'exécution au *Stroop* : les temps d'exécution mesurés à chacune des séances d'évaluation correspondaient tous à une performance globalement située dans la moyenne, selon les normes de l'outil. En ce sens, il importe d'interpréter avec prudence ces résultats exploratoires considérant les limites propres à notre étude, mais aussi celles liées aux outils de mesure utilisés et plus largement à la qualité des preuves scientifiques actuelles.

Ensuite, la tendance vers une réponse à l'intervention positive sur le plan de la performance aux tâches de fluence verbale qui est suggérée par nos résultats diverge des résultats d'études précédentes, appuyant la nécessité de recherches supplémentaires rigoureuses pour démontrer un transfert des bénéfices aux fonctions non ciblées. Par exemple, les participants de l'étude menée par Maeng et ses collègues n'ont pas montré d'amélioration significative sur le plan de la fluence verbale après avoir complété un programme d'entraînement cognitif en RV ciblant la mémoire, l'attention et le fonctionnement exécutif (Maeng et al., 2021). Plus encore, Zajac-Lamparska et ses collègues (2019) n'ont pas mesuré d'effet significatif de transfert de l'entraînement en RV sur la performance à une tâche de fluence verbale alors que le langage faisait partie des fonctions ciblées par leur programme. En ce sens, puisque la flexibilité spontanée, évaluée par les tâches de fluence verbale utilisées, n'était pas spécifiquement ciblée par notre intervention, il apparaît probable que les améliorations relatives affichées par nos participants soient attribuées à un effet de pratique ou à des variations individuelles normales plutôt qu'à un véritable transfert distal de la réponse à l'intervention. Il importe

aussi de garder en tête que les tests des signes utilisés dans la présente étude nous informent seulement sur la direction du changement relatif observé, et non sur son ampleur, sa taille d'effet. Ainsi, la tendance préliminaire observée auprès de notre échantillon restreint ne se traduirait peut-être pas en une amélioration statistiquement significative auprès d'un échantillon de taille comparable à ce qui est généralement retrouvé dans une étude de validation où sont utilisés des tests statistiques paramétriques plus puissants. On peut également se demander si la tendance observée auprès de nos quelques participants, tous avec un niveau d'éducation universitaire, serait aussi retrouvée dans un plus grand échantillon, composé d'individus présentant une plus grande diversité de caractéristiques socio-démographiques. En ce sens, plusieurs études ont montré que la performance aux tâches de fluence verbale est étroitement liée à l'éducation, les participants avec un niveau élevé de scolarité obtenant de meilleurs scores (Lubrini et al., 2022; St-Hilaire et al., 2016; Tremblay et al., 2025).

Trajectoires individuelles

Les trajectoires individuelles de chaque participant sont discutées dans les prochaines sections.

Participant 1

Le participant 1 est un homme, âgé de 77 ans au moment de sa participation au programme d'entraînement. Il cumule 18 années de scolarité (niveau atteint : baccalauréat). Les réponses fournies aux différents questionnaires en ligne n'ont pas

révélé de problématiques liées à la somnolence, l'insomnie, l'anxiété et la dépression chez monsieur. Toutefois, ses réponses à l'*Index de qualité du sommeil de Pittsburgh* (IQSP) suggéraient la possibilité qu'il puisse présenter un trouble du sommeil. Concernant les résultats obtenus aux deux outils de dépistage cognitif, le résultat obtenu au *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA) suggérait un fonctionnement cognitif légèrement inférieur à la valeur habituellement considérée normale. Plus précisément, le résultat global a été abaissé par des difficultés lors de la condition de rappel différé, le participant nécessitant alors des indices pour réussir à rappeler les mots. Puis, le résultat du *Questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire – Version abrégée* (QAM-A) était compatible avec la présence de plaintes de mémoire modérées chez le participant, ce dernier rapportant principalement des oublis concernant les conversations.

Comparativement à sa meilleure performance pré-intervention, le participant 1 a uniquement amélioré ses résultats aux mesures de fluence verbale (lexicale et catégorielle) lors de l'évaluation post-intervention. Cela dit, même lorsqu'on tient compte des gains possiblement attribués à l'effet de pratique, une amélioration relative de sa performance sur ces deux mesures a été observée à la suite de l'intervention. Il est possible que les caractéristiques personnelles du participant 1 ait joué un rôle dans ces présents résultats. Ainsi, puisque la littérature montre une corrélation positive entre le niveau d'éducation et la performance aux tâches de fluence verbale, le niveau de scolarité élevé du participant 1 peut être mis en relation avec la bonne performance mesurée à ces tâches à chacune des séances d'évaluation. D'un autre côté, les difficultés de rappel identifiées à l'aide des

outils de dépistage cognitif peuvent avoir affecté la progression du participant lors des séances d'entraînement et être liée d'une certaine façon à l'absence de bénéfices mesurés sur le plan de la mémoire de travail, fonction spécifiquement ciblée par l'intervention. De plus, sachant que les perturbations du sommeil peuvent affecter le fonctionnement cognitif, notamment sur le plan de la mémoire de travail, la plus faible qualité de sommeil rapportée par le participant peut avoir constitué un autre facteur d'influence. Par ailleurs, lorsqu'on considère que les risques de développer un trouble cognitif augmentent avec l'avancée en âge et que le participant 1, âgé de 77 ans, est la personne la plus vieille à avoir suivi le programme d'entraînement pilote, il est possible de se demander s'il présentait un début de trouble cognitif au moment de sa participation à l'étude. Dans cette éventualité, on peut imaginer que cela puisse avoir limité sa réponse à l'entraînement offert.

Participante 2

La participante 2 est une femme, âgée de 70 ans au moment de sa participation au programme d'entraînement. Elle cumule 20 années de scolarité (niveau atteint : doctorat). Les réponses fournies aux différents questionnaires en ligne n'ont pas révélé de problématiques liées au sommeil, à l'anxiété ou à la dépression chez madame. Concernant les outils de dépistage cognitif, les résultats du MoCA et du QAM-A indiquaient respectivement un fonctionnement cognitif global normal et des plaintes de mémoire subjectives négligeables chez la participante.

Comparativement à sa meilleure performance pré-intervention, la participante 2 a relativement amélioré ses résultats aux mesures d'empan inverse et de fluence verbale (lexicale et catégorielle) lors de l'évaluation post-intervention. Cela dit, seule sa performance en fluence verbale (catégorielle et lexicale) s'est améliorée après avoir suivi l'entraînement lorsqu'on tenait compte de l'effet de pratique. L'absence de réponse à l'intervention sur le plan de la mémoire de travail est probablement en majeure partie expliquée par la faible dose d'intervention, comme la littérature scientifique soutient l'influence de la durée des programmes d'entraînement sur leur efficacité pour améliorer la performance aux mesures de MT chez les personnes âgées, sans que les données actuellement disponibles ne permettent d'établir un consensus quant à une dose minimalement efficace (Teixeira-Santos et al., 2019). Bien que Gómez-Cáceres et ses collègues (2023) aient suggéré que les interventions de plus de 15 heures soient celles qui présentent des effets significatifs auprès de la clientèle aînée atteinte de TNCL, la généralisation de leurs résultats s'avère imprudente considérant le nombre limité d'études ($n = 4$) analysées et de leur hétérogénéité.

Bien que la tendance positive vers une amélioration de la performance à la condition inverse de la tâche séquences de chiffres n'ait pas surpassé l'effet de pratique, on peut se demander si des gains plus importants auraient pu être observés dans le contexte du programme plus long, initialement prévu. Bien que les résultats de la participante doivent être interprétés prudemment en lien avec les limites de l'étude pilote, il demeure pertinent de réfléchir aux caractéristiques personnelles qui pourraient avoir influencé sa progression

dans le programme. Tout d'abord, à la lumière des études indiquant une association positive entre la performance aux tâches de fluence verbale et le niveau d'éducation, il est possible de penser que sa scolarité de niveau doctoral ait favorisé les améliorations relatives mesurées aux tâches de fluence verbale catégorielle et lexicale. Enfin, l'absence auto-rapportée de problématiques liées au sommeil, à l'anxiété, à la dépression et aux plaintes subjectives de mémoire, en plus de son résultat élevé au MoCA, représentent tous des facteurs de protection quant au vieillissement. Dans le contexte d'un entraînement plus long et d'un échantillon de participants plus large, il aurait été intéressant d'examiner dans quelle mesure l'ampleur des effets mesurés puisse être associée à ces caractéristiques.

