

**Université du Québec en Outaouais**

**Étude du fonctionnement mnésique et exécutif chez la personne âgée par le biais d'un  
outil utilisant la réalité virtuelle: Le Virtual Multitasking Test**

Essai doctoral

Présenté au

Département de psychoéducation et de psychologie

Comme exigence partielle du doctorat en psychologie,

Profil neuropsychologie clinique (D.Psy)

Par

© Julie Paré

10 juillet, 2018

## Composition du jury

### **Étude du fonctionnement mnésique et exécutif chez la personne âgée par le biais d'un outil utilisant la réalité virtuelle: Le Virtual Multitasking Test**

Par

Julie Paré

Cet essai doctoral a été évalué par un jury composé des personnes suivantes:

Hélène Forget, Ph.D, directrice de recherche, Département de psychoéducation et de psychologie, Université du Québec en Outaouais.

Stéphane Bouchard, Ph.D., examinateur interne et président du jury, Département de psychoéducation et de psychologie, Université du Québec en Outaouais.

Geneviève Forest, Ph.D., examinatrice interne, Département de psychoéducation et de psychologie, Université du Québec en Outaouais.

Frédéric Banville, Ph.D., examinateur externe, Département des sciences infirmières, Université du Québec à Rimouski.

## REMERCIEMENTS

Un énorme merci à ma directrice de recherche, Hélène Forget, sans qui cet essai doctoral n'aurait pas été possible. Grâce à ses deux doctorats ainsi qu'à sa grande expérience du monde universitaire, Hélène m'a beaucoup apporté. Elle m'a partagé ses connaissances théoriques, ses conseils pratiques, m'a encouragé et supporté tout au long de ce parcours sinueux. Je tiens également à remercier sincèrement Stéphane Bouchard, Frédéric Banville ainsi que toute l'équipe du Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO pour m'avoir grandement aidé à développer ma méthodologie, à réaliser la portion réalité virtuelle de mon essai, pour les nombreux dépannages et les précieux conseils.

Merci à Michel Roy pour m'avoir permis d'utiliser les locaux de la Clinique de Services Psychologiques de l'UQO afin de procéder le plus professionnellement possible à l'évaluation neuropsychologique des participants. Un merci particulier à Arianne Goulet et Samuel Dumont pour votre précieuse aide lors de la collecte de données.

Merci infiniment à mes parents, ma famille et mes ami(e)s pour leur soutien indéfectible. Vous avez su démontrer enthousiasme et intérêt pour mon projet lorsque je surfais sur les vagues du succès et de l'optimisme tout comme vous m'avez apporté encouragements et conseils, avec délicatesse et patience, lorsque je me trouvais dans le creux des vagues. Vous avez fait une ÉNORME différence.

Il va de soi que ce projet ne serait pas arrivé à terme sans la précieuse contribution des participants. Un gros merci pour votre implication et votre intérêt, j'ai passé un très agréable moment en votre compagnie. Finalement, merci aux membres de mon jury, Stéphane Bouchard, Frédéric Banville et Geneviève Forest, d'avoir accepté d'évaluer cet essai doctoral.

## RÉSUMÉ

Le développement d'outils d'évaluation aptes à révéler les difficultés relevant d'un déclin cognitif subtil est une priorité dans le contexte actuel de l'accélération du vieillissement démographique. La capacité à distinguer le vieillissement cognitif normal du vieillissement pathologique représente un atout majeur dans la prise en charge des patients en permettant l'introduction rapide de médication et de réhabilitation cognitive, deux interventions au maximum de leur efficacité en début de neurodégénérescence. Les épreuves neuropsychologiques classiques actuellement utilisées ne sont pas suffisamment sensibles ni suffisamment écologiques. Plusieurs protocoles d'évaluation en milieu réel ont été développés afin d'améliorer ces indices psychométriques. Toutefois, il est difficile de standardiser la passation de ce type de tests puisqu'ils ne se déroulent pas en laboratoire et sont soumis aux imprévus du monde réel. Ils nécessitent également plus de ressources (déplacement, ressources matérielles et financières) et peuvent présenter un risque à la sécurité des patients. Le Virtual Multitasking Test (V-MT) est un outil virtuel inspiré du Test à Errances Multiples qui aborde l'évaluation cognitive sous l'angle du multitasking. Une étude pilote a démontré qu'il est propice à l'évaluation de la mémoire épisodique et des fonctions exécutives chez les personnes âgées. Le but de cet essai était d'évaluer un plus grand nombre de participants, de comparer les résultats de cette première version du V-MT à ceux de tests neuropsychologiques classiques et de comparer les performances d'aînés en santé à celles de jeunes adultes. Un total de 43 participants (26 personnes âgées de 60 ans et plus, 17 adultes âgées entre 18 et 30 ans) ont pris part à l'étude. Les analyses corrélationnelles ont révélé très peu de liens entre certaines mesures de performance extraites du V-MT et les épreuves mnésiques et exécutives classiques. Les ANOVA simples ont révélé des différences significatives entre les personnes âgées et les jeunes adultes aux mesures de performance extraites du V-MT. Toutefois, il est difficile d'affirmer si les différences observées sont dues aux effets du vieillissement ou à l'utilisation des périphériques d'interactions plus laborieuses chez les sujets âgés. La continuation de l'amélioration du V-MT, qui en est maintenant à sa troisième version, pourrait permettre de résoudre les problèmes techniques, de réduire l'impact de l'utilisation des périphériques d'interactions et d'inclure des participants moins mobiles pour une meilleure représentativité de la population des aînés vieillissant normalement.

MOTS-CLÉS : vieillissement cognitif, évaluation neuropsychologique, qualités psychométriques, multitasking, réalité virtuelle.

## TABLES DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX .....	viii
LISTE DES FIGURES .....	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 .....	3
CONTEXTE THÉORIQUE.....	3
1.1 Les changements cognitifs dans le vieillissement normal.....	3
1.1.1 <i>Des changements variables</i> .....	3
1.1.2 <i>Les fonctions mnésiques</i> .....	7
1.1.3 <i>Les fonctions exécutives</i> .....	8
1.2 Les outils de mesure des changements cognitifs .....	11
1.2.1 <i>Évaluation neuropsychologique traditionnelle</i> .....	12
1.2.2 <i>Outils d'évaluation à vocation écologique</i> .....	15
1.2.2 <i>Évaluation neuropsychologique in situ</i> .....	17
1.3 La réalité virtuelle comme outil de mesure des changements cognitifs.....	23

1.3.1 Notions de base .....	24
1.3.2 Les avantages de la réalité virtuelle .....	25
1.3.3 Les désavantages de la réalité virtuelle .....	26
1.3.4 La réalité virtuelle et le vieillissement.....	27
1.3.5 Le Virtual Multitasking test.....	33
1.4 Buts et hypothèses de l'étude .....	36
CHAPITRE 2 .....	38
MÉTHODOLOGIE.....	38
2.1 Recrutement des participants .....	38
2.2 Mesures et procédures.....	39
2.2.1 Évaluation neuropsychologique.....	40
2.2.2 Évaluation en réalité virtuelle .....	44
2.3 Analyses de données .....	51
2.4 Éthique.....	52
CHAPITRE III .....	54
RÉSULTATS .....	54

3.1 Statistiques descriptives .....	54
3.2 Analyses préliminaires .....	55
3.3 Analyse 1: Corrélations entre les résultats aux épreuves neuropsychologiques et les indices de mesure du V-MT .....	57
3.4 Analyse 2: Comparaisons de groupes aux épreuves neuropsychologiques et aux indices de mesure du V-MT .....	75
CHAPITRE IV .....	83
DISCUSSION .....	83
4.1 Analyse 1: Corrélations entre les épreuves neuropsychologiques et le V-MT .....	83
4.2 Analyse 2: Comparaisons de groupes aux épreuves neuropsychologiques et au V-MT .....	87
4.3 Limites de l'étude et pistes futures .....	92
CONCLUSION .....	95
RÉFÉRENCES.....	96

## LISTE DES TABLEAUX

2.1	Comparaisons des différents indices de mesures du V-MT et des épreuves neuropsychologiques .....	51
3.1	Comparaisons sociodémographiques.....	54
3.2	Analyses préliminaires.....	56
3.3	Corrélations entre les scores du CVLT et les indices de mesure extraits du V-MT.....	58
3.4	Corrélations entre les scores du CVLT et les épreuves « maison » du V-MT	60
3.5	Corrélations entre les scores du LLT et les indices de mesure extraits du V-MT.....	62
3.6	Corrélations entre les scores du LLT et les épreuves « maison » du V-MT	63
3.7	Corrélations entre les scores du PRMQ et les indices de mesure extraits du V-MT.....	64
3.8	Corrélations entre les scores du PRMQ et les épreuves « maison » du V-MT	65
3.9	Corrélations entre les scores du WCST et les indices de mesure extraits du V-MT.....	67
3.10	Corrélations entre les scores du WCST et les épreuves « maison » du V-MT	68
3.11	Corrélations entre les scores du Stroop et les indices de mesure extraits du V-MT.....	69
3.12	Corrélations entre les scores du Stroop et les épreuves « maison » du V-MT	70
3.13	Corrélations entre les scores de la TOL et les indices de mesure extraits du V-MT.....	71
3.14	Corrélations entre les scores de la TOL et les épreuves « maison » du V-MT	73
3.15	Comparaisons de groupes aux épreuves exécutives classiques du WCST.....	77



3.16	Comparaisons de groupes aux épreuves exécutives classiques du test de Stroop	78
3.17	Comparaisons de groupes aux indices de mesure extraits du V-MT.....	80
3.18	Comparaisons de groupes aux épreuves « maison » du V-MT.....	82

## LISTE DES FIGURES

1.1	Plan du condo virtuel du V-MT.....	35
-----	------------------------------------	----

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

AVC	Accident vasculaire cérébral
AVQ	Activité de la vie quotidienne
CVLT	California Verbal Learning Test
FE	Fonctions exécutives
LLT	Location Learning Test
MA	Maladie d'Alzheimer
MP	Mémoire prospective
MR	Mémoire rétrospective
PRMQ	Prospective and Retrospective Memory Questionnaire
TOL	Tour de Londres
RV	Réalité virtuelle
TC	Traumatisme crânien
V-MT	Virtual Multitasking Test
WCST	Wisconsin Card Sorting Test

## INTRODUCTION

Le cerveau, comme tous les autres organes du corps humain, subira inévitablement le passage du temps. Le phénomène du vieillissement implique une multitude de changements qui affecteront la structure et le fonctionnement du cerveau. L'intégrité des fonctions cognitives sera alors compromise et un certain déclin sera noté (Bishop, Lu & Yankner, 2010). Bien qu'ils accompagnent parfois une pathologie, ces changements peuvent également survenir en l'absence de maladie. Dans le contexte actuel du vieillissement des populations nord-américaines, un des plus grands défis de la neuropsychologie clinique et du monde médical consiste à distinguer le vieillissement cognitif normal du vieillissement pathologique. Le diagnostic précoce des troubles cognitifs est en effet un atout majeur dans la prise en charge des patients puisqu'il permet l'introduction rapide de médication et de réhabilitation cognitive, qui sont toutes deux au maximum de leur efficacité en début de neurodégénérescence (Bier et al., 2015).

Dans ce contexte, il est donc primordial d'utiliser des outils psychométriques sensibles et valides, c'est-à-dire aptes à distinguer les difficultés relevant d'un subtil déclin pathologique du fonctionnement cognitif d'un déclin non pathologique lié au vieillissement. De plus, ces outils doivent présenter une valeur écologique en sollicitant les processus cognitifs par des tâches qui se rapprochent le plus possible de ce que les personnes âgées accomplissent dans leur quotidien. Ces outils devraient également permettre d'évaluer les différentes habiletés cognitives, non pas de façon isolée, mais lorsqu'elles travaillent de concert pour accomplir des tâches plus complexes.

C'est dans cette perspective que s'inscrit cet essai doctoral. Plus précisément, l'étude portera sur la détection de changements dans le fonctionnement de la mémoire épisodique et des fonctions exécutives (FE) au cours du vieillissement normal à l'aide du Virtual Multitasking Test (V-MT), ainsi que sur la comparaison des résultats obtenus avec cet outil virtuel à ceux obtenus lors d'une évaluation neuropsychologique standard afin d'explorer l'adéquation entre les mesures de performance extraites du V-MT et les fonctions cognitives qu'elles devraient mesurer. La première partie du contexte théorique portera sur un résumé des changements cognitifs observés lors du vieillissement normal. Ensuite, les outils de mesure du fonctionnement cognitif seront présentés et discutés, et suivra une présentation exhaustive de la réalité virtuelle comme outil de mesure des changements au niveau de la cognition.

## CHAPITRE 1

### CONTEXTE THÉORIQUE

#### **1.1 Les changements cognitifs dans le vieillissement normal**

Avec le vieillissement, des changements surviennent au sein des processus physiologiques du système nerveux central. Ces modifications ne surviennent pas de façon similaire à travers les différentes régions du cerveau. Plusieurs études volumétriques menées grâce à l'imagerie par résonance magnétique ont en effet permis de tirer un portrait d'ensemble et de démontrer que les régions antérieures sont les plus significativement touchées par les altérations liées au passage du temps (Raz et Rodrigue, 2006). Il est entendu que ces changements structuraux auront des répercussions au niveau du fonctionnement cognitif.

##### *1.1.1 Des changements variables*

Conséquemment au vieillissement différentiel des aires cérébrales, les fonctions cognitives ne connaissent pas les mêmes changements au fil du temps. Certaines se bonifient avec l'âge alors que d'autres demeurent stables ou déclinent plus ou moins rapidement. Soulignons tout d'abord la présence d'un ralentissement du traitement de l'information résultant en partie de la détérioration de la gaine de myéline nuisant à la vitesse de transmission de l'influx nerveux (Adrover-Roig, Sesé, Barceló et Palmer, 2012). Selon l'hypothèse du vieillissement alternatif de Salthouse (1996), la vitesse de traitement serait un facteur médiateur agissant globalement sur les

performances cognitives par le biais de deux mécanismes. Le mécanisme du temps limité affecte la qualité des informations traitées de façon sérielle puisque les opérations cognitives seraient exécutées trop lentement pour être entièrement réalisées dans le temps imparti (Lemaire et Behrer, 2005). Puisque les premières opérations sont effectuées trop lentement, il ne reste plus assez de temps pour la réalisation adéquate des dernières opérations. Le mécanisme de simultanéité affecte quant à lui la quantité et la qualité des informations disponibles pour un traitement plus élaboré. C'est-à-dire que certaines informations issues des mécanismes précoces seraient de moins bonne qualité ou simplement non disponible pour les prochaines étapes. Bref, selon le concept de ralentissement cognitif, les modules spécialisés auraient non seulement moins de temps pour traiter les informations provenant des processus de plus bas niveau, ils recevraient de plus une information de moindre qualité (Salthouse, 1996). Toutefois, la diminution de la vitesse de traitement n'aboutit pas à un déclin cognitif brutal ou total, mais entraînerait plutôt une réduction diffuse et progressive de l'efficacité des processus cognitifs (Lemaire et Behrer, 2005). Il est également important de mentionner que bien qu'un ralentissement soit bel et bien observé chez les aînés, l'hypothèse alternative du vieillissement ne parvient pas à expliquer toutes les modifications cognitives et comportementales (Calso, Besnard, Calò et Allain, 2015). Selon Calso et ses collègues (2015), l'hypothèse frontale du vieillissement fait presque l'unanimité chez les chercheurs puisqu'elle est, à ce jour, une des hypothèses les plus solides. En effet, les données empiriques de nombreuses études semblent indiquer que les fonctions cognitives associées à l'intégrité des lobes préfrontaux seraient les premières à se modifier avec le temps (Calso et al., 2015; West, 1996).

Selon Horn et Cattell (1966), le fonctionnement cognitif global se diviserait en deux grands facteurs, soit l'intelligence fluide et l'intelligence cristallisée. L'intelligence fluide représenterait la forme d'intelligence soutenant la résolution de problèmes et l'adaptation aux changements dans notre environnement. L'intelligence fluide se mesure par le biais d'activités de compréhension des relations entre de nouvelles informations de nature spatiale ou verbale, d'activités de construction et d'intégration visuospatiale, d'inférences et d'ajustement aux changements. L'intelligence fluide, tout comme la vitesse de traitement de l'information, est sensible aux effets de l'âge puisqu'elle nécessite une capacité à s'adapter rapidement et efficacement aux situations nouvelles en mobilisant une grande part des ressources attentionnelles. L'intelligence cristallisée est, quant à elle, liée à l'acquisition de connaissances générales, spécifiques et appliquées par le biais de l'éducation et des expériences de vie. À l'inverse de l'intelligence fluide, elle a tendance à se stabiliser ou à augmenter avec l'âge et l'expérience (Horn et Cattell, 1966; Cattell, 2004). Ainsi, le vocabulaire et les connaissances générales continueront à augmenter au fil des ans, tandis que les habiletés motrices (ex. : pratiquer un sport, tricoter, jouer d'un instrument de musique) ou cognitives (ex. : jouer aux cartes ou aux échecs, naviguer sur internet) déjà acquises demeureront intactes (Belleville et al., 2006; Salthouse, 2009).

Le concept de réserve cognitive a tout d'abord été proposé pour expliquer les différences individuelles lors de la progression de maladies neurodégénératives telle que la maladie d'Alzheimer (MA). En effet, les manifestations cliniques pour des lésions similaires ainsi que la progression des lésions peuvent varier considérablement d'un patient à l'autre (Stern, Albert,



Tang et Tsai, 1999). Ces variations peuvent en partie s'expliquer par des différences au niveau de la réserve cognitive. La réserve cognitive représente la capacité du cerveau mature à résister aux effets délétères d'une maladie ou de lésions cérébrales qui pourraient provoquer une démence chez des individus possédant moins de réserve (Whalley, Deary, Appleton et Starr, 2004). Elle est maintenant également utilisée pour expliquer les différences individuelles au cours du vieillissement normal. Selon Stern (2009), la réserve cognitive se divise en deux composantes : la réserve neuronale et la compensation neuronale. La réserve neuronale réfère à une composante anatomique telle que le volume du cerveau et le nombre de connexions neuronales et est à la base des différences individuelles au niveau du traitement cognitif. Les individus qui ont grandi dans un milieu stimulant, qui sont allés à l'école plus longtemps, qui ont eu un travail exigeant au niveau intellectuel et qui ont eu des activités stimulantes, ont une plus grande réserve. La compensation neuronale, quant à elle, réfère à la plasticité et aux changements dans les processus cognitifs qui se produisent afin de contourner les atteintes cérébrales. Autrement dit, lors de l'accomplissement d'une tâche particulière, le processus de compensation recrute des structures cérébrales ou des réseaux qui ne sont généralement pas sollicités dans un cerveau sain. L'individu parvient ainsi à accomplir la tâche, mais au détriment d'un ralentissement dans son exécution (Stern, 2009). L'un des exemples les plus parlants de compensation neuronale est celui de l'activation bilatérale des régions frontales lors d'une tâche d'encodage de matériel verbal chez les personnes âgées. Alors que le langage et l'encodage verbal sont des processus fortement latéralisés à gauche, de nombreuses études utilisant l'imagerie médicale ont montré que le lobe préfrontal droit s'active lors de l'encodage verbal chez les aînées alors que seul le gauche est activé chez les plus jeunes adultes (Buckner, 2004).

### *1.1.2 Les fonctions mnésiques*

Alors que la mémoire rétrospective (MR)– qui correspond à l'ensemble des souvenirs et des connaissances emmagasiné tout au long de la vie – demeure relativement stable, la mémoire prospective (MP) ainsi que l'efficacité des processus d'encodage et de récupération seront touchées par le vieillissement (Plancher, Nicolas et Piolino, 2008). En effet, plusieurs études réalisées en laboratoire et en milieu naturel ont voulu démontrer une différence entre les résultats aux tâches de MR et de MP. Les résultats indiquent de façon générale de plus grands déficits en MP qu'en MR avec l'âge (Cohen et al., 2001; MantyHi et Nilsson, 1997). Rappelons que la mémoire prospective réfère à la capacité à se rappeler une intention de faire quelque chose dans un avenir plus ou moins rapproché (Plancher et al., 2008). Il ne s'agit pas seulement de se souvenir du contenu de l'intention, mais aussi de ramener l'intention d'action au moment approprié et de l'effectuer (Cohen, West & Craik, 2001). En effet, les tâches de MP nécessitent de se souvenir d'effectuer une action lorsqu'on est absorbé par une autre tâche. La récupération de l'intention d'action requiert ainsi l'interruption de la tâche en cours et de faire un changement de focus attentionnel. Se souvenir d'acheter du vin pour le repas du samedi soir, d'aller chez le dentiste le mardi midi, de transférer une somme d'argent en vue d'un paiement ou de rendre un livre emprunté à la bibliothèque en temps voulu sont de bons exemples d'activités régies par la mémoire prospective. Plusieurs personnes âgées rapportent avoir appris à prendre des notes, à utiliser un calendrier, un agenda ou un téléphone cellulaire afin de répertorier leurs rendez-vous et activités afin d'éviter des oublis. Par ailleurs, de bonnes capacités mnésiques reposent sur un contrôle attentionnel rigoureux (Eysenck, Derakshan, Santos et Calvo, 2007) ainsi que sur de

bonnes stratégies d'encodage et de récupération en mémoire à long terme. La régulation attentionnelle, tout comme l'élaboration des stratégies mnésiques, reposent à leur tour sur l'intégrité des FE (Calso, Bernard et Allain, 2016).

### *1.1.3 Les fonctions exécutives*

La définition des FE ne fait pas l'unanimité (Godefroy et al., 2010; Calso et al., 2016). Toutefois la majorité des chercheurs s'accordent pour dire qu'il s'agit d'un concept large comprenant plusieurs sous-composantes telles que la planification stratégique, l'organisation, le maintien d'une séquence d'action en vue d'atteindre un but, le contrôle des impulsions et la flexibilité au niveau des pensées et des actions (Baron, 2004). Par ailleurs, le fonctionnement exécutif ne peut être dissocié de l'attention, de la mémoire de travail et de la vitesse de traitement de l'information. Il ne s'agirait donc pas d'un concept unitaire bien circonscrit. De plus, plusieurs chercheurs considèrent que la résolution de problème, la compréhension et la régulation du comportement social, l'adaptation à la nouveauté et l'exécution de tâches concurrentes (le multitasking) font également parties intégrantes des FE (Raspelli et al., 2009; Shallice et Burgess, 1991). Le multitasking représente l'un des aspects les plus évolués du fonctionnement cognitif humain. La notion de multitasking retenue dans cet essai correspond à la conceptualisation de Burgess, Veitch, Lacy Costello et Shallice (2000). Ces chercheurs considèrent le multitasking comme étant l'accomplissement d'une succession ou d'une superposition de tâches (multiple tasks). Le multitasking implique l'accomplissement de plusieurs tâches interreliées et sollicite les FE ainsi que la mémoire prospective (Burgess et al., 2000).

