

Université de Montréal

**Validation d'une tâche de classement à l'intérieur du *Virtual Multitasking Test* (VMT-2)
et effets du vieillissement normal**

par
Claudia Lussier

Département de psychologie
Faculté des arts et sciences

Essai doctoral présenté en vue de l'obtention du grade de
Doctorat en psychologie – Option neuropsychologie clinique

Mai 2018

© Claudia Lussier, 2018

Résumé

Le vieillissement normal est un processus évolutif caractérisé par des changements cognitifs, fonctionnels et neuroanatomiques. Les fonctions exécutives (FE), associées à l'autonomie dans les activités instrumentales de la vie quotidienne (AIVQ), sont particulièrement sensibles aux effets de l'âge. À l'heure actuelle, l'évaluation neuropsychologique de type « papier-crayon » est l'approche la plus utilisée pour décrire le profil cognitif d'une personne, toutefois, sa faible validité écologique est souvent critiquée. La réalité virtuelle (RV) est une alternative intéressante, car elle évalue le degré de fonctionnalité en reproduisant plus fidèlement la réalité du quotidien. Son utilisation auprès des aînés en est pourtant à ses débuts. Les objectifs de l'étude étaient donc (1) de différencier le comportement des adultes (18-45 ans) et des aînés (65 ans et +) cognitivement sains dans une tâche de classement intégrée dans un nouvel outil technologique d'évaluation neuropsychologique, le *Virtual Multitasking Test* (VMT-2) et (2) d'étudier la validité de la tâche indépendamment de l'âge des participants (d'une part) et en contrôlant pour l'effet de l'âge (de l'autre). L'échantillon final ($n = 25$) comportait 14 participants « jeunes » et 11 participants « âgés ». Les résultats indiquent que les aînés prennent plus de temps pour réaliser la tâche que les jeunes adultes, mais qu'ils ne font pas plus d'erreurs dans la réalisation de la tâche. De plus, les indices retenus dans le VMT-2 corrélaient avec certaines variables issues du bilan neuropsychologique standard, en particulier celles qui évaluent les FE. Des nuances dans l'interprétation des résultats doivent toutefois être apportées lorsque nous considérons l'effet de l'âge sur les données obtenues. En somme, le VMT-2 semble offrir la possibilité d'une évaluation valide des fonctions cognitives selon l'âge. Des travaux futurs pourraient s'intéresser à son utilisation auprès d'aînés à risque

de développer un trouble neurocognitif (TNC) pour intervenir précocement et ainsi prolonger leur indépendance fonctionnelle.

Mots clés : Vieillesse normale, fonctions exécutives, réalité virtuelle, évaluation neuropsychologique

Abstract

Normal aging is a natural process characterized by cognitive, functional and neuroanatomic changes. Executive functions (EF) are sensible to age effects. A dysfunction in this area is closely related to impairment in instrumental activities of daily living (IADL). To date, traditional neuropsychological evaluation is the most widely used approach for cognitive assessment. However, its low ecological validity is often questioned. Virtual reality (VR) is presented as an interesting alternative because it evaluates the degree of functionality by reproducing more accurately real-life situations. The use of VR technology in the field of cognitive aging is still at its early stages. Thus, the objectives of this research were the following: (1) to differentiate healthy younger and older adults in a sorting task of the Virtual Multitasking Test (VMT-2) and (2) to study the validity of the sorting task regardless of participants' age, on the one hand, and by controlling for age effect on the other hand. The final sample size ($n = 25$) included 14 "younger adults" participants and 11 "older adults" participants. Results suggest that elderly took more time to complete the task than younger adults. Significant correlations were also found between VMT-2 measures and performance on neuropsychological measures, especially on executive functioning. However, nuances must be made when we consider the age effect. In conclusion, VMT-2 seems to be a valid tool for cognitive and functional assessment in normal aging. Future research should investigate its utilization with elderly at risk of developing a neurocognitive disorder. This can promote early intervention and thus help maintain functional independence.

Key words: Normal aging, executive functions, virtual reality, neuropsychological evaluation

Table des matières

| | |
|--|------|
| Résumé..... | ii |
| Abstract..... | iv |
| Table des matières..... | v |
| Liste des tableaux..... | vii |
| Liste des figures | viii |
| Liste des abréviations..... | x |
| Dédicace..... | xi |
| Remerciements..... | xii |
| | |
| Introduction..... | 1 |
| 1. Contexte théorique..... | 3 |
| 1.1. Effets du vieillissement normal..... | 3 |
| 1.1.1. Vieillissement normal et réserve cognitive | 3 |
| 1.1.2. Vitesse de traitement de l’information | 4 |
| 1.1.3. Fonctions exécutives | 5 |
| 1.2. Évaluation du fonctionnement quotidien | 10 |
| 1.2.1. Évaluation neuropsychologique traditionnelle | 11 |
| 1.2.2. Évaluation neuropsychologique écologique..... | 12 |
| 1.2.3. Utilisation de la RV auprès des personnes âgées | 14 |
| 2. Objectifs et hypothèses..... | 18 |
| 3. Méthode..... | 19 |
| 3.1. Participants..... | 19 |

| | |
|---|----|
| 3.2. Matériel | 20 |
| 3.2.1. Mesures de contrôle..... | 20 |
| 3.2.2. Évaluation neuropsychologique | 23 |
| 3.2.3. Questionnaires post-immersion | 26 |
| 3.2.4. VMT-2 | 26 |
| 3.3. Déroulement..... | 30 |
| 3.4. Analyses statistiques | 30 |
| 4. Résultats | 31 |
| 4.1. Caractéristiques sociodémographiques des participants | 31 |
| 4.2. Résultats obtenus sur les mesures de contrôle | 32 |
| 4.3. Analyses des différences dans la performance au VMT-2 (Hypothèse 1)..... | 34 |
| 4.4. Analyses psychométriques : validité convergente (Hypothèse 2) | 35 |
| 5. Discussion..... | 43 |
| 5.1. Différences d'âge lors de la performance au VMT-2 | 43 |
| 5.2. Test de la validité convergente des tâches du VMT-2..... | 47 |
| 5.3. Limites de l'étude et recherches futures | 51 |
| Conclusion | 54 |
| Références..... | 56 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1. <i>Caractéristiques sociodémographiques des participants</i> | 32 |
| Tableau 2. <i>Moyennes et écarts-types obtenus pour les mesures de contrôle</i> | 33 |
| Tableau 3. <i>Moyennes et écarts-types obtenus aux questionnaires post-immersion</i> | 34 |
| Tableau 4. <i>Temps moyen de réalisation, succès aux tâches dans le VMT-2 et différences de groupes</i> | 35 |
| Tableau 5. <i>Différences de moyennes entre les groupes d'âge sur les variables traditionnelles</i> | 36 |
| Tableau 6. <i>Analyses corrélationnelles (a priori et a posteriori) sans égard à l'âge entre la tâche de classement de l'épicerie et certains indices de performance aux tests cognitifs</i> | 39 |
| Tableau 7. <i>Analyses corrélationnelles sur l'ensemble de l'échantillon entre la tâche de classement de l'épicerie et les indices de performance aux tests cognitifs</i> | 42 |

Liste des figures

Figure 1. Tracé de navigation d'un participant âgé dans l'appartement virtuel.27

Figure 2. Présentation temporelle des tâches dans le VMT-2.28

Liste des abréviations

AIVQ : Activités instrumentales de la vie quotidienne

AVD : Activités de la vie domestique

AVQ : Activités de la vie quotidienne

BADLS : *Bristol Activities of Daily Living Scale*

BADS : *Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome*

BDI-II : *Beck's Depression Inventory*

CDR : *Clinical Dementia Rating*

CWIT : *Color Word Interference Test*

DEX : *Dysexecutive Questionnaire*

DFT : *Design Fluency Test*

D-KEFS : *Delis-Kaplan Executive Function System*

EV : Environnement virtuel

FAB : *Frontal Assessment Battery*

FE : Fonctions exécutives

FUCAS : *Functionnal Cognitive Assessment Scale*

IPQ : *iPresence Questionnaire*

MA : Maladie d'Alzheimer

MdT : Mémoire de travail

MoCA : *Montreal Cognitive Assessment*

NASA TLX : *Nasa Task Load Index*

NI-VCT : *Non-Immersive Virtual Coffee Task*

QAF : Questionnaire sur les activités fonctionnelles

RAVT : *Rey Auditory Verbal Learning Test*

RBMT : *Rivermead Behavioural Memory Test*

ROCFT : *Rey Osterrieth Complex Figure Test*

RV : *Réalité virtuelle*

SET : *Six Elements Test*

SSQ : *Simulator Sickness Questionnaire*

STAI : *State-Trait Anxiety Inventory*

TCL : *Trouble cognitif léger*

TEA : *Test of Every Test*

TMT : *Trail Making Test*

TNC : *Trouble neurocognitif*

VMT-2 : *Virtual Multitasking Test*

VR-DOT : *Virtual Reality Day-Out Task*

VSM : *Virtual Supermarket*

VTI : *Vitesse de traitement de l'information*

WCST : *Wisconsin Card Sorting Test*

ZMT : *Zoo Map Test*

*À grand'man Marjo, l'avant-gardiste.
Pour avoir su reconnaître l'importance de
l'éducation et de l'acquisition du savoir à
une époque où les femmes accédaient
difficilement aux études universitaires.*

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Frédéric Banville, mon directeur de recherche, de m'avoir accueillie sans hésitation dans son nouveau laboratoire alors que mon parcours doctoral était déjà bien entamé. Il a su me faire confiance en m'accompagnant dans ce projet de recherche clinique qui correspondait à nos champs d'intérêts communs et m'inspirait tout particulièrement. J'ai ainsi retrouvé petit à petit le goût de poursuivre mon cheminement universitaire et de croire en mes capacités. Son dévouement a aussi permis au laboratoire d'obtenir les ressources humaines et matérielles nécessaires afin d'accomplir l'impossible dans les délais qui nous étaient impartis. Je suis enfin reconnaissante de la flexibilité dont il a fait preuve et surtout, de son écoute et de son respect, qui ont été pour moi des phares.

Il s'avère important pour moi de mentionner l'appui de Docteure Elaine de Guise, directrice du programme, et de Madame Diane Lacoste, technicienne en gestion des dossiers étudiants, sans qui j'aurais facilement pu me perdre dans les méandres administratifs inhérents à mon parcours doctoral atypique.

De plus, je ne peux passer sous silence le travail de Sabrina Tabet, notre auxiliaire de recherche qui a mené de main de maître le *testing*, et celui de nos bénévoles. Je remercie aussi Edith Massicotte, mon acolyte, pour avoir partagé avec moi les moments de fatigue et de découragement lors de notre projet de recherche commun. Son sarcasme m'a souvent permis de dédramatiser les problèmes rencontrés pendant la rédaction.

Par ailleurs, je suis particulièrement reconnaissante envers Nus pour m'avoir nourrie, accompagnée tant de fois chez McDo pour un café et aidée à trouver le fameux bon mot ou la phrase parfaite lors de la rédaction. Une amitié unique et authentique s'est développée au cours

de nos dernières années d'études. Je remercie parallèlement Dro, avec qui j'ai eu de drôles de dialogues franco-hispano-anglophones. Nous nous sommes néanmoins toujours comprises lorsqu'il s'agissait de statistiques ou tout simplement de manger du St-Hub ou de la poutine chez Dilallo.

Je tiens à mettre en évidence l'implication dans mon projet de recherche de mes voisins de l'autre côté du bois et de leur famille élargie. Leur nourriture et leur thé m'ont fréquemment permis de survivre alors que j'oubliais de me nourrir. Un merci spécial à Chantal qui est si souvent restée éveillée jusqu'au petit matin pour m'accompagner dans la rédaction de mon essai doctoral. J'exprime aussi ma reconnaissance à mes voisins directs qui m'ont offert une place sur leurs patios pour écrire pendant des heures, l'été, au doux son des poulettes. Enfin, je remercie les *girls* du secondaire que j'ai malgré moi un peu trop négligées.

Pour finir, je tiens à souligner le soutien précieux de mes familles maternelle et paternelle. Elles ont souvent toléré mon humeur maussade, mon stress dû aux échéances et mes absences fréquentes lors des réunions de famille. Une grande part de ma gratitude s'adresse à mon papa qui n'a cessé de croire en moi malgré un lot d'épreuves incessant. J'offre enfin mes remerciements à Simon, pour son amour et son soutien inconditionnel dans toutes les sphères de ma vie. Nos discussions m'ont maintes fois permis d'appréhender toutes les facettes des difficultés rencontrées lors de la rédaction. Ses doux silences et son calme ont toujours été si apaisants. Dès le début de cette longue aventure, il m'a accompagnée en acceptant sans jugement mes hauts et mes bas bien que cette dernière année n'ait pas été facile.