Participant 3

La participante 3 est une femme, âgée de 68 ans au moment de sa participation au programme d'entraînement. Elle cumule 12 années de scolarité (niveau atteint : certificat). Les réponses fournies aux différents questionnaires en ligne n'ont pas révélé de problématiques actuelles liées à l'anxiété, la dépression et la somnolence chez madame. Ses réponses à l'*Index de sévérité de l'insomnie (ISI)* et à l'*Index de qualité du sommeil de Pittsburgh (IQSP)* suggéraient la possibilité que la participante puisse présenter un trouble du sommeil, en lien avec la présence auto-rapportée de légers symptômes d'insomnie. Concernant les outils de dépistage cognitif, les résultats du MoCA et du QAM-A indiquaient respectivement un fonctionnement cognitif global normal et des plaintes de mémoire subjectives négligeables chez la participante.

Comparativement à sa meilleure performance pré-intervention, la participante 3 a relativement amélioré ses résultats à la tâche *VR-WORK-M* ainsi qu'aux mesures d'inhibition, de flexibilité et de fluence verbale (lexicale et catégorielle) lors de l'évaluation post-intervention. Cela dit, seules ses performances aux mesures de flexibilité (TMT) et de fluence verbale lexicale se sont vraiment améliorées après avoir suivi l'entraînement lorsqu'on tient compte de l'effet de pratique. Encore une fois, ces résultats se doivent d'être interprétés à titre préliminaire seulement, tout particulièrement en raison de la durée limitée du programme d'intervention. Néanmoins, considérant les preuves scientifiques limitées concernant les effets de transfert distal, les changements relatifs positifs mesurés traduisaient probablement un effet de pratique ou une variation individuelle normale. Enfin, on peut tout de même se questionner sur les caractéristiques personnelles de la participante qui pourraient avoir influencé son fonctionnement cognitif et sa progression durant le programme, notamment la présence auto-rapportée de certaines perturbations du sommeil. En ce sens, puisque les difficultés de sommeil peuvent affecter le fonctionnement cognitif des personnes âgées, on peut se demander si les symptômes rapportés, bien que légers, puissent avoir modulé la réponse potentielle à l'entraînement.

Participante 4

La participante 4 est une femme, âgée de 59 ans au moment de sa participation au programme d'entraînement. Elle cumule 17 années de scolarité (niveau atteint : baccalauréat). Les réponses fournies aux différents questionnaires en ligne n'ont pas révélé pas de problématiques liées au sommeil (sommolence et qualité du sommeil), à

l'anxiété et à la dépression chez madame. Ses réponses à l'*Index de sévérité de l'insomnie* (ISI) suggéraient la présence de certains symptômes légers d'insomnie (catégorie sous-clinique). Concernant les outils de dépistage cognitif, les résultats du MoCA et du QAM-A indiquaient respectivement un fonctionnement cognitif global normal et des plaintes de mémoire subjectives négligeables chez la participante.

Comparativement à sa meilleure performance pré-intervention, la participante 4 a relativement amélioré ses résultats à la tâche *VR-WORK-M* ainsi qu'aux mesures d'empan direct et d'inhibition lors de l'évaluation post-intervention. Cela dit, lorsqu'on tient compte de l'effet de pratique, aucune amélioration relative de sa performance n'a été observée après avoir suivi le programme d'entraînement. Bien que la réponse à l'intervention fût inférieure ou au plus équivalente à l'effet de pratique, il est intéressant de souligner qu'elle s'est améliorée aux tâches mesurant l'empan direct (*VR-WORK-M* et *séquences de chiffres direct*), mais pas aux tâches impliquant une manipulation supplémentaire de l'information à mémoriser (*séquence de chiffres inverse* et *séquences lettres-chiffres*). Il est donc possible de penser que la similitude entre l'habileté spécifiquement entraînée et la fonction évaluée puisse influencer les possibilités de mesurer des bénéfices associés à l'intervention. Dans cet ordre d'idées, des chercheurs ayant entraîné la mémoire de travail visuelle de personnes âgées n'ont pas trouvé d'amélioration significative suite à l'intervention en RV à partir des changements mesurés à l'aide d'une tâche évaluant la mémoire de travail en modalité auditive (Kwan et al., 2024).

Bien que les résultats de la participante doivent être interprétés prudemment en lien avec les limites de l'étude pilote, il demeure pertinent de réfléchir aux caractéristiques personnelles qui pourraient avoir influencé sa progression dans le programme. Tel que mentionné à déjà quelques reprises, la présence auto-rapportée de légers symptômes d'insomnie pourrait avoir affecté son fonctionnement cognitif et sa performance durant les séances d'entraînement. Ensuite, à la lumière de l'association connue entre l'âge et les variations individuelles observées dans le vieillissement cognitif, le jeune âge de la participante 4 peut être un facteur à considérer dans l'interprétation de sa performance cognitive. D'un côté, puisque le déclin cognitif est un processus graduel, on peut penser que son jeune âge puisse avoir favorisé son bon fonctionnement cognitif de base, indépendamment de l'intervention. D'un autre côté, son jeune âge peut possiblement avoir limité sa potentielle réponse positive à l'entraînement. En ce sens, plusieurs études ont montré que les personnes les plus âgées ou avec un niveau cognitif de base plus faible tendent à présenter de plus grandes améliorations cognitives post-entraînement, notamment sur le plan de la mémoire de travail et des fonctions exécutives (Gamito et al., 2019; Shaw & Hosseini, 2021). De façon plus générale, le bon niveau de performance initiale des participants entraînés dans le cadre du présent projet peut avoir joué un rôle sur leur progression et il est possible que des gains relatifs plus importants auraient pu être observés auprès de certains individus si l'échantillon de participants avait été plus grand.

En somme, bien que les résultats des analyses exploratoires et la présentation des trajectoires individuelles des participants ne permettent pas de tirer des conclusions

définitives quant à la réponse au programme d'entraînement pilote, la tendance préliminaire vers une amélioration relative de performance, observée à la tâche VR-WORK-M (niveaux 1, 4, 8, 12, 13, 15 et 18) et aux tâches de fluence verbale, appuie partiellement son utilisation pour favoriser le fonctionnement cognitif des personnes âgées. Par ailleurs, ces analyses exploratoires auront permis de soulever certaines observations et réflexions qui pourront être considérées dans les études subséquentes qui évalueront plus précisément l'efficacité du programme d'entraînement complet.

Limites du projet pilote

La taille restreinte de l'échantillon constitue sans doute l'une des plus grandes limites de la présente étude. Tout d'abord, comme la taille de l'échantillon était insuffisante pour effectuer des analyses statistiques robustes, les résultats obtenus dans le cadre du pilote ne peuvent être généralisés. Avec si peu de participants, il est difficile de déterminer si une amélioration relative de la performance à une tâche cognitive représentait réellement une réponse positive à l'entraînement et pas seulement un effet de pratique ou une variation individuelle normale. En ce sens, certaines études ont montré la présence d'un effet de pratique lié à l'administration répétée de diverses mesures cognitives, plus particulièrement observé entre une première et une deuxième administration, effectuée le même jour ou la semaine suivante (Falletti et al., 2006; White et al., 2019). Ainsi, malgré l'absence de groupe témoin, la mise en place d'un devis incluant deux séances pré-intervention peut avoir contribué à la validité de la présente étude pilote. De plus, le choix de comparer le résultat post-intervention au meilleur des deux résultats pré-intervention

peut avoir aidé à limiter une surinterprétation des bénéfices relatifs mesurés. Enfin, il n'est pas possible d'exclure la possibilité que certains participants aient légèrement mieux réussi les tâches lors de l'évaluation post-intervention parce qu'ils étaient moins fatigués ou plus motivés ce jour-là, indépendamment de l'intervention offerte.

La durée limitée du programme d'entraînement représente également une faiblesse majeure de l'étude pilote. Tel que mentionné précédemment à plusieurs reprises, la durée des interventions apparaît liée à l'efficacité, tout particulièrement en ce qui concerne l'amélioration de la mémoire de travail. Plus précisément, les résultats d'une méta-analyse portant sur l'entraînement de la mémoire de travail des personnes âgées atteintes de TNCL révélaient que des effets modérés et significatifs furent retrouvés pour les interventions de plus de 15 heures, tandis que les programmes plus courts ne présentaient pas d'effets significatifs (Gómez-Cáceres et al., 2023). Ces résultats doivent toutefois être interprétés avec prudence considérant le nombre limité d'études incluses ($n = 4$) et la grande hétérogénéité qui existe entre elles. Dans cet ordre d'idées, les auteurs d'une récente méta-analyse portant sur les effets de l'entraînement cognitif des personnes atteintes de TNCL ont nuancé que les conclusions présentées devaient être interprétées avec prudence, tout particulièrement dans leurs implications pour la pratique clinique, considérant la qualité limitée des études incluses et les différences considérables existant entre elles en terme de taille d'échantillon (21 à 66 participants), de durée d'intervention (12h à 60h) et de nombre total de sessions (20 à 72) (Yu et al., 2024). Néanmoins, la survenue de changements neuroplastiques apparaît peu probable au terme de seulement

trois séances d'intervention et il n'est donc pas étonnant que les résultats de la présente étude n'aient pas permis de relever une tendance générale vers une réponse positive à l'entraînement.