Bien que le fonctionnement exécutif soit principalement soutenu par les lobes préfrontaux, une multitude de projections afférentes et efférentes, corticales et sous-corticales, les relie à la majorité des systèmes cérébraux (Alexander, DeLong et Strick, 1986; Cummings, 1985). Le cortex préfrontal reçoit, entre autres, des informations du système limbique faisant de lui une interface entre cognition et émotion en plus de lui permettre de s'impliquer dans le fonctionnement de la mémoire et dans la régulation attentionnelle. Il reçoit aussi des informations de l'environnement externe par les aires sensorielles associatives temporales, pariétales et occipitales, ce qui permet un traitement élaboré et une réponse appropriée aux stimuli environnementaux (Alexander et al., 1986; Cummings, 1985). Bref, selon Greenwood (2000), les FE sont au sommet d'un traitement cognitif hiérarchique et assurent le fonctionnement optimal des autres fonctions cognitives.

Les études démontrant un lien entre l'âge et les difficultés exécutives s'accumulent (Adrover-Roig et al, 2012). Puisque les lobes préfrontaux sont particulièrement sensibles aux effets de l'âge, ils seraient les premiers à subir des altérations au niveau de leur fonctionnement (Greenwood, 2000; Gunstad, Cohen, Paul, Luyster et Gordon, 2006). Comme mentionné précédemment, l'intégrité de la mémoire rétrospective est relativement préservée au fil du vieillissement normal. Les difficultés mnésiques rapportées par les personnes âgées reposeraient davantage sur une baisse des capacités attentionnelles et sur l'utilisation de stratégies d'encodage et de récupération moins efficaces et superficielles telles que la primauté et la récence des

informations plutôt que le regroupement sémantique et l'imagerie mentale (Adrover-Roig et al., 2012).

L'effet de l'âge sur la capacité de résolution de problème et la prise de décision est mitigé. Effectivement, certaines études démontrent un effet significatif du vieillissement alors que d'autres ne révèlent aucune différence (Li, Baldassi, Johnson et Weber, 2013). Par exemple, des chercheurs ont observé un déclin des capacités décisionnelles aux tâches de gambling tel que le Iowa Gambling Task (IGT). Plus précisément, les participants âgés étaient plus vulnérables à la tromperie (Finucane, Mertz, Slovic et Schmidt, 2005; Kim, Goldstein, Hasher et Zacks, 2005), avaient plus de difficulté à appliquer les règles décisionnelles (Bruine de Bruin, Parker et Fischhoff, 2007) et à faire le meilleur choix lorsque les options s'additionnent (Besedes, Deck, Srangi et Shor, 2012), et présentaient un excès de confiance (Crawford et Stankov, 1996). Toutefois, d'autres chercheurs ont observé une absence d'effet lié à l'âge (Mayhorn, Fisk et Whittle, 2002; Damasio, 1994), voir même un effet bénéfique de l'âge sur la prise de décision aux tâches de gambling (Kovalchik, Camerer, Grether, Plott et Allman, 2005; Strough, Metha, McFall et Schuller, 2008). Finalement, certaines études rapportent une relation curvilinéaire entre l'âge et les habiletés décisionnelles, positionnant les adultes d'âge moyen au sommet de leurs capacités tout en étant plus patients et faisant moins d'erreurs (Agarwal, Driscoll, Gabaix et Laibson, 2009). De façon générale, il semblerait que le temps alloué à la réflexion ainsi que la quantité et la complexité des informations à prendre en compte pour résoudre un problème ou prendre une décision seraient deux facteurs cruciaux modulant la performance des aînés (Li et al., 2013).

## 1.2 Les outils de mesure des changements cognitifs

Parmi les défis auxquels fait face le neuropsychologue clinicien, l'émission d'un diagnostic différentiel ainsi que la prédiction en regard des capacités fonctionnelles de la personne dans ses activités quotidiennes sont certainement les plus sensibles. À titre d'exemple, la plainte la plus fréquemment rapportée lors d'une consultation neuropsychologique est la baisse d'efficacité des capacités mnésiques. Les personnes âgées se plaignent souvent d'oublier toutes sortes de choses. Voici quelques exemples de ce qu'elles peuvent rapporter : se déplacer quelque part dans un but précis et oublier ce dernier une fois sur place, oublier le nom d'une personne ou un mot spécifique lors d'une conversation, oublier d'honorer un engagement s'il n'est pas inscrit à l'agenda, ne plus se rappeler où sont les clés ou du sujet de la conversation banale tenue avec le voisin le jour précédent. En questionnant davantage, ces personnes rapportent habituellement une fatigue mentale qui se manifeste plus rapidement lors d'activités cognitives intenses, une difficulté à demeurer concentré ainsi qu'une certaine lenteur lors de résolutions de problèmes et de prises de décisions (Lemaire et Behrer, 2005). Le défi du neuropsychologue est alors de distinguer entre un vieillissement cognitif normal ou pathologique, tel qu'un trouble cognitif léger ou une démence. De plus, puisque les résultats de l'évaluation cognitive sont souvent pris en compte par le médecin soignant avant de se prononcer sur la prescription d'un médicament (ex. : inhibiteur de l'acétylcholinestérase), sur le niveau d'autonomie ou sur la capacité du patient à conduire un véhicule motorisé, le recours à des outils psychométriques fidèles, valides et sensibles est primordial.

### *1.2.1 Évaluation neuropsychologique traditionnelle*

L'évaluation neuropsychologique traditionnelle est menée à l'aide de tests de type papier-crayon qui sont validés, normalisés et standardisés dans des conditions expérimentales différentes des conditions de la vie de tous les jours (Manchester, Priestley et Jackson, 2004; Burgess et al., 2005). Bien que ces caractéristiques leur donnent une apparence artificielle, ces tests sont néanmoins couramment utilisés auprès d'une clientèle variée et sont très utiles afin d'établir le potentiel cognitif des individus (Parsons, Rizzo, Zaag, McGee et Buckwalter, 2005). Ils permettent de détecter les forces et les faiblesses afin de comprendre le fonctionnement cognitif et d'identifier des pistes de rééducation et des modifications environnementales lorsque nécessaire (Lewis, Babbage et Leathem, 2011). Le déclin cognitif étant variable d'un individu à l'autre et la manifestation de ce déclin s'exprimant différemment selon les circonstances, il est important d'utiliser des outils psychométriques suffisamment exigeants, sensibles et discriminants afin de déceler les subtilités dans les niveaux de performances.

Les qualités psychométriques des outils classiques, dont la validité écologique, sont actuellement remises en question par la communauté scientifique (Burgess et al., 2006; Nolin, Banville, Cloutier et Allain, 2013). En effet, la validité écologique (degré avec lequel les résultats obtenus à un test dans un contexte d'évaluation standardisé sont corrélés aux situations de la vie courante) et la vérisimilitude (capacité d'un test à reproduire les mêmes demandes cognitives que celles sollicitées dans la vie quotidienne) des outils neuropsychologiques traditionnels sont considérées comme étant faibles (Frazen et Wilhelm, 1996). Ceci serait dû à l'insuffisance des liens entre les résultats aux épreuves administrées dans un lieu isolé et le fonctionnement de la personne au quotidien (Frazen et Wilhelm, 1996). Selon Burgess et ses

collègues (2006), les outils traditionnels de première génération ont été développés en tenant compte de la validité de construit en lien avec les modèles issus de la psychologie cognitive. Bien qu'ils soient utiles dans un contexte expérimental, ils ne sont pas idéaux dans un contexte clinique. La validité écologique des épreuves traditionnelles évaluant les FE est de faible à modérée, variant entre  $r \leq 0,24$  et  $r \leq 0,50$  (Lewis, Babbage et Leathem, 2011). En plus de mesurer des habiletés dans un environnement artificiel, rares sont les outils classiques, de première génération, qui permettent à l'individu de s'organiser et de planifier de lui-même les actions à accomplir et l'ordre dans lequel elles doivent l'être, comme c'est le cas dans la vie de tous les jours (Shallice et Burgess, 1991).

Précisons tout de même que les épreuves neuropsychologiques mesurant les habiletés exécutives peuvent prédire le fonctionnement des individus dans la vie de tous les jours, tel que mesuré par l'Échelle d'Activités Instrumentales de la Vie Courante (IADL)<sup>1</sup> (Boyle, Paul, Moser et Cohen, 2004; Royall, Palmer, Chiodo et Polk, 2005). Toutefois, le pourcentage de variance de l'IADL expliqué par ces tests dépassent rarement 33% (Karzmark, Llanes, Tan, Deutsch et Zeifert, 2012). Dans le même ordre d'idée, Burgess et ses collègues (2006) ont eu peine à identifier une situation de la vie de tous les jours qui mobilise les habiletés exécutives telles que mesurées par le Wisconsin Card Sorting Test (WSCT). Ce test, couramment utilisé lors d'une évaluation neuropsychologique clinique évaluée, d'une façon qui est bien loin des situations de la vie courante, l'habileté d'une personne à résoudre des problèmes sans instructions précises

---

<sup>1</sup> Instrumental Activities of Daily Living (IADL)



et à s'adapter aux changements implicites de règles (Heaton, Chelune, Talley, Kay et Curtiss, 1993). Ainsi, les épreuves classiques ne fournissant qu'une portion incomplète du véritable profil cognitif, un trouble modeste ou même modéré peut certainement passer inaperçu (Parson et Rizzo, 2008; Karzmark et al., 2012).

De plus, le profil cognitif tracé par ces outils manque de sensibilité et ne nous informe pas toujours sur le mode d'interaction entre les différentes fonctions. Ils les considèrent souvent comme des entités ou des modules séparés tout en ne mesurant qu'une seule variable à la fois et en omettant les interactions (Dawson et al., 2009; Parson et Rizzo, 2008; Plancher et al., 2008). Un tel profil cognitif ne nous permet pas d'avoir une image précise du fonctionnement de la personne dans la vie de tous les jours (Parsons et al., 2005). Par exemple, une performance obtenue à une épreuve mnésique dans un contexte d'évaluation optimale comprenant des instructions claires, un évaluateur avenant ainsi qu'un environnement calme et propice à la concentration peut minimiser ou masquer un déficit mnésique qui serait par ailleurs apparent lors de tâches peu structurées et en présence de distracteurs provenant d'environnements complexes (Bottari, Dassa, Rainville et Dutil, 2009). Selon Le Thiec et ses collègues (1999), les tâches mesurant les FE sont presque entièrement initiées par l'examineur en plus de devoir être réalisées dans un délai restreint. Selon ces chercheurs, cette façon de faire va dans le sens contraire de la nature même des FE et le haut niveau d'encadrement propre aux mesures traditionnelles explique en partie le manque de corrélation entre les résultats aux tests exécutifs et les troubles cognitifs se manifestant dans la vie réelle parsemée d'imprévus (Le Thiec et al., 1999).

### *1.2.2 Outils d'évaluation à vocation écologique*

Afin de reproduire de façon plus réaliste et de mesurer plus adéquatement les interactions entre les différentes fonctions, il importe d'avoir recours à des évaluations neuropsychologiques comportant un accent particulier sur la validité écologique. Certains tests traditionnels ont été développés dans cette perspective. En effet, les outils de deuxième génération, développés en considérant la fonction plutôt que le construit, font partie d'une génération d'outils plus avancés mesurant des performances exécutives dans un contexte plus près de la vie de tous les jours (Burgess et al., 2006). Ces tests ont contribué au renouveau de la neuropsychologie clinique et représentent une sorte de pont entre les épreuves de type papier et crayon et les épreuves réalisées dans les milieux de vie (Dawson et al., 2009; Le Thiec et al., 1999). Le Test de Mémoire Comportemental de Rivermead<sup>2</sup> (RBMT), qui consiste à détecter des problèmes mnésiques survenant dans la vie quotidienne, le Test du Plan du Zoo<sup>3</sup> dans lequel le participant doit faire appel à ses habiletés de planification en créant son itinéraire de visite au zoo en ajoutant graduellement des contraintes, et le Test des Six Éléments<sup>4</sup> (SET) qui évalue à la fois la planification, la gestion du temps et de la performance en exigeant des participants qu'ils accomplissent six différentes tâches dans un temps restreint, sont trois exemples d'épreuves neuropsychologiques plus écologiques permettant un contexte d'évaluation moins structuré

---

<sup>2</sup> Rivermead Behavioral Memory Test

<sup>3</sup> Zoo Map Test

<sup>4</sup> Six Elements Test

(Dawson et al., 2009; Rand, Rukan, Weiss et Katz, 2009). Néanmoins, ces tests présentent une vérisimilitude plus faible que les outils d'évaluation *in situ* puisqu'ils sont moins près de la vie quotidienne. De plus, ces épreuves se déroulent dans un environnement exempt des distractions couramment rencontrées dans les activités quotidiennes (ex. : présence d'une autre personne accomplissant ses propres tâches, appels téléphoniques, bruit de téléviseur ou de radio, animal de compagnie, etc.) et qui ajoutent un degré de difficulté à la réalisation adéquate de celles-ci (Burgess et al., 2006; Plancher et al., 2008). Par exemple, un groupe de chercheurs (Spikman, Boelen, Lamberts, Brouwer et Fasotti, 2010) n'a pas montré de différences entre un groupe de participants ayant des lésions cérébrales acquises et un groupe témoin au moyen de mesures traditionnelles. Ces mesures comprenaient la batterie complète d'Évaluation Comportementale du Syndrome Dysexécutif (BADS)<sup>5</sup>, le test du Stroop<sup>6</sup>, la Tour de Londres<sup>7</sup> (TOL), le Test de Traçage de Pistes A et B<sup>8</sup> (TMT) et le Test des 15 mots de Rey<sup>9</sup> (RAVLT). Toutefois, les chercheurs ont pu observer des différences significatives entre les groupes en utilisant des outils fonctionnels permettant de mesurer la présence de symptôme dysexécutif dans la vie quotidienne. Un outil se définit comme fonctionnel lorsqu'il permet de mesurer le fonctionnement d'une personne dans la vie de tous les jours (Farias et al., 2013). Ces outils

---

<sup>5</sup> Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome

<sup>6</sup> Stroop test (1935)

<sup>7</sup> Tower of London

<sup>8</sup> Trail Making Test A & B

<sup>9</sup> Rey Auditory Verbal Memory Test

incluaient le Questionnaire Dysexécutif<sup>10</sup> (DEX), l'Échelle d'observation exécutive<sup>11</sup> (EOS) et le questionnaire Qualité de Vie après un Traumatisme Crânien<sup>12</sup> (QOLIBRI). Les résultats démontreraient la nécessité d'évaluer les FE selon une approche écologique.

### 1.2.2 *Évaluation neuropsychologique in situ*

Afin de contourner les problèmes de sensibilité et de validité écologique associés aux épreuves neuropsychologiques traditionnelles, plusieurs chercheurs ont proposé des méthodes d'évaluation standardisées *in situ* destinées à mesurer la mémoire prospective et les FE. Ces évaluations se déroulent dans un environnement et un contexte réalistes représentant bien la vie réelle et permettent une mesure plus précise des habiletés cognitives (Robertson et Schmitter-Edgecombe, 2017). Certaines de ces tâches s'intéressent aux aptitudes professionnelles, d'autres au fonctionnement dans un lieu public ou à la maison.

Une première série de tâches mesurent des aptitudes professionnelles chez des participants souffrant d'un traumatisme crânien (TC), d'un accident vasculaire cérébral (AVC) ou d'un autre trouble dysexécutif (Robertson et al., 2017). Le Complex Task Performance Assessment (CTPA), développé par Wolf, Morrison et Matheson (2008), simule un environnement de travail

---

<sup>10</sup> Dysexecutive Questionnaire

<sup>11</sup> Executive Observation Scale

<sup>12</sup> Quality of Life after Brain Injury

de bureau au cours duquel les participants doivent accomplir une série de tâches de façon efficace, c'est-à-dire en étant précis et organisés. Ces chercheurs ont démontré que le CTPA est en mesure de bien discriminer le groupe expérimental (AVC) du groupe contrôle bien que les mesures de performance n'étaient pas associées aux épreuves neuropsychologiques standards (Wolf et al., 2008). Le Executive Secretarial Task (EST) est un test d'une durée de 3 heures qui simule également un travail de bureau. Il mesure la prise d'initiative, la mémoire prospective et les FE (Lamberts, Evan et Spikeman, 2010). Les tâches à accomplir incluent de calculer des amendes, créer un tableau d'inventaire, préparer une feuille de commande et choisir un restaurant apte à recevoir les employés de la compagnie. L'EST est une mesure sensible aux déficits qui surviennent suite à un AVC ou un TC en plus d'être associé à d'autres mesures du fonctionnement exécutif (Lamberts et al., 2010). Le Goal Processing Scale (GPS) se déroule dans un vrai bureau. Les sujets doivent planifier et exécuter une tâche incluant la compilation et la comparaison de données à propos de différentes activités, et ce tout en suivant des règles spécifiques. Les mesures de performances du GPS corrélaient également avec des épreuves exécutives traditionnelles (Novakovic-Agopian et al., 2014). Finalement, dans le Simulated College Environment (SCE), les sujets doivent apprendre et retenir du matériel académique de niveau collégial. Cette tâche sollicite ainsi l'organisation du matériel à apprendre, l'utilisation de stratégies d'encodage et de récupération adéquates ainsi qu'une bonne gestion des ressources attentionnelles chez 3 des sujets atteints d'un TC (MacLennan et MacLennan, 2008). Les chercheurs ont rapporté que le protocole de réhabilitation était efficace puisque deux ans après le SCE, deux des sujets étaient inscrits à temps plein dans un collège alors que le troisième avait un emploi régulier. Toutefois, il s'agit d'un bien petit échantillon et il est difficile de tirer de telles conclusions (Robertson et al., 2017).

Un autre aspect du bon fonctionnement cognitif est la capacité à effectuer des tâches de la vie quotidienne, incluant les tâches ménagères. Certaines des tâches développées dans cette optique se déroulent au domicile des sujets alors que pour d'autres il s'agit d'un appartement universitaire. Toutefois, elles ont toutes en commun de permettre de discriminer entre un groupe expérimental souffrant d'un TC, AVC, trouble cognitif léger ou d'une démence d'un groupe expérimental (adultes ou aînés en bonne santé). Parmi les épreuves qui se déroulent à domicile notons l'Échelle d'Activités Instrumentales de la Vie Courante<sup>13</sup> (IADL) qui évalue la performance lors de la réalisation d'activités quotidiennes plus ou moins complexes (ex. : cuisiner, gérer les finances et les médicaments) (Law, 1993). L'Évaluation des Habiletés Motrices et Opératoires<sup>14</sup> (AMPS) est une autre tâche se déroulant au domicile des sujets. Il se base sur l'IADL tout en étant moins sensible au sexe des participants. En effet, les participants peuvent choisir parmi 125 tâches celles avec lesquelles ils sont familiers. De plus, chacune de ces tâches est calibrée (elles exigent toutes les mêmes ressources) et le résultat est ajusté en fonction du niveau de difficulté (Duran et Fisher, 1996). Les tâches qui suivent se déroulent toutes dans un appartement universitaire. Le Apartment Map Task (Amap) consiste à effectuer efficacement une liste de tâches domestiques tout en collectant des informations en vue de répondre à des questions (Sanders & Schmitter-Edgecombe, 2012; Sanders, Low et Schmitter-Edgecombe, 2014). Le Day Out Task (DOT) consiste à réaliser des activités de la vie quotidienne en vue de préparer une journée à l'extérieur de la maison. En plus de l'efficacité, elle

---

<sup>13</sup> Instrumental Activities of Daily Living

<sup>14</sup> Assessment of Motor and Process Skills

mesure également la mémoire rétrospective (Schmitter-Edgecombe, McAlister et Weakley, 2012). Le Eight Instrumental Activities of Daily Living (8IADLs) est composé de 8 tâches de la vie quotidienne, simples et complexes, se basant sur le mode de vie des participants (Schmitter-Edgecombe, Parsey et Cook, 2011).

D'autres protocoles d'évaluation en milieu réel mettent en scène une cuisine. Cuisiner peut être une tâche plutôt complexe nécessitant plusieurs ressources cognitives. Le Rabideau Kitchen Evaluation – Revised (RKE-R) (Yantz, Johnson-Greene, Higginson et Emmerson, 2010) consiste à préparer un sandwich et une boisson chaude. Il s'agit d'une tâche plutôt simple dont les résultats corrélerent avec les performances en mémoire verbale, l'attention, les habiletés visuospatiales et les FE (Yantz et al., 2010); elle est utilisée surtout pour les AVC. Un groupe de chercheurs a développé une tâche similaire auprès d'une clientèle TC. Les sujets devaient cuire un gâteau et préparer une omelette pour deux personnes. Les résultats ont permis de démontrer que le groupe expérimental avait de la difficulté puisque les participants du groupe faisaient plus d'erreurs, ont pris plus de temps pour la préparation du repas et avaient des comportements plus dangereux (Chevignard, Catroppa, Galvin et Anderson, 2010). Le Kitchen Task Assessment consiste à cuisiner un pouding à partir d'un emballage commercial. La performance tient compte de la quantité de directives et d'assistance fournies aux participants, et corréle avec certaines échelles de démence (Baum et Edwards, 1993).