Introduction

Le vieillissement de la population est à l'origine d'enjeux individuels et sociétaux, notamment sur le plan socio-économique et de la santé publique (Bherer, 2015). Ce phénomène fait référence à l'augmentation considérable de la proportion et du nombre absolu de personnes âgées à l'échelle mondiale (Organisation mondiale de la Santé, 2016). Le vieillissement de la population est typiquement attribué à l'interaction entre deux facteurs démographiques : la diminution du taux de natalité depuis les années 1960 d'une part et l'augmentation de l'espérance de vie liée à l'amélioration des conditions de vie ainsi qu'au développement scientifique et technologique d'autre part (Ministère de la Famille et des Aînés, 2012). Les projections pour 2050 prévoient que plusieurs pays, notamment en Europe et en Amérique du Nord, atteindront une proportion d'environ 30 % de personnes âgées de 60 ans et plus (Organisation mondiale de la Santé, 2016). Des tendances similaires sont observées au Canada. Selon le dernier recensement canadien, environ 13 % de la population totale était âgée de 65 ans et plus et 2,2 % de 85 ans et plus en 2016 (Statistique Canada, 2017). Les projections pour 2024 prévoient qu'environ 20,1 % de la population sera âgée de 65 ans et plus (Statistique Canada, 2015). Le Québec n'échappe évidemment pas à cette transformation démographique (Ministère de la Famille et des Aînés, 2012).

Le vieillissement est un processus évolutif qui renvoie à une série de changements, notamment à des altérations cognitives normales. Lorsqu'on observe des changements pathologiques par rapport au niveau antérieur de fonctionnement (*American Psychiatric Association*, 2015) qui ne font pas partie du vieillissement normal, on parle en revanche de troubles neurocognitifs (TNC) majeurs ou légers. La conceptualisation théorique du TNC léger est un construit en évolution dans la littérature scientifique (Petersen et al., 2014). L'*American*

Psychiatric Association a publié en 2013 de nouveaux critères pour la démence et reconnaît désormais l'existence d'un stade prédéméntiel qui précède le TNC majeur, soit le TNC léger (Petersen et al., 2014). La compréhension clinique du TNC léger est principalement issue de la recherche sur le trouble cognitif léger (TCL) et par conséquent, les critères diagnostiques principaux sont les mêmes : (1) plaintes cognitives autorapportées ou rapportées par un informant; (2) présence d'un déclin cognitif objectif dans un domaine cognitif ou plus; (3) indépendance fonctionnelle essentiellement préservée et (4) absence de démence. Le TCL peut donc être considéré comme un stade de transition (phase prodromique) entre le vieillissement cognitif normal et le développement d'une démence (Petersen et al., 2014). Ainsi, certaines personnes atteintes d'un TNC léger ou TCL verront leur symptomatologie progresser vers un TNC majeur alors que d'autres retrouveront une cognition normale (Jak et al., 2009). Le masquage diagnostique (Monette et Leach, 2013) et divers facteurs de nature personnelle ou physiologique (Sachdev et al., 2013) sont associés à la réversibilité (ou non) de ce syndrome clinique.

Par ailleurs, d'importants questionnements sur les causes de la dégénérescence cognitive demeurent encore en suspens (Salthouse, 2010). Devant la croissance rapide du nombre de personnes âgées dans la population, les TNC majeurs et légers préoccupent les gouvernements et les institutions de santé (Ministère de la Famille et des Aînés, 2012). En ce sens, il est important de développer des outils d'évaluation neuropsychologique qui permettent d'identifier les aînés à risque d'évoluer vers un TNC majeur, et ce, afin d'intervenir précocement, de prolonger leur autonomie fonctionnelle et de retarder leur institutionnalisation. L'accès à des outils valides et fiables afin d'évaluer le fonctionnement cognitif des personnes âgées de manière écologique, c'est-à-dire de façon à tracer un profil des habiletés fonctionnelles telles

que retrouvées dans le quotidien, apparaît essentiel. L'essor technologique a d'ailleurs permis le développement de nouveaux outils d'évaluation tels que ceux disponibles via la réalité virtuelle (RV), de plus en plus reconnue pour sa validité écologique (Nolin et al., 2013; Zucchella et al., 2014). Cependant, étant donné le caractère encore exploratoire des recherches sur la RV, il est essentiel de déterminer les compétences des aînés concernant la technologie puisqu'ils ont, à ce jour, été moins exposés aux ordinateurs que les jeunes adultes. Le développement d'outils d'évaluation passe ainsi par une meilleure connaissance du comportement des aînés, reconnus comme étant « cognitivement sains », face aux nouvelles technologies et plus particulièrement, en interaction avec un environnement virtuel (EV).

1. Contexte théorique

1.1. Effets du vieillissement normal

1.1.1. Vieillesse normale et réserve cognitive

Il est établi que le vieillissement normal peut influencer le fonctionnement cognitif dont la mémoire épisodique, la vitesse de traitement de l'information (VTI), la mémoire de travail (MdT) et quelques processus exécutifs (Bherer, 2015) tels que la flexibilité mentale, la planification et l'inhibition (Collette et Salmon, 2014). Il existe cependant une hétérogénéité dans le vieillissement cognitif dit normal (Bherer, 2015). Ce phénomène peut s'observer à travers différentes fonctions alors que certaines tendent à être altérées et d'autres sont préservées. Par exemple, la mémoire sémantique, qui réfère aux informations et connaissances sur le monde acquises avec le temps (p. ex. vocabulaire, idées et concepts), semble être plus résistante au vieillissement (Calso, Besnard et Allain, 2016) que la mémoire autobiographique. Il existe aussi une variabilité interindividuelle qui s'accroît avec l'âge et qui se reflète dans la

manière dont les changements cognitifs s'opèrent pour chaque individu (Bherer, 2015; Salthouse, 2010). Certains individus vivent des changements cognitifs alors que d'autres demeurent relativement stables ou continuent de s'améliorer tout au long de leur vie (Salthouse, 2010). En ce sens, le concept de réserve cognitive « postule que les différences interindividuelles dans les processus cognitifs ou réseaux neuronaux impliqués dans la réalisation de tâches permettent à certains individus de mieux faire face que d'autres aux dommages cérébraux » (traduction libre; Stern, 2009, p. 2016). Une littérature abondante documente d'ailleurs l'association entre certaines expériences de vie qui stimulent la cognition (p. ex. activités éducatives et de loisirs) et la diminution du risque de développer une démence ou un ralentissement du déclin mnésique dans le vieillissement normal (Stern, 2009). Bref, selon leur « niveau de réserve cognitive », les individus sont plus ou moins bien outillés pour faire face aux enjeux liés au vieillissement, ce qui engendre une hétérogénéité des profils cognitifs dans la population normale vieillissante.

1.1.2. Vitesse de traitement de l'information

Le ralentissement cognitif est susceptible d'avoir des répercussions non négligeables dans les activités de la vie quotidienne (AVQ) et les activités de la vie domestiques (AVD) des personnes âgées. Une étude a notamment démontré que la diminution de la VTI compte parmi l'un des trois facteurs prédictifs de l'arrêt de la conduite automobile (Edwards, Bart, O'Connor et Cissel, 2010). Parmi les hypothèses avancées pour comprendre les perturbations cognitives dans le vieillissement normal, celle du ralentissement cognitif, et plus précisément de la diminution de la VTI, est souvent mise de l'avant dans la littérature (Salthouse, 1991; Salthouse, 1996). Deux mécanismes peuvent expliquer la relation qui existe entre la VTI et la cognition.

D'une part, le mécanisme du temps limité propose que les opérations cognitives doivent être achevées à l'intérieur du temps imparti et que le temps utilisé pour résoudre des opérations mentales à un temps t , réduit considérablement celui disponible pour résoudre les opérations ultérieures à ce temps t . En d'autres termes, le temps nécessaire pour réaliser les opérations ultérieures est grandement limité par celui pris pour réaliser les opérations antérieures. D'autre part, le mécanisme de simultanéité propose que la disponibilité de l'information en termes de quantité et de qualité diminue avec le temps. Par conséquent, plus la vitesse de traitement des opérations à un temps t est lente, plus les informations pertinentes sont susceptibles de se perdre dans la MdT, ce qui ne peut qu'affecter la réalisation des opérations subséquentes et engendrer des erreurs (Salthouse, 1996).

1.1.3. Fonctions exécutives

Par définition, les fonctions exécutives (FE) renvoient à un ensemble de capacités qui permettent à un individu de s'adapter à des situations nouvelles. Elles soutiennent aussi plusieurs autres habiletés cognitives, émotionnelles et sociales (Lezak, Howieson, Bigler et Tranel, 2012). Elles sont typiquement associées aux lobes frontaux et plus spécifiquement, au cortex préfrontal dorsolatéral et ventral (Stuss et Levine, 2002). Il n'existe toutefois aucune définition consensuelle des FE dans la littérature (Calson, Besnard et Allain, 2016). De façon générale, les auteurs considèrent qu'elles renvoient à un terme générique qui regroupe un ensemble de sous-composantes dites de haut niveau telles que la planification, la MdT, l'inhibition, la flexibilité mentale (ou l'alternance), la mise à jour, la résistance à l'interférence et la résolution de problèmes (Calso, Besnard et Allain, 2016; Chan, Shum, Toulopoulou et Chen, 2008; Sorel et Pannequin, 2008; Stuss et Levine, 2002). Les FE sont impliquées dans le

contrôle et la régulation des opérations cognitives dites de bas niveau (Stuss et Levine, 2002) telles que les processus perceptifs, la mémoire, le langage et la motricité.

Des épreuves neuropsychologiques traditionnelles ont été développées dans le but d'évaluer le fonctionnement exécutif. Par exemple, les tâches de classement ou de *sorting* évaluent l'abstraction, la catégorisation, l'organisation de l'information, la planification et la flexibilité mentale. Plus spécifiquement, elles impliquent la capacité à déduire un principe de classification ou de catégorisation et à le modifier (mettre à jour) en réponse aux contingences environnementales, c'est-à-dire à la rétroaction (Strauss, Sherman et Spreen, 2006). Selon Stuss et Levine (2002), plusieurs processus cognitifs sont susceptibles d'influencer la performance aux tâches de *sorting* comme la génération et l'identification de concepts, l'attention soutenue, l'utilisation de la rétroaction pour orienter ses actions et la résistance à l'interférence. Les auteurs précisent que, lorsque plusieurs concepts sont possibles au cours de la tâche, des capacités d'alternance et d'inhibition de réponses persévératives sont aussi sollicitées.

L'altération du fonctionnement exécutif ne semble pas affecter l'ensemble du système frontal, mais plus particulièrement la région frontale dorsolatérale qui implique notamment les processus d'inhibition, de planification, de flexibilité, de déduction de règles et de MdT (Allain, Kauffmann, Dubas, Berrut et Le Gall, 2007). Le déclin exécutif observé dans le vieillissement normal tend à être sélectif. En ce sens, des différences au sein d'un même processus exécutif sont observées et peuvent se traduire par la préservation d'un mécanisme et l'altération d'un autre (pour une revue de la littérature, voir Collette et Salmon, 2014). En outre, des variables non exécutives telles que la VTI (Salthouse, 1991; Salthouse, 1996) et la MdT (Hartman, Bolton et Fehnel, 2001) sont susceptibles d'influencer les capacités exécutives des personnes âgées.

Flexibilité mentale. Des changements cognitifs sont aussi observés dans les tâches qui évaluent principalement le processus de flexibilité mentale (Calso, Besnard et Allain, 2016; Collette et Salmon, 2014). Par exemple, le temps de complétion (en secondes) et le taux d'erreurs (en pourcentages cumulatifs) du *Trail Making Test* (TMT) augmentent avec l'avancement en âge (55 à 74 ans versus 75 à 98 ans) (Ashendorf et al., 2008). Les personnes âgées ont également de moins bonnes performances que les jeunes à plusieurs variables du *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST) : *perseverative responses*, *perseverative errors*, *trials to 1st category*, *failure to maintain set* (Ashendorf et McCaffrey, 2008). L'hypothèse avancée par ces auteurs pour expliquer le déclin de la performance avec l'avancée en âge est l'utilisation inefficace de la rétroaction fournie par l'évaluateur. Dans la même perspective, Crawford et ses collaborateurs (2000) ont trouvé que l'augmentation de l'âge est négativement liée aux résultats d'une version modifiée du test de classement de cartes de Wisconsin. Par ailleurs, la diminution des capacités de flexibilité cognitive semble varier selon le processus d'alternance impliqué (Collette et Salmon, 2014). Les aînés seraient particulièrement sensibles aux coûts de la *flexibilité globale* alors qu'ils ne seraient pas vraiment affectés par ceux de la *flexibilité locale* (pour une méta-analyse, voir Wasylyshyn, Verhaeghen et Sliwinski, 2011). Plus spécifiquement, la flexibilité globale exige que la personne alterne entre deux tâches différentes, dont une génère de l'interférence, ce qui exige de maintenir et de coordonner deux tâches en MdT. La flexibilité locale fait simplement appel à la capacité à alterner entre deux tâches similaires, ce qui sollicite, entre autres, une bonne attention sélective et alternée (Collette et Salmon, 2014; Wasylyshyn, Verhaeghen et Sliwinski, 2011).