Ensuite, l'absence de rétroaction en temps réel, fournies aux participants via l'environnement virtuel du *VR-WORK-M*, peut potentiellement avoir nuit à la progression et à la motivation des participants durant les séances d'entraînement et ainsi avoir limité les possibilités de transfert de la réponse à l'intervention. En effet, certains chercheurs suggèrent que l'efficacité des interventions en RV puisse être influencée par l'utilisation de rétroactions en temps réel, informant le participant sur sa performance et lui permettant de corriger ses erreurs et favorisant sa motivation (Gómez-Cáceres et al., 2023). De plus, il est possible que la tâche d'entraînement n'ait pas été suffisamment stimulante et engageante pour les participants. Tel que mentionné précédemment, le programme pilote devait initialement comporter six séances d'entraînement et inclure deux versions parallèles qui n'ont finalement pas pu être utilisées en raison des délais de programmation. Malgré la réduction du nombre de séances d'entraînement qui avait pour objectif d'éviter que l'intervention ne devienne trop répétitive et lassante, un certain désengagement a été observé chez les participants lorsqu'ils se retrouvaient à compléter une séance d'entraînement en exécutant des niveaux précédemment réussis. Plus encore, un effet d'interférence des niveaux plus complexes a été observé lors de l'administration répétée de niveaux moins complexes portant sur un même projet d'affaire. Par exemple, un participant qui se rappelait avoir dû mémoriser quatre types de fleurs (c.-à-d. pétunias,

chrysanthèmes, bégonias et œillets) lors du niveau 38 de la tâche *VR-WORK-M* pouvait rappeler quatre items lors de la répétition du niveau 20 portant sur un magasin où seulement trois variétés de fleurs sont vendues (c.-à-d. pétunias, chrysanthèmes et bégonias). Ainsi, la répétition de niveaux déjà administrés a engendré un effet d'interférence où les apprentissages ultérieurs ont nui au maintien de nouvelles informations en mémoire de travail.

Enfin, l'échantillon étant principalement composé de femmes et d'individus avec un niveau d'éducation élevé, les résultats obtenus ne sont pas nécessairement représentatifs de la population générale. Considérant que différents facteurs, tels que le niveau d'éducation, ont été identifiés comme étant liés aux variations individuelles observées dans le vieillissement cognitif (Park, 2000), l'utilisation d'un échantillon plus grand et davantage représentatif de la population générale dans les prochaines études permettrait possiblement d'identifier les facteurs individuels associés à l'efficacité d'un tel programme. Plus concrètement, il serait intéressant d'identifier les caractéristiques des individus chez qui sont mesurés les bénéfices les plus importants et ainsi mieux orienter les interventions futures.

En somme, en dépit des multiples limites de la présente étude, il faut garder en tête que la réponse préliminaire à l'intervention était examinée à titre exploratoire et que l'objectif principal du projet pilote était d'évaluer la faisabilité du programme d'entraînement, en s'assurant que les participants se sentaient adéquatement immergés

dans l'environnement virtuel et qu'ils présentaient des inconforts suffisamment négligeables pour soutenir leur participation continue et limiter l'abandon dans une étude expérimentale de plus grande envergure.

Implications cliniques potentielles

Même si les résultats des analyses exploratoires n'ont pas permis de déterminer l'étendue des bénéfices potentiels du programme d'entraînement à l'aide du *VR-WORK-M*, il est possible d'envisager son application clinique auprès de certaines clientèles, en cohérence avec les processus cognitifs ciblés par l'intervention et les connaissances scientifiques actuelles.

Tout d'abord, sachant que le vieillissement cognitif normal est fréquemment accompagné d'une diminution de certaines composantes de la mémoire de travail, le programme d'entraînement *VR-WORK-M* pourrait éventuellement être considéré comme une intervention complémentaire aux moyens comportementaux déjà recommandés pour favoriser la santé cognitive, telles que la pratique régulière d'activité physique. Ensuite, la présence de déficits marqués sur le plan de la mémoire de travail étant bien documentée chez les personnes âgées souffrant de dépression chronique, le programme pourrait être envisagé en tant qu'outil complémentaire aux interventions pharmacologiques et psychothérapeutiques reconnues pour le traitement des troubles de l'humeur (Marvel & Paradiso, 2004; Snyder, 2013). Bien que la faisabilité du programme pilote ait été évaluée auprès de participants âgés sans trouble cognitif, les résultats de plusieurs études

antérieures suggérant une bonne acceptabilité de la réalité virtuelle auprès de différentes populations cliniques laissent penser que le *VR-WORK-M* puisse être adapté à une clientèle âgée plus large, telles que les personnes atteintes de trouble neurocognitif léger.

Enfin, les possibilités d'adaptation des logiciels informatisés utilisés dans le développement des environnements immersifs offrent des perspectives intéressantes pour ajuster et personnaliser les interventions dans l'objectif de répondre aux besoins de diverses clientèles. Néanmoins, des études supplémentaires demeurent nécessaires pour mieux comprendre les possibilités d'améliorations cognitives associées au *VR-WORK-M* avant d'envisager plus sérieusement son application future auprès de populations vulnérables.

Pistes de réflexion pour les études futures

La littérature scientifique sur l'entraînement en RV de la mémoire de travail auprès de la population âgée sans trouble cognitif demeure limitée et les rares études publiées n'incluaient généralement pas de mesures de maintien à long terme (*follow-up*) ni de mesures du fonctionnement dans les activités de la vie quotidienne. Ainsi, il devient difficile de déterminer si les gains mesurés au terme des interventions persistent au-delà de quelques semaines et si un impact positif est observé dans le fonctionnement quotidien des individus entraînés. En ce sens, des études longitudinales auprès de grands échantillons permettraient de déterminer si les interventions en RV ont réellement un effet protecteur sur la santé cognitive des personnes âgées ainsi que sur le ralentissement du

déclin chez les populations atteintes de troubles cognitifs. De plus, tel que souligné par plusieurs auteurs, il semble important de considérer non seulement les changements cognitifs, mais aussi les effets potentiels de telles interventions sur la qualité de vie et le fonctionnement quotidien des personnes âgées (Li et al., 2025; Yu et al., 2024).

Par ailleurs, dans les études évaluant les interventions en RV auprès des personnes âgées présentant un trouble cognitif lié au vieillissement, les améliorations cognitives sont généralement déterminées à partir des différences statistiquement significatives entre les résultats neuropsychologiques avant et après l'intervention, alors que la significativité clinique est souvent mise de côté (Gómez-Cáceres et al., 2023). Ainsi, il semble important que la communauté scientifique se penche plus sérieusement sur les changements qui ont un impact réel sur le profil clinique de l'individu, son fonctionnement ou sa qualité de vie.

De plus, les prochaines études qui se pencheront sur l'efficacité de l'entraînement de la mémoire de travail en RV devraient considérer davantage de facteurs favorisant une bonne santé cognitive afin d'explorer les différences potentielles entre les individus. En ce sens, la littérature scientifique appuie l'importance de l'association entre l'entraînement cognitif et l'exercice physique et indique que l'amélioration du fonctionnement cognitif dépend d'une combinaison de multiples habitudes de vie telles qu'une alimentation saine, ne pas fumer, une consommation d'alcool modérée, une bonne gestion du stress, le maintien d'un réseau social, etc. (Sánchez-Izquierdo & Fernández-Ballesteros, 2021).

Puis, la création de logiciels différents d'une équipe de recherche à l'autre amène une non-standardisation des programmes d'entraînement, qui a pour conséquence de limiter la généralisation des résultats d'une étude à l'autre et la collecte de données comparables, ainsi que de contribuer à l'hétérogénéité des résultats au sein de la littérature scientifique. Il devient donc difficile de déterminer les facteurs déterminants de l'efficacité de ce type d'intervention et de tester ou de valider les interventions d'autrui. En ce sens, même avec des programmes d'entraînement en RV ciblant l'amélioration d'une même fonction cognitive à l'aide d'activités similaires, de nombreuses variations sont retrouvées d'une étude à l'autre, que ce soit dans les tâches spécifiques à effectuer, les distracteurs à inhiber, la fréquence d'apparition des stimuli, le niveau de difficulté et l'intensité de la stimulation, entre autres. Considérant cela, il semble important que les logiciels d'entraînement soient rendus accessibles dans la communauté scientifique pour soutenir l'avancement des connaissances dans le domaine.