Parmi les protocoles développés afin d'évaluer les performances exécutives lorsque les sujets errent dans un lieu public, il y a la Tâche de Bibliothèque Réelle (RLT)<sup>15</sup> qui a été développée par Renison et ses collègues (2012). Il s'agit d'un outil d'évaluation en milieu réel se déroulant dans la bibliothèque d'un hôpital et au cours duquel des sujets atteints d'un TC doivent trouver le moyen le plus logique et efficace de compléter la liste des choses à faire. Ainsi, ils doivent distribuer des livres, trouver un moyen alternatif de refroidir la bibliothèque lorsqu'ils constatent que l'air climatisé ne fonctionne pas, photocopier un document de 3 pages en utilisant seulement 2 feuilles de papier, brancher 3 appareils à l'aide d'une seule prise électrique à 2 branchements, etc. Les participants doivent donc planifier, faire preuve de flexibilité en s'adaptant aux contraintes et s'assurer d'être le plus efficace possible en optimisant le temps qui leur est alloué (Renison, Ponsford, Testa, Richardson et Brownfield, 2012). Le Test à Errances Multiples<sup>16</sup> (TEM) est certainement le plus connu. Il est considéré comme le prototype d'un test permettant d'évaluer les FE en milieu réel (Dawson et al., 2009). Il a été créé en 1991 par Shallice et Burgess. Ce test se déroule dans un quartier commerçant inconnu du participant, à l'intérieur duquel il doit réaliser 8 tâches plus ou moins complexes tout en respectant un certain nombre de règles. Parmi ces tâches, 6 sont plutôt simples (ex. : acheter du pain) alors que les deux dernières sont plus complexes. La 7<sup>e</sup> tâche fait appel à la mémoire prospective en demandant au sujet de se rendre à un rendez-vous exactement 15 minutes après le début du TEM et la 8<sup>e</sup> tâche consiste à obtenir 4 renseignements spécifiques et à les compiler sur une carte

---

<sup>15</sup> Real Library Task

<sup>16</sup> Multiple Errand Test



postale. Les règles à respecter tout au long du test sont de dépenser le moins d'argent possible, d'accomplir les tâches le plus rapidement possible, de ne pas entrer dans un magasin si aucun achat n'y est prévu, de remettre le reçu de caisse à l'expérimentateur à la sortie du magasin et de ne pas sortir du secteur autorisé (Shallice et Burgess, 1991). En somme, le TEM fournit un environnement permettant une évaluation quantifiable se rapprochant des situations complexes de la vie courante (Le Thiec et al., 1999). En effet, l'exécution des tâches exige l'élaboration d'une planification, la mise en place de stratégies adéquates, l'inhibition des actions inappropriées et la gestion du temps. Le sujet décide lui-même de l'ordre dans lequel il effectue les tâches en plus de devoir interagir à de nombreuses reprises avec l'environnement, ce qui nécessite une adaptation comportementale (Shallice et Burgess, 1991). Le TEM permet donc d'avoir une bonne vue d'ensemble du fonctionnement exécutif (Le Thiec et al., 1999).

D'autres versions du TEM ont été développées afin d'adapter la méthode à certaines clientèles particulières. Le TEM version centre d'achats (MET-SV d'Alderman, Burgess, Knight, et Henman, 2003) permet d'éviter certains risques liés à la sécurité tout en diminuant certains impondérables (météo, bruit de la circulation, présence d'animaux, etc.). La version-hôpital (MET-HV de Knight, Alderman, et Burgess, 2002) présente une simplification des règles et des tâches et permet d'évaluer les patients plus lourdement touchés, ou à un stade plus précoce de leur rétablissement, tout en demeurant à l'intérieur des murs de l'hôpital (Dawson, 2009).

Comme mentionné précédemment, le TEM présente plusieurs avantages. Ses principales forces méthodologiques incluent son réalisme et sa validité écologique par la présentation de tâches plausibles qui s'administrent dans le quotidien de la personne et qui requièrent que celle-

ci organise son plan d'action tout en gérant les imprévus (Burgess et al., 2006). De plus, il met l'accent sur le multitasking en obligeant le participant à gérer plusieurs tâches concurrentes ce qui l'amène à prioriser certaines d'entre elles et à s'organiser afin d'être le plus efficace possible. Il permet ainsi d'évaluer le processus de planification et de prise de décision du participant. Néanmoins, il présente également certains inconvénients. Nonobstant le fait qu'il nécessite un budget afin que le participant puisse effectuer ses achats, ou la mobilisation de personnel en milieu clinique, le plus grand inconvénient du TEM est son incapacité à gérer les imprévus. Plus précisément, les imprévus de nature sociale sont les plus difficiles à contrôler. Les personnes directement ou indirectement impliquées dans les interactions avec le participant peuvent teinter et modifier les paramètres de l'étude de plusieurs façons (attitudes, langage verbal et non-verbale, etc.). Ceci rend la standardisation de la tâche plutôt difficile, car il est presque impossible de répéter exactement les mêmes conditions de celle-ci avec chacun des participants (Rizzo, Schultheis, Kerns et Mateer, 2004).

### **1.3 La réalité virtuelle comme outil de mesure des changements cognitifs**

L'évaluation neuropsychologique en réalité virtuelle (RV) a été vue par plusieurs chercheurs comme une opportunité de recréer des situations de la vie quotidienne tout en permettant de contrôler étroitement les paramètres expérimentaux, et donc, de travailler avec des tests écologiques et mieux standardisés (Plancher et al., 2008). Bien que de plus en plus de travaux portent sur l'évaluation neuropsychologique en RV, il s'agit encore d'un nouveau champ d'études prometteur pouvant permettre une grande avancée au niveau des connaissances, de

l'évaluation et de la prise en charge des fonctions cognitives (Banville, Nolin, Cloutier et Bouchard, 2007).

### *1.3.1 Notions de base*

Le terme RV aurait été utilisé pour la première fois en 1986 par Jaron Lanier (Plancher et al., 2008). La RV aurait tout d'abord été utilisée en médecine pour simuler des intubations ou procéder à des laparoscopies ainsi que dans le domaine de l'aérospatiale et dans les forces armées à des fins de formation (Côté et Bouchard, 2006). Vers le milieu des années 1990, elle aurait été utilisée pour la première fois en psychologie en tant qu'outil de traitement pour les troubles phobiques en permettant une exposition virtuelle graduelle (Côté et Bouchard, 2006).

La RV aurait comme but premier de permettre à une personne de vivre une activité sensorimotrice et cognitive dans un monde artificiel et numérique qui peut être imaginaire, symbolique ou qui peut simuler un milieu réel (Fuchs, Moreau, Berthoz et Vercher, 2006). La personne immergée dans un environnement virtuel perçoit l'évolution de ce monde ainsi que les différents éléments qu'il contient tout en interagissant avec ceux-ci via les commandes reçues par les dispositifs électroniques (ex. : un déplacement du casque d'immersion vers la gauche sera capté par les détecteurs et le point de vue virtuel du sujet sera ajusté en conséquence) (Plancher et al., 2008). Les participants sont immergés dans un environnement virtuel à l'intérieur duquel ils contrôlent leurs déplacements et progressent un peu comme dans un jeu vidéo. En se sentant ainsi impliqués et, jusqu'à un certain point (selon les environnements), maîtres de leurs faits et gestes, ils peuvent ressentir un véritable sentiment de présence. En 2004, Hoffmann a démontré

que le sentiment de présence peut permettre aux participants de croire qu'ils évoluent réellement dans le monde virtuel. Par exemple, des grands brûlés ayant été immergés dans un environnement virtuel à l'intérieur duquel ils volaient dans un monde glacé ont pu oublier, le temps de l'expérience, le sentiment de brûlure qui les suit continuellement. La qualité immersive d'un monde virtuel permet donc au participant de déplacer son attention du monde réel au monde virtuel et de créer le sentiment de présence (Plancher et al., 2008).

### *1.3.2 Les avantages de la réalité virtuelle*

La RV est de plus en plus reconnue pour sa validité écologique (Parson, Silva, Pair et Rizzo, 2008). Plusieurs chercheurs estiment également qu'elle permet une évaluation des FE avec une meilleure sensibilité que l'évaluation *in situ* (Rand et al., 2009; Parsons, 2011). La RV est maintenant utilisée dans l'évaluation de différents processus cognitifs. Dans leur méta-analyse, Negut, Matu, Sava et David (2016) ont recensé 18 études quasi-expérimentales mesurant différents processus cognitifs chez un groupe expérimental et un groupe témoin. Les chercheurs ont inclus des études menées auprès d'enfants, d'adolescents, d'adultes et d'aînés. Les participants des groupes expérimentaux des différentes études souffraient d'un déficit de l'attention, d'un TC, d'un neurofibromatose ou de schizophrénie et les chercheurs mesuraient le fonctionnement mnésique, exécutif et/ou le traitement visuospatial. Ils ont constaté que la RV était suffisamment sensible, dans la majorité des études, puisqu'elle a permis de détecter une atteinte cognitive chez les participants des groupes expérimentaux (Negut et al., 2016).

La modalité virtuelle paraît également plus fidèle puisqu'elle permet la cotation automatique et standardisée des données, ce qui limite les erreurs de cotation induites par l'interprétation subjective de l'expérimentateur. Elle réduit également de façon considérable la quantité de variables indésirables (contaminantes) pouvant survenir à tout moment en milieu réel (Rand et al., 2009). La RV est donc un atout en neuropsychologie puisqu'elle permet de contrôler les distracteurs, la complexité de l'environnement ainsi que la surcharge tout en mesurant précisément les performances en terme de vitesse, exactitude et efficacité (Parsons, 2011). De plus, il est possible de modifier et/ou d'enrichir le scénario en y incluant différentes variables qui ne sont pas disponibles dans le monde réel, faute de ressources adéquates (Le Gall & Allain, 2001).

### *1.3.3 Les désavantages de la réalité virtuelle*

De façon générale, les principaux désavantages de la RV incluent la complexité et le coût des équipements qui peut être substantiel selon le type d'expérimentation. La RV n'est donc pas accessible à tout les neuropsychologues. Bien que plusieurs progrès aient été faits depuis ses débuts, la RV continue de présenter plusieurs défis pour les utilisateurs : installation et calibration des équipements, bris ou mauvais fonctionnement de l'équipement lors de l'expérimentation, problèmes avec l'environnement virtuel (c.-à-d. : des bogues informatiques qui peuvent fausser les données), etc. Le recours aux périphériques d'interaction peut également apporter un biais important lors de la mesure des performances. En effet, la RV mesure des performances cognitives en employant des métaphores comportementales souvent loin des

mouvements nécessaires pour effectuer une action dans la vie courante (Fuchs, Moreau, Berthoz et Vercher, 2006). En effet, les participants doivent utiliser la plupart du temps une manette ou une souris d'ordinateur pour se déplacer ou pour manipuler des objets. Le recours aux métaphores comportementales n'est certes pas écologique et nécessite une adaptation de la part du sujet (Fush et al., 2006), adaptation qui est plus difficile pour les sujets âgés. Dans leur méta-analyse, Negut, Matu, Sava et David (2016) soulignent d'ailleurs que l'âge des participants et la complexité de la tâche virtuelle ont un effet modérateur important.

Les cybermalaises représentent également un désavantage de la RV. Les cybermalaises sont des effets secondaires incommodes se rapprochant du mal des transports (Lawson, Pretlove, Wheeler et Parker, 2002; Parsons, 2011). Ils se manifestent, chez certains participants, par un étourdissement plus ou moins important, une diminution du focus visuel, un inconfort stomacal ou des nausées, des sueurs, un mal de tête, etc. (Côté et Bouchard, 2006; Bouchard, Robillard, Renaud et Bernier, 2011). Ces malaises sont généralement légers et cessent dès la fin de l'immersion en RV mais peuvent s'intensifier et être prolongés si le participant ne manifeste pas son inconfort et poursuit l'expérimentation.

#### *1.3.4 La réalité virtuelle et le vieillissement*

L'utilisation de la RV avec les personnes âgées peut sembler compliquée. En effet, une personne âgée de 65 ans aura vécu près du tiers de sa vie dans des milieux dépourvus d'ordinateurs et de jeux vidéo. Bien que la recherche progresse, l'impact de l'utilisation de la RV

auprès de cette population est encore relativement méconnu (Parsons, 2011). Jusqu'à tout récemment certains chercheurs craignaient d'utiliser la RV avec les aînés puisqu'ils ne sont pas aussi sensibilisés que les plus jeunes avec cette technologie ou toutes autres formes de technologie avancée. Au début du 21<sup>e</sup> siècle, McGee et ses collègues (2000) identifiaient quatre contraintes principales à l'utilisation de la RV avec les aînés : la technophobie, les habiletés perceptuo-motrices, les cybermalaises et la complexité des interfaces homme-machine (Déjos, Sauzéon et N'Kaoua, 2012). Ces contraintes sont toutes associées au manque d'exposition aux nouvelles technologies. Ang, Zaphiris et Mahmood et ses collaborateurs (2007) ont d'ailleurs démontré que la RV génère une surcharge cognitive plus importante chez les usagers moins familiers avec la technologie.

Néanmoins, Plancher et ses collègues (2008) ont observé que l'aspect technique de la RV ne constituait pas une contrainte absolue dans l'étude du vieillissement. Dans leur étude qui consistait à mesurer les effets de l'âge sur la mémoire épisodique dans des conditions de conduite simulées, les personnes âgées avaient même des performances plus élevées que les sujets jeunes pour certains scores. En effet, le groupe âgé a obtenu des résultats supérieurs aux mesures d'encodage implicite d'information visuelle. Depuis l'article de McGee (McGee et al., 2000), et particulièrement au cours de la dernière décennie, l'évaluation neuropsychologique par le biais de la RV détient un soutien empirique considérable (Plancher et al., 2008; Sweeney, Kersel, Morris, Manly et Evans, 2010) et semble plus que prometteuse pour l'évaluation des personnes âgées (Rand et al., 2009; Raspelli et al., 2009; Déjos et al., 2012; Negut et al., 2016).

Tout comme pour l'évaluation *in situ*, plusieurs types d'environnement ont été conçus pour mesurer différentes fonctions cognitives, et plusieurs ont été utilisés auprès d'une clientèle âgée

(Déjos et al., 2012; Parsons, 2011). Certains ont été créés afin d'étudier les processus cognitifs soutenant les habiletés visuospatiales. Broeren et ses collègues (2007) ont utilisé le Semi-Immersive Work Bench afin d'évaluer l'héminégligence chez des sujets âgés de 44 à 63 ans ayant subi un AVC. Ils ont démontré que les sujets souffrant ou ayant souffert d'héminégligence unilatérale (c'est-à-dire pendant et après la phase de récupération) présentaient des stratégies de recherche visuelle inefficaces ainsi qu'une imprécision visuomotrice (dextérité manuelle fine plutôt faible) (Broeren, Samuelsson, Stibrant-Sunnerhagen, Blomstrand et Rydmark, 2007). Du point de vue de la réhabilitation, des chercheurs coréens (Kim, Chun, Yun, Song et Young, 2011) ont montré que l'utilisation d'un environnement virtuel permettait une réhabilitation plus efficace de l'héminégligence unilatérale chez des sujets dans la soixantaine ayant subi un AVC. En effet, les sujets du groupe expérimental qui devaient manipuler différents objets en RV ont vu leur performance s'améliorer plus rapidement au test de bissections de lignes que les sujets du groupe contrôle recevant un traitement plus conventionnel (poursuite visuelle, lecture, écriture, casse-tête, etc.) (Kim et al., 2011).

Outre les habiletés visuospatiales, plusieurs tâches ont été conçues afin d'étudier la mémoire épisodique chez des participants âgés. Plancher, Tirard, Gyselinck, Nicolas et Piolino (2012) ont recruté des participants âgés de 67 à 88 ans en bonne santé, atteints d'un TCL ou de la MA au stade léger. Ils ont utilisé un environnement simulant la conduite automobile en milieu urbain à l'intérieur duquel les participants avaient comme consigne de mémoriser les éléments centraux et l'emplacement de ceux-ci. Les performances aux indices de rappel des éléments centraux, du contexte et de la topographie (emplacement) du groupe MA étaient significativement plus faibles que celles des deux autres groupes. De plus, les performances en



mémoire spatiale du groupe TCL étaient significativement plus faibles que celles du groupe témoin, indiquant une bonne capacité de discrimination entre les trois groupes (Plancher et al., 2012). Un autre groupe de chercheurs a étudié les processus de mémoire spatiale chez des participants souffrant d'un TCL ou d'une MA par le biais d'une chambre virtuelle (Serino, Morganti, Stefano et Riva, 2015). Les résultats ont permis de discriminer les participants selon leur appartenance aux différents groupes. En effet, ceux atteints d'une MA ont obtenu les scores les plus faibles au niveau de l'encodage et du rappel des éléments spatiaux, alors que les sujets du groupe TCL ont eu des scores plus élevés que ceux du groupe MA et plus faibles que ceux du groupe contrôle (Serino et al., 2015). Kang et ses collègues (2008) ont quant à eux utilisé un environnement virtuel de type supermarché à l'intérieur duquel des participants âgés de 39 à 67 ans, ayant souffert d'un AVC, devaient s'orienter, sélectionner et acheter différents items tout en suivant des règles spécifiques. Des différences significatives ont été notées pour les indices de performances de mémoire auditive et visuelle (immédiate et différé), d'attention (attention sélective et temps de réaction) et des FE (temps d'exécution, score de jugement, distance totale parcourue et erreurs). Ainsi, les participants du groupe AVC ont moins bien réussi que ceux du groupe contrôle à tous les indices de mesures (Kang et al., 2008).

Selon Pedroli et ses collègues (2016), les FE représentent les habiletés cognitives les plus intéressantes à étudier par le biais de la RV. La RV offre effectivement la possibilité de manipuler les paramètres et d'ajuster le niveau de difficulté afin de créer une surcharge cognitive sans mettre les sujets en danger (Pedroli et al., 2016). Parmi les récents outils de mesure des FE en RV, certains utilisent le construit du multitasking. C'est le cas de différentes versions du

TEM-RV<sup>17</sup>. Une de ces versions correspond au TEM centre d'achat (VMET) (Raspelli et al., 2009; 2012). Le VMET a été utilisé auprès de participants ayant subi un AVC ainsi qu'auprès de jeunes adultes et d'aînés en bonne santé. Les résultats ont montré une différence significative entre les participants du groupe AVC et ceux des deux groupes de participants en bonne santé. De plus, des différences significatives permettaient de distinguer entre les jeunes adultes et les aînés en bonne santé (Raspelli et al., 2012). Le VMall est une autre version du TEM-RV (ou du VMET) reproduisant un supermarché. Rand et ses collègues (Rand, Katz, et Weiss, 2007), ont immergé des participants âgés, ayant subi un AVC, ainsi qu'un groupe témoin dans le VMall. Les résultats obtenus ont permis de distinguer les participants des deux groupes. Le VMall a également permis de comparer les performances obtenues chez un groupe de sujets souffrant de la maladie de Parkinson (MP) en phase précoce et sans symptômes cognitifs (MP-CN), chez un groupe souffrant de la MP et présentant des atteintes de type TCL (MP-TCL), et chez un groupe témoin composé d'aînés en bonne santé (Cipresso et al., 2014). Alors que les tests neuropsychologiques traditionnels ne révélaient aucune différence entre les groupes MP-CN et contrôle, le TEM-RV a permis de distinguer ces deux groupes par rapport aux nombres d'erreurs commises et aux stratégies de planification employées (Cipresso et al., 2014).

Hormis le TEM-RV, d'autres types de tâches virtuelles permettent de mesurer les FE en faisant appel au multitasking. Le Virtual Reality Shopping Task (VRST) (Canty et al., 2014) est un autre environnement simulant un centre d'achat à l'intérieur duquel des adultes de 18 à 60

---

<sup>17</sup> Virtual version of the Multiple Errand Test (VMET)

ans, vivant avec un TC, devaient accomplir une série de tâches selon des consignes précises et faire appel à leur mémoire prospective. Les participants du groupe TC ont significativement moins bien performé que les participants du groupe témoin (Canty et al., 2014). Tarnanas et ses collègues (2013) ont conçu une version alerte-incendie du Virtual Reality Day-Out dans laquelle les participants âgés doivent évacuer un bloc d'appartements en feu. La tâche est composée de 6 différentes simulations d'évacuation comprenant un niveau de complexité croissant. Les résultats ont permis de distinguer le groupe MA au stade léger du groupe TCL et du groupe contrôle. Le groupe MA et TCL ont également des résultats significativement différents (Tarnanas et al., 2013). Finalement, le Virtual Kitchen Test (VKT) de Gamito et ses collègues (2015a; 2015b) a servi à évaluer les FE d'adultes d'âge mature (de 38 à 59 ans) ayant une dépendance à l'alcool. La tâche, consistant à faire cuire un gâteau, a permis de distinguer les participants alcooliques de ceux du groupe contrôle (Gamito et al., 2015a; 2015b).

Bien que plusieurs des études en RV utilisant le construit du multitasking présentent une approche écologique et une bonne capacité de discrimination, seulement quelques-unes ont tenté de comparer les mesures prises en RV et les mesures en milieu réel (Lee et al., 2003; Rand et al.; 2007; Rand et al., 2009; Negut et al., 2016). Aussi, l'objectif de la majorité de ces études était surtout de révéler les différences existantes entre des personnes qui ont des conditions de santé spécifiques et celles qui n'en ont pas, et non d'étudier un phénomène normal tel que le vieillissement (Attree, Dancey, et Pope, 2009; Sweeney et al., 2010).

### 1.3.5 *Le Virtual Multitasking test*

En 2007, un outil virtuel a été conçu afin de mesurer à la fois la mémoire prospective, rétrospective (verbale et visuelle) et les FE. Il s'agit du V-MT développé par Banville et ses collègues, et inspiré du TEM de Shallice et Burgess (1991) (voir la description à la section 1.2.2). À cette époque, la version élaborée du TEM-RV (ou VMET) n'avait pas encore été conçue. Tout comme le TEM, le V-MT aborde le construit du multitasking. Les dimensions évaluées incluent l'élaboration et la planification efficace de plans réalistes et de stratégies d'action, le maintien des représentations en mémoire de travail dans l'objectif d'une réalisation ultérieure, la réalisation au moment opportun des plans élaborés (utilisation de la mémoire prospective), l'inhibition des réponses incorrectes et la gestion des interférences et des imprévus (Banville et al., 2007). Le participant possède une grande liberté d'action pour faire face à des situations empruntées à la vie quotidienne. Les FE ont été opérationnalisées, dans le cadre du V-MT, en tant que fonctions supportant l'organisation des comportements dirigés vers un but. Avec le V-MT, le participant est immergé dans un appartement virtuel comportant huit pièces à l'intérieur desquelles il doit accomplir différentes tâches. Il y a tout d'abord une entrée où le participant doit ouvrir la porte de l'appartement, un couloir, un salon, un bureau, une salle de bain, une chambre d'ami, une chambre principale, une cuisine et une salle à manger (voir la figure 1.1). Le participant doit accomplir une série d'actions tout en respectant des règles générales et des consignes spécifiques. Il doit établir son propre plan d'action et ré-établir ses priorités afin de s'ajuster aux demandes qui s'ajoutent au fil de l'expérimentation. Par exemple, le participant doit ranger des aliments laissés sur le comptoir de la cuisine (dont certains vont au congélateur), envoyer une télécopie dans un laps de temps déterminé, nourrir les poissons, etc.

Ainsi, à mesure que le participant évolue dans le V-MT il doit faire face à une charge cognitive croissante.