Planification. Le vieillissement normal s'accompagne de difficultés dans les tâches qui impliquent la planification d'actions mentales et motrices (Collette et Salmon, 2014). Par

exemple, la performance à la Tour de Hanoi diminue avec l'âge. Il semble que la combinaison entre la VTI et l'alternance compte pour 58,33 % de la performance obtenue dans la construction de tours avec trois disques (Sorel et Pennequin, 2008). Une telle diminution de la performance est aussi observée à la Tour de Londres (Bugg, Zook, DeLosh, Davalos et Davis, 2006). Finalement, les aînés ont de moins bons résultats dans les tâches de planification qui requièrent de résoudre des labyrinthes (p. ex. *Porteus Maze*) (Daigneault, Braun et Whitaker, 1992).

Mémoire de travail. La MdT, qui renvoie à la capacité à maintenir et à manipuler temporairement de l'information, semble diminuer au cours du vieillissement normal (Calso, Besnard et Allain, 2016; Calso, Collette et Salmon, 2014). Ce type de mémoire est très important dans la vie quotidienne, car il permet aux individus de suivre une conversation sans perdre le fil ou de se souvenir de ce qui vient juste d'être lu. Gras et ses collaborateurs (2012) ont démontré que la diminution de la MdT avec l'avancement en âge explique les difficultés dans l'apprentissage des instructions d'un itinéraire chez les personnes âgées. En outre, la MdT est typiquement évaluée par des mesures d'empan verbal ou visuospatial dans lesquelles la personne doit restituer immédiatement les stimuli présentés en ordre inverse (Park et Payer, 2006). Les tâches de MdT nécessitent l'intervention de deux processus dont les actions sont complémentaires, soit le stockage et le traitement de l'information. Les effets de l'âge semblent ainsi plus prononcés pour les tâches de MdT que pour les tâches de mémoire à court terme, lesquelles ne requièrent que le stockage de l'information (pour une méta-analyse, voir Bopp et Verhaeghen, 2005).

Inhibition. Une diminution des capacités d'inhibition est observée avec l'avancée en âge (Collette et Salmon, 2014). Les défauts d'inhibition sont entre autres apparents dans la condition incongruente de la tâche de Stroop qui vise à nommer la couleur d'un mot tout en inhibant la

lecture de ce mot (p. ex. nommer la couleur de l'encre du mot « bleu » écrit en « rouge ») (Andrés, Guerrini, Phillips et Perfect, 2008; Sorel et Pannequin, 2008; Spieler, Balota et Faust, 1996). La lecture du mot interfère donc sur la dénomination de la couleur. Une dissociation existe toutefois entre l'inhibition exécutive (ou contrôlée) et l'inhibition automatique (ou non intentionnelle) (Collette et Salmon, 2014). On appelle cette inhibition automatique le paradigme d'amorçage négatif, observé pour la première fois par Dalrymple-Alford et Budayr (1966). Il a été plus tard repris par Tipper (1985). Il s'agit de l'augmentation du délai de réponse lorsqu'on présente à la personne des paires d'items dont l'un passe du statut de non-cible dans le premier essai séquentiel à celui de cible dans le suivant, comparativement aux essais contrôles dans lesquels les items ne se répètent jamais où le délai de réponse est moindre. Ce phénomène s'explique par le fait que dans les essais séquentiels, l'inhibition du premier item non-cible vient perturber l'évocation dudit item dans le deuxième essai lorsque ce dernier devient la cible. La dissociation est illustrée par le fait que la performance des aînés est plus affectée dans les tâches d'interférence de Stroop et de *Stop-Signal* (c.-à-d. que l'effet d'interférence est plus important chez les aînés; inhibition exécutive) que dans les tâches qui font appel au paradigme d'amorçage négatif (inhibition automatique). On constate en effet que l'inhibition des aînés est préservée au même titre que celle des jeunes et que leur délai de réponse est similaire (Andrés, Guerrini, Phillips et Perfect, 2008).

En résumé, le vieillissement normal est associé à divers changements cognitifs. Certains auteurs considèrent que la diminution de la VTI est l'un des principaux phénomènes qui permettent d'expliquer la détérioration des fonctions cognitives dans le vieillissement normal. En outre, les causes de ce ralentissement cognitif général, très certainement multifactorielles, n'ont pas encore été clairement identifiées (Kerchner et al., 2012). L'hypothèse d'un lien entre

l'âge et des changements de l'intégrité de la matière blanche est fréquemment soulevée dans la littérature (Abe et al., 2002; Bennett et al., 2010; Kerchner et al., 2012). Ce phénomène, aussi associé au vieillissement, est mesuré à l'aide de différentes techniques telles que l'imagerie du tenseur de diffusion (DTI), une technique basée sur l'imagerie par résonance magnétique (MRI). Notons également que des corrélations sont trouvées entre les mesures de DTI et de vitesse de traitement dans des tâches exécutives et de MdT qui sont plus exigeantes cognitivement (Charlton et al., 2008). Enfin, l'avancement en âge semble principalement affecter les lobes frontaux, lesquels sous-tendent les FE. Celles-ci jouent sans contredit un rôle important dans la préservation de l'autonomie fonctionnelle et rendent possible la participation active à la vie en société (Calso, Besnard et Allain, 2016). Les altérations cognitives associées au vieillissement normal ont nécessairement un impact plus ou moins prononcé (p. ex. ne pas prendre sa médication adéquatement à plusieurs reprises par rapport à avoir de la difficulté à se souvenir où l'on a mis ses clés) sur le fonctionnement quotidien et l'indépendance des aînés (pour une revue de la littérature voir, Ball, Ross et Viamonte, 2010; Collette et Salmon, 2014).

1.2. Évaluation du fonctionnement quotidien

Depuis quelques années, un changement s'opère en neuropsychologie pour laisser place au développement de tâches destinées à mesurer les aspects fonctionnels du comportement des aînés (Marcotte et Grant, 2010). De manière générale, les auteurs font la distinction entre les AVQ et les activités instrumentales de la vie quotidienne (AIVQ) (Tarnanas et al., 2013). Les AVQ font référence aux besoins de base tels que se déplacer, s'habiller, s'alimenter et se laver. Les AIVQ facilitent pour leur part l'autonomie fonctionnelle par divers moyens tels que

l'utilisation de transport, la gestion des finances et la gestion de la médication et l'entretien de la maison (Tarnanas et al., 2013).

La plupart des tests ont tendance à tracer un profil de performance dans un domaine spécifique (p. ex. les FE) ou à donner une opinion en regard de la capacité à utiliser une fonction cognitive (p. ex. la planification). Les fonctions cognitives sont généralement mesurées de manière isolée et dans des situations artificielles (Allain et al., 2014). Cependant, dans les approches dites fonctionnelles, naturelles ou écologiques de l'évaluation neuropsychologique, les performances recueillies lors de la réalisation d'AIVQ permettent, pour leur part, de comprendre les difficultés fonctionnelles et de prédire le fonctionnement quotidien des personnes âgées (Vanghan et Giovanello, 2010). À l'heure actuelle, encore peu de méthodes objectives et écologiques sont disponibles pour évaluer les AVQ et les AIVQ (Allain et al., 2014) de manière naturelle. Bref, il est tout à fait pertinent de développer ce type d'outils qui permettent de décrire le fonctionnement quotidien d'une personne dans le contexte du vieillissement normal et pathologique.

1.2.1. Évaluation neuropsychologique traditionnelle

L'évaluation neuropsychologique implique typiquement des épreuves dites de type papier-crayon (Zucchella et al., 2014). Les épreuves traditionnelles sont reconnues pour être réalisées dans un environnement standardisé à l'abri des distractions et de l'influence de variables confondantes. Ce type d'approche est souvent critiqué pour sa faible validité écologique (Nolin, Banville, Cloutier et Allain, 2013). La validité écologique des épreuves traditionnelles qui évaluent le fonctionnement exécutif est faible à modérée, variant entre $r \leq 0,24$ et $r \leq 0,5$ (Lewis, Babbage et Leathem, 2011). Elles sont par conséquent plus ou moins

généralisables et représentatives du quotidien (Burgess et al., 2006). La faible validité en regard du fonctionnement quotidien des épreuves neuropsychologiques peut s'exprimer différemment selon les situations. D'une part, des difficultés importantes peuvent ressortir lors des épreuves malgré la présence d'une autonomie fonctionnelle adéquate (Lewis, Babbage et Leathem, 2011). D'autre part, une bonne performance aux épreuves neuropsychologiques peut être observée malgré un fonctionnement quotidien problématique (Shallice et Burgess, 1991). Par ailleurs, l'évaluation des AVQ et AIVQ à l'aide de questionnaires autorapportés et remplis par les proches ou les cliniciens (p. ex. *Lawton-Brody IADL scale*; Lawton et Brody, 1969) n'atteignent généralement pas un niveau comparable en termes de spécificité et de validité écologique par rapport aux EV (Allain et al., 2014). Une meilleure validité écologique permet pourtant de mieux prédire le fonctionnement de l'individu dans la vie quotidienne (Nolin, Banville, Cloutier et Allain, 2013), ce qui représente un avantage considérable.

1.2.2. Évaluation neuropsychologique écologique

L'approche écologique renvoie au degré avec lequel la performance à une épreuve neuropsychologique correspond à la performance dans l'environnement réel (Chaytor et Schmitter-Edgecombe, 2003). Il existe deux approches pour aborder ce type d'outils d'évaluation. Premièrement, la **véridicalité** renvoie à la capacité des tests existants à prédire les capacités cognitives de l'individu dans son quotidien (Chaytor et Schmitter-Edgecombe, 2003). Deuxièmement, la **vérisimilitude** renvoie au degré avec lequel les demandes cognitives d'un test s'apparentent à celles retrouvées dans le quotidien (Chaytor et Schmitter-Edgecombe, 2003). Cette approche de la validité écologique (c.-à-d. la vérisimilitude) implique d'abandonner la conception actuelle reliée à la structure des tests existants afin de se tourner

vers le développement de nouveaux outils qui reproduisent plus fidèlement la réalité du quotidien.

Devant cet intérêt d'une neuropsychologie du quotidien, quelques épreuves neuropsychologiques standardisées ont été élaborées suivant le principe de vérisimilitude (Chaytor et Schmitter-Edgecombe, 2003) telles que le *Test of Everyday Attention* (TEA; Robertson, Ward, Ridgeway et Nimmo-Smith, 1996), le *Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome* (BADS; Wilson, Alderman, Burgess, Emslie et Evans, 1996) et le *Rivermead Behavioral Memory Test* (RBMT; Wilson, Cockburn et Baddeley, 1985). Bien qu'écologiques, ces outils demeurent encore proches des outils de type papier-crayon qui caractérisent l'approche traditionnelle. Pour contourner cet inconvénient, d'autres auteurs ont choisi d'évaluer les personnes dans un environnement réel (p. ex. un centre d'achat) afin d'évaluer les comportements dirigés vers un but. C'est notamment le cas du *Multiple Errand Test* (Shallice et Burgess, 1991). Ce type d'épreuve manque toutefois de standardisation et dépend des imprévus pouvant survenir dans l'environnement lors de l'évaluation. La RV est alors apparue comme un outil pertinent sur le plan de l'évaluation puisqu'elle permet d'obtenir une meilleure standardisation et un meilleur contrôle environnemental tout en reproduisant le quotidien. Pratt, Zyda et Kelleher (1975) définissent la RV comme étant l'utilisation d'une interface simulée par ordinateur dans laquelle la personne entre en interaction, en temps réel, avec les objets présents dans l'EV. En d'autres termes, la RV reproduit le plus fidèlement possible la vie réelle dans une condition de laboratoire qui emploie les technologies informatiques (Wilson, Foreman et Stanton, 1997). Les EV peuvent être développés en suivant deux modes. En mode non immersif, l'individu réalise la tâche en utilisant un ordinateur de bureau ou une tablette. En mode immersif, l'individu a recours à un appareillage sophistiqué qui

lui permet de s'isoler des stimuli du monde physique qui l'entoure, ce qui maximise ses interactions avec l'EV (Davison, Deeproose et Terbeck, 2017) ainsi que le sentiment d'être réellement immergé dans celui-ci.

Grâce à une standardisation rigoureuse, les tâches de RV offrent des données plus précises en ce qui concerne l'exactitude et le temps de réponse et atteignent une sensibilité qui n'est pas envisageable par l'approche traditionnelle d'évaluation (Wild, Howieson, Webbe, Seelye et Kaye, 2008). Ce type d'approche, potentiellement plus sensible, rend finalement possible la détection précoce des changements cognitifs chez les personnes âgées (Wild, Howieson, Webbe, Seelye et Kaye, 2008), un avantage non négligeable dans le contexte actuel de vieillissement de la population.