Enfin, il est possible de se demander si l'utilisation de mesures neuropsychologiques traditionnelles constitue une limite à l'évaluation de l'efficacité réelle des programmes d'entraînement en RV. En ce sens, il semble incohérent de juger l'efficacité des nouvelles interventions, élaborées pour reproduire le fonctionnement de la vie réelle, uniquement sur la base d'outils aussi peu écologiques. Ainsi, il serait pertinent que les prochaines études considèrent l'ajout d'outils d'évaluation en RV pour que les fonctions cognitives soient non seulement entraînées, mais aussi évaluées dans un contexte plus écologique. La tâche d'évaluation *VR-WORK-M* (Ansado et al., 2018), le *Virtual Apartment Stroop*

(Parsons & Barnett, 2019) et le *Nesplora Aquarium* (Climent et al., 2021) représentent des pistes prometteuses pour répondre à ce défi.

Conclusion

Cet essai doctoral visait à contribuer à la validation d'un programme d'entraînement de la mémoire de travail à l'aide de la RV. Ainsi, l'objectif premier de la présente étude pilote était d'évaluer la faisabilité du programme auprès de personnes âgées, tandis que l'objectif exploratoire était d'en observer la réponse préliminaire.

Dans l'ensemble, les résultats des analyses effectuées appuient la faisabilité du programme, révélant que l'utilisation de la réalité virtuelle a été bien acceptée par les participants tout au long du programme d'entraînement pilote. Plus précisément, la qualité de l'expérience immersive, en lien avec la propension à l'immersion, le sentiment de présence et la survenue limitée de symptômes désagréables, soutient la faisabilité de l'intervention. Dans une perspective plus large, ces résultats suggèrent que la bonne tolérance à l'interface de RV utilisée puisse favoriser la participation continue et limiter l'abandon lié aux cybermalaises dans une étude expérimentale de plus grande envergure. Ces conclusions sont cohérentes avec ce qui était attendu, à la lumière de la littérature scientifique existante soutenant l'utilisation de la RV par les personnes âgées présentant divers profils cognitifs (Appel et al., 2019; Arlati et al., 2021; Kwan et al., 2024; Makmee & Wongupparaj, 2022).

Du côté des résultats des analyses exploratoires en lien avec la réponse à l'entraînement, on observe une tendance préliminaire vers une amélioration relative de la

performance à la tâche *VR-WORK-M* et aux tâches de fluence verbale, mais pas sur le plan des mesures de transfert proximal ni des autres mesures de transfert distal. Cela étant dit, il importe d'être prudent dans l'interprétation de ces résultats, tout particulièrement en lien avec la dose réduite d'entraînement, la taille restreinte de l'échantillon et l'utilisation de statistiques non paramétriques. Enfin, bien qu'il ne soit actuellement pas possible de tirer des conclusions définitives quant à la réponse des participants au programme d'entraînement pilote, les analyses exploratoires auront servi à soulever certaines observations et à ouvrir des pistes de réflexion qui seront sans doute utiles pour la prochaine équipe de recherche qui s'intéressera à évaluer l'efficacité du programme d'entraînement complet. Ainsi, le présent essai représente une contribution pertinente dans le contexte actuel, marqué par la rareté de la littérature scientifique portant sur les interventions préventives auprès des aînés sans trouble cognitif.

Pour terminer, même si la présente étude n'a pas permis de répondre à l'ensemble des objectifs initialement envisagés, nous considérons que le travail effectué pour l'élaboration des niveaux alternatifs demeure pertinent dans la mesure où il servira à la poursuite de l'évaluation du programme dans des recherches futures, contribuant ainsi à l'avancement des connaissances scientifiques.

Références

- Alonso-Valerdi, L. M., Luz María, A. V., Mercado-García, V. R., & Víctor Rodrigo, M. G. (2017). Enrichment of Human-Computer Interaction in Brain-Computer Interfaces via Virtual Environments. *Computational intelligence and neuroscience*, 6076913. <https://doi.org/10.1155/2017/6076913>
- American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- American Psychiatric Association. (2022). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed., text rev.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425787>.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J., Aleman, A., & Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*(3), Cd005381. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005381.pub3>
- Ansado, J., Brulé, J., Chasen, C., Northoff, G., & Bouchard, S. (2018). The Virtual Reality Working-Memory-Training Program (VR WORK M): Description of an individualized, integrated program. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 16, 101-108.
- Appel, L., Appel, E., Bogler, O., Wiseman, M., Cohen, L., Ein, N., Abrams, H. B., & Campos, J. L. (2019). Older Adults With Cognitive and/or Physical Impairments Can Benefit From Immersive Virtual Reality Experiences: A Feasibility Study. *Front Med (Lausanne)*, 6, 329. <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00329>
- Arlati, S., Di Santo, S. G., Franchini, F., Mondellini, M., Filiputti, B., Luchi, M., Ratto, F., Ferrigno, G., Sacco, M., & Greci, L. (2021). Acceptance and Usability of Immersive Virtual Reality in Older Adults with Objective and Subjective Cognitive Decline. *Journal of Alzheimer's Disease*, 80, 1025-1038. <https://doi.org/10.3233/JAD-201431>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)

- Ball, K., Berch, D. B., Helmers, K. F., Jobe, J. B., Leveck, M. D., Marsiske, M., Morris, J. N., Rebok, G. W., Smith, D. M., Tennstedt, S. L., Unverzagt, F. W., & Willis, S. L. (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults: a randomized controlled trial. *Jama*, 288(18), 2271-2281. <https://doi.org/10.1001/jama.288.18.2271>
- Baltes, P., Freund, A., & Li, S.-C. (2005). The Psychological Science of Human Ageing. *The Cambridge Handbook of Age and Ageing*, 47-71. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610714.006>
- Beaudet, C. Bouchard, S., Ansado, J., & Boller, B. (2022, novembre). *Validation d'une tâche de mémoire de travail en réalité virtuelle auprès des personnes âgées*. Affiche présentée lors des journées scientifiques du Réseau intersectoriel de recherche en santé de l'Université du Québec, Québec, QC.
- Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195-207. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00097-6](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00097-6)
- Bevilacqua, R., Maranesi, E., Riccardi, G. R., Donna, V. D., Pelliccioni, P., Luzi, R., Lattanzio, F., & Pelliccioni, G. (2019). Non-Immersive Virtual Reality for Rehabilitation of the Older People: A Systematic Review into Efficacy and Effectiveness. *Journal of clinical medicine*, 8(11), 1882. <https://doi.org/10.3390/jcm8111882>
- Blazer, D. G., & Wallace, R. B. (2016). Cognitive Aging: What Every Geriatric Psychiatrist Should Know. *Am J Geriatr Psychiatry*, 24(9), 776-781. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2016.06.013>
- Blondell, S. J., Hammersley-Mather, R., & Veerman, J. L. (2014). Does physical activity prevent cognitive decline and dementia?: A systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *BMC Public Health*, 14, 510. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-510>
- Boller, B., Ouellet, É., & Belleville, S. (2021). Using Virtual Reality to Assess and Promote Transfer of Memory Training in Older Adults With Memory Complaints: A Randomized Controlled Trial [Original Research]. *Frontiers in Psychology, Volume 12 - 2021*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.627242>
- Bouchard, S., Dumoulin, S., Talbot, J., Ledoux, A.-A., Phillips, J., Monthuy-Blanc, J., Labonté-Chartrand, G., Robillard, G., Cantamesse, M., & Renaud, P. (2012). Manipulating subjective realism and its impact on presence: Preliminary results on feasibility and neuroanatomical correlates. *Interacting with Computers*, 24(4), 227-236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.intcom.2012.04.011>