Lors de la conception du V-MT, les auteurs se sont attardés au caractère universel du test afin qu'il soit applicable à une clientèle jeune ou âgée de culture occidentale. Toutefois, cet outil dispose encore de bien peu de données empiriques. En 2011, une étude exploratoire a été menée à l'Université du Québec en Outaouais : les chercheurs ont recruté neuf participants (quatre aînés et cinq jeunes adultes) à qui ils ont administré une série d'épreuves neuropsychologiques traditionnelles avant de les immerger dans le V-MT (Hébert, Forget, Nolin, Forest, Banville et Bouchard, 2011). Parmi les tests administrés, les chercheurs ont observé une association élevée entre le temps d'exécution au V-MT et le nombre de persévérations et d'intrusions au rappel immédiat du CVLT. Le temps d'entraînement ainsi que le nombre de tâches complétées au V-MT étaient également fortement corrélés au nombre de fausses reconnaissances du CVLT. De plus, les indices de mesure des conditions interférence et flexibilité du Stroop étaient modérément corrélés au rappel des règles et consignes du V-MT ainsi qu'au nombre de bris de règles. Finalement, le nombre de mouvements corrects de la TOL était modérément associé au temps d'entraînement et d'exécution du V-MT. Ces corrélations suggéraient une association significative entre le V-MT et les tâches classiques mesurant la mémoire, l'interférence, la flexibilité mentale et la planification (Hébert et al., 2011). Suite aux résultats prometteurs de cette étude et à l'intérêt croissant pour l'évaluation des FE chez les personnes âgées par le biais de la RV, le besoin d'évaluer cette première version du V-MT auprès d'un plus grand échantillon d'aînés et de jeunes adultes s'est fait sentir. Il fallait donc recueillir plus de données.

Figure 1.1 Plan du condo virtuel du V-MT



## 1.4 Buts et hypothèses de l'étude

Le V-MT a été développé afin de détecter la présence de troubles cognitifs subtils – plus spécifiquement au sein de la mémoire et du fonctionnement exécutif – qui peuvent passer inaperçus lors d'évaluations neuropsychologiques traditionnelles. Cette première version du V-MT nécessite encore l'accumulation de données afin d'explorer l'adéquation entre les mesures de performance qui en sont extraites et les fonctions cognitives qu'elles devraient mesurer. Par ailleurs le V-MT vise une large clientèle, incluant les personnes âgées. Ce dernier devrait donc permettre de faire ressortir des effets significatifs du vieillissement.

Le principal objectif de cet essai est donc d'examiner si le V-MT sollicite les sphères cognitives attendues et s'il met en évidence des différences significatives entre de jeunes adultes et des personnes âgées. Ainsi, cet essai doctoral ne vise pas à valider la première version du V-MT mais bien à explorer la validité convergente et discriminante. Il s'inscrit dans l'ensemble des travaux de validation du V-MT, travaux pour la plupart réalisés par Banville et ses collègues.

Afin d'atteindre l'objectif principal de cet essai, deux analyses ont été réalisées. La première consistait à examiner la relation entre les scores obtenus au V-MT à ceux obtenus à différents tests lors d'une évaluation neuropsychologique traditionnelle. L'hypothèse proposée était que les scores obtenus aux questionnaires et aux tests neuropsychologiques traditionnels mesurant les FE, la mémoire prospective et la mémoire rétrospective seraient positivement corrélés aux scores obtenus au V-MT mesurant ces mêmes fonctions.

La deuxième analyse portait sur les comparaisons des scores du V-MT entre les personnes âgées qui présentent un vieillissement normal et les sujets jeunes. L'hypothèse proposée était que les jeunes adultes obtiendraient des performances significativement supérieures à celles obtenues par les personnes âgées aux différentes mesures du V-MT. Plus spécifiquement les indices mesurant la planification, l'efficacité, la mémoire prospective et la gestion des interférences et des imprévus devaient présenter les plus grandes différences entre les deux groupes.



## CHAPITRE 2

### MÉTHODOLOGIE<sup>18</sup>

#### 2.1 Recrutement des participants

Un échantillon de convenance, non probabiliste, de 43 sujets a été composé sur une base volontaire par envoi de messages électroniques aux étudiants et au personnel de l'UQO, à l'Association des Retraités de l'Outaouais ainsi que par bouche-à-oreille. Les critères d'inclusion consistaient à être en mesure de se déplacer à l'UQO et être en bonne santé. Plus spécifiquement, un participant était exclu de l'étude s'il rapportait souffrir d'un trouble psychopathologique, psychiatrique ou neurologique, souffrir d'une maladie systémique chronique non contrôlée, avoir un trouble de consommation de drogue ou d'alcool ou souffrir du mal des transports. Ces critères étaient vérifiés grâce à l'administration d'un questionnaire de renseignements généraux. De plus, les participants devaient obtenir un score de 27 et plus au Test de Folstein sur l'État Mental<sup>19</sup> (MMSE).

Un premier groupe de 26 aînés comprenant 18 femmes et 6 hommes âgés de 60 à 80 ans (M = 65,67 ans, ET = 7,65; voir tableau 3.1) ainsi qu'un deuxième groupe de 17 adultes (9

---

<sup>18</sup> Ce protocole de recherche a été évalué et approuvé par le comité d'éthique de la recherche des êtres humains de l'Université du Québec en Outaouais.

<sup>19</sup> Mini Mental State Evaluation

femmes et 11 hommes) âgés de 18 à 30 ans ( $M = 22,45$  ans,  $ET = 3,76$ ) ont été sélectionnés. Un participant âgé a été retiré de l'étude en raison d'un historique de traumatisme crânien ayant laissé des séquelles.

## **2.2 Mesures et procédures**

Le protocole expérimental comportait deux rencontres espacées en moyenne de deux à quatre semaines. Lors de la première séance, suite à l'obtention du consentement libre et éclairé et de la complétion du formulaire de renseignements généraux (dans le but de valider l'admissibilité et de recueillir des renseignements socio- démographiques), les participants devaient compléter une série de questionnaires et d'épreuves neuropsychologiques. Comme mentionné précédemment, les aînés devaient obtenir un score de 27 et plus (sur un total de 30) au MMSE. Le MMSE est une mesure sommaire de l'état cognitif qui évalue l'orientation dans le temps et dans l'espace, l'encodage et le rappel de 3 mots, l'attention, le langage et les capacités visuoconstructives (Cockrell et Folstein, 2002). C'est lors de la deuxième séance que les participants étaient immergés dans l'environnement du V-MT.

La première séance se déroulait à la Clinique de Services Psychologiques de l'UQO, dans un local propice à l'évaluation neuropsychologique, et durait entre 2h30 et 3h00. Les participants pouvaient prendre des pauses au besoin. La deuxième séance avait lieu dans un local du Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO et durait entre 1h30 et 2h00. Un guide résumant le

déroulement des deux séances permettait à l'expérimentateur de suivre chacune des étapes et de standardiser au maximum la procédure.

### *2.2.1 Évaluation neuropsychologique*

Une évaluation neuropsychologique sommaire permettait de mesurer le fonctionnement cognitif global ainsi que les habiletés mnésiques et exécutives des participants. L'estimation du quotient intellectuel visait à évaluer l'équivalence des groupes sur le fonctionnement cognitif global alors que les résultats aux épreuves mnésiques et exécutives étaient récoltés dans le but de les comparer aux performances de mesures extraites du V-MT. La prochaine section présente les tests neuropsychologiques utilisés lors de la première rencontre.

*2.2.1.1 Fonctionnement intellectuel.* Le fonctionnement intellectuel global a été évalué à l'aide de l'Échelle d'Intelligence de Wechsler pour adulte – forme abrégée<sup>20</sup> (WASI-II). La WASI-II est une batterie abrégée permettant d'évaluer rapidement les habiletés verbales et non verbales ainsi que d'estimer le fonctionnement intellectuel. L'estimation du QI de nos participants a été obtenue à partir des scores aux sous-tests du Vocabulaire et des Matrices. Le sous-test Vocabulaire permet d'évaluer les connaissances générales, la formation de concepts verbaux et la mémoire verbale, alors que les Matrices évaluent le raisonnement non verbal, l'organisation perceptive ainsi que les aptitudes spatiales (Strauss, Sherman et Spreen, 2006). La validité de la WASI-II a été calculée, entre autres, en comparant les scores de QI estimé à partir de deux sous-

---

<sup>20</sup> Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence

tests à ceux obtenus aux 10 sous-tests du WAIS-IV. Les scores obtenus à Vocabulaire et Matrices sont les meilleurs prédicteurs du QI réel et expliquent 74 % de sa variance (Zhou et Raiford, 2011). Le QI estimé à partir de deux sous-tests sera utilisé pour comparer le fonctionnement intellectuel des participants.

*2.2.1.2 Fonctions mnésiques.* Le Test d'Apprentissage Verbal de Californie<sup>21</sup> (CVLT) sollicite les habiletés d'apprentissage et de mémoire verbale. Il permet d'évaluer la stratégie d'utilisation des associations sémantiques lors de l'apprentissage de mots. Plus spécifiquement, il fournit une courbe d'apprentissage, révèle les stratégies d'apprentissage (ou l'absence de celles-ci), introduit des interférences proactives et rétroactives et mesure la rétention à court et long terme (Lezak, 2012). Les indices de fidélité de la version française obtenus grâce à des analyses de consistance interne se situent entre 0.82 et 0.93. La validité a été supportée par une analyse factorielle démontrant qu'il s'agit d'un outil qui couvre six construits théoriques de l'apprentissage. La validité concomitante est appuyée par de fortes corrélations entre les résultats du CVLT français et ceux du WMS-R (Nolin, 1999). Dans cet essai doctoral, six variables du CVLT ont été retenues : le score d'apprentissage (soit l'addition des cinq essais, Total 1-5), le score d'interférence (soit le rappel de la liste B, Liste B), le rappel immédiat libre (RIL), le rappel immédiat indicé (RII), le rappel différé libre (RDL) et le rappel différé indicé (RDI).

---

<sup>21</sup> California Verbal Learning Test

Le Location Learning test (LLT) est un test de mémoire visuelle topographique au cours duquel il faut mémoriser l'emplacement de différentes images sur une grille. Ce test permet de mesurer un indice d'apprentissage ainsi que deux indices d'erreurs. La validité critériée des deux types d'indices est adéquate. En effet, les deux indices présentent des corrélations significatives avec les scores de deux autres tests de mémoire visuelle (Shapes Test et le Design Learning Test), bien que la validité de l'indice d'apprentissage soit plus élevée (0.44 et 0.43 respectivement) (Bucks, Willison et Byrne, 2000). Dans cet essai doctoral, les trois variables du LLT ont été utilisées: le nombre d'essais nécessaires à l'apprentissage (Nb d'essais), le nombre d'erreurs à la phase d'apprentissage (Nb erreurs apprentissage) et le nombre d'erreurs au rappel différé (Nb erreurs rappel différé).

Le Questionnaire de mémoire prospective et rétrospective<sup>22</sup> (PRMQ) est un court inventaire de 16 items évaluant la mémoire prospective et rétrospective. La consistance interne du PRMQ varie entre 0.80 et 0.83 pour l'échelle rétrospective et prospective ainsi que de 0.89 à 0.92 pour l'échelle du score global (Lezak, Howieson, Bigler et Tranel, 2012). Ces deux échelles seront utilisées lors de l'analyse des résultats.

*2.2.1.3 Fonctions exécutives.* Le Test de Classement de Cartes du Wisconsin- 64<sup>23</sup> (WSCT-64) est une tâche de classification de cartes selon les principes de couleur, de forme et de nombre. Il

---

<sup>22</sup> Prospective and Retrospective Memory Questionnaire

<sup>23</sup> Wisconsin Card Sorting Test - 64

a été conçu pour évaluer les capacités d'abstraction et l'aptitude à changer de stratégies selon les exigences (Lezak et al., 2012). Bien que cette forme courte du WCST (64 essais) présente une fidélité plus faible que la forme longue (WCST-128, i.e., 128 essais), les différentes mesures des deux formes sont fortement corrélées ( $r > 0.7$ ) (Lezak et al., 2012). La forme courte a été retenue afin d'alléger le processus d'évaluation. Quatre scores ont été retenus pour cet essai doctoral : le nombre de réponses correctes (Nb de réponses correctes), le nombre de réponses persévératives (Nb de réponses persévératives, soit tout classement s'effectuant en fonction de la catégorie qui était correcte précédemment, mais qui ne l'est plus), le niveau de réponses conceptuelles (qui est défini par les réponses correctes consécutives qui apparaissent en successions de trois cartes ou plus, bien classées) et le nombre de catégories complétées (Nb de catégories complétées, c'est-à-dire le nombre de règles pour lesquelles le critère de 10 classements corrects consécutifs a été atteint).

Le test de Stroop mesure la performance à des tâches attentionnelles simples nécessitant une rapidité de traitement de l'information et de la précision ainsi que la performance à des tâches plus complexes. Seules les tâches complexes ont été retenues pour cet essai puisqu'elles sollicitent les FE. En effet, la résistance à l'interférence par l'inhibition d'une réponse automatique (la lecture) au profit d'une réponse inhabituelle (nommer la couleur de l'encre) et la flexibilité cognitive nécessaire à l'alternance entre la réponse automatique et inhabituelle sont deux fonctions soutenues par les lobes préfrontaux (Lezak, 2012). De façon générale, le test de Stroop possède une bonne fidélité, avec un coefficient test-retest variant entre 0.67 et 0.94 (Strauss, 2006). Quatre variables du Stroop ont été retenues pour cet essai doctoral : les erreurs

d'inhibition (erreurs commises à la condition d'inhibition), le temps d'inhibition (temps nécessaire pour compléter l'épreuve) ainsi que les erreurs de flexibilité et le temps de flexibilité.

La Tour de Londres, 2<sup>e</sup> édition<sup>24</sup> (TOL) est un test sollicitant les habiletés de planification et d'organisation en vue d'atteindre un but, les capacités d'inhibition, de flexibilité mentale, de résolution de problème et de vitesse d'exécution (Lezak, 2012). Le sujet doit déplacer des billes sur différentes tiges afin de reproduire un modèle en effectuant le moins de déplacements possible. Dans cet essai doctoral, cinq scores ont été retenus : le nombre total de mouvements réalisés par le sujet (Nb de mouvements), le nombre de problèmes résolus avec le minimum de mouvements pour parvenir à la solution (Nb de problèmes résolus), le temps total d'initiation (c'est-à-dire le temps écoulé entre la présentation du problème et le premier mouvement effectué par le sujet), le temps total d'exécution (c'est-à-dire le temps écoulé entre le premier mouvement et la résolution du problème) et le temps total de résolution.

### *2.2.2 Évaluation en réalité virtuelle*

C'est lors de la deuxième séance que les participants complétaient le V-MT destiné à mesurer les fonctions cognitives en RV. Cette portion de l'étude comprenait une phase d'apprentissage de l'environnement virtuel suivi de la passation du V-MT ainsi que l'administration de questionnaires et d'épreuves post-VMT.

---

<sup>24</sup> Tower of London, second edition

2.2.2.1 *Le V-MT*. L'application du V-MT nécessite l'utilisation de l'environnement virtuel UQO-VE qui fonctionne avec une licence VIRTOOL-4 et une interface Window PC. L'immersion dans le V-MT requiert un équipement de type Head Mounted Display (HMD). La technologie HMD utilisée pour cet essai comportait un casque de réalité virtuelle (z800 de eMagin) procurant une image monoscopique ainsi qu'un traqueur de mouvements (IS-300 de InterSense) réagissant aux mouvements de la tête et de la main et permettant au logiciel d'adapter l'image en 3D en fonction de ces mouvements. Enfin, une manette permettait aux participants de se déplacer et de manipuler différents objets dans l'environnement virtuel.

La phase d'apprentissage permettait aux participants de se familiariser avec le matériel (casque et manette) ainsi qu'avec l'environnement virtuel. Ils apprenaient à se déplacer dans le condo virtuel tout en manipulant différents objets. Les participants avaient droit à une visite guidée standardisée qui débutait dans le vestibule, se poursuivait dans le salon, le bureau, la salle de bain, la chambre d'ami, la 'salle de lavage' (un garde-robe comportant une laveuse et une sècheuse), la chambre des maîtres, la salle à manger et la cuisine. Les participants avaient pour instruction de porter une attention particulière aux principaux objets de chacune des pièces. Afin de les familiariser avec la manipulation des objets, ils devaient également ouvrir et refermer une fenêtre, ouvrir et refermer la porte-patio, ajuster la minuterie de la sècheuse et la faire démarrer, décrocher le téléphone, envoyer un fax et ranger un aliment dans le garde-manger. Lorsque la visite guidée était terminée, à la demande de l'expérimentateur, les participants devaient se rendre dans chacune des pièces afin de démontrer leur niveau de familiarité avec l'environnement. Si une erreur était commise, le participant en était informé et devait essayer à



nouveau. Si une deuxième erreur était commise et que le participant était incapable de se rendre dans l'une des pièces, il était exclu de l'étude. Un participant a ainsi été exclu car il ne parvenait pas à s'orienter à l'intérieur du condo virtuel et peinait à utiliser la manette.

Le V-MT débutait par l'énoncé de quatre règles générales, de la mise en contexte et de quatre consignes spécifiques. On demandait aux participants de bien écouter ce qui suit :

“ Au cours de l'immersion en réalité virtuelle il est important que vous respectiez quatre règles. Premièrement, vous ne devez pas parler à l'expérimentateur ou au chercheur lorsque vous êtes dans le condo et lorsque vous portez le casque de réalité virtuelle. Deuxièmement, vous ne devez pas enlever le casque avant d'avoir terminé la tâche. Troisièmement, vous devez réaliser la tâche le plus rapidement possible même si vous avez tout votre temps pour le faire. Finalement, vous devez rester dans les limites de l'appartement virtuel, c'est-à-dire ne pas sortir à l'extérieur. Toutefois, si vous ressentez un quelconque malaise (mal de tête soudain, nausée, étourdissement) veuillez en aviser l'expérimentateur sur-le-champ. Vous êtes en visite à l'extérieur de votre ville pour aller voir un spectacle. Vous logez chez votre ami qui vous a prêté son appartement du centre-ville. Votre ami travaille au cours de la journée, mais vous retrouvera en soirée pour assister avec vous à ce spectacle. Voici maintenant les 4 consignes de la tâche. Consigne 1: vous vous sentez bien chez cette personne et vous devez répondre au téléphone s'il sonne comme votre ami vous l'a demandé. Consigne 2: à votre arrivée dans l'appartement, vous devez prendre les messages téléphoniques sur le répondeur. Consigne 3: vous devez ranger le contenu de votre épicerie, car il y a des éléments à réfrigérer rapidement. Consigne 4: chaque fois que vous devrez entrer ou sortir de la chambre des maîtres, vous devrez refermer la porte afin que le chien n'entre pas. Avant de débiter, répétez-moi tout ce que vous devrez faire et ne pas faire dans l'appartement de votre ami. Merci.”

Les participants devaient alors rappeler les quatre règles ainsi que les quatre consignes (rappel immédiat). S'ils faisaient une erreur, celle-ci était notée et les huit éléments étaient répétés. Les participants avaient deux autres chances de rappeler les quatre règles et les quatre consignes sans quoi ils étaient exclus de l'étude. Aucun participant n'a été exclu de l'étude à cette étape. En débutant le test, le participant n'avait que deux tâches simples à accomplir : (1) écouter les messages téléphoniques et (2) ranger l'épicerie qui avait préalablement été déposée

sur le comptoir de cuisine. L'épicerie comportait des aliments à congeler, à réfrigérer et des aliments à ranger dans le garde-manger. Les conflits entre les différentes tâches et la possibilité de surcharge cognitive, propre au construit du multitasking, survenaient à mesure que le participant évoluait dans le V-MT. Par exemple le message sur le répondeur comportait deux nouvelles demandes de tâches à effectuer. Au fil de l'expérimentation, en plus de prendre les messages, de répondre au téléphone à deux reprises et de ranger l'épicerie, le sujet devait télécopier un document, nourrir les poissons et défroisser une chemise tout en respectant les règles et consignes.

Tout au long du V-MT le logiciel générait une série de données nous renseignant sur les déplacements et les actions du sujet. L'expérimentateur prenait également en note ces informations afin de pallier une perte éventuelle de données. Il était donc possible de savoir à quel moment précis le sujet avait ranger la crème glacée dans le congélateur ou s'il avait bel et bien télécopier le document dans un délai maximum de 15 minutes, comme demandé. Le temps pour compléter le V-MT variait entre 15 et 45 minutes. Dans cet essai doctoral, les indices de mesure extraits du V-MT qui ont été retenus afin d'évaluer la performance des participants sont les suivants : l'efficacité (temps d'exécution total), le nombre de tâches complétées, le nombre de règles et consignes respectées, le temps pris par le sujet avant de prendre les messages sur le répondeur, le temps requis pour envoyer le fax et pour mettre la chemise dans la sècheuse, le temps moyen pour ranger la viande, le lait et la crème glacée aux endroits appropriés ainsi que l'efficacité évaluée en divisant le nombre de tâches exécutées sur le temps total d'exécution (nombre de tâches / efficacité). Ainsi plus l'indice d'efficacité est élevé, meilleure était la

performance des participants (ex. : 8 tâches en 20 minutes = 0.4 alors que 5 tâches en 35 minutes = 0.14).

*2.2.2.2 Questionnaires et épreuves liés au V-MT.* Le Questionnaire sur les Cybermalaises du Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO est une échelle autoadministrée fréquemment utilisée lors des expérimentations en RV. Elle est constituée de seize items mesurant l'intensité des cybermalaises (ex. : nausées, fatigue des yeux, étourdissements, etc.) ressentis par le sujet selon une échelle de quatre points. Il s'agit d'une traduction francophone validée (Bouchard, Robillard & Renaud, 2007) du Simulator Sickness Questionnaire de Kennedy, Lane, Berbaum et Lilienthal (1993). L'Alpha de Cronbach atteint 0.87. Il est important dans l'étude, car il permettait d'assurer le confort des participants en surveillant les effets secondaires pouvant être occasionnés par la RV et de mesurer les cybermalaises.

Le Questionnaire sur la Propension à l'Immersion du Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO mesure à quel point l'individu réussit à se couper des distractions extérieures afin de se concentrer de façon prioritaire sur différentes tâches de la vie quotidienne. Cette mesure contrôle permet d'obtenir un indice de la capacité qu'aura l'individu de s'immerger à l'intérieur d'un environnement virtuel. Il comprend 18 questions sur une échelle de Lickert à sept points. Il s'agit d'une traduction libre du Immersion Tendencies Questionnaire de Witmer et Singer (1998) présentant un alpha de Cronbach de 0.78.

Le Questionnaire sur l'état de présence utilisé dans cette étude est une traduction libre du Presence Questionnaire (Witmer & Singer, 1998) validé par le Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO (Robillard, Bouchard, Renaud & Cournoyer, 2002). Les questions sont réparties en deux sections en fonction de la réaction du sujet pendant ou après l'immersion en réalité virtuelle. En tout, 44 items mesurés sur une échelle de Lickert à cinq points permettent de mesurer le sentiment de présence (ou l'impression d'être « là ») vécu dans l'environnement virtuel et permettent de voir à quel point le sujet s'est investi dans la tâche. L'alpha de Cronbach de ce test est de 0.84.