1.2.3. Utilisation de la RV auprès des personnes âgées

Ang et ses collaborateurs (2007) ont démontré que les EV peuvent générer une surcharge cognitive, d'autant plus importante que l'individu est moins familier avec la technologie. Ceci est pertinent considérant le fait que les personnes âgées de 60 ans et plus éprouvent plus de difficultés avec la technologie, dont l'utilisation des ordinateurs (Sayer, 2004). En ce sens, notre équipe de recherche s'est intéressée à la manière dont les aînés se comportent dans les EV comparativement aux adultes plus jeunes (Banville et al., 2017; Verhulst et al., 2017). Pour ce faire, nous avons amélioré la première version de notre outil de RV en développant le *Virtual Multitasking Test* (VMT-2), un appartement virtuel (composé de 6 ½ pièces) dans lequel la personne est appelée à réaliser différentes AIVQ qui sollicitent à la fois la mémoire prospective et les FE (Verhulst et al., 2017). Elle doit donc, dans le scénario proposé, ranger son épicerie, répondre au téléphone, faire sécher une chemise, envoyer un fax et nourrir des poissons, ce qui

implique la réalisation de plusieurs actions et plusieurs déplacements d'une pièce à l'autre. En résumé, nos résultats démontrent que les aînés ne performant pas de la même manière et qu'ils présentent plus de difficultés de navigation dans l'EV. Tout d'abord, les aînés prennent significativement plus de temps pour réaliser une tâche complexe dans un EV, accomplissent moins d'actions et présentent un patron de navigation moins efficace et plus saccadé (Verhulst et al., 2017). En effet, ils prennent plus de temps pour mettre en œuvre les activités, ce qui a pour conséquence l'accomplissement de plusieurs tâches en simultané vers la fin de la navigation. Pour éviter une telle situation, la personne doit donc faire appel à ses habilités multitâches et par conséquent, à ses FE. Les personnes âgées, moins aptes à une telle gestion, voient parfois leur charge cognitive augmenter. Des oublis peuvent ainsi survenir (Verhulst et al., 2017). Une autre de nos études démontre justement qu'un EV où la navigation est davantage sollicitée génère une plus grande charge cognitive chez les aînés qu'un environnement qui permet la réalisation d'une tâche sans déplacement (Banville et al., 2017). En somme, nos résultats mettent en évidence le besoin de tenir compte des effets de l'âge lors de l'utilisation des EV avec les aînés cognitivement sains.

Par ailleurs, des études se sont intéressées à l'utilisation de la RV auprès de personnes qui présentent des déficits cognitifs, souvent liés aux TNC. L'évaluation du fonctionnement exécutif est souvent ciblée dans le développement des tâches que ce soit en mode immersif ou non. De fait, les difficultés observées sur le plan exécutif tendent à se traduire dans le comportement de l'individu (Tarnanas et al., 2013). Par exemple, le *Virtual Reality Day-Out Task* (VR-DOT; Tarnanas et al., 2013) propose un environnement multitâche simulant une évacuation dans un contexte d'incendie. L'outil cherche à mesurer la mémoire prospective et le raisonnement dans une situation d'urgence complexe. Les résultats indiquent que le VR-DOT permet de faire la

discrimination entre les personnes âgées cognitivement saines et celles qui ont des troubles cognitifs. De fortes corrélations sont aussi observées avec certaines mesures cognitives et fonctionnelles traditionnelles, soit le *Mini-Mental State Examination* (MMSE) et le *Bristol Activities of Daily Living Scale* (BADLS).

Pour leur part, Allain et ses collègues (2014) ont utilisé le *Non-Immersive Virtual Coffee Task* (NI-VCT), un outil développé dans le but d'évaluer les habiletés nécessaires à la réalisation d'un café avec du lait et du sucre. Le but de l'étude était d'évaluer la pertinence d'utiliser le NI-VCT dans l'évaluation des AIVQ chez des personnes ayant la MA. La performance à cette tâche a été comparée à la préparation d'une tasse de café dans un environnement réel, au fonctionnement cognitif (MMSE) et au fonctionnement exécutif global (*Frontal Assessment Battery*; FAB) ainsi qu'à un questionnaire rempli par un proche sur les AIVQ. L'étude a mis en lumière trois résultats principaux. Premièrement, les participants ayant la maladie d'Alzheimer (MA) obtiennent de moins bonnes performances que les personnes âgées cognitivement saines à toutes les tâches. Deuxièmement, les mesures du NI-VCT (*Time to completion*, *Accomplishment score*, *Total errors*, *Omission errors*, *Commission errors*) sont corrélées à l'ensemble des mesures neuropsychologiques. Troisièmement, la performance au NI-VCT permet de prédire la performance à la tâche dans l'environnement réel et le résultat au questionnaire rempli par un proche.

De plus en plus de chercheurs s'intéressent au développement de tâches évaluant les FE dans un supermarché virtuel. Le *Virtual Supermarket* (VSM; Zygouris et al., 2014) a été conçu dans cette perspective. L'outil recrée une activité très familière de la vie quotidienne en mode non immersif. La personne est appelée à naviguer dans l'EV pour acheter les produits d'une liste préétablie et à procéder au paiement. Le VSM permet de voir que les adultes âgés

cognitivement sains obtiennent de meilleures performances que les participants ayant un TCL. Les variables tirées du VMS (*Duration, Correct Types, Correct Quantities, Bought Unlisted*) sont corrélées significativement avec plusieurs mesures neuropsychologiques (MMSE, *Rey Auditory Verbal Learning Test* [RAVT], *Rey Osterrieth Complex Figure Test* [ROCFT], *Rivermead Behavioural Memory Test* [RBMT], *Test of Every Test* [TEA], TMT part B) et échelles fonctionnelles (*Functionnal Cognitive Assessment Scale* [FUCAS], *Clinical Dementia Rating* [CDR]). La plupart des corrélations trouvées sont modérées. On observe toutefois deux corrélations fortes entre la mesure *Duration* du VSM, le TEA ainsi que le Trail B.

Très récemment, un outil de RV en mode immersif a été développé dans le but d'évaluer les FE chez les adultes jeunes et âgés en bonne santé cognitive (Davison, Deepröse et Terbeck, 2017). L'outil comporte trois tâches distinctes qui requièrent que le participant ignore les éléments non pertinents et se concentre sur l'atteinte de ses objectifs dans un temps donné. La première tâche est une application qui simule l'action de stationner un véhicule (*parking simulator*). Les deuxième et troisième tâches se déroulent dans un laboratoire virtuel de chimie. Il s'agit d'arranger la salle et de localiser une variété de produits ou d'informations dans le laboratoire (*chemistry lab tasks*). De manière générale, l'étude a montré des résultats probants. Des corrélations significatives ont été trouvées entre les tâches de RV (*parking simulator* et *chemistry lab tasks*) et la performance aux épreuves traditionnelles (*Stroop colour-word Test* et TMT). Certaines mesures de la RV ont également permis de différencier les jeunes adultes et les personnes âgées. Par exemple, les jeunes ont terminé, en moyenne, plus de niveaux lors de la simulation de stationnement. Ils ont aussi placé significativement plus de produits dans la salle et ont localisé significativement plus de produits dans les deux sous-tâches réalisées dans le laboratoire virtuel de chimie.

Pour conclure, l'évaluation neuropsychologique de type papier-crayon est l'approche la plus couramment utilisée pour décrire le profil cognitif. Le recours à la RV demeure une alternative complémentaire prometteuse. En effet, elle met l'accent sur l'importance d'une neuropsychologie du fonctionnement quotidien et sur l'évaluation écologique des AIVQ. L'utilisation de la RV chez les aînés en est encore à ses balbutiements. Les outils technologiques jusqu'à présent développés tracent toutefois la voie à des perspectives intéressantes. En ce sens, tel que mentionné précédemment, notre équipe de recherche a récemment créé un outil de RV, le VMT-2, dans le but d'évaluer le degré de fonctionnalité dans le quotidien en considérant le caractère multitâche des AVQ lors de la réalisation d'une tâche de classement.

2. Objectifs et hypothèses

Le premier objectif de cette étude pilote visait à différencier le comportement des jeunes adultes et des aînés cognitivement sains dans une tâche de classement (*sorting*) simulant une AVQ à charge cognitive élevée, c'est-à-dire ranger l'épicerie en étant interrompu par des imprévus, principalement des appels téléphoniques. Le deuxième objectif était d'étudier la validité de la tâche de classement en considérant l'effet possible de l'âge.

Nos hypothèses de recherche étaient les suivantes :

1. Il est attendu que les personnes âgées prennent plus de **temps** pour réaliser la tâche de classement et fassent plus **d'erreurs** dans le classement des articles d'épicerie que les adultes plus jeunes.
- 2.1. Il est attendu que les variables du VMT-2 (temps total de réalisation de la tâche de classement de l'épicerie, nombre d'erreurs dans le classement des fruits et légumes, nombre d'erreurs dans le classement des aliments frais) soient corrélées à aux

épreuves cognitives qui mesurent la flexibilité mentale, la planification et l'inhibition.

- 2.2. Il est aussi attendu que les corrélations obtenues entre les indices tirés de la RV et les indices issus de l'évaluation traditionnelle soient influencées par l'âge des participants.

3. Méthode

3.1. Participants

L'échantillonnage utilisé pour réaliser ce devis quasi-expérimental a été de type mixte, c'est-à-dire combinant un échantillonnage par réseau et par convenance. Au terme de cette démarche, 30 participants ont été recrutés et deux groupes ont été formés sur la base de l'âge. Le recrutement a été effectué dans la communauté, c'est-à-dire à l'Université de Montréal (au moyen de publicités télévisées et de la banque de participants de HEC) et à la Société Alzheimer de Lanaudière (grâce à des affiches pour l'inclusion de participants âgés sains, généralement des proches aidants). Les critères d'inclusion étaient les suivants : (1) être âgé de 18 à 45 ans ou de 60 à 87 ans et (2) avoir une bonne maîtrise du français. Les critères d'exclusion étaient les suivants : (1) avoir un trouble de vision ou d'audition non corrigé; (2) avoir un trouble neurologique ou psychiatrique diagnostiqué; (3) avoir une maladie chronique non contrôlée (p. ex. hypothyroïdie non médicamentée) ou pouvant interférer avec la cognition (p. ex. maladie pulmonaire obstructive chronique) et (4) obtenir un score au *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA) inférieur à 26 (Nasreddine et al., 2005). Au total, trois participants jeunes et deux participants âgés ont été exclus en raison de leur résultat au MoCA ($n = 3$) ou en raison d'un problème technique ($n = 2$) provenant directement d'un dysfonctionnement des équipements.

3.2. Matériel

Le degré d'aisance avec l'utilisation d'un ordinateur a été subjectivement évalué sur une échelle allant de 0 (nulle) à 100 (très élevée). La question suivante a été posée avant l'immersion dans l'EV : « Sur une échelle de 0 à 100, à combien estimez-vous votre aisance sur un ordinateur ? ».

3.2.1. Mesures de contrôle

Le MoCA (Nasreddine et al., 2005) a été utilisé comme mesure d'exclusion. Il s'agit d'un outil de dépistage bref des atteintes cognitives en lien avec l'âge. Le participant doit répondre à de courtes questions. Le seuil diagnostique proposé pour distinguer les personnes atteintes de dysfonctionnement cognitif est de 26/30. Ce questionnaire de type papier-crayon comprend six sous-sections qui couvrent huit domaines cognitifs. Les capacités visuospatiales sont évaluées avec le dessin de l'horloge (3 points) et la copie en trois dimensions d'un cube (1 point). L'évaluation des FE se fait au moyen d'une adaptation de la tâche d'alternance du TMT-B (1 point), d'une tâche de fluence phonémique (1 point) et d'une tâche d'abstraction verbale (2 points). L'attention, la concentration et la MdT sont évaluées avec une tâche de séquence de chiffres à l'endroit et à l'envers (2 points), avec une tâche d'attention soutenue où la personne doit taper de la main à chaque lettre A d'une série de lettres (1 point) et avec une tâche de soustraction sérielle de 7 à partir de 100 (3 points). L'évaluation de la mémoire comporte l'apprentissage d'une liste de 5 mots (pas de point) et le rappel différé des mots sans indices après cinq minutes (5 points). Le langage est évalué à l'aide d'une tâche de dénomination d'images (3 points), de la répétition de deux phrases complexes sur le plan syntaxique (2 points) et de la tâche de fluence phonémique présentée ci-dessus. Enfin, l'orientation dans le temps et

l'espace est évaluée (6 points). Les propriétés psychométriques du MoCA pour un score limite de 26/30 révèlent des indices de sensibilité de respectivement 90 % et 100 % dans la détection du TCL et de la MA. L'indice de spécificité globale est de 87 %. Le MoCA obtient finalement des valeurs prédictives positives et négatives de respectivement 89 % et 91 % pour le TCL et de 89 % et 100 % pour la MA (Nasreddine et al., 2005).