- Bouchard, S., Robillard, G., & Renaud, P. (2007). Revising the factor structure of the simulator sickness questionnaire. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 5, 128-137.
- Bowen, D. J., Kreuter, M., Spring, B., Cofta-Woerpel, L., Linnan, L., Weiner, D., Bakken, S., Kaplan, C. P., Squiers, L., Fabrizio, C., & 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>
- Bowie, C. R., & Harvey, P. D. (2006). Administration and interpretation of the Trail Making Test. *Nat Protoc*, 1(5), 2277-2281. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.390>
- Brown, L. A., Brockmole, J. R., Gow, A. J., & Deary, I. J. (2012). Processing Speed and Visuospatial Executive Function Predict Visual Working Memory Ability in Older Adults. *Experimental Aging Research*, 38(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2012.636722>
- Buele, J., Varela-Aldás, J. L., & Palacios-Navarro, G. (2023). Virtual reality applications based on instrumental activities of daily living (iADLs) for cognitive intervention in older adults: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*, 20(1), 168. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01292-8>
- Butler, M., McCreedy, E., Nelson, V. A., Desai, P., Ratner, E., Fink, H. A., Hemmy, L. S., McCarten, J. R., Barclay, T. R., Brasure, M., Davila, H., & Kane, R. L. (2018). Does Cognitive Training Prevent Cognitive Decline?: A Systematic Review. *Ann Intern Med*, 168(1), 63-68. <https://doi.org/10.7326/m17-1531>
- Cardebat, D., Doyon, B., Puel, M., Goulet, P., & Joanette, Y. (1990). [Formal and semantic lexical evocation in normal subjects. Performance and dynamics of production as a function of sex, age and educational level]. *Acta Neurol Belg*, 90(4), 207-217. (Evocation lexicale formelle et sémantique chez des sujets normaux. Performances et dynamiques de production en fonction du sexe, de l'âge et du niveau d'étude.)
- Carson, N., Leach, L., & Murphy, K. J. (2018). A re-examination of Montreal Cognitive Assessment (MoCA) cutoff scores. *International journal of geriatric psychiatry*, 33(2), 379–388. <https://doi.org/10.1002/gps.4756>
- Casagrande, M., Forte, G., Favieri, F., & Corbo, I. (2022). Sleep Quality and Aging: A Systematic Review on Healthy Older People, Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8457. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/14/8457>

- Caserman, P., Garcia-Agundez, A., Gámez Zerban, A., & Göbel, S. (2021). Cybersickness in current-generation virtual reality head-mounted displays: systematic review and outlook. *Virtual Reality*, 25(4), 1153-1170. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00513-6>
- Chen, X., Liu, F., Lin, S., Yu, L., & Lin, R. (2022). Effects of Virtual Reality Rehabilitation Training on Cognitive Function and Activities of Daily Living of Patients With Poststroke Cognitive Impairment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil*, 103(7), 1422-1435. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.03.012>
- Choi, S. D., Guo, L., Kang, D., & Xiong, S. (2017). Exergame technology and interactive interventions for elderly fall prevention: A systematic literature review. *Appl Ergon*, 65, 570-581. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.10.013>
- Clay, F., Howett, D., FitzGerald, J., Fletcher, P., Chan, D., & Price, A. (2020). Use of Immersive Virtual Reality in the Assessment and Treatment of Alzheimer's Disease: A Systematic Review. *J Alzheimers Dis*, 75(1), 23-43. <https://doi.org/10.3233/jad-191218>
- Climent, G., Rodríguez, C., García, T., Areces, D., Mejías, M., Aierbe, A., Moreno, M., Cueto, E., Castellá, J., & Feli González, M. (2021). New virtual reality tool (Nesplora Aquarium) for assessing attention and working memory in adults: A normative study. *Appl Neuropsychol Adult*, 28(4), 403-415. <https://doi.org/10.1080/23279095.2019.1646745>
- Cohen, R. A., Marsiske, M. M., & Smith, G. E. (2019). Neuropsychology of aging. *Handb Clin Neurol*, 167, 149-180. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804766-8.00010-8>
- Corriveau Lecavalier, N., Ouellet, É., Boller, B., & Belleville, S. (2020). Use of immersive virtual reality to assess episodic memory: A validation study in older adults. *Neuropsychol Rehabil*, 30(3), 462-480. <https://doi.org/10.1080/09602011.2018.1477684>
- Coyle, H., Traynor, V., & Solowij, N. (2015). Computerized and virtual reality cognitive training for individuals at high risk of cognitive decline: systematic review of the literature. *Am J Geriatr Psychiatry*, 23(4), 335-359. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2014.04.009>
- Cutler, S. J. (2015). Worries about getting Alzheimer's: who's concerned? *Am J Alzheimers Dis Other Demen*, 30(6), 591-598. <https://doi.org/10.1177/1533317514568889>

- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS) [Database record]. APA PsycTests. <https://doi.org/10.1037/t15082-000>
- D’Cunha, Nathan M., Nguyen, D., Naumovski, N., McKune, Andrew J., Kellett, J., Georgousopoulou, Ekavi N., Frost, J., & Isbel, S. (2019). A Mini-Review of Virtual Reality-Based Interventions to Promote Well-Being for People Living with Dementia and Mild Cognitive Impairment. *Gerontology*, *65*(4), 430-440. <https://doi.org/10.1159/000500040>
- Eggenberger, P., Wolf, M., Schumann, M., & de Bruin, E. D. (2016). Exergame and Balance Training Modulate Prefrontal Brain Activity during Walking and Enhance Executive Function in Older Adults. *Front Aging Neurosci*, *8*, 66. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00066>
- Eshkoor, S. A., Hamid, T. A., Mun, C. Y., & Ng, C. K. (2015). Mild cognitive impairment and its management in older people. *Clin Interv Aging*, *10*, 687-693. <https://doi.org/10.2147/cia.S73922>
- Falletti, M. G., Maruff, P., Collie, A., & Darby, D. G. (2006). Practice Effects Associated with the Repeated Assessment of Cognitive Function Using the CogState Battery at 10-minute, One Week and One Month Test-retest Intervals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *28*(7), 1095-1112. <https://doi.org/10.1080/13803390500205718>
- Foloppe, D. A., Richard, P., Yamaguchi, T., Etcharry-Bouyx, F., & Allain, P. (2018). The potential of virtual reality-based training to enhance the functional autonomy of Alzheimer's disease patients in cooking activities: A single case study. *Neuropsychol Rehabil*, *28*(5), 709-733. <https://doi.org/10.1080/09602011.2015.1094394>
- Gamito, P., Oliveira, J., Alves, C., Santos, N., Coelho, C., & Brito, R. (2020). Virtual Reality-Based Cognitive Stimulation to Improve Cognitive Functioning in Community Elderly: A Controlled Study. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, *23*(3), 150-156. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0271>
- Gamito, P., Oliveira, J., Morais, D., Coelho, C., Santos, N., Alves, C., Galamba, A., Soeiro, M., Yerra, M., French, H., Talmers, L., Gomes, T., & Brito, R. (2019). Cognitive Stimulation of Elderly Individuals with Instrumental Virtual Reality-Based Activities of Daily Life: Pre-Post Treatment Study. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, *22*(1), 69-75. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0679>

- Gheysen, F., Poppe, L., DeSmet, A., Swinnen, S., Cardon, G., De Bourdeaudhuij, I., Chastin, S., & Fias, W. (2018). Physical activity to improve cognition in older adults: can physical activity programs enriched with cognitive challenges enhance the effects? A systematic review and meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act*, *15*(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0697-x>
- Gómez-Cáceres, B., Cano-López, I., Aliño, M., & Puig-Perez, S. (2023). Effectiveness of virtual reality-based neuropsychological interventions in improving cognitive functioning in patients with mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *Clin Neuropsychol*, *37*(7), 1337-1370. <https://doi.org/10.1080/13854046.2022.2148283>
- Grewal, J., Eng, J. J., Sakakibara, B. M., & Schmidt, J. (2024). The use of virtual reality for activities of daily living rehabilitation after brain injury: A scoping review. *Aust Occup Ther J*, *71*(5), 868-893. <https://doi.org/10.1111/1440-1630.12957>
- Gross, A. L., Rebok, G. W., Unverzagt, F. W., Willis, S. L., & Brandt, J. (2011). Cognitive predictors of everyday functioning in older adults: results from the ACTIVE Cognitive Intervention Trial. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, *66*(5), 557-566. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbr033>
- Hag, A., Asadi, H., Qazani, M. R. C., Hoang, T., Kulkarni, A., Greuter, S., & Nahavandi, S. (2026). Predicting Cybersickness in Virtual Reality from Head-Torso Kinematics Using a Hybrid Convolutional-Recurrent Network Model. *Computers*, *15*(3), 193. <https://www.mdpi.com/2073-431X/15/3/193>
- Haeger, M., Bock, O., Memmert, D., & Hüttermann, S. (2018). Can Driving-Simulator Training Enhance Visual Attention, Cognition, and Physical Functioning in Older Adults? *J Aging Res*, *2018*, 7547631. <https://doi.org/10.1155/2018/7547631>
- Harada, C. N., Natelson Love, M. C., & Triebel, K. L. (2013). Normal cognitive aging. *Clin Geriatr Med*, *29*(4), 737-752. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.002>
- Healy, D., Flynn, A., Conlan, O., McSharry, J., & Walsh, J. (2022). Older Adults' Experiences and Perceptions of Immersive Virtual Reality: Systematic Review and Thematic Synthesis [Review]. *JMIR Serious Games*, *10*(4), e35802. <https://doi.org/10.2196/35802>
- Henry, J. D., MacLeod, M. S., Phillips, L. H., & Crawford, J. R. (2004). A meta-analytic review of prospective memory and aging. *Psychol Aging*, *19*(1), 27-39. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.1.27>