Le Questionnaire sur les attitudes envers les ordinateurs est un outil évaluant les attitudes et les croyances envers les ordinateurs et la technologie, l'expérience ainsi que le niveau de confiance des participants. Le questionnaire utilisé est une traduction libre de l'outil utilisé par Levine et Donitsa-Schmidt (1998). Plusieurs questions non pertinentes à la présente étude ont toutefois été retirées. Ces questions relevaient soit de la différence homme-femme (à connotation sexiste) en lien avec l'usage de la technologie ou étaient dystopiques en ce sens où elles mesuraient les craintes de voir les ordinateurs prendre le contrôle du monde des humains. Les questions en lien avec les attitudes (utilité et pertinence d'utiliser la technologie) et la confiance en ses habiletés ont été conservées.

Finalment, six indices d'évaluation mnésique « maison » ont été élaborés à partir d'éléments du V-MT et ont été administrés aux participants. L'ajout de cet outil « maison » visait à explorer davantage les informations ou les mesures pouvant être produites par le V-MT

et s'inscrit dans un processus plus large de validation de cet outil. Il permet, entre autres, d'évaluer ce que les participants ont retenu des épreuves du V-MT et comment ils se représentent l'environnement (représentation visuospatiale) du condo virtuel. Quatre de ces six indices évaluaient la mémoire verbale, soit un rappel libre différé des règles et des consignes du V-MT (15 à 45 minutes de délai), un rappel libre des aliments à ranger, un rappel indicé en fonction de la température de rangement et une phase de reconnaissance de ces aliments. Un participant ayant bien suivi les règles et consignes et bien planifié son emploi du temps devrait, en principe, se rappeler de quelques aliments allant au congélateur et au réfrigérateur. Les deux autres indices évaluaient la mémoire visuelle, soit le dessin du plan du condo représentant chacune des pièces (mémoire topographique, 1 point par pièce correctement positionné) et le rappel des principaux objets des pièces du condo. De mauvaises performances à ces mesures pourraient mettre en relief une faible performance aux indices d'efficacité et d'efficience puisqu'un participant ayant une mauvaise représentation visuospatiale du condo ou oubliant dans quelles pièces se situent les éléments centraux (par exemple: le fax ou la sècheuse) perdra plus de temps à accomplir les tâches. Le tableau 2.1 résume les différentes mesures du V-MT et les épreuves neuropsychologiques correspondantes.

**Tableau 2.1 Comparaisons des différentes mesures du V-MT et épreuves neuropsychologiques correspondantes**

<b>Fonctions cognitives</b>	<b>Mesures du V-MT</b>	<b>Épreuves neuropsychologiques correspondantes</b>
Mémoire rétrospective	Nombre de tâches complétées, nombre de règles et consignes respectées, nombre d'aliments rappelés	CVLT
	Disposition des pièces du condo et rappel des éléments centraux	LLT
Mémoire prospective	Temps requis pour prendre les messages sur le répondeur, pour envoyer le fax et pour mettre la chemise dans la sècheuse	PRMQ
Fonctions exécutives	Efficacité et efficience	TOL, STROOP
	Nombre de règles et consignes respectées	TOL, WCST-64
	Temps moyen pour ranger la viande, le lait et la crème glacée	TOL, STROOP, WCST-64

### 2.3 Analyses de données

Comme mentionné précédemment, ce projet de recherche était constitué de deux analyses distinctes. La première analyse était de type corrélationnel. Il s'agissait de vérifier la présence de relations significatives entre les scores aux tests neuropsychologiques classiques et les mesures de performance extraites du V-MT. La première hypothèse a été testée à l'aide de corrélations de Pearson. Par contre, étant donné que certaines variables n'étaient pas distribuées normalement, des analyses non paramétriques ont également été effectuées (corrélations de Spearman). En

effet, certains indices d'asymétrie et de voussure étaient en dehors des balises situées entre 1 et -1 généralement acceptées par la communauté scientifique (Tabachnick, Fidell & Osterlind, 2001), et ce, malgré l'élimination de trois scores extrêmes (c'est-à-dire des valeurs de  $Z \geq 3,29$ ). Bref, lorsque la corrélation de Pearson et la corrélation de Spearman étaient significatives, il était raisonnable de conclure que cette association existait bel et bien.

Des analyses de variances univariées (ANOVA simples) avec correction de Bonferroni ont permis de vérifier la deuxième hypothèse. Comme pour la première analyse, certaines variables n'étaient pas distribuées normalement ou variaient de façon homogène (indépendance des scores non respectée), et ce malgré l'élimination des scores extrêmes. Ainsi, des analyses non paramétriques ont été menées. Bien que l'ANOVA soit considérée comme une analyse robuste (Field, 2013), il était prudent d'appuyer nos analyses paramétriques par des analyses non paramétriques (test de Mann-Whitney). Lorsqu'un résultat s'avérait significatif aux deux types d'analyses, il était raisonnable de conclure qu'une différence existait réellement.

## **2.4 Éthique**

Dans le but de respecter les principes éthiques de la recherche avec les sujets humains, différentes mesures ont été prévues. Les notions de respect de la personne, de la recherche du bien d'autrui et de non-malfaisance ont été respectées par des moyens visant à assurer le consentement libre et éclairé et par le respect des critères d'inclusion/exclusion. Les objectifs de

la recherche et la durée et de l'expérimentation ont été expliqués aux participants. Ils ont également été avisés qu'ils pouvaient se retirer de l'étude à tout moment sans subir aucun préjudice. Afin de minimiser les risques de cybermalaises lors de la deuxième séance, les participants remplissaient un questionnaire mesurant les symptômes de cybermalaises avant d'être immergés dans le V-MT. Les sujets avaient également pour consigne d'aviser l'expérimentateur dès qu'ils ressentaient un inconfort (ex. : mal de tête soudain, sueur, étourdissement, début de nausée). L'expérimentation était alors interrompue afin d'éviter l'escalade des symptômes. Cette mesure permettait de garder le risque au seuil minimal.

Le droit à la confidentialité des participants a été respecté de deux façons. Tout d'abord, seules les personnes directement impliquées dans la collecte de données avaient accès aux dossiers des participants. Ensuite, chaque participant s'est vu attribuer un code qui remplaçait leur identité dans les bases de données informatiques. De plus, les données neuropsychologiques seront détruites après un délai de cinq ans et les données ne sont pas utilisées dans le cadre d'une autre étude, à moins que le sujet ait donné son consentement écrit à cet effet.



## CHAPITRE III

### RÉSULTATS

#### 3.1 Statistiques descriptives

Le tableau 3.1 présente les données sociodémographiques des participants âgés et jeunes. Une analyse ANOVA simple a été effectuée sur les scores bruts moyens des groupes en ce qui concerne l'estimation du quotient intellectuel. Les analyses ne révèlent pas de différence significative, nos personnes âgées et nos jeunes adultes ont donc un QI estimé équivalent. La majorité des participants avaient un QI dans la moyenne et les scores normalisés variaient de 96 à 128.

**Tableau 3.1 Comparaison sociodémographique**

	Groupe expérimental  (n = 26 )	Groupe contrôle  (n = 17)	ddl	<i>F</i>	<i>p</i>
Âge (années)	65,67  (7,65)	22,45  (3,76)	na	na	na
QI estimé	69,81  (7,29)	73,71  (4,37)	1, 41	3,92	.054

Valeurs exprimées en scores bruts moyens (écart-types).

### 3.2 Analyses préliminaires

Les analyses préliminaires de variances univariées (ANOVA simples) visaient à comparer les caractéristiques des groupes en lien avec la réalité virtuelle et l'usage de la technologie. Les moyennes des groupes aux questionnaires de cybermalaises post-V-MT, de propension à l'immersion, du sentiment de présence et de l'attitude envers les ordinateurs sont présentées dans le tableau 3.2. Notons qu'avec la correction de Bonferroni, le seuil d'erreur alpha a été ajusté à  $p < .013$ . Les résultats ont révélé des différences significatives au niveau des cybermalaises ressentis pendant le V-MT ( $F(1,37) = 10,87, p \leq .005$ ), de la propension à l'immersion ( $F(1,37) = 8,61, p < .01$ ) et des attitudes envers les ordinateurs ( $F(1,37) = 10,02, p < .005$ ). Ainsi, les aînés ont ressenti plus de malaises reliés à la réalité virtuelle ( $M = 10,25, ET = 6,00$ ) que les jeunes adultes ( $M = 4,67, ET = 3,29$ ). Ils ont également une moins grande propension à l'immersion ( $M = 68,00, ET = 12,54$  versus  $M = 79,60, ET = 11,10$ ) et présentent plus d'attitudes négatives envers les ordinateurs et la technologie ( $M = 41,50, ET = 11,37$  vs  $M = 30,46, ET = 6,85$ ). Toutefois, aucune différence n'est observée quant au sentiment de présence rapporté par les participants lors de l'immersion dans le V-MT.

**Tableau 3.2 Analyses préliminaires**

	Groupe expérimental  (n = 24 )	Groupe contrôle  (n = 15)	ddl	<i>F</i>	<i>P</i>
Cybermalaises	10,25  (6,00)	4,67  (3,29)	1,37	10,87	<b>.002</b>
Propension à l'immersion	68,00  (12,54)	79,60  (11,10)	1,37	8,61	<b>.006</b>
Sentiment de présence	85,75  (14,80)	91,73  (17,37)	1,37	1,21	.280
Attitude envers les ordinateurs	41,50  (11,37)	30,46  (6,85)	1,37	10,02	<b>.003</b>

Valeurs exprimées en scores bruts moyens (écart-types) et valeur de *p*.

Les analyses de variances univariées pointées en caractères gras respectent le seuil d'erreur alpha ajusté à  $p \leq .01$  suite à la correction de Bonferroni.

### **3.3 Analyse 1: Corrélations entre les résultats aux épreuves neuropsychologiques et les indices de mesure du V-MT**

Les analyses corrélationnelles ont été effectuées sur une portion de l'échantillon, soit les participants âgés de 18 à 65 ans ( $n = 23$ ). Ce choix repose sur le fait que la plupart des épreuves neuropsychologiques classiques utilisées dans cet essai ont été normées auprès d'individus de cette tranche d'âge. Les résultats aux analyses de Pearson sont présentés dans les tableaux 3.3 à 3.14. La section qui suit traite des corrélations significatives à chaque type d'épreuve. Ces corrélations ont été confirmées par une analyse non paramétrique de Spearman. De plus, la correction de Bonferroni a été appliquée pour chaque série d'épreuves mnésiques et exécutives.

Aux épreuves mnésiques, en raison de la correction de Bonferroni, le seuil d'erreur alpha a été ajusté à  $p \leq .001$ . Ainsi aucun lien significatif n'a été observé entre les indices de mesures du V-MT et le CVLT (tableau 3.3) et une seule corrélation significative ressort des comparaisons entre les scores d'évaluation mnésiques « maison » du V-MT et les variables du CVLT (tableau 3.4). Le rappel différé du plan du condo (mémoire topographique) est associé au rappel immédiat indicé du CVLT ( $r = .659, p \leq .001$ ).

Aucun lien significatif n'a été observé entre le V-MT et le LLT à la fois avec les indices de mesure du V-MT (tableau 3.5) et les scores d'évaluation mnésiques « maison » (tableaux 3.6).

Aucun lien significatif n'a été observé entre le V-MT et le PRMQ, à la fois avec les indices de mesure du V-MT (tableau 3.7) et les scores d'évaluation mnésiques « maison » (tableaux 3.8).

**Tableau 3.3 Corrélations entre les scores du CVLT et les indices de mesure extraits du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>	7 <sup>g</sup>	8 <sup>h</sup>
Total 1-5	,071 (,747)	,005 (,983)	-,024 (,913)	,236 (,279)	,013 (,954)	-,036 (,871)	,038 (,862)	,047 (,830)
Liste B	-,249 (,252)	,342 (,110)	,199 (,364)	-,169 (,442)	,327 (,128)	-,271 (,211)	-,201 (,358)	-,368 (,084)
RIL <sup>i</sup>	,202 (,356)	,150 (,495)	-,095 (,666)	,331 (,123)	-,303 (,160)	,089 (,686)	,036 (,871)	,090 (,683)
RII <sup>j</sup>	,109 (,621)	,445 (,033)	,121 (,582)	,224 (,305)	-,266 (,221)	-,087 (,692)	-,012 (,956)	-,118 (,593)
RDL <sup>k</sup>	-,054 (,808)	,421 (,046)	,185 (,398)	,062 (,779)	-,218 (,318)	-,171 (,436)	-,191 (,384)	-,255 (,240)
RDI <sup>l</sup>	,148 (,501)	,400 (,058)	,120 (,586)	,161 (,462)	-,361 (,091)	-,071 (,749)	,045 (,840)	-,102 (,644)

<sup>a</sup> Efficacité (temps d'exécution total)

<sup>b</sup> Nombre de tâches complétées

<sup>c</sup> Nombre de règles et consignes respectées

<sup>d</sup> Temps avant de prendre les messages sur le répondeur

<sup>e</sup> Temps requis pour envoyer le fax

<sup>f</sup> Temps requis pour mettre la chemise à la sècheuse

<sup>g</sup> Temps moyen pour ranger les aliments critiques (viande, lait et crème glacée)

<sup>h</sup> Efficience

<sup>i</sup> Rappel immédiat libre (CVLT)

<sup>j</sup> Rappel immédiat indicé (CVLT)

<sup>k</sup> Rappel différé libre (CVLT)

<sup>l</sup> Rappel différé indicé (CVLT)

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .001$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

**Tableau 3.4 Corrélations entre les scores du CVLT et les épreuves « maison » du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>
Total 1-5	,307 (,154)	,013 (,952)	,141 (,522)	-,029 (,896)	,382 (,072)	-,050 (,822)
Liste B	,404 (,056)	,100 (,650)	,199 (,362)	-,080 (,716)	,516 (,012)	,232 (,286)
RIL <sup>g</sup>	,382 (,072)	,273 (,208)	,242 (,265)	,216 (,323)	,466 (,025)	,005 (,981)
RII <sup>h</sup>	,521 (,011)	,516 (,012)	,427 (,042)	,368 (,084)	,659 <b>(,001)</b>	-,062 (,778)
RDL <sup>i</sup>	,586 (,003)	,376 (,077)	,383 (,071)	,298 (,168)	,595 (,003)	-,123 (,576)
RDI <sup>j</sup>	,318 (,139)	,324 (,131)	,341 (,111)	,279 (,197)	,376 (,077)	-,253 (,244)

<sup>a</sup> Rappel différé libre des règles et des consignes du V-MT

<sup>b</sup> Rappel libre des aliments à ranger

<sup>c</sup> Rappel indicé des aliments en fonction de la température de rangement

<sup>d</sup> Reconnaissance des aliments à ranger

<sup>e</sup> Dessin du plan du condo (rappel en mémoire topographique)

<sup>f</sup> Rappel des principaux objets des pièces du condo

- <sup>g</sup> Rappel immédiat libre (CVLT)
- <sup>h</sup> Rappel immédiat indicé (CVLT)
- <sup>i</sup> Rappel différé libre (CVLT)
- <sup>j</sup> Rappel différé indicé (CVLT)

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .001$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.



**Tableau 3.5 Corrélations entre les scores du LLT et les indices de mesure extraits du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>	7 <sup>g</sup>	8 <sup>h</sup>
Nb d'essais	-,072 (,745)	-,086 (,696)	-,182 (,407)	-,197 (,369)	-,062 (,780)	-,120 (,585)	,125 (,570)	,015 (,946)
Nb erreurs apprentissage	-,054 (,806)	-,055 (,805)	-,203 (,353)	-,107 (,626)	,032 (,885)	-,195 (,372)	,287 (,184)	,016 (,941)
Nb erreurs rappel différé	-,145 (,510)	,021 (,923)	-,055 (,804)	-,183 (,402)	,167 (,445)	-,153 (,487)	,083 (,707)	-,109 (,621)

<sup>a</sup> Efficacité (temps d'exécution total)

<sup>b</sup> Nombre de tâches complétées

<sup>c</sup> Nombre de règles et consignes respectées

<sup>d</sup> Temps avant de prendre les messages sur le répondeur

<sup>e</sup> Temps requis pour envoyer le fax

<sup>f</sup> Temps requis pour mettre la chemise à la sècheuse

<sup>g</sup> Temps moyen pour ranger les aliments critiques (viande, lait et crème glacée)

<sup>h</sup> Efficience

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .001$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

**Tableau 3.6 Corrélations entre les scores du LLT et les épreuves « maison » du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>
Nb d'essais	-,052 (,814)	,131 (,551)	-,178 (,417)	,105 (,633)	-,074 (,737)	,147 (,504)
Nb erreurs apprentissage	,075 (,735)	-,036 (,870)	-,187 (,394)	-,038 (,863)	,183 (,404)	,341 (,111)
Nb erreurs rappel différé	,116 (,598)	,115 (,600)	-,034 (,879)	,154 (,484)	,283 (,190)	-,549 (,007)

<sup>a</sup> Rappel différé libre des règles et des consignes du V-MT

<sup>b</sup> Rappel libre des aliments à ranger

<sup>c</sup> Rappel indicé des aliments en fonction de la température de rangement

<sup>d</sup> Reconnaissance des aliments à ranger

<sup>e</sup> Dessin du plan du condo (rappel en mémoire topographique)

<sup>f</sup> Rappel des principaux objets des pièces du condo

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .001$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

**Tableau 3.7 Corrélations entre les scores du PRMQ et les indices de mesure extraits duV-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>	7 <sup>g</sup>	8 <sup>h</sup>
Échelle prospective	,035 (,876)	,355 (,105)	,085 (,706)	,093 (,680)	,040 (,860)	,014 (,949)	-,067 (,767)	-,190 (,397)
Échelle rétrospective	-,051 (,820)	,422 (,051)	,107 (,636)	-,188 (,403)	-,152 (,498)	-,022 (,922)	-,228 (,308)	-,291 (,188)

<sup>a</sup> Efficacité (temps d'exécution total)

<sup>b</sup> Nombre de tâches complétées

<sup>c</sup> Nombre de règles et consignes respectées

<sup>d</sup> Temps avant de prendre les messages sur le répondeur

<sup>e</sup> Temps requis pour envoyer le fax

<sup>f</sup> Temps requis pour mettre la chemise à la sècheuse

<sup>g</sup> Temps moyen pour ranger les aliments critiques (viande, lait et crème glacée)

<sup>h</sup> Efficience

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .001$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

**Tableau 3.8** Corrélations entre les scores du PRMQ et les épreuves « maison » du V-MT

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>
Échelle prospective	,116 (,607)	,249 (,263)	,102 (,651)	,202 (,368)	,210 (,348)	-,012 (,958)
Échelle rétrospective	-,056 (,805)	,119 (,597)	,071 (,752)	,176 (,433)	,176 (,434)	-,023 (,919)

<sup>a</sup> Rappel différé libre des règles et des consignes du V-MT

<sup>b</sup> Rappel libre des aliments à ranger

<sup>c</sup> Rappel indicé des aliments en fonction de la température de rangement

<sup>d</sup> Reconnaissance des aliments à ranger

<sup>e</sup> Dessin du plan du condo (rappel en mémoire topographique)

<sup>f</sup> Rappel des principaux objets des pièces du condo

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .001$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

Aux épreuves exécutives, en raison de la correction de Bonferroni, le seuil d'erreur alpha a été ajusté à  $p \leq .0005$ . Les analyses corrélationnelles n'ont révélé que deux associations significatives entre les épreuves exécutives et les variables du V-MT. Au WCST-64 (tableau 3.9 et 3.10), le nombre de règles et consignes respectées au V-MT est inversement lié au nombre de réponses persévératives ( $r = -.717, p \leq .0005$ ). Ainsi, plus les participants répondaient de façon persévérative au WCST-64 moins ils respectaient les règles et consignes du V-MT.

Au Stroop (tableau 3.11 et 3.12), le temps requis pour compléter la condition de flexibilité corrèle inversement avec le nombre de règles et consignes respectées lors de l'immersion ( $r = -.745, p \leq .0005$ ). Les participants ayant le plus de difficultés à compléter la condition de flexibilité du Stroop brisaient plus souvent les règles et consignes du V-MT.

À la TOL (tableau 3.13 et 3.14) le nombre de problèmes résolus avec le minimum de mouvements possibles est associé au dessin du plan du condo ( $r = .696, p < .0005$ ).

**Tableau 3.9 Corrélations entre les scores du WCST et les indices de mesure extraits du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>	7 <sup>g</sup>	8 <sup>h</sup>
Nb de réponses correctes	-,400 (,072)	,297 (,190)	,569 (,007)	-,203 (,378)	,199 (,387)	-,231 (,313)	-,497 (,022)	-,492 (,024)
Nb de réponses persévératives	,230 (,315)	-,326 (,149)	<b>-,717</b> <b>(,000)</b>	,167 (,470)	-,239 (,296)	,008 (,972)	,628 (,002)	,368 (,101)
Niveau de réponses conceptuelles	-,444 (,044)	,362 (,107)	,590 (,005)	-,283 (,214)	,223 (,331)	-,285 (,210)	-,510 (,018)	-,564 (,008)
Nb de catégories complétées	-,416 (,061)	,382 (,088)	,554 (,009)	-,194 (,400)	,168 (,467)	-,305 (,179)	-,435 (,049)	-,538 (,012)

<sup>a</sup> Efficacité (temps d'exécution total)

<sup>b</sup> Nombre de tâches complétées

<sup>c</sup> Nombre de règles et de consignes respectées

<sup>d</sup> Temps avant de prendre les messages sur le répondeur

<sup>e</sup> Temps requis pour envoyer le fax

<sup>f</sup> Temps requis pour mettre la chemise à la sècheuse

<sup>g</sup> Temps moyen pour ranger les aliments critiques (viande, lait et crème glacée)

<sup>h</sup> Efficience

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

Les analyses corrélationnelles pointées en caractères gras ( $p \leq .0005$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

**Tableau 3.10** Corrélations entre les scores du WCST et les épreuves « maison » du V-MT

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>
Nb de réponses correctes	,501 (,021)	,384 (,086)	,463 (,035)	,409 (,066)	,558 (,009)	,459 (,036)
Nb de réponses persévératives	-,407 (,067)	,466 (,033)	-,545 (,011)	-,621 (,003)	-,525 (,015)	-,334 (,139)
Niveau de réponses conceptuelles	,526 (,014)	,383 (,087)	,436 (,048)	,390 (,081)	,623 (,003)	,512 (,018)
Nb de catégories complétées	,589 (,005)	,405 (,068)	,456 (,038)	,380 (,089)	,644 (,002)	,488 (,025)

<sup>a</sup> Rappel différé libre des règles et des consignes du V-MT

<sup>b</sup> Rappel libre des aliments à ranger

<sup>c</sup> Rappel indicé des aliments en fonction de la température de rangement

<sup>d</sup> Reconnaissance des aliments à ranger

<sup>e</sup> Dessin du plan du condo (rappel en mémoire topographique)

<sup>f</sup> Rappel des principaux objets des pièces du condo

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

**Tableau 3.11 Corrélations entre les scores du Stroop et les indices de mesure extraits du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>	7 <sup>g</sup>	8 <sup>h</sup>
Erreurs d'inhibition	-,163 (,458)	,222 (,310)	,303 (,159)	,004 (,987)	,031 (,890)	-,113 (,609)	-,058 (,793)	-,238 (,272)
Temps d'inhibition	,546 (,007)	,140 (,525)	-,446 (,033)	,305 (,157)	-,238 (,275)	,377 (,076)	,354 (,098)	,338 (,114)
Erreurs de flexibilité	,031 (,887)	-,088 (,690)	-,164 (,455)	,174 (,427)	,124 (,574)	,025 (,911)	,359 (,093)	,055 (,803)
Temps de flexibilité	,609 (,002)	-,293 (,176)	<b>-,745</b> <b>(,000)</b>	,458 (,028)	-,081 (,714)	,467 (,025)	,525 (,010)	,614 (,002)

<sup>a</sup> Efficacité (temps d'exécution total)

<sup>b</sup> Nombre de tâches complétées

<sup>c</sup> Nombre de règles et consignes respectées

<sup>d</sup> Temps avant de prendre les messages sur le répondeur

<sup>e</sup> Temps requis pour envoyer le fax

<sup>f</sup> Temps requis pour mettre la chemise à la sècheuse

<sup>g</sup> Temps moyen pour ranger les aliments critiques (viande, lait et crème glacée)

<sup>h</sup> Efficience

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ). Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .0005$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.