L'épreuve des 5 mots de Dubois (Dubois et al. 2002) a été employée pour évaluer rapidement les capacités mnésiques des participants et s'assurer qu'elles soient similaires entre les deux groupes. Ce dépistage est important puisque les participants doivent se souvenir des consignes à respecter lors de la navigation dans l'EV. Ce test permet la différenciation entre les troubles d'encodage et de la récupération de l'information en mémoire. Un score total pondéré sur 20 est obtenu en additionnant le score de deux variables, soit le rappel immédiat (10 points) et le rappel différé (10 points) d'une liste de cinq mots. Pour chaque rappel (immédiat et différé), la personne obtient un score de bonnes réponses rappelées spontanément ou par indiçage. Un rappel libre sans erreur donne 2 points par mot, un rappel indicé donne 1 point par mot et un rappel indicé échoué donne 0 point par mot. L'évaluateur doit aussi indiquer les intrusions sur la feuille de cotation. Un résultat ≤ 18 (seuil diagnostique) est souvent indicateur de la présence d'un trouble de la mémoire qui requiert une investigation plus approfondie. En outre, le temps de passation est estimé à cinq minutes. L'épreuve des 5 mots de Dubois présente de bonnes propriétés psychométriques pour la détection de la MA dans la population générale (Cowppli-Bony et al., 2005). En effet, pour un score total pondéré ≤ 18 , l'indice de sensibilité est de 83,6 % et l'indice de spécificité de 84,9 % dans la prédiction de la MA. L'épreuve obtient des valeurs prédictives positives et négatives de respectivement 9,1 % et 99,7 %.

Deux questionnaires autorapportés ont été utilisés dans l'étude afin de dépister la présence ou non de problèmes en lien avec l'anxiété et la dépression et de s'assurer que l'état affectif des participants soit similaire entre les deux groupes. Les perturbations de l'humeur peuvent avoir des effets non négligeables sur la cognition. Par exemple, la dépression est susceptible d'interférer avec le fonctionnement cognitif des adultes neurologiquement sains ou de complexifier la présentation clinique des effets de l'âge sur la cognition. Plusieurs études ont d'ailleurs démontré un ralentissement de la VTI, une diminution des capacités de flexibilité mentale et une altération de certaines fonctions mnésiques (encodage et récupération) chez les personnes déprimées (Lezak, Howieson, Bigler et Tranel, 2012). L'anxiété est aussi souvent associée à des diminutions de la performance à certaines épreuves cognitives. Plusieurs théories ont été développées afin de conceptualiser les effets de l'anxiété sur la performance cognitive. Selon la théorie du contrôle attentionnel, l'anxiété affecte l'efficacité de deux types de processus : (1) le contrôle attentionnel négatif, impliqué dans les tâches visant à inhiber les stimuli non pertinents, et (2) le contrôle attentionnel positif, impliqué dans l'alternance entre les tâches ou à l'intérieur de celles-ci pour optimiser la performance, un processus qui fait appel aux capacités de flexibilité mentale (Derakshan et Eysenck, 2009).

Plus spécifiquement, le *Beck's Depression Inventory* (BDI-II) (Beck, Steer et Brown, 1996) comporte 21 groupes d'énoncés autorapportés allant de 0 à 3 qui mesurent les manifestations comportementales caractéristiques de la dépression. La traduction française et adaptation canadienne, rendue disponible grâce à *Pearson Canada Assessment*, a été utilisée pour l'étude. Parmi les catégories de symptômes et d'attitudes évalués, nous retrouvons entre autres la tristesse, le pessimisme, les échecs dans le passé, la perte de plaisir, les pensées et désirs de suicide, l'agitation, l'irritabilité et la fatigue. Pour chaque groupe d'énoncés, la personne doit

sélectionner celui qui décrit le mieux comment elle s'est sentie au cours des deux dernières semaines, incluant la journée en cours. Le score total à l'échelle permet d'évaluer le niveau de dépression (normal [0-13], léger [14-19], modéré [20-28], sévère [29-63]).

Le *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI), élaboré par Spielberger, Gorsuch et Lushene (1970) et traduit en français par Gauthier et Bouchard (1993), comprend deux échelles de 20 énoncés autorapportés chacune allant de 1 (pas du tout) à 4 (beaucoup). L'échelle d'anxiété situationnelle évalue l'état émotionnel du participant au moment où il se retrouve comme participant à l'étude alors que l'échelle d'anxiété de trait mesure son état habituel en prenant comme base de référence les derniers mois. Le score total à chacune de ces deux échelles permet d'évaluer le niveau d'anxiété situationnelle et d'anxiété de trait (très faible [≤ 35], faible [36-45], moyen [46-55], élevé [56-65], très élevé [> 65]).

3.2.2. Évaluation neuropsychologique

Trois sous-tests du *Delis-Kaplan Executive Function System* (D-KEFS) (Delis, Kaplan et Kramer, 2001) ont été utilisés pour décrire les principales composantes du fonctionnement exécutif des participants dans les modalités verbales et spatiales. Le TMT est une tâche visuomotrice qui comporte cinq conditions et qui évalue la flexibilité mentale. Pour chaque condition, la personne s'exerce d'abord avec un exemple et doit travailler le plus rapidement possible, sans faire d'erreurs. Dans la première condition, elle dispose d'un maximum de 150 secondes pour barrer tous les « 3 » parmi un ensemble de chiffres. Dans la deuxième condition, elle dispose du même temps pour relier les chiffres en ordre croissant. Dans la troisième condition, elle doit relier les lettres en ordre alphabétique en respectant le même temps limite. Dans la quatrième condition, elle dispose d'un maximum de 240 secondes pour relier, en

alternance, des chiffres (en ordre croissant) et des lettres (en ordre alphabétique). Enfin, dans la cinquième condition, elle a 150 secondes pour suivre la ligne pointillée en traçant un trait par-dessus et en s'assurant que celui-ci touche à chacun des cercles rencontrés. Les mesures du temps de réalisation de chaque condition de ce sous-test ont été recueillies comme variables dépendantes.

Le *Color-Word Interference Test* (CWIT) inclut quatre conditions et mesure les capacités d'inhibition et de flexibilité mentale en modalité verbale. Pour chaque condition, la personne s'exerce d'abord avec un exemple et doit travailler le plus rapidement possible, sans faire d'erreur. Dans la première condition, elle dispose d'un maximum de 90 secondes pour nommer les couleurs l'une après l'autre. Dans la deuxième condition, elle dispose du même temps pour lire les mots à voix haute. Dans la troisième condition, elle a 180 secondes pour nommer la couleur de l'encre des mots (p. ex. dire *rouge* pour le mot VERT écrit en rouge). Ainsi, la personne doit inhiber la tendance naturelle et automatique à la lecture, laquelle interfère avec le but de la tâche qui est de nommer la couleur de l'encre. Enfin, dans la quatrième condition, elle doit alterner entre deux consignes différentes, soit nommer la couleur de l'encre des mots (comme dans la condition précédente) ou lire le mot tel qu'il est écrit lorsqu'il est encadré. Les variables du temps de réalisation pour les cinq conditions et celles du nombre total d'erreurs pour les deux dernières conditions de ce sous-test ont été retenues.

Le *Tower Test* vise à construire, à partir d'une image, des tours tridimensionnelles de plus en plus complexes en un nombre minimum de mouvements à l'aide de disques de différentes grosseurs, et ce, tout en respectant des règles arbitraires. Deux variables ont été choisies pour ce sous-test : (1) la mesure globale de performance qui correspond à la somme des scores de performance obtenus pour chaque item administré dans le temps limite et déterminé par le

nombre de mouvements effectués et (2) le ratio de violation des règles par item qui correspond au ratio entre le nombre de violations des règles et le nombre total d'items d'administrés.

Deux sous-tests du *Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome* (BADS; Wilson, Alderman, Burgess, Emslie et Evans, 1996) ont aussi été utilisés pour mesurer le fonctionnement exécutif des participants et particulièrement, leurs capacités de planification et d'organisation. Lors de l'épreuve du *Zoo Map Test* (ZMT), la carte d'un zoo est présentée au participant. Celui-ci doit visiter 6 des 12 endroits de façon stratégique, en traçant son chemin à l'aide d'un crayon. Il doit respecter les points de départ et d'arrivée et les restrictions quant au nombre de fois qu'il peut emprunter certains chemins. Pour ce sous-test, quatre variables ont été retenues : (1) le nombre total d'erreurs; (2) le temps total; (3) le score brut (allant de 0 à 8) qui correspond au score de séquences des six endroits visités moins le nombre total d'erreurs et (4) le nombre total d'occasions où un chemin a été emprunté plus d'une fois, un des quatre types d'erreur possible dans ce sous-test. Dans le *Six Elements Test* (SET), trois tâches, divisées en partie A et B, sont présentées au participant. Il doit accomplir, ou du moins commencer, les six parties des trois tâches en 10 minutes, tout en respectant la règle suivante : les parties A et B d'une même tâche ne doivent jamais être réalisées une à la suite de l'autre. Pour ce sous-test, trois variables ont été retenues : (1) le score profil (allant de 1 à 4); (2) le score brut (allant de 0 à 6) et (3) le nombre de tâches où des règles ont été brisées (maximum de 3 points). Le score de profil fait référence au score brut. Le score brut correspond au nombre de tâches complétées (maximum de 6 points) moins le nombre de tâches où des règles ont été brisées. Si la personne prend plus de 271 secondes pour réaliser l'une ou l'autre des trois tâches, il faut soustraire 1 point du score de profil obtenu. Plus précisément, un score brut de 6 équivaut à un score de

profil de 4, un score brut de 4 ou 5 équivaut à un score de profil de 3, un score brut de 2 ou 3 équivaut à un score de profil de 2 et un score brut d'un ou moins équivaut à un score profil de 1.

3.2.3. Questionnaires post-immersion

Le *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ), élaboré par Kennedy, Lane, Berbaum et Lilienthal (1993) et traduit en français par Bouchard, Robillard et Renaud (2007), permet d'observer la présence de malaises physiques (p. ex. transpiration et étourdissement) pendant ou à la suite d'une immersion en RV. Le questionnaire comporte 16 énoncés autorapportés, dont 9 appartenant à la sous-échelle symptômes « nausées » et 7 appartenant à la sous-échelle symptômes « oculomoteurs ». Le répondant doit indiquer dans quelle mesure chaque symptôme physique l'incommode sur une échelle allant de 0 (pas du tout) à 3 (sévèrement).

Le *iPresence Questionnaire* (IPQ), conçu par Schubert, Friedman et Regenbrecht (1999) et traduit en français par Viau-Delmont (2007), permet d'estimer le sentiment « d'être réellement présent » dans la RV à travers trois sous-échelles (ou variables) : présence spatiale, implication et réalisme, réparties en 14 énoncés autorapportés. Pour chaque énoncé, le répondant doit se prononcer sur une échelle allant de 0 à 4.

3.2.4. VMT-2

La seconde version du VMT-2 (Banville et al., 2013; 2017) est une tâche servant à observer le fonctionnement cognitif selon une approche écologique de vérisimilitude. Il est implanté dans un appartement virtuel comprenant 6 ½ pièces. La Figure 1 présente le tracé d'un participant âgé qui naviguait avec le visiocasque ainsi que la disposition de chacune des pièces.

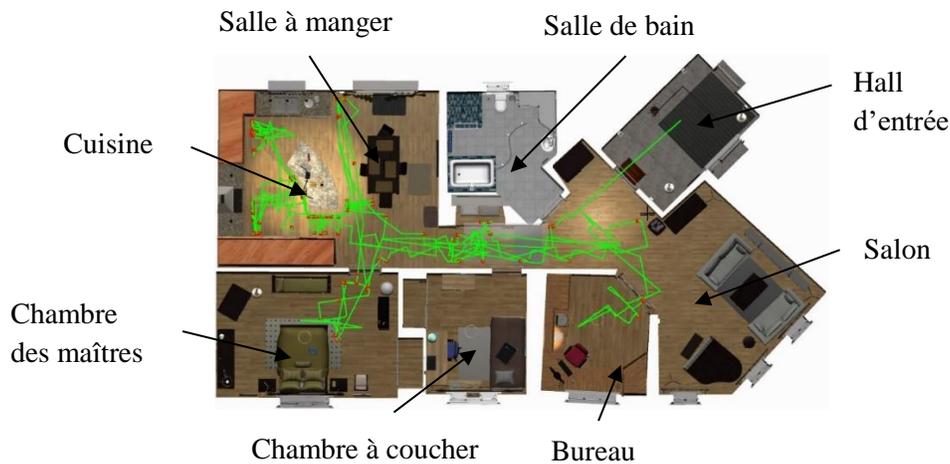


Figure 1. Tracé de navigation d'un participant âgé dans l'appartement virtuel.