- Herrera, C., Chambon, C., Michel, B. F., Paban, V., & Alescio-Lautier, B. (2012). Positive effects of computer-based cognitive training in adults with mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, *50*(8), 1871-1881. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.012>
- Hertzog, C., Dixon, R. A., Hulstsch, D. F., & MacDonald, S. W. (2003). Latent change models of adult cognition: are changes in processing speed and working memory associated with changes in episodic memory? *Psychol Aging*, *18*(4), 755-769. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.4.755>
- Hill, N. T., Mowszowski, L., Naismith, S. L., Chadwick, V. L., Valenzuela, M., & Lampit, A. (2017). Computerized Cognitive Training in Older Adults With Mild Cognitive Impairment or Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am J Psychiatry*, *174*(4), 329-340. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2016.16030360>
- Ho, N. C. W., Bethlehem, R. A. I., Seidlitz, J., Nogovitsyn, N., Metzack, P., Ballester, P. L., Hassel, S., Rotzinger, S., Poppenk, J., Lam, R. W., Taylor, V. H., Milev, R., Bullmore, E. T., Alexander-Bloch, A. F., Frey, B. N., Harkness, K. L., Addington, J., Kennedy, S. H., & Dunlop, K. (2024). Atypical Brain Aging and Its Association With Working Memory Performance in Major Depressive Disorder. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*, *9*(8), 786-799. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2024.04.008>
- Hou, J., Jiang, T., Fu, J., Su, B., Wu, H., Sun, R., & Zhang, T. (2020). The Long-Term Efficacy of Working Memory Training in Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of 22 Randomized Controlled Trials. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, *75*(8), e174-e188. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbaa077>
- Huang, K. T. (2020). Exergaming Executive Functions: An Immersive Virtual Reality-Based Cognitive Training for Adults Aged 50 and Older. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, *23*(3), 143-149. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0269>
- Hughes, T. F., Flatt, J. D., Fu, B., Butters, M. A., Chang, C. C., & Ganguli, M. (2014). Interactive video gaming compared with health education in older adults with mild cognitive impairment: a feasibility study. *Int J Geriatr Psychiatry*, *29*(9), 890-898. <https://doi.org/10.1002/gps.4075>
- Hulstsch, D. F., MacDonald, S. W., & Dixon, R. A. (2002). Variability in reaction time performance of younger and older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, *57*(2), P101-115. <https://doi.org/10.1093/geronb/57.2.p101>
- Huygelier, H., Schraepen, B., van Ee, R., Vanden Abeele, V., & Gillebert, C. R. (2019). Acceptance of immersive head-mounted virtual reality in older adults. *Scientific Reports*, *9*(1), 4519. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41200-6>

- Hwang, J., & Lee, S. (2017). The effect of virtual reality program on the cognitive function and balance of the people with mild cognitive impairment. *J Phys Ther Sci*, 29(8), 1283-1286. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1283>
- Hyer, L., Scott, C., Atkinson, M. M., Mullen, C. M., Lee, A., Johnson, A., & McKenzie, L. C. (2016). Cognitive Training Program to Improve Working Memory in Older Adults with MCI. *Clinical Gerontologist*, 39(5), 410-427. <https://doi.org/10.1080/07317115.2015.1120257>
- Institut de la statistique du Québec. (2023). *Portrait des personnes âgées au Québec*. (publication no 978-2-550-94726-4). [statistique.quebec.ca/fr/fichier/portrait-personnes-aines-quebec.pdf](https://www.statistique.quebec.ca/fr/fichier/portrait-personnes-aines-quebec.pdf).
- Jak, A. J. (2012). The impact of physical and mental activity on cognitive aging. *Curr Top Behav Neurosci*, 10, 273-291. https://doi.org/10.1007/7854_2011_141
- Jak, A. J., Seelye, A. M., & Jurick, S. M. (2013). Crosswords to computers: a critical review of popular approaches to cognitive enhancement. *Neuropsychol Rev*, 23(1), 13-26. <https://doi.org/10.1007/s11065-013-9226-5>
- Kang, J. M., Kim, N., Lee, S. Y., Woo, S. K., Park, G., Yeon, B. K., Park, J. W., Youn, J. H., Ryu, S. H., Lee, J. Y., & Cho, S. J. (2021). Effect of Cognitive Training in Fully Immersive Virtual Reality on Visuospatial Function and Frontal-Occipital Functional Connectivity in Predementia: Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res*, 23(5), e24526. <https://doi.org/10.2196/24526>
- Karbach, J., & Verhaeghen, P. (2014). Making Working Memory Work: A Meta-Analysis of Executive-Control and Working Memory Training in Older Adults. *Psychological Science*, 25(11), 2027-2037. <https://doi.org/10.1177/0956797614548725>
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3
- Kim, H., Jung, J., & Lee, S. (2022). Therapeutic Application of Virtual Reality in the Rehabilitation of Mild Cognitive Impairment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Vision (Basel)*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/vision6040068>
- Kirkwood, T. B. (2005). Understanding the odd science of aging. *Cell*, 120(4), 437-447. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2005.01.027>

- Kirova, A. M., Bays, R. B., & Lagalwar, S. (2015). Working memory and executive function decline across normal aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer's disease. *Biomed Res Int*, 2015, 748212. <https://doi.org/10.1155/2015/748212>
- Kwan, R. Y. C., Liu, J., Sin, O. S. K., Fong, K. N. K., Qin, J., Wong, J. C. Y., & Lai, C. (2024). Effects of Virtual Reality Motor-Cognitive Training for Older People With Cognitive Frailty: Multicentered Randomized Controlled Trial [Original Paper]. *J Med Internet Res*, 26, e57809. <https://doi.org/10.2196/57809>
- Kwan, R. Y. C., Liu, J. Y. W., Fong, K. N. K., Qin, J., Leung, P. K.-Y., Sin, O. S. K., Hon, P. Y., Suen, L. W., Tse, M.-K., & Lai, C. K. (2021). Feasibility and Effects of Virtual Reality Motor-Cognitive Training in Community-Dwelling Older People With Cognitive Frailty: Pilot Randomized Controlled Trial [Original Paper]. *JMIR Serious Games*, 9(3), e28400. <https://doi.org/10.2196/28400>
- Lampit, A., Hallock, H., & Valenzuela, M. (2014). Computerized cognitive training in cognitively healthy older adults: a systematic review and meta-analysis of effect modifiers. *PLoS Med*, 11(11), e1001756. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001756>
- Landim, S. F., López, R., Caris, A., Castro, C., Castillo, R. D., Avello, D., Magnani Branco, B. H., Valdés-Badilla, P., Carmine, F., Sandoval, C., & Vásquez, E. (2024). Effectiveness of Virtual Reality in Occupational Therapy for Post-Stroke Adults: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/jcm13164615>
- Li, N., Chen, G., Xie, Y., & Chen, Z. (2021). Aging Effect on Visuomotor Adaptation: Mediated by Cognitive Decline [Original Research]. *Frontiers in Aging Neuroscience, Volume 13 - 2021*. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.742928>
- Li, X., Zhang, Y., Tang, L., Ye, L., & Tang, M. (2025). Effects of virtual reality-based interventions on cognitive function, emotional state, and quality of life in patients with mild cognitive impairment: a meta-analysis. *Front Neurol*, 16, 1496382. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1496382>
- Liao, Y. Y., Tseng, H. Y., Lin, Y. J., Wang, C. J., & Hsu, W. C. (2020). Using virtual reality-based training to improve cognitive function, instrumental activities of daily living and neural efficiency in older adults with mild cognitive impairment. *Eur J Phys Rehabil Med*, 56(1), 47-57. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.19.05899-4>
- Lo, J. C., Groeger, J. A., Cheng, G. H., Dijk, D. J., & Chee, M. W. (2016). Self-reported sleep duration and cognitive performance in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Med*, 17, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2015.08.021>