**Tableau 3.12 Corrélations entre les scores du Stroop et les épreuves « maison » du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>
Erreurs d'inhibition	,031 (,888)	,146 (,505)	,210 (,335)	-,057 (,797)	-,003 (,989)	,305 (,157)
Temps d'inhibition	-,214 (,326)	-,148 (,502)	-,211 (,333)	-,263 (,225)	-,024 (,912)	-,190 (,385)
Erreurs de flexibilité	-,050 (,820)	-,027 (,902)	-,087 (,695)	-,310 (,150)	-,167 (,445)	,002 (,993)
Temps de flexibilité	-,322 (,134)	-,340 (,112)	-,497 (,016)	-,537 (,008)	-,232 (,287)	-,389 (,067)

<sup>a</sup> Rappel différé libre des règles et des consignes du V-MT

<sup>b</sup> Rappel libre des aliments à ranger

<sup>c</sup> Rappel indicé des aliments en fonction de la température de rangement

<sup>d</sup> Reconnaissance des aliments à ranger

<sup>e</sup> Dessin du plan du condo (rappel en mémoire topographique)

<sup>f</sup> Rappel des principaux objets des pièces du condo

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de *p*).

Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

**Tableau 3.13 Corrélations entre les scores de la TOL et les indices de mesure extraits du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>	7 <sup>g</sup>	8 <sup>h</sup>
Nb de mouvements	,356 (,095)	-,555 (,006)	-,461 (,027)	,422 (,045)	-,188 (,390)	,397 (,061)	,295 (,172)	,561 (,005)
Nb de problèmes résolus <sup>i</sup>	-,379 (,075)	,473 (,023)	,524 (,010)	-,355 (,097)	,253 (,244)	-,313 (,146)	-,444 (,034)	-,556 (,006)
Temps total d'initiation	-,207 (,342)	,050 (,820)	,244 (,261)	-,226 (,299)	,252 (,247)	-,009 (,966)	-,174 (,427)	-,223 (,307)
Temps total d'exécution	,297 (,169)	-,259 (,233)	-,190 (,385)	,199 (,363)	-,260 (,230)	,361 (,091)	,088 (,690)	,371 (,081)
Temps total de résolution	,142 (,519)	-,188 (,391)	-,027 (,901)	,054 (,806)	-,081 (,714)	,298 (,167)	-,020 (,927)	,1 (,375)

<sup>a</sup> Efficacité (temps d'exécution total)

<sup>b</sup> Nombre de tâches complétées

<sup>c</sup> Nombre de règles et consignes respectées

<sup>d</sup> Temps avant de prendre les messages sur le répondeur

<sup>e</sup> Temps requis pour envoyer le fax

<sup>f</sup> Temps requis pour mettre la chemise à la sècheuse

<sup>g</sup> Temps moyen pour ranger les aliments critiques (viande, lait et crème glacée)

<sup>h</sup> Efficience

<sup>i</sup> Nombre de problèmes résolus avec le minimum de mouvements possibles

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ).

Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .0005$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

**Tableau 3.14 Corrélations entre les scores de la Tour de Londres et les épreuves « maison » du V-MT**

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>
Nb de mouvements	-,583 (,004)	-,312 (,147)	-,274 (,206)	-,250 (,251)	-,555 (,006)	-,629 (,001)
Nb de problèmes résolus <sup>g</sup>	,633 (,001)	,381 (,073)	,426 (,043)	,316 (,141)	<b>,696</b> <b>(,000)</b>	,543 (,007)
Temps total d'initiation	,251 (,247)	,173 (,430)	-,002 (,993)	,094 (,669)	,251 (,247)	,620 (,002)
Temps total d'exécution	-,353 (,098)	-,146 (,506)	-,133 (,545)	-,350 (,101)	-,234 (,282)	-,009 (,967)
Temps total de résolution	-,157 (,474)	-,024 (,914)	-,109 (,622)	-,233 (,285)	-,059 (,790)	,321 (,135)

<sup>a</sup> Rappel différé libre des règles et des consignes du V-MT

<sup>b</sup> Rappel libre des aliments à ranger

<sup>c</sup> Rappel indicé des aliments en fonction de la température de rangement

<sup>d</sup> Reconnaissance des aliments à ranger

<sup>e</sup> Dessin du plan du condo (rappel en mémoire topographique)

<sup>f</sup> Rappel des principaux objets des pièces du condo

<sup>g</sup> Nombre de problèmes résolus avec le minimum de mouvements possibles

Valeurs exprimées en coefficient de corrélation de Pearson (valeur de  $p$ ). Les analyses corrélationnelles de Pearson pointées en caractères gras ( $p \leq .0005$ ) sont confirmées par les analyses corrélationnelles de Spearman.

### 3.4 Analyse 2: Comparaisons de groupes aux épreuves neuropsychologiques et aux indices de mesure du V-MT

Dans le but d'évaluer l'effet de l'appartenance au groupe sur les résultats aux épreuves neuropsychologiques, sur les indices de performance générés automatiquement par le V-MT et sur les mesures post-V-MT, des analyses de variances univariées (ANOVA simples) ont été effectuées.

Tout d'abord des comparaisons de groupes ont été effectuées pour les différentes mesures neuropsychologiques classiques. Aucune différence significative n'a été remarquée pour l'ensemble des épreuves mnésique – le CVLT, le LLT et le PRMQ – ainsi que pour la TOL. Toutefois, des différences de groupes ont été observées au WCST et au test de Stroop. Les tableaux 3.15 et 3.16 présentent les résultats à ces deux épreuves. En raison de la correction de Bonferroni, le seuil d'erreur alpha a été ajusté à  $p \leq .005$ . Malgré cet ajustement, les ANOVA simples révèlent des différences significatives à toutes les mesures du WCST-64 (Nb de réponses correctes ( $F(1,39) = 12,00, p < .005$ ); Nb de réponses persévératives ( $F(1,39) = 25,65, p < .005$ ); niveau de réponses conceptuelles ( $F(1,39) = 9,89, p < .005$ ); et Nb de catégories complétées ( $F(1,39) = 11,79, p < .005$ ) ainsi qu'à deux mesures du Stroop (temps d'inhibition ( $F(1,39) = 14,11, p < .005$ ); et temps de flexibilité ( $F(1,39) = 16,15, p < .005$ ). Ainsi, au WCST-64, les jeunes adultes ont eu plus de réponses correctes ( $M = 18,32, ET = 8,03$  versus (vs)  $M = 10,19, ET = 6,05$ ), alors que les aînés ont eu plus de réponses persévératives ( $M = 9,76, ET = 5,32$  vs  $M = 5,13, ET = 1,75$ ). De plus, les aînés ont obtenu un niveau conceptuel moins élevé et ont complété moins de catégories ( $M = 39,92, ET = 11,45$  vs  $M = 50,13, ET = 7,56$ ;  $M = 3,20, ET = 1,41$  vs  $M$

= 4,56,  $ET = 0,89$ ) que les jeunes adultes. Au Stroop, les aînés ont pris plus de temps (en minutes) pour compléter les conditions d'inhibition et de flexibilité ( $M = 110,42$ ,  $ET = 23,12$  vs  $M = 87,94$ ,  $ET = 10,43$ ;  $M = 133,50$ ,  $ET = 26,74$  vs  $M = 105,18$ ,  $ET = 13,83$ ).

Les analyses non paramétriques confirment les résultats des ANOVA simples à toutes les mesures du WCST présentées ci-haut. Ainsi, le test de Mann-Whitney indique que les jeunes adultes ont eu plus de réponses correctes ( $Mdn = 26,40$ ) que les aînés ( $Mdn = 12,56$ ),  $U = 65,00$ ,  $p < .005$ ; alors que les aînés ont eu plus de réponses persévératives ( $Mdn = 27,44$  vs  $Mdn = 10,94$ ,  $U = 39,00$ ,  $p < .005$ ), un niveau conceptuel inférieur ( $Mdn = 16,16$  vs  $Mdn = 28,56$ ,  $U = 79,00$ ,  $p < .005$ ) et ils ont complété moins de catégories ( $Mdn = 16,44$  vs  $Mdn = 28,13$ ,  $U = 86,00$ ,  $p < .005$ ) que les jeunes adultes. Le test de Mann-Whitney confirme aussi les résultats des ANOVA simples pour le Stroop. En effet, les aînés ont complété les conditions inhibition et flexibilité moins rapidement (en minutes) que les jeunes adultes ( $Mdn = 27,37$  vs  $Mdn = 13,79$ ,  $U = 81,50$ ,  $p < .005$ ;  $Mdn = 27,73$  vs  $Mdn = 13,24$ ,  $U = 72,00$ ,  $p < .005$ ).

**Tableau 3.15 Comparaisons de groupes aux épreuves exécutives classiques de WCST**

	Groupe expérimental (n = 25)	Groupe contrôle (n = 16)	Ddl	<i>F</i>	<i>P</i>
Nb de réponses correctes	10,19 (6,05)	18,32 (8,03)	1,39	12,00	<b>.001</b>
Nb de réponses persévératives	12,84 (5,66)	5,13 (2,75)	1,39	25,65	<b>.000</b>
Niveau de réponses conceptuelles	39,92 (11,45)	50,13 (7,56)	1,39	9,89	<b>.003</b>
Nb de catégories complétées	3,20 (1,41)	4,56 (0,89)	1,39	11,79	<b>.001</b>

Valeurs exprimées en scores bruts moyens (écart-types) et valeur de *p*.

Les analyses de variances univariées pointées en caractères gras ( $p \leq .005$ ) sont confirmées par les analyses non paramétriques de Mann-Whitney.



**Tableau 3.16 Comparaisons de groupes aux épreuves exécutives classiques du test de Stroop**

	Groupe expérimental  (n = 25)	Groupe contrôle  (n = 16)	Ddl	<i>F</i>	<i>P</i>
Erreurs d'inhibition	2,00  (1,73)	1,00  (1,23)	1,39	4,90	.032
Temps d'inhibition	110,42  (23,12)	87,94  (10,43)	1,39	14,11	<b>.001</b>
Erreurs de flexibilité	2,82  (1,74)	2,19  (2,12)	1,39	1,05	.312
Temps de flexibilité	133,50  (26,74)	105,18  (13,83)	1,39	16,15	<b>.000</b>

Valeurs exprimées en scores bruts moyens (écart-types) et valeur de *p*.

Les analyses de variances univariées pointées en caractères gras ( $p \leq .005$ ) sont confirmées par les analyses non paramétriques de Mann-Whitney.

Ensuite, le tableau 3.17 présente les comparaisons de groupes aux huit indices de performance extraits de l'environnement virtuel lors de l'immersion. Notons qu'avec la correction de Bonferroni, le seuil d'erreur alpha a été ajusté à  $p \leq .006$ . Les ANOVA simples révèlent des différences significatives au niveau de l'efficacité ( $F(1,29) = 13,14, p < .005$ ), du nombre de tâches complétées ( $F(1,29) = 9,38, p \leq .005$ ), de l'efficience ( $F(1,29) = 18,74, p < .005$ ), du nombre de règles et consignes respectées ( $F(1,29) = 35,51, p < .005$ ) et du temps moyen pour ranger les aliments critiques ( $F(1,29) = 13,75, p < .005$ ). En effet, les aînés prenaient plus de temps pour terminer le V-MT ( $M = 29,65$  minutes,  $ET = 7,34$ ) que les jeunes adultes ( $M = 21,41$  minutes,  $ET = 5,01$ ), accomplissaient moins de tâches ( $M = 4,94, ET = 1,06$  vs  $M = 5,87, ET = 0,52$ ) et étaient moins efficaces ( $M = 0,18; ET = 0,07$  vs  $M = 0,29, ET = 0,07$ ). De plus, les aînés respectaient moins les règles et consignes du V-MT ( $M = 7,06, ET = 0,93$ ) que les jeunes adultes ( $M = 8,67, ET = 0,49$ ) et prenaient plus de temps (en minutes) pour ranger les aliments critiques de l'épicerie ( $M = 11,08, ET = 5,48$  vs  $M = 5,48, ET = 2,12$ ).

Les analyses non paramétriques révèlent également des différences significatives. Elles confirment les résultats des ANOVA simples en plus de révéler une différence supplémentaire. Ainsi, le test de Mann-Whitney indique que les aînés ont pris plus de temps ( $Mdn = 20,88$ ) pour compléter le V-MT que les jeunes adultes ( $Mdn = 10,80$ ),  $U = 42,00, p < .005$ . Il indique que les aînés ont complété moins de tâches ( $Mdn = 11,91$  vs  $Mdn = 20,37; U = 54,50, p < .01$ ), étaient moins efficaces ( $Mdn = 10,31$  vs  $Mdn = 22,07; U = 29,00, p < .005$ ), ils ont respecté moins de règles et consignes ( $Mdn = 9,75$  vs  $Mdn = 22,67; U = 20,00, p < .005$ ) et ont pris plus de temps pour ranger les aliments critiques ( $Mdn = 20,44$  vs  $Mdn = 11,27; U = 49,00, p < .005$ ) que les jeunes adultes. De plus, le temps écoulé avant de prendre le message téléphonique était plus long pour les aînés ( $Mdn = 20,66$ ) que pour le groupe contrôle ( $Mdn = 11,03$ ),  $U = 45,50, p < .005$ .

**Tableau 3.17 Comparaisons de groupes aux indices de mesure extraits du V-MT**

	Groupe expérimental	Groupe contrôle	ddl	<i>F</i>	<i>P</i>
	(n 16)	(n =15)			
Efficacité (temps d'exécution total)	29,65 (7,34)	21,41 (5,01)	1,29	13,14	<b>.001</b>
Nb de tâches complétées	4,94 (1,06)	5,87 (0,52)	1,29	9,38	<b>.005</b>
Efficienc	0,18 (0,07)	0,29 (0,07)	1,29	18,74	<b>.000</b>
Nb de règles et consignes respectées	7,06 (0,93)	8,67 (0,49)	1,29	35,51	<b>.000</b>
Temps avant de prendre le message	8,16 (8,79)	2,63 (3,96)	1,29	4,98	.034
Temps requis pour envoyer le fax	4,79 (1,86)	5,20 (2,62)	1,29	0,25	.624
Temps requis pour mettre la chemise dans la sècheuse	15,61 (10,16)	10,15 (6,05)	1,29	3,25	.082
Temps moyen pour ranger les alimemts critiques	11,08 (5,48)	5,48 (2,12)	1,29	13,75	<b>.001</b>

Valeurs exprimées en scores bruts moyens (écart-types) et valeur de *p*.

Les analyses de variances univariées pointées en caractères gras ( $p \leq .006$ ) sont confirmées par les analyses non paramétriques de Mann-Whitney.

Finalement, le tableau 3.18 présente les comparaisons de groupes aux scores des six indices d'évaluation mnésiques « maison » post-V-MT. Notons qu'avec la correction de Bonferroni, le seuil significatif se situe à  $p \leq .008$ . Les ANOVA simples révèlent des différences significatives au niveau du rappel libre différé des règles et consignes ( $F(1,29) = 15,26, p < .005$ ), du rappel libre des aliments à ranger ( $F(1,29) = 16,23, p < .005$ ), du rappel indicé des aliments ( $F(1,29) = 18,43, p < .005$ ), de la reconnaissance des aliments ( $F(1,29) = 16,68, p < .005$ ) et du rappel des principaux objets des pièces du condo ( $F(1,29) = 8,70, p \leq .006$ ). En effet, les aînés ont rappelé moins de règles et consignes après le V-MT ( $M = 6,44, ET = 0,89$ ) que les jeunes adultes ( $M = 7,53, ET = 0,64$ ), ils ont moins bien réussi aux épreuves de rappel libre des aliments ( $M = 14,56, ET = 4,59$  vs  $M = 22,27, ET = 6,01$ ), de rappel indicé des aliments ( $M = 15,69, ET = 3,52$  vs  $M = 22,40, ET = 5,10$ ) et de reconnaissance des aliments ( $M = 32,50, ET = 2,66$  vs  $M = 36,27, ET = 2,46$ ). De plus, les aînés ont rappelé moins d'éléments principaux des pièces du condo ( $M = 9,69, ET = 1,49$ ) que les jeunes adultes ( $M = 11,27, ET = 1,49$ ).

Les analyses non paramétriques confirment les résultats des ANOVA simples. Ainsi, le test de Mann-Whitney indique que les aînés ont moins bien performé au rappel libre différé des règles et consignes ( $Mdn = 11,13$ ) que les jeunes adultes ( $Mdn = 21,20$ ),  $U = 42,00, p < .005$ . Il indique aussi qu'ils ont moins bien réussi au rappel libre ( $Mdn = 10,63$  vs  $Mdn = 21,73$ ;  $U = 34,00, p < .005$ ), rappel indicé ( $Mdn = 10,19$  vs  $Mdn = 22,20$ ;  $U = 27,00, p < .005$ ) et à la reconnaissance des aliments à ranger ( $Mdn = 10,69$  vs  $Mdn = 21,67$ ;  $U = 35,00, p < .005$ ). Il indique finalement que les aînés ont rappelé moins d'objets principaux des pièces du condo que les jeunes adultes ( $Mdn = 11,97$  vs  $Mdn = 20,30$ ;  $U = 55,50, p < .01$ ).

**Tableau 3.18 Comparaisons de groupes aux indices de mesures « maison » du V-MT**

	Groupe expérimental (n =16)	Groupe contrôle (n = 15)	ddl	<i>F</i>	<i>P</i>
Rappel libre différé des règles et consignes	6,44 (0,89)	7,53 (0,64)	1,29	15,26	<b>.001</b>
Rappel libre des aliments à ranger	14,56 (4,59)	22,27 (6,01)	1,29	16,23	<b>.000</b>
Rappel indicé des aliments à ranger	15,69 (3,52)	22,40 (5,10)	1,29	18,43	<b>.000</b>
Reconnaissance des aliments à ranger	32,50 (2,66)	36,27 (2,46)	1,29	16,68	<b>.000</b>
Dessin du plan du condo	6,44 (2,31)	7,73 (0,59)	1,29	4,44	.044
Rappel des éléments principaux des pièces du condo	9,69 (1,49)	11,27 (1,49)	1,29	8,70	<b>.006</b>

Valeurs exprimées en scores bruts moyens (écart-types) et valeur de *p*.

Les analyses de variances univariées pointées en caractères gras ( $p \leq .006$ ) sont confirmées par les analyses non paramétriques de Mann-Whitney.

## CHAPITRE IV

### DISCUSSION

Le principal objectif de cet essai était d'explorer l'adéquation entre les indices de mesures du V-MT et les mesures équivalentes des tests neuropsychologiques et de vérifier s'il met en évidence des différences significatives entre de jeunes adultes et des personnes âgées en bonne santé. Cet objectif a été atteint par le biais de deux analyses dont les résultats ont été présentés dans la section précédente. Cette section a pour but d'interpréter les résultats à la lumière des hypothèses, des avancées scientifiques récentes et des limites de l'étude.

#### **4.1 Analyse 1: Corrélations entre les épreuves neuropsychologiques et le V-MT**

La première hypothèse de cet essai doctoral proposait que les résultats obtenus aux épreuves neuropsychologiques classiques seraient corrélés aux indices de performance du V-MT mesurant les mêmes fonctions cognitives.

Dès sa conception le V-MT avait comme objectif d'évaluer la mémoire prospective et les FE. La mémoire prospective joue un rôle essentiel dans l'exécution de plusieurs activités quotidiennes, par exemple se souvenir de passer à l'épicerie ou de payer une facture avant une date butoir. Par ailleurs, la mémoire prospective est fréquemment altérée lors de diverses atteintes neurologiques comme un TC, un AVC ou lors du vieillissement normal ou pathologique (Adrover-Roig, Sesé, Barceló et Palmer, 2012; Greenwood, 2000; Gunstad, Cohen, Paul, Luyster et Gordon, 2006). Les résultats de cet essai ne montrent néanmoins aucun lien entre le

questionnaire PRMQ et les scores de performance extraits du V-MT. Outre les métaphores comportementales et la charge cognitive, ces résultats pourraient également s'expliquer par le fait que le PRMQ est un questionnaire autorapporté et que les participants pourraient ne pas percevoir adéquatement leur performance mnésique réelle au quotidien. En effet, les données scientifiques montrent des résultats divergents en ce qui a trait aux atteintes de la mémoire prospective chez les personnes âgées. Plus spécifiquement, les travaux révèlent un effet négatif de l'âge dans les tâches de laboratoire et un effet positif ou nul dans les tâches effectuées en milieu naturel (Henry, MacLeod, Phillips et Crawford, 2004). Finalement, il est également possible que les conditions de passation du V-MT ne permettent pas une utilisation optimale de la mémoire prospective et comparable aux conditions d'utilisation dans la vie quotidienne. En effet, étant donné la nature de la tâche les participants ne pouvaient pas, par exemple, se laisser de notes sur le réfrigérateur ou toute autre forme d'aide mémoire comme ils peuvent le faire à la maison.