Plus spécifiquement, le VMT-2 est implanté dans le moteur de jeu Unity-3D. L'interaction avec l'EV est rendue possible grâce à l'utilisation d'un visiocasque, l'*Oculus-Development Kit-2*, d'un clavier, d'une souris ainsi que d'un ordinateur PC utilisant le système d'exploitation Windows 7. L'ordinateur est équipé de deux cartes graphiques nVidia *GeForce 550* qui permettent d'améliorer la qualité graphique et de réduire les délais de rafraîchissement des images pour éviter, dans la mesure du possible, les cybermalaises. Les données sont enregistrées en temps réel par l'ordinateur et transmises sous forme de logs (fichier.txt). Le VMT-2 comprend deux phases de réalisation : la familiarisation et l'expérimentation. Lors de la phase de familiarisation, le participant navigue dans l'EV et réalise des tâches, guidé par l'expérimentateur qui lui explique le fonctionnement de l'équipement et la manière dont il peut être en interaction avec les objets dans l'EV. Lorsqu'il se sent familier avec l'environnement, il est prêt pour la deuxième phase; le délai de familiarisation est d'environ 5 à 7 minutes.

Lors de la phase de familiarisation, l'expérimentateur explique au participant qu'il est en visite à l'extérieur pour voir un spectacle et qu'il loge chez un très bon ami. Ce dernier est actuellement au travail, mais viendra le rejoindre en soirée pour assister à un spectacle avec lui. Les trois consignes du VMT-2 sont alors présentées : (1) répondre au téléphone lorsqu'il sonne;

(2) ranger le contenu de l'épicerie, car certains articles doivent être rangés rapidement et (3) refermer la porte de la chambre des maîtres à chaque sortie pour éviter que le chien ne monte sur le lit. Avant de débiter l'immersion, l'expérimentateur s'assure que les consignes soient bien mémorisées et comprises. Lors de la phase d'expérimentation, tel que présenté à la Figure 2, le VMT-2 respecte une présentation temporelle précise des tâches (p. ex. faxer un document), des imprévus (p. ex. orage qui nécessite de fermer une fenêtre) et des interférences (p. ex. télévision allumée) auxquels le participant est exposé. Selon l'aisance et le confort du participant, il réalise la tâche avec ou sans le visiocasque. Parmi les jeunes, sept l'ont utilisé alors que neuf ont préféré s'abstenir. Parmi les aînés, quatre ont navigué avec le visiocasque et cinq ont pris la décision de ne pas y avoir recours.

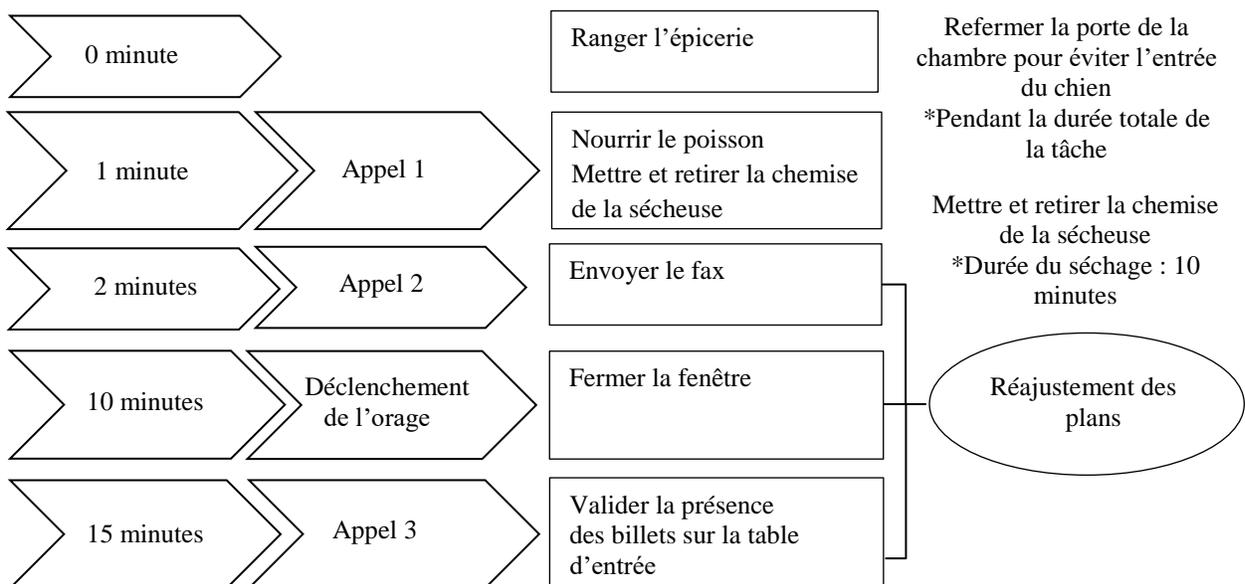


Figure 2. Présentation temporelle des tâches dans le VMT-2.

En regard aux questions de recherche, un intérêt particulier a été porté sur la tâche de rangement des articles d'épicerie par les participants. Des indices de performance ont été développés pour obtenir une mesure des comportements : (1) le temps total de réalisation du

VMT-2 (en minutes); (2) le temps total de réalisation de la tâche de classement de l'épicerie (en minutes); (3) le pourcentage de temps passé dans la cuisine par rapport à la réalisation totale de l'ensemble des tâches (temps passé dans la cuisine * 100/temps total de réalisation); (4) le nombre d'erreurs dans le classement des fruits et légumes et (5) le nombre d'erreurs dans le classement des produits emballés.

Plus spécifiquement, pour le classement des fruits et des légumes (p. ex. céleri, melon) et des produits emballés (p. ex. boisson gazeuse, céréale), une cote de 0 (erreur) était attribuée si l'article était rangé à un endroit inapproprié (p. ex. ranger la boisson gazeuse dans le congélateur, ranger le céleri dans une armoire) ou s'il demeurait sur le comptoir central (endroit où sont étalés les aliments au départ de la tâche) et une cote de 1 (réussite) si l'article était bien rangé. Pour le classement des aliments frais (c.-à-d. la crème glacée, les pizzas congelées, le steak, le jambon, le lait et les œufs), excluant les fruits et légumes, une cote de 0 (erreur) était attribuée si l'article était rangé à un endroit inapproprié (p. ex. ranger la boîte d'œufs dans le congélateur, ranger les pizzas congelées dans l'armoire) ou s'il demeurait sur le comptoir, une cote de 1 (réussite) si l'article était rangé à un endroit non optimal (p. ex. ranger le steak dans le congélateur) et une cote de 2 (réussite) si l'article était rangé à un endroit optimal (p. ex. ranger les pizzas congelées dans le congélateur).

3.3. Déroulement

Après avoir déterminé l'admissibilité des participants à l'étude grâce à une entrevue téléphonique préalable, ceux ayant été sélectionnés ont été vus une fois, dans nos laboratoires, pour une durée maximale de deux à trois heures. L'expérimentation était scindée en deux parties, soit l'administration de la batterie d'évaluation neuropsychologique (partie A) et la passation

des tâches incluses dans le VMT-2 (partie B); l'ordre des parties a été contrebalancé dans le but de contrôler les effets de la fatigue ou ceux des symptômes physiques liés aux cybermalaises possibles.

3.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées au moyen du logiciel IBM SPSS version 24.0. Les analyses descriptives ont permis de décrire le profil sociodémographique des participants et de s'assurer d'un pairage homogène entre les deux groupes en regard du genre et de la scolarité. La variance des données étant homogène, donc distribuée selon une loi normale, des analyses paramétriques ont été privilégiées et pratiquées; un seuil de signification de 0,05 a été retenu. Par la suite, des analyses de variance (ANOVA à un facteur) ont été réalisées de manière à explorer les différences possibles entre les deux groupes indépendants dans leur performance à la tâche de classement du VMT-2 (Hypothèse 1) ainsi que lors de leur performance aux épreuves neuropsychologiques traditionnelles.

Dans un deuxième temps, des corrélations de Pearson ont été effectuées afin d'observer les relations existantes entre les variables issues de la tâche de classement et les variables neuropsychologiques sélectionnées lors de la passation des épreuves. Au total, 30 variables traditionnelles ont été mises en relation avec cinq variables issues du VMT-2. Ainsi, les analyses corrélacionnelles ont d'abord été réalisées sans égard à leur âge. Par la suite, afin de considérer l'effet possible de l'âge, les analyses corrélacionnelles ont été répétées pour chacun des groupes d'âge. Ceci a permis de contrôler, d'une certaine manière, pour l'effet de l'âge.

4. Résultats

4.1 Caractéristiques sociodémographiques des participants

Le Tableau 1 présente les caractéristiques sociodémographiques des participants. La plupart d'entre eux étaient des femmes ($n = 19$). Le groupe nommé « jeunes », pour les fins de cette recherche, comprenait 14 participants, parmi lesquels 11 femmes et 3 hommes. Les jeunes avaient entre 21 et 43 ans et l'âge moyen du groupe était de 26,07 ans \pm 6,23. La grande majorité occupait un emploi ($n = 12$). Le nombre moyen d'années de scolarité était de 16,14 ans \pm 2,48 et variait entre 13 et 23 ans. Le groupe nommé « âgés » comprenait 11 participants, parmi lesquels 8 femmes et 3 hommes. Les aînés avaient entre 63 et 72 ans et l'âge moyen du groupe était de 66,80 ans \pm 2,90. Sept d'entre eux étaient retraités. Le nombre moyen d'années de scolarité était de 15,55 \pm 3,11 ans et variait entre 11 et 20 ans. Aucune différence significative entre les groupes n'existe pour ce qui est du niveau de scolarité [$F(1,23) = 0,29, p = 0,60$]. Comme attendu, les groupes se distinguent significativement en termes d'âge [$F(1,22) = 366,70, p = 0,001$]. Une différence significative existe aussi entre les groupes concernant l'aisance à utiliser un ordinateur [$F(1,23) = 9,87, p = 0,01$], les participants jeunes étant plus à l'aise que les participants âgés.

Tableau 1

Caractéristiques sociodémographiques des participants

| | Jeunes (n = 14) | Âgés (n = 11) | Valeur de p |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|
| Sexe | | | |
| Femme | 11 | 8 | – |
| Homme | 3 | 3 | |
| État civil | | | |
| Célibataire | 7 | 1 | |
| Couple | 6 | 8 | – |
| Divorcé | 1 | 1 | |
| Veuf | 0 | 1 | |
| Occupation | | | |
| Emploi | 12 | 4 | – |
| Sans emploi | 2 | 7 | |
| Âge | 26,07 (6,23) | 66,80 (2,90) | 0,001 |
| Années de scolarité | 16,14 (2,48) | 15,55 (3,11) | <i>ns</i> |
| Aisance avec un ordinateur | 85,71 (12,99) | 60,91 (25,77) | 0,01 |

ns : non significatif

4.2. Résultats obtenus sur les mesures de contrôle

En outre, une fois les participants ayant un MoCA ≤ 26 retirés de l'étude, tel que présenté dans le Tableau 2, les analyses statistiques préliminaires n'ont révélé aucune différence significative entre les groupes au MoCA [$F(1,23) = 0,01$, $p = 0,92$]. Les participants jeunes et âgés obtiennent un score moyen de respectivement $27,79 \pm 1,25$ et de $27,73 \pm 1,56$. À l'épreuve des 5 mots de Dubois, les groupes se distinguent seulement sur la variable du rappel différé [$F(1,23) = 5,70$, $p = 0,03$], ce qui indique que les jeunes restituent en moyenne plus de mots après un délai d'environ cinq minutes que les âgés ($M = 9,79 \pm 0,43$ et $M = 9,27 \pm 0,65$, respectivement). De plus, aucune différence significative n'existe en lien avec les mesures d'anxiété [$F(1,23) = 1,91$, $p = 0,18$] et de dépression [$F(1,23) = 0,90$, $p = 0,35$]. Dans

l'ensemble, les participants présentent une anxiété très faible ($M = 9 \pm 5,23$ et $M = 12,18 \pm 6,27$, respectivement) et un niveau normal sur le plan de l'humeur sans affect dépressif ($M = 4,21 \pm 3,51$ et $M = 6 \pm 5,87$, respectivement).