- Lubrini, G., Periañez, J. A., Laseca-Zaballa, G., Bernabéu-Brotons, E., & Ríos-Lago, M. (2022). Verbal Fluency Tasks: Influence of Age, Gender, and Education and Normative Data for the Spanish Native Adult Population. *Arch Clin Neuropsychol*, 37(2), 365-375. <https://doi.org/10.1093/arclin/acab056>
- Maeng, S., Hong, J. P., Kim, W. H., Kim, H., Cho, S. E., Kang, J. M., Na, K. S., Oh, S. H., Park, J. W., Bae, J. N., & Cho, S. J. (2021). Effects of Virtual Reality-Based Cognitive Training in the Elderly with and without Mild Cognitive Impairment. *Psychiatry Investig*, 18(7), 619-627. <https://doi.org/10.30773/pi.2020.0446>
- Makmee, P., & Wongupparaj, P. (2022). Virtual Reality-based Cognitive Intervention for Enhancing Executive Functions in Community-dwelling Older Adults. *Psychosoc Interv*, 31(3), 133-144. <https://doi.org/10.5093/pi2022a10>
- Manera, V., Chapoulie, E., Bourgeois, J., Guerchouche, R., David, R., Ondrej, J., Drettakis, G., & Robert, P. (2016). A Feasibility Study with Image-Based Rendered Virtual Reality in Patients with Mild Cognitive Impairment and Dementia. *PLoS One*, 11(3), e0151487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151487>
- Maresca, G., Leonardi, S., De Cola, M. C., Giliberto, S., Di Cara, M., Corallo, F., Quartarone, A., & Pidalà, A. (2022). Use of Virtual Reality in Children with Dyslexia. *Children (Basel)*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/children9111621>
- Martin, M., Clare, L., Altgassen, A. M., Cameron, M. H., & Zehnder, F. (2011). Cognition-based interventions for healthy older people and people with mild cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*(1), Cd006220. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006220.pub2>
- Marvel, C. L., & Paradiso, S. (2004). Cognitive and neurological impairment in mood disorders. *Psychiatr Clin North Am*, 27(1), 19-36, vii-viii. [https://doi.org/10.1016/s0193-953x\(03\)00106-0](https://doi.org/10.1016/s0193-953x(03)00106-0)
- Meehan, M., Insko, B., Whitton, M., & Brooks, J. F. (2002). Physiological Measures of Presence in Stressful Virtual Environments. *ACM Transactions on Graphics*, 21. <https://doi.org/10.1145/566570.566630>
- Miller, K. J., Siddarth, P., Gaines, J. M., Parrish, J. M., Ercoli, L. M., Marx, K., Ronch, J., Pilgram, B., Burke, K., Barczak, N., Babcock, B., & Small, G. W. (2012). The memory fitness program: cognitive effects of a healthy aging intervention. *Am J Geriatr Psychiatry*, 20(6), 514-523. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e318227f821>

- Mittal, P., Bhadania, M., Tondak, N., Ajmera, P., Yadav, S., Kukreti, A., Kalra, S., & Ajmera, P. (2024). Effect of immersive virtual reality-based training on cognitive, social, and emotional skills in children and adolescents with autism spectrum disorder: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Res Dev Disabil*, *151*, 104771. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2024.104771>
- Muscari, A., Giannoni, C., Pierpaoli, L., Berzigotti, A., Maietta, P., Foschi, E., Ravaioli, C., Poggiopollini, G., Bianchi, G., Magalotti, D., Tentoni, C., & Zoli, M. (2010). Chronic endurance exercise training prevents aging-related cognitive decline in healthy older adults: a randomized controlled trial. *Int J Geriatr Psychiatry*, *25*(10), 1055-1064. <https://doi.org/10.1002/gps.2462>
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc*, *53*(4), 695-699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>
- Navarro-Ramos, C. D., Murataya-Gutiérrez, J., Acosta-Quiroz, C. O., García-Flores, R., & Echeverría-Castro, S. B. (2025). Effects of Cognitive Training with Virtual Reality in Older Adults: A Systematic Review. *Brain Sciences*, *15*(9), 910. <https://www.mdpi.com/2076-3425/15/9/910>
- Organisation mondiale de la Santé. (2016). *Rapport mondial sur le vieillissement et la santé*.
- Papp, K. V., Walsh, S. J., & Snyder, P. J. (2009). Immediate and delayed effects of cognitive interventions in healthy elderly: a review of current literature and future directions. *Alzheimers Dement*, *5*(1), 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2008.10.008>
- Park, D. C. (2000). The basic mechanisms accounting for age-related decline in cognitive function. In *Cognitive aging: A primer*. (pp. 3-21). Psychology Press.
- Park, D. C., & Bischof, G. N. (2013). The aging mind: neuroplasticity in response to cognitive training. *Dialogues Clin Neurosci*, *15*(1), 109-119. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2013.15.1/dpark>
- Park, J. H., Liao, Y., Kim, D. R., Song, S., Lim, J. H., Park, H., Lee, Y., & Park, K. W. (2020). Feasibility and Tolerability of a Culture-Based Virtual Reality (VR) Training Program in Patients with Mild Cognitive Impairment: A Randomized Controlled Pilot Study. *Int J Environ Res Public Health*, *17*(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph17093030>

- Park, J. S., Jung, Y. J., & Lee, G. (2020). Virtual Reality-Based Cognitive-Motor Rehabilitation in Older Adults with Mild Cognitive Impairment: A Randomized Controlled Study on Motivation and Cognitive Function. *Healthcare (Basel)*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/healthcare8030335>
- Parsons, T. D., & Barnett, M. (2019). Virtual Apartment-Based Stroop for assessing distractor inhibition in healthy aging. *Appl Neuropsychol Adult*, 26(2), 144-154. <https://doi.org/10.1080/23279095.2017.1373281>
- Paterson, D. H., & Warburton, D. E. (2010). Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 7, 38. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-38>
- Rebok, G. W., Ball, K., Guey, L. T., Jones, R. N., Kim, H. Y., King, J. W., Marsiske, M., Morris, J. N., Tennstedt, S. L., Unverzagt, F. W., & Willis, S. L. (2014). Ten-year effects of the advanced cognitive training for independent and vital elderly cognitive training trial on cognition and everyday functioning in older adults. *J Am Geriatr Soc*, 62(1), 16-24. <https://doi.org/10.1111/jgs.12607>
- Rizzo, A. S., & Kim, G. J. (2005). A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality Rehabilitation and Therapy. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(2), 119-146. <https://doi.org/10.1162/1054746053967094>
- Robillard, G., Bouchard, S., Renaud, P., & Cournoyer, L.G. (2002). Validation canadienne-française de deux mesures importantes en réalité virtuelle : l'Immersive Tendencies Questionnaire et le Presence Questionnaire. Communication par affiche présentée au 25e congrès de la Société Québécoise pour la Recherche en Psychologie (SQRP), Trois-Rivières, 1-3 novembre.
- Salthouse, T. A. (1994). The aging of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 535-543. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.4.535>
- Sánchez-Izquierdo, M., & Fernández-Ballesteros, R. (2021). Cognition in Healthy Aging. *Int J Environ Res Public Health*, 18(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph18030962>
- Sanjuán, M., Navarro, E., & Calero, M. D. (2020). Effectiveness of Cognitive Interventions in Older Adults: A Review. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 10(3), 876-898. <https://www.mdpi.com/2254-9625/10/3/63>
- Saredakis, D., Szpak, A., Birkhead, B., Keage, H. A. D., Rizzo, A., & Loetscher, T. (2020). Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis [Systematic Review]. *Frontiers in Human Neuroscience, Volume 14 - 2020*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>