Tel que mentionné précédemment le V-MT a été développé en vue de fournir des mesures de la mémoire prospective et des FE. Afin de maximiser l'utilisation de cet environnement virtuel, six indices « maison » de la mémoire rétrospective – qui comme la mémoire prospective est une autre composante de la mémoire épisodique – ont été élaborés à partir d'éléments du V-MT et administrés aux participants. Quatre de ces six indices évaluaient la mémoire verbale (un rappel libre différé des règles et des consignes du V-MT (15 à 45 minutes de délai), un rappel libre des aliments à ranger, un rappel indicé en fonction de la température de rangement et une phase de reconnaissance de ces aliments) tandis que les deux autres indices évaluaient la mémoire visuelle (un dessin du plan du condo représentant chacune des pièces (mémoire topographique) et un rappel des principaux objets des pièces du condo. De manière surprenante,

il y a une quasi absence de lien entre ces outils, ce qui semble indiquer une faible validité convergente. En effet, au niveau des fonctions mnésiques la seule corrélation significative associe le rappel différé du plan du condo (mémoire topographique) et le rappel immédiat indicé du CVLT (mémoire épisodique). Bien qu'il s'agisse de deux indices de mémoire il était attendu que des associations significatives entre des mesures de construits similaires ressortent lors des analyses. L'explication la plus plausible pour justifier ce manque de concordance serait que les métaphores comportementales et la complexité de l'environnement aient créés des interférences et une charge cognitive chez les participants en dénaturant le construit initial. Cet aspect sera davantage approfondi dans la section 4.2.

Les associations entre les différentes mesures du VMT et le fonctionnement exécutif sont également très peu nombreuses. Au WCST-64 un seul résultat significatif associe de façon inverse le nombre de règles et consignes respectées au V-MT et le nombre de réponses persévératives. Ainsi, le bris des règles et des consignes est lié à de moins bonnes performances au WCST-64 comme un plus grand nombre de réponses persévératives. Ce résultat peut s'expliquer en partie par le fait que les participants ayant de la difficulté à déduire les critères de classement des cartes et à s'adapter à leurs changements présenteraient une faiblesse relative au niveau des FE et une prédisposition à la surcharge cognitive. Plus spécifiquement, au fur et à mesure que les tâches s'accumulent et se complexifient, le participant se concentrerait sur la tâche « saillante » (soit la tâche la plus récente ou la plus importante selon lui) et souhaiterait la compléter « à tout prix », en oubliant les règles et les consignes initiales. Des observations qualitatives qui ont été notées au cours de l'immersion des participants appuient cette proposition. Par exemple, certains participants ayant moins bien réussi au WCST-64 ont oublié



de refermer la porte de la chambre des maîtres après y avoir déposé la chemise sortie de la sècheuse. D'autres participants ont oublié de terminer le rangement des aliments à réfrigérer suite à leur décision d'envoyer le fax immédiatement après l'ajout de cette tâche (alors qu'ils avaient 15 minutes pour le faire). Hartman, Bolton et Fehnel (2001) concluent également en ce sens à partir de résultats obtenus au WCST chez des participants jeunes et âgés. Plus spécifiquement, cette équipe de chercheurs a imputé la différence entre les performances de leurs sujets jeunes et âgés à la baisse d'efficacité de la mémoire de travail chez ces derniers (Hartman et al., 2001). Les sujets âgés avaient de la difficulté à garder en mémoire le résultat de leurs classements précédent et refaisaient les mêmes erreurs, ce qui semblait indiquer une inflexibilité. Toutefois, l'effet de l'âge sur la performance disparaissait lorsque les sujets âgés pouvaient bénéficier d'un support visuel indiquant le résultat du classement précédent (Hartman et al. 2001).

Au Stroop, le temps requis pour compléter la condition de flexibilité corrèle inversement avec le nombre de règles et consignes respectées lors de l'immersion. Ainsi, les participants ayant eu le plus de difficultés à compléter la condition de flexibilité du Stroop avaient plus tendance à briser les règles et consignes du V-MT. Finalement en ce qui concerne la TOL, le nombre de problèmes résolus avec le minimum de mouvements possibles est associé au dessin du plan du condo. Cette mesure à la TOL nécessite de bonnes capacités de planification, de résolution de problème visuel (raisonnement perceptif) et de mémoire de travail (Unterrainer et al., 2004; Jacobs et Anderson, 2002). Ces habiletés semblent avoir minimisé l'impact de la charge cognitive et favoriser l'encodage en mémoire verbale et visuelle. Ce résultat est appuyé

par l'étude de Raspelli et de ses collègues (2009) qui ont observé plusieurs corrélations entre les indices de performance du VMET et ceux de la TOL.

En résumé, la quasi-absence de liens trouvés entre les épreuves neuropsychologiques classiques et le V-MT suggère que la validité convergente est plutôt faible et/ou que les métaphores comportementales et la charge cognitive ont biaisé les résultats de façon importante. Cet aspect sera discuté dans la section suivante.

#### **4.2 Analyse 2: Comparaisons de groupes aux épreuves neuropsychologiques et au V-MT**

La deuxième hypothèse stipulait que des différences significatives seraient observées entre les jeunes adultes et les personnes âgées aux indices de performance extraits du V-MT.

En premier lieu, des analyses de comparaison entre les deux groupes ont été faites sur les scores des épreuves neuropsychologiques classiques. Aucune différence n'a été observée en ce qui a trait aux épreuves neuropsychologiques classiques de mémoire. Ces résultats appuient le fait que la mémoire épisodique demeure relativement stable au cours du vieillissement normal (Craik et Jennings, 1992; Rönnlund, Nyberg, Bäckman et Nilsson, 2005; Plancher et al., 2008). Aussi, l'absence de différence à la TOL semble indiquer que ce test serait moins sensible au vieillissement chez nos participants en bonne santé. Ces résultats sont corroborés par ceux de Michalec et de ses collègues (2017). En effet ces chercheurs ont récemment utilisé quatre

différents systèmes de cotation de la TOL chez des participants en bonne santé (âgés de 19 à 84 ans), chez des participants souffrant de schizophrénie, ou de la maladie de Parkinson avec ou sans troubles cognitifs légers (4 groupes distincts). Aucun des quatre systèmes de cotation de la TOL n'a révélé de différence significative au niveau de l'âge, alors qu'il permettait de distinguer chacun des groupes de participants (Michalec et al., 2017).

Les analyses des résultats au WCST et au Stroop ont quant à eux révélé des différences entre les deux groupes. Plus spécifiquement, les aînés ont moins bien performé à tous les indices de mesures du WCST en plus d'être plus lents au Stroop. Ces derniers résultats concordent avec l'hypothèse du processus de vieillissement précoce des FE relié aux changements anatomiques des lobes préfrontaux. Comme mentionné dans le chapitre 1 (section 1.1.3), de nombreuses études ont révélé une symptomatologie spécifique au vieillissement normal. Ces changements incluent l'amointrissement des ressources attentionnelles, la diminution des capacités de mémoire de travail (ce qui signifie que le système permettant le maintien temporaire d'une quantité limitée d'informations et leur manipulation est relativement perturbé), l'affaiblissement des capacités de résolution de problèmes, de déduction d'hypothèses et d'organisation (Calso, Besnard, Calò et Allain, 2015). Ainsi, comparées à des sujets jeunes, les études rapportent que les personnes âgées obtiennent des scores inférieurs à des tests neuropsychologiques tels que le test de Stroop, le WCST, le Trail making test, et le test de la tour de Hanoï (Rhodes, 2004; Ashendorf et McCaffrey, 2008; Calso, Besnard et Allain, 2016). Notons également que les différences observées aux mesures de vitesse du Stroop sont cohérentes avec la théorie du ralentissement du traitement de l'information de Salthouse (1996) qui stipule que plus la tâche est complexe, plus les aînés requièrent de temps pour bien la réussir (Salthouse, 1996; 2009). Les

aînés qui ont participé à cet essai doctoral ont été plus lents aux conditions d'inhibition et de flexibilité du Stroop, sans toutefois commettre plus d'erreurs que les jeunes adultes. Ils sont ainsi parvenus à répondre de façon précise, mais ont dû prendre plus de temps. D'un point de vue qualitatif les sujets âgés ont aussi rapporté être mentalement fatigué plus fréquemment que les jeunes suite au test de Stroop. Ce phénomène de ralentissement et d'une plus grande mobilisation d'énergie a été observé grâce à des études d'électroencéphalographie. Selon West (2017), plusieurs études ont démontré que la latence, l'amplitude et la localisation de l'activité cérébrale différaient selon l'âge des sujets lors de la passation du Stroop. Plus spécifiquement, la latence et l'amplitude étaient plus élevées et plus d'aires cérébrales étaient mobilisées chez les aînés. Autrement dit, leur réponse neuronale était plus lente, plus coûteuse et moins efficace (plus diffuse) (West, 2017).

Aux mesures extraites du V-MT, les analyses de variances univariées indiquent de nombreuses différences et semble indiquer une bonne validité divergente. Les aînés ont été significativement moins efficaces (plus lents), ont accompli moins de tâches, et ont ainsi été moins efficaces que les jeunes adultes. Ils ont également pris plus de temps à ranger les aliments critiques de l'épicerie et ils ont brisé plus de règles. Il est intéressant de noter que bien que la différence ne soit pas significative, les aînés avaient tendance à faxer le document plus rapidement que les jeunes alors qu'ils avaient 15 minutes pour le faire. Il est possible de suggérer que cette décision de faxer le document rapidement est soit due à la peur d'oublier (comme a dit un participant âgé : « aussi bien le faire tout de suite ») ce qui pourrait expliquer, par la suite, un allongement du temps de rangement des aliments. Au fur et à mesure que les tâches s'accumulaient, les participants devaient s'ajuster et revoir continuellement les priorités, ce qui

était probablement plus difficile pour les aînés. En effet, plusieurs d'entre eux ont manifesté une frustration et/ou une confusion suite à l'accumulation des tâches. De plus l'augmentation graduelle de la charge cognitive semblait interférer avec le rappel des règles et consignes chez les aînés puisque le non-respect de celles-ci tendait à augmenter à mesure que le V-MT se déroulait.

En marge du principal objectif de cet essai doctoral, des résultats liés à des concepts intimement liés à la réalité virtuelle ont été présentés. Alors que les aînés ont rapporté une moins grande propension à l'immersion, une plus grande sensibilité aux symptômes de cybermalaises et plus d'attitudes négatives face aux ordinateurs et à la technologie, ils ont rapporté le même niveau de présence que les jeunes adultes lors de l'immersion en réalité virtuelle. Bien que ces résultats ne constituent pas les éléments centraux de cet essai doctoral ils sont plutôt encourageants et semblent indiquer que la réalité virtuelle peut être utilisée avec une clientèle âgée. Toutefois, deux études récentes soulèvent un doute sur l'utilisation du V-MT tel qu'utilisé dans cet essai doctoral auprès d'une clientèle âgée. Corno, Bouchard et Forget (2014) ont étudié la possibilité d'utilisation (« usability ») du V-MT chez 10 personnes âgées de 60 ans et plus (Corno, Bouchard et Forget). L'environnement et l'équipement utilisé sont identiques à ceux utilisés pour cet essai doctoral. L'étude visait à détecter et modifier les éléments nuisant à une interaction intuitive entre le participant et la technologie. Les chercheurs ont évalué l'efficacité, l'efficience et le niveau de satisfaction des participants. Les résultats ont révélé trois facteurs principaux ayant nuient à la performance des sujets. Tout d'abord, il semble que le manque de clarté et la quantité de règles et consignes, ainsi que la complexité et la quantité de tâches à accomplir ont généré une confusion et une frustration chez les sujets. Ensuite, les sujets ont

également expérimenté des difficultés techniques et de l'imprécision liées à l'utilisation de la manette. Finalement, le casque HMD nuisait à la performance puisqu'il s'éteignait de temps à autre, était plutôt lourd, présentait une image de qualité variable et présentait des couleurs trop vives (non réalistes). Ce résultat est appuyé par une autre étude démontrant qu'une faible qualité d'image nuisait à la perception de la profondeur, augmentait les cybermalaises et diminuait le sentiment de présence (Liu et Uang, 2016). Une représentation hautement réaliste (couleurs moins vives, objets plus ressemblants) serait également associée à moins de cybermalaises chez les aînés (Benoit et al., 2015). Corno et ses collègues recommandent donc l'utilisation de matériel de meilleure qualité, une simplification des règles et consignes ainsi que l'utilisation de tâches mieux adaptées aux sujets âgés. Une amélioration de la technologie serait également souhaitable (manette plus précise, casque moins lourd et de meilleure qualité). De plus, une phase d'apprentissage plus longue permettrait aux participants de moins mobiliser leurs ressources cognitives sur l'utilisation de l'équipement de réalité virtuelle lors du V-MT pour se concentrer sur leur performance (Corno et al.). Banville et ses collègues (2017) ont récemment étudié l'impact de l'interface humain-ordinateur sur la cognition. Il est déjà couramment admis dans la communauté scientifique que la réalité virtuelle présente une validité écologique accrue. Toutefois, la charge cognitive créée par cette interface n'est pas toujours prise en compte alors qu'elle peut nuire à la performance des sujets. Afin de débiter une réflexion à ce propos, ces chercheurs ont conduit trois études pilotes. La première étude utilisait le même environnement que pour cet essai doctoral (c'est-à-dire le V-MT) et le même équipement, à l'exception de la manette qui a été remplacée par la technologie Flock of Bird ainsi qu'un casque d'immersion de meilleure qualité. La deuxième étude pilote utilisait une version plus récente et non immersive du V-MT, soit le VMT-2. Cette version comporte plusieurs modifications afin de simplifier le

scénario et d'améliorer la validité. La troisième étude pilote, quant à elle, comparait le VMT-2 à un environnement simple non immersif et sans possibilité de déplacement. Globalement, ces trois études ont montré que le V-MT original (l'environnement le plus complexe) stresse les participants et nuit aux performances, que le VMT-2 (plus simple que le V-MT original) est jugé comme étant plus complexe par les sujets âgés que par les jeunes, et qu'un environnement complexe en termes de navigation et d'interactions (nombre de pièces et nombre de tâches dans les différentes pièces) est plus stimulant cognitivement qu'un environnement simple pour les sujets âgés comparativement aux jeunes. Il est donc essentiel de considérer l'interface humain-ordinateur comme une variable pouvant biaiser les mesures de performances cognitives (Banville et al.).

### **4.3 Limites de l'étude et pistes futures**

Plusieurs limites expérimentales et pistes futures du présent projet de recherche doivent être soulignées. Premièrement, le manque de puissance statistique de cet essai (petite taille de l'échantillon) peut avoir joué un rôle important dans la quasi absence de corrélations significatives entre les différentes mesures. Ensuite, il est important de mentionner que plusieurs difficultés de nature technique sont venues compliquer la tâche des participants lors du déroulement du V-MT et ont grandement nuit à la validité écologique. Par exemple, le casque HMD avait tendance à s'éteindre après un certain temps d'utilisation, ce qui nuisait au sentiment de présence et déconcentrait les participants. Aussi, en plus d'un léger manque de précision dans la visée de la manette (lors du pointage d'un objet ou d'une porte), il arrivait que les participants

ne parviennent plus du tout à manipuler les aliments sur le comptoir pour les ranger à l'endroit voulu. Bien que ce problème technique pouvait être contourné en demandant aux participants de nous indiquer verbalement l'endroit où ils souhaitaient ranger ces aliments, l'absence de manipulation de ceux-ci rendait leur identification plus difficile. Certains aliments étaient en effet plus faciles à identifier lorsque « tenus en main ». De plus, malgré la phase d'apprentissage et en l'absence de problème technique, l'utilisation de la manette était généralement plus difficile pour les aînés, ce qui ajoutait à leur charge cognitive.

Dans le même ordre d'idée, la navigation à l'intérieur du condo était plus compliquée car les aînés avaient plus de difficulté à garder une distance « réaliste » avec les objets à manipuler. Ils se tenaient souvent trop près ou trop loin des éléments d'intérêt pour les manipuler efficacement. Cette composante ajoutait probablement à la surcharge cognitive et entraînait une interaction entre l'expérimentateur et les participants, ce qui nuisait à la validité écologique. Les versions futures du V-MT devraient permettre d'amoindrir ces difficultés techniques. Il faudra toutefois évaluer davantage l'impact de l'interface humain-ordinateur sur la cognition, en particulier sur la cognition des personnes âgées. Une étude permettant une phase d'apprentissage plus longue pourrait par exemple permettre de diminuer cet impact.

Mentionnons également la présence d'un biais de sélection lors du recrutement des participants. En effet, l'échantillon de participants aînés de cette étude était composé de personnes ayant clairement manifesté un intérêt pour la recherche en réalité virtuelle. De plus, ces aînés étaient pour la plupart de jeunes retraités, très actifs physiquement et cognitivement, et ils n'avaient pas de difficulté à se déplacer à l'université. Les résultats de cette recherche sont donc difficilement généralisables. L'utilisation d'une version améliorée du V-MT chez un plus



grand nombre de participants, incluant des adultes de tous âges, des aînés en bonne santé, ainsi que des aînés souffrant d'un trouble cognitif léger, permettrait de valider cet outil virtuel prometteur. Une application V-MT pour tablette permettrait également de recruter des participants moins mobiles et d'avoir un échantillon plus représentatif.

Finalement, aucune mesure classique de mémoire prospective (autre que l'auto-questionnaire PRMQ) et de contrôle attentionnel n'a été incluse lors de la portion neuropsychologique de l'étude. Il aurait été intéressant de vérifier si le V-MT corrèle avec ces mesures. En effet, plusieurs études ont montré la présence de liens entre les fonctions attentionnelles, les FE ainsi que la mémoire prospective (Baron, 2004; Oswald, Hambrick et Jones, 2007; Plancher et al., 2008) . Ces trois fonctions sont d'ailleurs tributaires de l'intégrité des lobes préfrontaux (Adrover-Roig et al., 2012). En somme, l'ajout de mesures attentionnelles et de mémoire prospective, autre qu'un auto-questionnaire, permettrait de compléter les résultats du projet actuel.

## CONCLUSION

En conclusion, cet essai doctoral n'a pas permis de démontrer que le V-MT mesure réellement les fonctions exécutives et mnésiques. Bien que certains résultats semblent indiquer une bonne validité discriminante ou une bonne sensibilité aux changements cognitifs liés au vieillissement normal, il est difficile d'affirmer que les différences observées sont dues aux effets du vieillissement et non à l'utilisation des périphériques d'interactions plus laborieuse chez les sujets âgés. De nombreux problèmes techniques ainsi qu'un équipement difficile d'utilisation ont de plus certainement faussé les résultats et amplifié les différences entre les participants jeunes et âgées. Ainsi, les aînés ont eu plus de peine à s'adapter à la technologie employée que les jeunes adultes, même si ceux-ci ont eu leurs lots de désagréments techniques. La continuation de l'amélioration du V-MT, qui en est maintenant à sa troisième version, pourrait permettre de résoudre les problèmes techniques, de réduire l'impact de l'utilisation des périphériques d'interactions (ainsi que la charge cognitive) et d'inclure des participants moins mobiles pour une meilleure représentativité de la population des aînés vieillissant normalement.

## RÉFÉRENCES

- Adrover-Roig, D., Sesé, A., Barceló, F., & Palmer, A. (2012). A latent variable approach to executive control in healthy ageing. *Brain and cognition*, 78, 284-299.
- Agarwal, S., Driscoll, J. C., Gabaix, X., & Laibson, D. (2009). The age of reason: Financial decisions over the life cycle and implications for regulation. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2009(2), 51-117.
- Alderman, N., Burgess, P. W., Knight, C., & Henman, C. (2003). Ecological validity of a simplified version of the multiple errands shopping test. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 9(01), 31-44.
- Alexander, G. E., DeLong, M. R., & Strick, P. L. (1986). Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 9, 337-381.
- Ang, C. S., Zaphiris, P., & Mahmood, S. (2007). A model of cognitive loads in massively multiplayer online role playing games. *Interacting with computers*, 19(2), 167-179. Ang, C.S
- Ashendorf, L., & McCaffrey, R. J. (2008). Exploring age-related decline on the Wisconsin Card Sorting Test. *The Clinical Neuropsychologist*, 22(2), 262-272.
- Attree, E. A., Dancy, C. P., & Pope, A. L. (2009). An assessment of prospective memory retrieval in women with chronic fatigue syndrome using a virtual-reality environment: an initial study. *CyberPsychology & Behavior*, 12(4), 379-385.
- Banville, F., Couture, J.F., Verhulst, E., Besnard, J., Richard, P., & Allain, P. (2017). Using virtual reality to assess the elderly: the impact of human-computer interfaces on cognition. In *International Conference on Human Interface and the Management of Information* (pp. 113-123). Springer, Cham.
- Banville, F., Nolin P., Cloutier J., & Bouchard, S. (2007). The development of the virtual multitasking test (V-MT) for the identification of dysexecutive functioning in everyday living. Présentation orale au Virtual Rehabilitation: From Vision to Reality, Edmonton, Canada, 11 mai 2007.
- Baron, I.S. (2004). Delis-Kaplan executive function system – Test review. *Child Neuropsychology*, 10(2), 147-152.

- Baum, C., & Edwards, D. F. (1993). Cognitive performance in senile dementia of the Alzheimer's type: The Kitchen Task Assessment. *American Journal of Occupational Therapy*, 47(5), 431-436.
- Benoit, M., Guerchouche, R., Petit, P. D., Chapoulie, E., Manera, V., Chaurasia, G., ... & Robert, P. (2015). Is it possible to use highly realistic virtual reality in the elderly? A feasibility study with image-based rendering. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 11, 557.
- Belleville, S., Gilbert, B., Fontaine, F., Gagnon, L., Ménard, E., & Gauthier, S. (2006). Improvement of episodic memory in person with mild cognitive impairment and healthy older adults: evidence from a cognitive intervention program. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorder*, 22, 486-499.
- Besedes, T., Deck, C., Sarangi, S., & Shor, M. (2012). Decision-making strategies and performance among seniors. *Journal of economic behavior & organization*, 81(2), 524-533.
- Bier, N., Grenier, S., Brodeur, C., Gauthier, S., Gilbert, B., Hudon, C., ... & Belleville, S. (2015). Measuring the impact of cognitive and psychosocial interventions in persons with mild cognitive impairment with a randomized single-blind controlled trial: rationale and design of the MEMO+ study. *International Psychogeriatrics*, 27(3), 511-525.
- Bishop, N.A., Lu, T., & Yankner, B.A. (2010). Neural mechanisms of ageing and cognitive decline. *Nature, Review Insight*, 464, 529-535.
- Bottari, C., Dassa, C., Rainville, C., & Dutil, E. (2009). The criterion-related validity of the IADL profile with measures of executive functions, indices of trauma severity and sociodemographic characteristics. *Brain Injury*, 23(4), 322-335.
- 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.
- Bouchard, S., Robillard, G., Renaud, P., & Bernier, F. (2011). Exploring new dimensions in the assessment of virtual reality induced side effects. *Journal of computer and information technology*, 1(3), 20-32.
- Boyle, P. A., Paul, R. H., Moser, D. J., & Cohen, R. A. (2004). Executive impairments predict functional declines in vascular dementia. *The Clinical Neuropsychologist*, 18(1), 75-82.
- Broeren, J., Samuelsson, H., Stibrant-Sunnerhagen, K., Blomstrand, C., & Rydmark, M. (2007). Neglect assessment as an application of virtual reality. *Acta Neurologica Scandinavica*, 116(3), 157-163.
- Bruine de Bruin, W., Parker, A. M., & Fischhoff, B. (2007). Individual differences in adult decision-making competence. *Journal of personality and social psychology*, 92(5), 938.