Tableau 2

Moyennes et écarts-types obtenus pour les mesures de contrôle

| | Jeunes | Âgés | Valeur de <i>p</i> |
|------------------|---------------|--------------|---------------------------|
| MoCA | 27,79 (1,25) | 27,73 (1,56) | <i>ns</i> |
| 5 mots de Dubois | | | |
| Rappel immédiat | 10 (0) | 9,91 (0,30) | <i>ns</i> |
| Rappel différé | 9,79 (0,43) | 9,27 (0,65) | 0,03 |
| Intrusions | 0,07 (0,27) | 0,09 (0,30) | <i>ns</i> |
| BDI-II | 4,21 (3,51) | 6 (5,87) | <i>ns</i> |
| STAI | 9 (5,23) | 12,18 (6,27) | <i>ns</i> |

ns : non significatif

Comme présenté dans le Tableau 3, aucune différence significative n'est relevée par rapport aux cybermalaises [$F(1,22) = 0,71$, $p = 0,41$], ce qui indique que les jeunes ($M = 9,86 \pm 5,74$) et les aînés ($M = 12 \pm 6,68$) éprouvent en moyenne peu de symptômes physiques liés au contact avec la RV. Bien qu'ils soient mimines, les deux groupes ressentent dans l'ensemble plus nausées que de malaises oculomoteurs. Le score moyen de nausées était de $6,58 \pm 3,92$ et variait entre 0 et 16. Le score moyen de malaises oculomoteurs était de $4,32 \pm 3,02$ et variait entre 0 et 11. Sur l'échelle mesurant le sentiment de présence, les groupes se distinguent seulement sur l'indice de réalisme [$F(1,23) = 9,63$, $p = 0,01$]. Les aînés jugent ainsi plus réalistes les aspects visuels et graphiques liés à la RV que les jeunes. Autrement dit, ils se sentent généralement plus présents et impliqués dans l'EV que les jeunes.

Tableau 3

Moyennes et écarts-types obtenus aux questionnaires post-immersion

| | Jeunes (n = 14) | Âgés (n = 11) | Valeur de p |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|
| Cybermalaises* | 9,86 (5,74) | 12 (6,68) | <i>ns</i> |
| Nausées | 5,86 (3,48) | 7,6 (4,45) | <i>ns</i> |
| Oculomoteur | 4 (2,86) | 4,73 (3,32) | <i>ns</i> |
| Sentiment de présence** | | | |
| Facteur général de présence | 2,57 (1,02) | 2,73 (1,42) | <i>ns</i> |
| Présence spatiale | 2,11 (0,37) | 2,10 (0,27) | <i>ns</i> |
| Implication | 1,80 (0,61) | 2,23 (0,93) | <i>ns</i> |
| Réalisme | 1,93 (0,54) | 2,50 (0,32) | 0,005 |

*Les résultats sont exprimés en somme; **Les résultats sont exprimés en moyenne; *ns* : non significatif.

4.3. Analyses des différences dans la performance au VMT-2 (Hypothèse 1)

Tel que présenté dans le Tableau 4, les analyses de comparaison de moyennes ont montré des différences significatives entre les deux groupes sur les indices de temps liés à la performance dans le VMT-2. En effet, les personnes âgées prennent plus de temps que les jeunes à réaliser l'ensemble des tâches du VMT-2 [$F(1,20) = 4,46, p = 0,05$] et à accomplir la tâche de classement [$F(1,17) = 5,39, p = 0,03$]. Cependant, lorsque nous établissons le ratio (en pourcentage) du temps passé dans la cuisine par rapport au temps total de réalisation de la tâche, nous n'observons aucune différence. Les aînés passent 64 % de leur temps dans la cuisine et les jeunes, 55 % [$F(1,17) = 1,20, p = ns$]. Aucune différence significative n'est observée entre les deux groupes pour ce qui est du nombre d'erreurs effectuées dans la tâche de classement des fruits et légumes [$F(1,18) = 0,21, p = 0,65$] et des produits emballés [$F(1,16) = 0,94, p = 0,35$].

Tableau 4

Temps moyen de réalisation, succès aux tâches dans le VMT-2 et différences de groupes

| | Jeunes | Âgés | Valeur <i>p</i> |
|---|---------------|---------------|------------------------|
| Temps total de réalisation de la tâche de classement de l'épicerie | 10,99 (4,68) | 18,55 (8,67) | 0,03 |
| Pourcentage de temps consacré au rangement de l'épicerie (sur l'ensemble de la tâche) | 55,47 (7,92) | 64,18 (22,63) | <i>ns</i> |
| Nombre d'erreurs dans le classement des fruits et légumes frais | 1,83 (1,40) | 2,13 (1,36) | <i>ns</i> |
| Nombre d'erreurs dans le classement des produits emballés | 1,64 (3,20) | 0,43 (0,79) | <i>ns</i> |

ns : non significatif

4.4. Analyses psychométriques : validité convergente (Hypothèse 2)

Tel qu'attendu et conformément aux données empiriques disponibles sur la performance des aînés aux épreuves neuropsychologiques, les analyses de comparaison de moyennes ont révélé quelques différences significatives entre les deux groupes sur les variables traditionnelles utilisées dans les analyses corrélationnelles. Pour cette raison, nous avons réalisé les analyses psychométriques en deux temps. Les premières analyses comparent les indices du VMT aux indices de l'évaluation traditionnelle sans égard à l'âge. Par la suite, afin d'explorer les effets possibles de l'âge, nous avons réalisé des matrices de corrélation pour chacun des groupes d'âge. Les paragraphes qui suivent décrivent ces analyses et comparaisons.

Dans un premier temps, tel que présenté dans le Tableau 5, à l'épreuve des 5 mots de Dubois, les groupes se distinguent sur la variable du rappel différé. Les jeunes prennent, en moyenne, moins de temps que les aînés pour réaliser la tâche d'alternance du TMT-4 [$F(1,16) = 9,15, p = 0,01$] ainsi que les tâches d'inhibition et d'alternance du CWIT-3 [$F(1,23) = 33,13, p = 0,00$] et du CWIT-4 [$F(1,22) = 17,80, p = 0,00$]. Au *Tower Test*, les groupes se distinguent seulement sur le ratio de violation de règles [$F(1,19) = 4,77 p = 0,04$], ce

qui indique que les jeunes brisent en moyenne moins de règles que les aînés ($M = 10,07 \pm 0,48$ et $M = 10,57 \pm 0,54$, respectivement). Finalement, il existe une différence significative entre les groupes dans le score brut au ZMT [$F(1,23) = 4,13, p = 0,05$]. Les participants jeunes et âgés obtiennent un score moyen de respectivement $5,71 \pm 3,75$ et de $1,36 \pm 5,37$. Ainsi, à la lumière de ces différences de groupes, il est possible d'affirmer que les aînés performant moins bien que les jeunes adultes à des tâches de rappel différé (mémoire), de flexibilité mentale, d'inhibition et de planification.

Tableau 5

Différences de moyennes entre les groupes d'âge sur les variables traditionnelles

| Variables traditionnelles | Groupes d'âge | | | |
|-----------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| | Jeunes | | Âgés | |
| | M (ET) | Intervalle de confiance | M (ET) | Intervalle de confiance |
| MoCA | | | | |
| Visuospatial | 4,57 (0,65) | 4,20-4,95 | 4,73 (0,47) | 4,41-5,04 |
| Dénomination | 2,93 (0,27) | 2,77-3,08 | 3,00 (0,00) | 3,00-3,00 |
| Attention | 5,71 (0,47) | 5,44-5,99 | 6,00 (0,00) | 6,00-6,00 |
| Langage | 2,57 (0,51) | 2,28-2,87 | 2,64 (0,50) | 2,30-2,98 |
| Abstraction verbale | 1,71 (0,47) | 1,44-1,98 | 1,73 (0,47) | 1,41-2,04 |
| Mémoire | 4,36 (0,74) | 3,93-4,79 | 3,64 (1,29) | 2,77-4,50 |
| Orientation | 5,93 (0,27) | 5,77-6,08 | 6,00 (0,00) | 6,00-6,00 |
| 5 mots de Dubois | | | | |
| Immédiat | 10,00 (0,00) | 10,00-10,00 | 9,91 (0,30) | 9,71-10,11 |
| Différé* | 9,79 (0,43) | 9,54-10,03 | 9,27 (0,65) | 8,84-9,71 |
| Intrusions | 0,07 (0,27) | -0,08-0,23 | 0,09 (0,30) | -0,11-0,29 |
| TMT | | | | |
| 1 | 17,64 (3,23) | 15,78-19,51 | 20,00 (2,45) | 18,35-21,65 |
| 2 | 32,29 (10,12) | 26,44-38,13 | 39,27 (15,59) | 28,80-49,75 |
| 3 | 30,71 (10,04) | 24,92 (36,51) | 35,55 (11,26) | 27,98-43,11 |
| 4* | 54,67 (12,17) | 45,32 (64,02) | 80,78 (22,87) | 63,20-98,36 |
| 5 | 27,79 (11,83) | 20,95 (34,62) | 30,36 (5,39) | 26,74-33,99 |
| CWIT | | | | |
| 1 | 26,64 (4,40) | 24,11-29,18 | 31,46 (4,87) | 28,19-34,72 |
| 2 | 20,50 (2,53) | 19,04-21,96 | 23,00 (3,35) | 20,75-25,25 |
| 3* | 43,07 (6,63) | 39,25-46,90 | 64,82 (12,05) | 56,72-72,91 |
| 4* | 51,62 (10,00) | 45,57-57,66 | 69,18 (10,35) | 62,23-76,14 |
| Nbr total d'erreurs 3 | 0,71 (1,38) | -0,80-1,51 | 1,73 (2,15) | 0,28-3,17 |
| Nbr total d'erreurs 4 | 1,71 (1,64) | 0,77-2,66 | 2,00 (2,00) | 0,66-3,34 |
| Tower Test | | | | |
| Mesure globale | 18,57 (2,03) | 17,40-19,74 | 16,50 (3,34) | 13,71-19,29 |
| Ratio violation des règles* | 8,29 (2,40) | 6,90-9,67 | 8,38 (2,00) | 6,71-10,04 |
| | 10,07 (0,48) | 9,80-10,35 | 10,57 (0,54) | 10,08-11,07 |
| ZMT | | | | |
| Nbr total d'erreurs | 0,93 (1,85) | -0,15-2,00 | 2,55 (4,27) | -0,33-5,42 |
| Temps total | 120,77 (49,57) | 90,81-150,73 | 156,78 (60,70) | 110,12-203,44 |
| Score brut* | 5,71 (3,75) | 2,91-7,24 | 1,36 (5,37) | -2,25-4,97 |
| Occasions | 0,86 (1,83) | -0,20-1,92 | 2,46 (3,98) | -0,22-5,13 |
| SET | | | | |
| Score de profil | 3,64 (0,84) | 3,16-4,13 | 3,82 (0,40) | 3,55-4,09 |
| Score brut | 5,64 (0,84) | 5,16-6,13 | 5,64 (0,81) | 5,09-6,18 |
| Bris de règles | 0,14 (0,36) | -0,07-0,35 | 0,27 (0,65) | -0,16-0,71 |

*p<0,05

Par la suite, les analyses corrélationnelles sans égard à l'âge ont été réalisées (voir Tableau 6). Les variables principales d'intérêt sont celles ayant été sélectionnées *a priori* lors de l'élaboration du projet de recherche (c.-à-d. TMT, CWIT, *Tower test*, ZMT, SET). Dans une perspective exploratoire de nos données, nous avons ajouté *a posteriori* d'autres variables cognitives pour élargir le spectre du processus de validation de construit (validité convergente et validité divergente). À cet effet, les sous-échelles du MoCA et des 5 mots de Dubois ont donc été incluses dans les analyses statistiques. Notons que pour ne pas alourdir inutilement les tableaux, nous ne présentons que les corrélations statistiquement significatives entre les indices de performance à la tâche de classement du VMT-2 et les épreuves neuropsychologiques. Il est également important de noter que les variables qui ressortent significatives sur le plan corrélational **ne sont pas** les mêmes variables pour lesquelles il existe des différences sur le plan de l'âge. En d'autres mots, toutes les variables statistiquement significatives issues de l'évaluation traditionnelle et reliées aux indices du VMT-2 ne démontrent aucune différence de performance entre les deux groupes formés sur la base de l'âge.

Le **temps pris pour ranger l'épicerie** est corrélé avec deux variables de l'évaluation neuropsychologique, soit le nombre de bris de règles au SET [$r(19) = -0,49, p = 0,04$] et la VTI dans la tâche de balayage visuel du TMT-1 [$r(19) = 0,47, p = 0,04$]. Les analyses complémentaires exploratoires ont révélé une corrélation significative entre le temps pris pour ranger l'épicerie et la sous-section du MoCA qui évalue la mémoire [$r(19) = -0,55, p = 0,02$].

Le **nombre d'erreurs dans le rangement des fruits et légumes** est corrélé avec trois variables issues des tests neuropsychologiques, soit le nombre total d'occasions où un chemin a été emprunté plus d'une fois au ZMT [$r(20) = 0,53, p = 0,02$], le nombre total d'erreurs au ZMT [$r(20) = 0,53, p = 0,02$] et la vitesse dans la tâche de lecture des mots à voix haute du CWIT-2

[$r(20) = 0,44$, $p = 0,05$]. Les analyses complémentaires exploratoires ont démontré une corrélation significative entre cet indice du VMT-2 et le score brut obtenu à la sous-section du MoCA qui évalue les capacités d'abstraction verbale [$r(20) = - 0,55$, $p = 0,01$].

Le **nombre d'erreurs dans le classement des produits emballés** est seulement corrélé avec le nombre total d'intrusions à l'épreuve des 5 mots de Dubois [$r(18) = 0,66$, $p = 0,003$].