- Sayma, M., Tuijt, R., Cooper, C., & Walters, K. (2020). Are We There Yet? Immersive Virtual Reality to Improve Cognitive Function in Dementia and Mild Cognitive Impairment. *Gerontologist, 60*(7), e502-e512. <https://doi.org/10.1093/geront/gnz132>
- Schättin, A., Arner, R., Gennaro, F., & de Bruin, E. D. (2016). Adaptations of Prefrontal Brain Activity, Executive Functions, and Gait in Healthy Elderly Following Exergame and Balance Training: A Randomized-Controlled Study. *Front Aging Neurosci, 8*, 278. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00278>
- Schubert, T. W., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (1999). Embodied Presence in Virtual Environments. Visual Representations and Interpretations,
- Shaw, J. S., & Hosseini, S. M. H. (2021). The Effect of Baseline Performance and Age on Cognitive Training Improvements in Older Adults: A Qualitative Review. *J Prev Alzheimers Dis, 8*(1), 100-109. <https://doi.org/10.14283/jpad.2020.55>
- Simon, S. S., Castellani, M., Belleville, S., Dwolatzky, T., Hampstead, B. M., & Bahar-Fuchs, A. (2020). The design, evaluation, and reporting on non-pharmacological, cognition-oriented treatments for older adults: Results of a survey of experts. *Alzheimers Dement (N Y), 6*(1), e12024. <https://doi.org/10.1002/trc2.12024>
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 364*(1535), 3549-3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 6*, 603-616.
- Snyder, H. R. (2013). Major depressive disorder is associated with broad impairments on neuropsychological measures of executive function: a meta-analysis and review. *Psychol Bull, 139*(1), 81-132. <https://doi.org/10.1037/a0028727>
- Sprague, B. N., Freed, S. A., Webb, C. E., Phillips, C. B., Hyun, J., & Ross, L. A. (2019). The impact of behavioral interventions on cognitive function in healthy older adults: A systematic review. *Ageing Res Rev, 52*, 32-52. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.04.002>
- Statistique Canada. (2022). *Portrait de la population croissante des personnes âgées de 85 ans et plus au Canada selon le Recensement de 2021*. (publication no 98-200-X). <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/as-sa/98-200-x/2021004/98-200-x2021004-fra.cfm>

- St-Hilaire, A., Hudon, C., Vallet, G., Bherer, L., Lussier, M., Gagnon, J.-F., Simard, M., Gosselin, N., Escudier, F., Rouleau, I., & Macoir, J. (2016). Normative data for phonemic and semantic verbal fluency test in the adult French–Quebec population and validation study in Alzheimer’s disease and depression. *The Clinical Neuropsychologist*, *30*, 1126-1150. <https://doi.org/10.1080/13854046.2016.1195014>
- Stanney, K., Lawson, B. D., Rokers, B., Dennison, M., Fidopiastis, C., Stoffregen, T., Weech, S., & Fulvio, J. M. (2020). Identifying Causes of and Solutions for Cybersickness in Immersive Technology: Reformulation of a Research and Development Agenda. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *36*(19), 1783-1803. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1828535>
- Stanney, K. M., & Hash, P. (1998). Locus of User-Initiated Control in Virtual Environments: Influences on Cybersickness. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, *7*(5), 447–459. <https://doi.org/10.1162/105474698565848>
- Stine-Morrow, E. A. L., Payne, B. R., Roberts, B. W., Kramer, A. F., Morrow, D. G., Payne, L., Hill, P. L., Jackson, J. J., Gao, X., Noh, S. R., Janke, M. C., & Parisi, J. M. (2014). Training versus engagement as paths to cognitive enrichment with aging. *Psychol Aging*, *29*(4), 891-906. <https://doi.org/10.1037/a0038244>
- Stirling, L. A., Lipsitz, L. A., Qureshi, M., Kelty-Stephen, D. G., Goldberger, A. L., & Costa, M. D. (2013). Use of a Tracing Task to Assess Visuomotor Performance: Effects of Age, Sex, and Handedness. *The Journals of Gerontology: Series A*, *68*(8), 938-945. <https://doi.org/10.1093/gerona/glt003>
- Straaten, P. v. d. (2000). INTERACTION AFFECTING THE SENSE OF PRESENCE IN VIRTUAL REALITY.
- Teixeira-Santos, A. C., Moreira, C. S., Magalhães, R., Magalhães, C., Pereira, D. R., Leite, J., Carvalho, S., & Sampaio, A. (2019). Reviewing working memory training gains in healthy older adults: A meta-analytic review of transfer for cognitive outcomes. *Neurosci Biobehav Rev*, *103*, 163-177. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.05.009>
- Thapa, N., Park, H. J., Yang, J. G., Son, H., Jang, M., Lee, J., Kang, S. W., Park, K. W., & Park, H. (2020). The Effect of a Virtual Reality-Based Intervention Program on Cognition in Older Adults with Mild Cognitive Impairment: A Randomized Control Trial. *Journal of clinical medicine*, *9*(5). <https://doi.org/10.3390/jcm9051283>
- Thomann, A. E., Berres, M., Goettel, N., Steiner, L. A., & Monsch, A. U. (2020). Enhanced diagnostic accuracy for neurocognitive disorders: a revised cut-off approach for the Montreal Cognitive Assessment. *Alzheimer's research & therapy*, *12*(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s13195-020-00603-8>

- Tobaiqi, M. A., Albadawi, E. A., Fadlalmola, H. A., & Albadrani, M. S. (2023). Application of Virtual Reality-Assisted Exergaming on the Rehabilitation of Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of clinical medicine*, *12*(22). <https://doi.org/10.3390/jcm12227091>
- Tremblay, P., Gagnon, L., Durand, E., & Macoir, J. (2025). Exploring Factors Affecting Verbal Fluency in Healthy Aging. *Ann N Y Acad Sci*, *1553*(1), 319-333. <https://doi.org/10.1111/nyas.70064>
- Tulliani, N., Bissett, M., Fahey, P., Bye, R., & Liu, K. P. Y. (2022). Efficacy of cognitive remediation on activities of daily living in individuals with mild cognitive impairment or early-stage dementia: a systematic review and meta-analysis. *Systematic reviews*, *11*(1), 156. <https://doi.org/10.1186/s13643-022-02032-0>
- Van der Linden, M., Wijns, C., von Frenckell, R., Coyette, F., & Seron, X. (1989). Un questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire (QAM).
- van Uffelen, J. G., Chin, A. P. M. J., Hopman-Rock, M., & van Mechelen, W. (2008). The effects of exercise on cognition in older adults with and without cognitive decline: a systematic review. *Clin J Sport Med*, *18*(6), 486-500. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181845f0b>
- Wang, L., Bolin, J., Lu, Z., & Carr, M. (2018). Visuospatial Working Memory Mediates the Relationship Between Executive Functioning and Spatial Ability [Original Research]. *Frontiers in Psychology*, *Volume 9 - 2018*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02302>
- Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review [Review]. *Frontiers in Psychology*, *Volume 10 - 2019*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale—Fourth Edition (WAIS-IV)*. Pearson.
- White, N., Flannery, L., McClintock, A., & Machado, L. (2019). Repeated computerized cognitive testing: Performance shifts and test-retest reliability in healthy older adults. *J Clin Exp Neuropsychol*, *41*(2), 179-191. <https://doi.org/10.1080/13803395.2018.1526888>
- Witmer, B. G., Jerome, C. J., & Singer, M. J. (2005). The factor structure of the presence questionnaire. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, *14*(3), 298–312. <https://doi.org/10.1162/105474605323384654>

- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225-240. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- Wolinsky, F. D., Vander Weg, M. W., Howren, M. B., Jones, M. P., & Dotson, M. M. (2013). A randomized controlled trial of cognitive training using a visual speed of processing intervention in middle aged and older adults. *PLoS One*, 8(5), e61624. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061624>
- World Health Organization. (2019). Risk Reduction of Cognitive Decline and Dementia: WHO guidelines. Repéré à https://www.who.int/mental_health/neurology/dementia/guidelines_risk_reduction/en/
- World Health Organization. (2021). Ageing and health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- Yu, J., Song, J., & Shen, Q. (2024). Effects of fully immersive virtual reality training on cognitive function in patients with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis [Systematic Review]. *Frontiers in Human Neuroscience, Volume 18 - 2024*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1467697>
- Zahorik, P., & Jenison, R. L. (1998). Presence as Being-in-the-World. *Presence*, 7, 78-89.
- Zajac-Lamparska, L., Wiłkość-Dębczyńska, M., Wojciechowski, A., Podhorecka, M., Polak-Szabela, A., Warchoń, Ł., Kędziora-Kornatowska, K., Araszkievicz, A., & Izdebski, P. (2019). Effects of virtual reality-based cognitive training in older adults living without and with mild dementia: a pretest-posttest design pilot study. *BMC Res Notes*, 12(1), 776. <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4810-2>
- Zhang, Q., Fu, Y., Lu, Y., Zhang, Y., Huang, Q., Yang, Y., Zhang, K., & Li, M. (2021). Impact of Virtual Reality-Based Therapies on Cognition and Mental Health of Stroke Patients: Systematic Review and Meta-analysis. *J Med Internet Res*, 23(11), e31007. <https://doi.org/10.2196/31007>
- Zhao, J., Zhang, X., Lu, Y., Wu, X., Zhou, F., Yang, S., Wang, L., Wu, X., & Fei, F. (2022). Virtual reality technology enhances the cognitive and social communication of children with autism spectrum disorder. *Front Public Health*, 10, 1029392. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1029392>