- Buckner, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, 44(1), 195-208.
- Bucks, R.S., Willison, J.R. & Byrne, L.M.T. (2000). Location Learning Test manual. Suffolk, England: Thames Valley Test Company.
- Burgess, P. W., Alderman, N., Forbes, C., Costello, A., Laure, M. C., Dawson, D. R., ... & Channon, S. (2006). The case for the development and use of “ecologically valid” measures of executive function in experimental and clinical neuropsychology. *Journal of the international neuropsychological society*, 12(02), 194-209.
- Burgess, P. W., Simons, J. S., Dumontheil, I., Gilbert, S. J., Duncan, J., & Philips, L. (2005). Measuring the mind: Speed, control, and age.
- Burgess, N., Trinkler, I., King, J., Kennedy, A., & Cipolotti, L. (2006). Impaired allocentric spatial memory underlying topographical disorientation. *Reviews in the Neurosciences*, 17(1/2), 239.
- Burgess, P.W., Veitch, E., de Lacy Costello, A., & Shallice, T. (2000). The cognitive and neuroanatomical correlates of multitasking. *Neuropsychologia* 38(6), 848-863.
- Calso, C., Besnard, J., & Allain, P. (2016). Le vieillissement normal des fonctions cognitives frontales. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 14(1), 77-85.
- Calso, C., Besnard, J., Calò, C., & Allain, P. (2015). Étude des fonctions frontales dans le vieillissement cognitif normal. *Revue de neuropsychologie*, 7(4), 257-268.
- Canty, A. L., Fleming, J., Patterson, F., Green, H. J., Man, D., & Shum, D. H. (2014). Evaluation of a virtual reality prospective memory task for use with individuals with severe traumatic brain injury. *Neuropsychological rehabilitation*, 24(2), 238-265.
- Cattell, R. B. (2004). La théorie de l'intelligence fluide et cristallisée; sa relation avec les tests «culture fair» et sa vérification chez les enfants de 9 à 12 ans. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 54(1), 47-56.
- Chevignard, M. P., Catroppa, C., Galvin, J., & Anderson, V. (2010). Development and evaluation of an ecological task to assess executive functioning post childhood TBI: the children's cooking task. *Brain Impairment*, 11(02), 125-143.
- Chrastil, E. R., & Warren, W. H. (2012). Active and passive contributions to spatial learning. *Psychonomic bulletin & review*, 19(1), 1-23.
- Cipresso, P., Albani, G., Serino, S., Pedroli, E., Pallavicini, F., Mauro, A., & Riva, G. (2014). Virtual multiple errands test (VMET): a virtual reality-based tool to detect early executive functions deficit in Parkinson's disease. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 8, 405.

- Cockrell, J. R., & Folstein, M. F. (2002). Mini-mental state examination. *Principles and practice of geriatric psychiatry*, 140-141.
- Corno, G., Bouchard, S., & Forget, H. (2014). Usability Assessment of the Virtual Multitasking Test (V-MT) for Elderly People. *Annual Review of*, 168.
- Côté, S., & Bouchard, S. (2006). La réalité virtuelle, un outil novateur en psychothérapie. *Psychologie Québec, Juillet*, 14-17.
- Craik, F. I., & Jennings, J. M. (1992). Human memory.
- Crawford, J. D., & Stankov, L. (1996). Age differences in the realism of confidence judgements: A calibration study using tests of fluid and crystallized intelligence. *Learning and Individual Differences*, 8(2), 83-103.
- Cummings, J. L. (1985). *Clinical neuropsychiatry*. New-York, USA: Grune & Stratton.
- Damasio, A. R. (1994). Descartes' error: Emotion, rationality and the human brain.
- Dawson, D. R., Anderson, N. D., Burgess, P., Cooper, E., Krpan, K. M., & Stuss, D. T. (2009). Further development of the Multiple Errands Test: Standardized scoring, reliability, and ecological validity for the Baycrest version. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 90(11), S41-S51.
- Déjos, M., Sauzéon, H., & N'kaoua, B. (2012). La réalité virtuelle au service de l'évaluation clinique de la personne âgée: le dépistage précoce de la démence. *Revue Neurologique*, 168(5), 404-414.
- Duran, L. J., & Fisher, A. G. (1996). Male and female performance on the assessment of motor and process skills. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 77(10), 1019-1024.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: attentional control theory. *Emotion*, 7(2), 336.
- Farias, S. T., Park, L. Q., Harvey, D. J., Simon, C., Reed, B. R., Carmichael, O., & Mungas, D. (2013). Everyday cognition in older adults: Associations with neuropsychological performance and structural brain imaging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 19(4), 430-441.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. Sage.
- Finucane, M. L., Mertz, C. K., Slovic, P., & Schmidt, E. S. (2005). Task complexity and older adults' decision-making competence. *Psychology and aging*, 20(1), 71.

- Franzen, M. D., & Wilhelm, K. L. (1996). Conceptual foundations of ecological validity in neuropsychological assessment.
- Fuchs, P., Moreau, G., Berthoz, A., & Vercher, J. (2006). Le traité de la réalité virtuelle (éd. 3, Vol. 1). *P. Fuchs, & G. Moreau, Éd.s.) Paris: Presses de l'Ecole des Mines de Paris.*
- Gamito, P., Oliveira, J., Caires, C., Morais, D., Brito, R., Lopes, P., ... & Picareli, F. (2015a). Virtual kitchen test. *Methods of information in medicine, 54(2)*, 122-126.
- Gamito, P., Oliveira, J., Coelho, C., Morais, D., Lopes, P., Pacheco, J., ... & Barata, A. F. (2015b). Cognitive training on stroke patients via virtual reality-based serious games. *Disability and rehabilitation, 1-4.*
- Godefroy, O., Azouvi, P., Robert, P., Roussel, M., LeGall, D., Meulemans, T., & Behalf of the Groupe de Réflexion sur l'Évaluation des Fonctions Exécutives Study Group. (2010). Dysexecutive syndrome: diagnostic criteria and validation study. *Annals of neurology, 68(6)*, 855-864.
- Greenwood, P. M. (2000). The frontal aging hypothesis evaluated. *Journal of the International Neuropsychological Society, 6(6)*, 705-726.
- Gunstad, J., Cohen, R. A., Paul, R. H., Luyster, F. S., & Gordon, E. (2006). Age effects in time estimation: relationship to frontal brain morphometry. *Journal of integrative neuroscience, 5(1)*, 75-87.
- Hartman, M., Bolton, E., & Fehnel, S. E. (2001). Accounting for age differences on the Wisconsin Card Sorting Test: Decreased working memory, not inflexibility. *Psychology and Aging, 16(3)*, 385.
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Curtiss, G. (1993). Wisconsin card sorting test manual revised and expanded. Lutz, FL: Psychological Assessment Resources.
- Hébert, K., Forget, H., Nolin, P., Forest, G., Banville, F., & Bouchard, S. (2011). Standardized scoring of the virtual multitasking test. *Journal of CyberTherapy and Rehabilitation, 4(2)*, 260-262.
- Henry, J. D., MacLeod, M. S., Phillips, L. H., & Crawford, J. R. (2004). A meta-analytic review of prospective memory and aging.
- Hoffman, H. G. (2004). Virtual-reality therapy. *Scientific American-American Edition, 291*, 58-65.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1966). Age differences in primary mental ability factors. *Journal of Gerontology, 21(2)*, 210-220.

- Jacobs, R., & Anderson, V. (2002). Planning and problem solving skills following focal frontal brain lesions in childhood: analysis using the Tower of London. *Child Neuropsychology*, 8(2), 93-106.
- Kang, Y. J., Ku, J., Han, K., Kim, S. I., Yu, T. W., Lee, J. H., & Park, C. I. (2008). Development and clinical trial of virtual reality-based cognitive assessment in people with stroke: preliminary study. *CyberPsychology & Behavior*, 11(3), 329-339.
- Karzmark, P., Llanes, S., Tan, S., Deutsch, G., & Zeifert, P. (2012). Comparison of the frontal systems behavior scale and neuropsychological tests of executive functioning in predicting instrumental activities of daily living. *Applied Neuropsychology: Adult*, 19(2), 81-85.
- 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.
- Kim, Y. M., Chun, M. H., Yun, G. J., Song, Y. J., & Young, H. E. (2011). The effect of virtual reality training on unilateral spatial neglect in stroke patients. *Annals of rehabilitation medicine*, 35(3), 309-315.
- Kim, S., Goldstein, D., Hasher, L., & Zacks, R. T. (2005). Framing effects in younger and older adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 60(4), P215-P218.
- Knight, C., Alderman, N., & Burgess, P. W. (2002). Development of a simplified version of the multiple errands test for use in hospital settings. *Neuropsychological Rehabilitation*, 12(3), 231-255.
- Kovalchik, S., Camerer, C. F., Grether, D. M., Plott, C. R., & Allman, J. M. (2005). Aging and decision making: A comparison between neurologically healthy elderly and young individuals. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 58(1), 79-94.
- Lamberts, K. F., Evans, J. J., & Spikman, J. M. (2010). A real-life, ecologically valid test of executive functioning: The executive secretarial task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 32(1), 56-65.
- Law, M. (1993). Evaluating activities of daily living: directions for the future. *American Journal of Occupational Therapy*, 47(3), 233-237.
- Lawson, S. W., Pretlove, J. R., Wheeler, A. C., & Parker, G. A. (2002). Augmented reality as a tool to aid the telerobotic exploration and characterization of remote environments. *presence: teleoperators and virtual environments*, 11(4), 352-367.



- Lee, J. H., Ku, J., Cho, W., Hahn, W. Y., Kim, I. Y., Lee, S. M., ... & Wiederhold, M. D. (2003). A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. *CyberPsychology & Behavior*, 6(4), 383-388.
- Le Gall, D., & Allain, P. (2001). Applications des techniques de réalité virtuelle à la neuropsychologie clinique. *Champ psychosomatique*, (2), 25-38.
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement: une perspective cognitive*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Le Thiec, F., Jokic, C., Enot-Joyeux, F., Durand, M., Lechevalier, B., & Eustache, F. (1999). Évaluation écologique des fonctions exécutives chez les traumatisés crâniens graves: pour une meilleure approche du handicap. In *Annales de réadaptation et de médecine physique* (Vol. 42, No. 1, pp. 1-18). Elsevier Masson.
- Levine, T., & Donitsa-Schmidt, S. (1998). Computer use, confidence, attitudes, and knowledge: A causal analysis. *Computers in human behavior*, 14(1), 125-146.
- Lewis, M. W., Babbage, D. R., & Leathem, J. M. (2011). Assessing executive performance during cognitive rehabilitation. *Neuropsychological rehabilitation*, 21(2), 145-163.
- Lezak, M.D., Howieson, D.B., Bigler, E.D. & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological assessment*, 5<sup>th</sup> edition. New-York: Oxford University Press.
- Li, Y., Baldassi, M., Johnson, E. J., & Weber, E. U. (2013). Complementary cognitive capabilities, economic decision making, and aging. *Psychology and aging*, 28(3), 595.
- Lithfous, S., Dufour, A., & Després, O. (2013). Spatial navigation in normal aging and the prodromal stage of Alzheimer's disease: insights from imaging and behavioral studies. *Ageing research reviews*, 12(1), 201-213.
- Liu, C. L., & Uang, S. T. (2016). Effects of depth perception cues and display types on presence and cybersickness in the elderly within a 3D virtual store. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 7(6), 763-775.
- MacLennan, D. L., & MacLennan, D. C. (2008). Assessing readiness for post-secondary education after traumatic brain injury using a simulated college experience. *NeuroRehabilitation*, 23(6), 521-528.
- Manchester, D., Priestley, N., & Jackson, H. (2004). The assessment of executive functions: Coming out of the office. *Brain injury*, 18(11), 1067-1081.
- McGee, J. S., van der Zaag, C., Buckwalter, J. G., Thiébaux, M., Van Rooyen, A., Neumann, U., ... & Rizzo, A. A. (2000). Issues for the assessment of visuospatial skills in older adults using virtual environment technology. *CyberPsychology & Behavior*, 3(3), 469-482.

- Mayhorn, C. B., Fisk, A. D., & Whittle, J. D. (2002). Decisions, decisions: Analysis of age, cohort, and time of testing on framing of risky decision options. *Human Factors*, 44(4), 515-521.
- Michalec, J., Bezdicek, O., Nikolai, T., Harsa, P., Jech, R., Silhan, P., ... & Shallice, T. (2017). A comparative study of tower of London scoring systems and normative data. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 32(3), 328-338.
- Neguț, A., Matu, S. A., Sava, F. A., & David, D. (2016). Virtual reality measures in neuropsychological assessment: a meta-analytic review. *The Clinical Neuropsychologist*, 30(2), 165-184.
- Nolin, P. (1999). Analyses psychométriques de l'adaptation française du California Verbal Learning Test (CVLT). *Revue québécoise de psychologie*, 20(1), 39-55.
- Nolin, P., Banville, F., Cloutier, J., & Allain, P. (2013). Virtual reality as a new approach to assess cognitive decline in the elderly. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 2(8), 612.
- Novakovic-Agopian, T., Chen, A. J. W., Rome, S., Rossi, A., Abrams, G., D'Esposito, M., ... & Kennedy, C. (2014). Assessment of subcomponents of executive functioning in ecologically valid settings: the goal processing scale. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 29(2), 136-146.
- Oswald, F. L., Hambrick, D. Z., & Jones, L. A. (2007). Keeping all the plates spinning: understanding and predicting multitasking performance. *Learning to solve complex scientific problems*, 77-97.
- Parsons, T. D. (2011). Neuropsychological assessment using virtual environments: enhanced assessment technology for improved ecological validity. In *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment* (pp. 271-289). Springer Berlin Heidelberg.
- Parsons, T. D., Silva, T. M., Pair, J., & Rizzo, A. A. (2008). Virtual environment for assessment of neurocognitive functioning: virtual reality cognitive performance assessment test. *Studies in Health Technology and Informatics*, 132, 351.
- Parsons, T. D., & Rizzo, A. A. (2008). Initial validation of a virtual environment for assessment of memory functioning: virtual reality cognitive performance assessment test. *CyberPsychology & Behavior*, 11(1), 17-25.
- Parsons, T. D., Rizzo, A. R., Zaag, C. V. D., McGee, J. S., & Buckwalter, J. G. (2005). Gender differences and cognition among older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 12(1), 78-88.
- Pedroli, E., Serino, S., Giglioli, A. C., Pallavicini, F., Cipresso, P., & Riva, G. (2016). The Use of Virtual Reality Tools for the Assessment of Executive Functions and Unilateral Spatial

- Neglect. In *Virtual Reality Enhanced Robotic Systems for Disability Rehabilitation* (pp. 115-140). IGI Global.
- Plancher, G., Nicolas, S., & Piolino, P. (2008). Apport de la réalité virtuelle en neuropsychologie de la mémoire: étude dans le vieillissement. *Psychol. NeuroPsychiatr. Vieil*, 6, 7-22.
- Plancher, G., Tirard, A., Gyselinck, V., Nicolas, S., & Piolino, P. (2012). Using virtual reality to characterize episodic memory profiles in amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: influence of active and passive encoding. *Neuropsychologia*, 50(5), 592-602.
- Rand, D., Katz, N., & Weiss, P. L. (2007). Evaluation of virtual shopping in the VMall: Comparison of post-stroke participants to healthy control groups. *Disability and rehabilitation*, 29(22), 1710-1719.
- Rand, D., Rukan, S. B. A., Weiss, P. L., & Katz, N. (2009). Validation of the Virtual MET as an assessment tool for executive functions. *Neuropsychological rehabilitation*, 19(4), 583-602.
- Raspelli, S., Carelli, L., Morganti, F., Albani, G., Pignatti, R., Mauro, A., ... & Riva, G. (2009). A neuro vr-based version of the multiple errands test for the Assessment of executive functions: A possible approach. *Journal of cybertherapy and rehabilitation*, 2(4), 299-313.
- Raspelli, S., Pallavicini, F., Carelli, L., Morganti, F., Pedroli, E., Cipresso, P., ... & Riva, G. (2012). Validating the Neuro VR-based virtual version of the Multiple Errands Test: preliminary results. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(1), 31-42.
- Raz, N., & Rodrigue, K. M. (2006). Differential aging of the brain: patterns, cognitive correlates and modifiers. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(6), 730-748.
- Renison, B., Ponsford, J., Testa, R., Richardson, B., & Brownfield, K. (2012). The ecological and construct validity of a newly developed measure of executive function: the Virtual Library Task. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(03), 440-450.
- Rhodes, M. G. (2004). Age-related differences in performance on the Wisconsin card sorting test: a meta-analytic review.
- Rizzo, A. A., Schultheis, M., Kerns, K. A., & Mateer, C. (2004). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. *Neuropsychological Rehabilitation*, 14(1-2), 207-239.
- Robertson, K., & Schmitter-Edgecombe, M. (2017). Naturalistic tasks performed in realistic environments: a review with implications for neuropsychological assessment. *The Clinical Neuropsychologist*, 31(1), 16-42.
- Robillard, G., Bouchard, S., Renaud, P., & Cournoyer, L.G. (2002). Validation canadienne-française de deux mesures importantes en réalité virtuelle : l'Immersive Tendancies Questionnaire et le

Presence Questionnaire. Poster presented at the 25ième congrès de la Société Québécoise pour la Recherche en Psychologie (SQRP), Trois-Rivières, November 1-3. Rönnlund, M., Nyberg, L., Bäckman, L., & Nilsson, L. G. (2005). Stability, growth, and decline in adult life span development of declarative memory: cross-sectional and longitudinal data from a population-based study. *Psychology and aging, 20*(1), 3.

Royall, D. R., Palmer, R., Chiodo, L. K., & Polk, M. J. (2005). Executive control mediates memory's association with change in instrumental activities of daily living: the Freedom House Study. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*(1), 11-17.

Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review, 103*(3), 403.

Salthouse, T. A. (2009). When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiology of aging, 30*(4), 507-514.

Sanders, C., Low, C., & Schmitter-Edgecombe, M. (2014). Assessment of planning abilities in individuals with mild cognitive impairment using an open-ended problem-solving task. *Journal of clinical and experimental neuropsychology, 36*(10), 1084-1097.

Sanders, C., & Schmitter-Edgecombe, M. (2012). Identifying the nature of impairment in planning ability with normal aging. *Journal of clinical and experimental neuropsychology, 34*(7), 724-737.

Schmitter-Edgecombe, M., McAlister, C., & Weakley, A. (2012). Naturalistic assessment of everyday functioning in individuals with mild cognitive impairment: The day-out task. *Neuropsychology, 26*(5), 631.

Schmitter-Edgecombe, M., Parsey, C., & Cook, D. J. (2011). Cognitive correlates of functional performance in older adults: comparison of self-report, direct observation, and performance-based measures. *Journal of the International Neuropsychological Society, 17*(05), 853-864.

Serino, S., Morganti, F., Di Stefano, F., & Riva, G. (2015). Detecting early egocentric and allocentric impairments deficits in Alzheimer's disease: an experimental study with virtual reality. *Frontiers in aging neuroscience, 7*.

Shallice, T. I. M., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain, 114*(2), 727-741.

Spikman, J. M., Boelen, D. H., Lamberts, K. F., Brouwer, W. H., & Fasotti, L. (2010). Effects of a multifaceted treatment program for executive dysfunction after acquired brain injury on indications of executive functioning in daily life. *Journal of the International Neuropsychological Society, 16*(1), 118-129.

Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia, 47*(10), 2015-2028.

- Stern, Y., Albert, S., Tang, M. X., & Tsai, W. Y. (1999). Rate of memory decline in AD is related to education and occupation Cognitive reserve?. *Neurology*, 53(9), 1942-1942.
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of communication*, 42(4), 73-93.
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. American Chemical Society.
- Strough, J., Mehta, C. M., McFall, J. P., & Schuller, K. L. (2008). Are older adults less subject to the sunk-cost fallacy than younger adults? *Psychological Science*, 19(7), 650-652.
- Sweeney, S., Kersel, D., Morris, R. G., Manly, T., & Evans, J. J. (2010). The sensitivity of a virtual reality task to planning and prospective memory impairments: Group differences and the efficacy of periodic alerts on tim, L. (2008). Initial development of a work-related assessment of dysexecutive syndrome: the Complex Task Performance Assessment. *Work*, 31(2), 221-228.
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., & Osterlind, S. J. (2001). Using multivariate statistics.
- Taillade, M., N’Kaoua, B., Pala, P. A., & Sauzéon, H. (2014). Cognition spatiale et vieillissement: les nouveaux éclairages offerts par les études utilisant la réalité virtuelle. *Revue de neuropsychologie*, 6(1), 36-47.
- Unterrainer, J. M., Rahm, B., Kaller, C. P., Leonhart, R., Quiske, K., Hoppe-Seyler, K., ... & Halsband, U. (2004). Planning abilities and the Tower of London: is this task measuring a discrete cognitive function?. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 26(6), 846-856.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological bulletin*, 120(2), 272.
- West, R. (2017). Aging and the neural correlates of executive function. Dans S. A. Wiebe et J. Karbach (dir), *Executive Function: Development Across the Life Span* (chap. 6). New-York, USA: Routledge.
- Whalley, L. J., Deary, I. J., Appleton, C. L., & Starr, J. M. (2004). Cognitive reserve and the neurobiology of cognitive aging. *Ageing research reviews* 3(4), 369-382.
- Wolbers, T., & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities?. *Trends in cognitive sciences*, 14(3), 138-146.
- Wolf, T. J., Morrison, T., & Matheson, L. (2008). Initial development of a work-related assessment of dysexecutive syndrome: The Complex Task Performance Assessment. *Work*, 31(2), 221-228.

- Yantz, C. L., Johnson-Greene, D., Higginson, C., & Emmerson, L. (2010). Functional cooking skills and neuropsychological functioning in patients with stroke: An ecological validity study. *Neuropsychological rehabilitation, 20*(5), 725-738.
- Zacks, J. M., Vettel, J. M., & Michelon, P. (2003). Imagined viewer and object rotations dissociated with event-related fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience, 15*(7), 1002-1018.
- Zhou, X., & Raiford, S. E. (2011). Using the WASI-II with the WISC®-IV: Substituting WASI-II Subtest Scores When Deriving WISC-IV Composite Scores.