Tableau 6

Analyses corrélationnelles (a priori et a posteriori) sans égard à l'âge entre la tâche de classement de l'épicerie et certains indices de performance aux tests cognitifs

| | Analyses corrélationnelles principales | | | | | Analyses corrélationnelles exploratoires a posteriori | | |
|--|--|-------------------------|--------------------|-----------|-----------|---|--------------|-----------------------------|
| | ZMT-Occasions | ZMT-Nbr total d'erreurs | SET-Bris de règles | TMT-1 | CWIT-2 | MoCA-Abstraction verbale | MoCA-Mémoire | 5 mots de Dubois-Intrusions |
| Temps de réalisation de la tâche de classement | <i>ns</i> | <i>ns</i> | 0,49* | 0,47* | <i>ns</i> | <i>ns</i> | -0,55* | <i>ns</i> |
| Nbr d'erreurs dans le classement des fruits et légumes | 0,53* | 0,53* | <i>ns</i> | <i>ns</i> | 0,44* | -0,55** | <i>ns</i> | <i>ns</i> |
| Nbr d'erreurs dans le classement des produits emballés | <i>ns</i> | <i>ns</i> | <i>ns</i> | <i>ns</i> | <i>ns</i> | <i>ns</i> | <i>ns</i> | 0,66** |

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *ns* : non significatif

Évidemment, un biais peut résulter du fait que les analyses corrélationnelles soient réalisées sur l'ensemble de l'échantillon sans égard à l'âge, et ce, d'autant plus que le fonctionnement cognitif dans les deux groupes de participants est hétérogène (voir Tableau 5). Il y a en effet un risque que les relations trouvées entre la tâche de classement du VMT-2 et les épreuves neuropsychologiques traditionnelles soient dépendantes de l'âge des participants, variable qui agit en tant que modérateur. Par conséquent, nous avons pris la décision de réaliser des analyses corrélationnelles sur chacun des deux groupes séparément (voir Tableau 7).

Dans le groupe de participants jeunes, le **temps pris pour ranger l'épicerie** est corrélé avec une variable de l'évaluation neuropsychologique, soit le ratio de violation des règles par item du *Tower Test* [$r(9) = -0,77, p = 0,02$], et avec deux variables suite aux analyses exploratoires complémentaires, soit le score brut obtenu au rappel différé des 5 mots de Dubois [$r(9) = -0,80, p = 0,01$] et le score brut à la sous-section du MoCA qui évalue le langage [$r(9) = -0,68, p = 0,04$]. De plus, le nombre d'erreurs dans le **classement des produits emballés** est corrélé avec une variable de l'évaluation neuropsychologique, soit le nombre de bris de règles au SET [$r(11) = 0,66, p = 0,03$], et avec deux variables suite aux analyses exploratoires complémentaires, soit le score brut obtenu au rappel différé des 5 mots de Dubois [$r(11) = -0,74, p = 0,01$] et le nombre total d'intrusions à l'épreuve des 5 mots de Dubois [$r(11) = 0,66, p = 0,03$]. Aucune corrélation n'est finalement trouvée entre le nombre d'erreurs dans le **rangement des fruits et légumes** et les tests neuropsychologiques traditionnels.

Dans le groupe de participants âgés, le **temps pris pour ranger l'épicerie** est corrélé avec trois variables de l'évaluation neuropsychologique, soit le score brut au ZMT [$r(10) = 0,65, p = 0,04$], le nombre total d'occasions où un chemin a été emprunté plus d'une fois au ZMT [$r(10) = -0,66, p = 0,04$] et le nombre total d'erreurs au ZMT [$r(10) = -0,67, p = 0,04$]. De plus,

le nombre d'erreurs dans le **rangement des fruits et légumes** est corrélé avec deux variables de l'évaluation neuropsychologique, soit le nombre total d'occasions où un chemin a été emprunté plus d'une fois au ZMT [$r(8) = 0,77, p = 0,02$] et le nombre total d'erreurs au ZMT [$r(8) = 0,78, p = 0,02$]. Finalement, le nombre d'erreurs dans le **classement des produits emballés** est seulement corrélé, suite aux analyses complémentaires exploratoires, avec le score brut à la sous-section du MoCA qui évalue les capacités visuospatiales [$r(7) = - 0,88, p = 0,01$].

Par ailleurs, il est important de noter que dans la matrice de corrélations du groupe de participants jeunes, trois corrélations sur six ressortent significatives et ciblent des variables traditionnelles pour lesquelles il y a des différences d'âge, soit le rappel différé des 5 mots de Dubois et le ratio de violation de règles du *Tower Test* (voir Tableau 5). Dans la matrice de corrélations du groupe de participants âgés, aucune variable traditionnelle n'a montré de différence de moyenne significative basée sur l'âge parmi les cinq corrélations retenues (voir Tableau 5). Outre l'effet de l'âge en lui-même, il est possible que le petit nombre de participants dans chacun des groupes et les nombreuses observations réalisées lors des analyses corrélationnelles expliquent les écarts observés dans les trois matrices de corrélations. Par conséquent, l'ensemble des observations doivent être considérées avec précaution de même que les inférences qui s'en dégagent.

Tableau 7

Analyses corrélationnelles sur l'ensemble de l'échantillon entre la tâche de classement de l'épicerie et les indices de performance

aux tests cognitifs

| Jeunes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 (VMT) | 10 (VMT) | 11 (VMT) |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 1. MoCA-Visuospatial | 1 | ,33 | -,36 | ,19 | ,36 | ,23 | ,20 | ,28 | ,24 | -,19 | ,28 |
| 2. MoCA-Langage | | 1 | ,25 | -,32 | -,18 | ,29 | ,26 | -,06 | -,68* | ,02 | -,37 |
| 3. Dubois-Différé | | | 1 | -,53 | -,68** | ,08 | ,06 | -,28 | -,80** | -,22 | -,74** |
| 4. Dubois-Intrusions | | | | 1 | -,04 | -,14 | -,14 | -,11 | . | . | ,66* |
| 5. <i>Tower Test</i> -Ratio violation des règles | | | | | 1 | ,01 | ,01 | ,38 | ,77* | ,27 | ,25 |
| 6. ZMT-Nbr total d'erreurs | | | | | | 1 | ,99** | ,13 | ,14 | ,29 | ,21 |
| 7. ZMT-Occasions | | | | | | | 1 | ,03 | ,33 | ,29 | ,21 |
| 8. SET-Bris de règles | | | | | | | | 1 | ,54 | ,04 | ,66* |
| 9. VMT2-Temps de réalisation | | | | | | | | | 1 | ,16 | ,83* |
| 10. VMT2-Nbr d'erreurs fruits et légumes | | | | | | | | | | 1 | ,18 |
| 11. VMT2-Nbr d'erreurs produits emballés | | | | | | | | | | | 1 |

| Âgés | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|-------------|---------------|
| 1. MoCA-Visuospatial | 1 | -,04 | -,39 | ,19 | ,09 | ,28 | ,28 | -,39 | -,05 | ,28 | -,88** |
| 2. MoCA-Langage | | 1 | ,33 | ,24 | ,42 | -,41 | -,41 | ,03 | ,54 | -,40 | ,37 |
| 3. Dubois-Différé | | | 1 | -,14 | -,09 | -,06 | -,05 | ,28 | ,08 | -,34 | ,32 |
| 4. Dubois-Intrusions | | | | 1 | ,35 | -,12 | -,12 | -,14 | . | . | . |
| 5. <i>Tower Test</i> -Ratio violation des règles | | | | | 1 | -,51 | -,51 | -,47 | ,10 | -,10 | -,30 |
| 6. ZMT-Nbr total d'erreurs | | | | | | 1 | 1,00** | -,20 | -,67* | ,78* | -,45 |
| 7. ZMT-Occasions | | | | | | | 1 | -,21 | -,66* | ,77* | -,45 |
| 8. SET-Bris de règles | | | | | | | | 1 | ,52 | -,20 | -,24 |
| 9. VMT2-Temps de réalisation | | | | | | | | | 1 | -,63 | -,06 |
| 10. VMT2-Nbr d'erreurs fruits et légumes | | | | | | | | | | 1 | 0,00 |
| 11. VMT2-Nbr d'erreurs produits emballés | | | | | | | | | | | 1 |

* p<0,05; ** p<0,01

5. Discussion

Considérant l'intérêt de la neuropsychologie du quotidien pour décrire l'autonomie fonctionnelle et favoriser la détection précoce des changements cognitifs chez les aînés, nous avons voulu explorer la possibilité d'utiliser, pour ce faire, un nouvel outil de RV, le VMT-2. Le premier objectif de cette étude pilote/exploratoire visait à observer s'il existe une différence entre les performances des jeunes adultes et celles des aînés cognitivement sains dans la tâche de classement de l'épicerie du VMT-2. Le deuxième objectif était d'étudier la validité de construit de cette nouvelle tâche de classement.

5.1. Différences d'âge lors de la performance au VMT-2

Tel qu'anticipé, conformément à notre première hypothèse de recherche, les aînés prennent globalement plus de temps pour naviguer dans l'EV et pour accomplir la tâche de classement de l'épicerie. Des études qui ont utilisé d'autres outils technologiques ont montré des performances similaires en termes de vitesse d'exécution (Davison, Deepröse et Terbeck, 2017; Raspelli et al., 2012; Sayers, 2004). Les aînés semblent, de manière constante, être plus lents que les jeunes. Selon nous, les résultats obtenus à ces indices de temps de réalisation des tâches pourraient, en partie, être expliqués par le fait que les aînés ont été moins exposés aux technologies sur l'ensemble de leur vie que les adultes plus jeunes. Les personnes âgées qui ont participé notre étude se sentent en effet moins à l'aise que les jeunes adultes avec l'utilisation d'un ordinateur. Les résultats indiquent qu'elles sont au moins le quart (25 %; voir Tableau 1) moins à l'aise que les jeunes avec l'utilisation des ordinateurs.

En outre, il est pertinent de considérer ces résultats dans la perspective où le temps nécessaire pour réaliser le VMT-2 représente la capacité du participant à gérer les imprévus (ou perturbateurs) qui surviennent dans l'EV (p. ex. les appels téléphoniques, le déclenchement de l'orage, la réalisation de tâches qui n'est pas prévue au départ de l'immersion). Plus spécifiquement, les imprévus, en plus de solliciter de bonnes capacités à se réorganiser, impliquent une plus grande utilisation des interfaces personne-machine telles que la souris et le clavier. Ces interfaces permettent de manipuler les objets et de réaliser les autres tâches liées aux perturbations provoquées par l'environnement. Cette combinaison de changements de plan et de manipulation d'interfaces est à même d'engendrer une surcharge cognitive accrue chez les aînés. Dans l'ensemble, il semble que pour réaliser la tâche de classement, le participant doit posséder de bonnes capacités de flexibilité mentale, de planification, de MdT et d'inhibition, des processus exécutifs qui lui permettent d'organiser son travail et de répondre aux exigences de l'environnement. Certains auteurs ont précisé que, au cours du vieillissement cognitif normal, un déclin, bien que subtil, est observé au niveau de ces fonctions (Allain, Kauffmann, Dubas, Berrut et Le Gall, 2007). Ce déclin doit toutefois être interprété dans une perspective plus globale qui considère le ralentissement de la VTI comme étant le principal responsable des écarts de performances liés à l'âge (Salthouse 1991; Salthouse, 1996). En effet, nous détenons peu d'évidences dans la littérature qui nous permettent d'imputer le ralentissement de la VTI observé au VMT-2 (temps de réalisation de la tâche de classement plus lent chez aînés) au déclin subtil des FE. Notons qu'il existe pourtant des corrélations significatives entre le temps de réalisation de la tâche de classement certaines variables neuropsychologiques traditionnelles, notamment le nombre total d'erreurs et le nombre total d'occasions où un chemin a été emprunté plus d'une fois au ZMT. Autrement dit, la sensibilité exécutive des personnes âgées, qui

s'expriment au niveau des indices d'inhibition, de flexibilité et de planification dans notre étude, semble avoir un impact sur la VTI (voir Tableau 5 et Tableau 7). Des études plus approfondies doivent toutefois être réalisées. Considérant toujours les indices de temps de réalisation des tâches, il semble que la VTI soit un facteur fondamental pouvant contribuer aux différences observées entre les groupes et par conséquent, à la compréhension clinique des effets de l'âge sur la performance cognitive. Selon la théorie du ralentissement cognitif, la VTI joue un rôle médiateur dans la diminution de performance évaluée à plusieurs mesures du fonctionnement cognitif au cours du vieillissement (Salthouse, 1991; Salthouse, 1996). En effet, après avoir contrôlé pour la VTI, les effets de l'âge n'influencent qu'en faible proportion les performances cognitives (Salthouse, 1991). Puisqu'il semble exister une relation entre la VTI et la cognition, il est fort possible que les indices temporels obtenus par le VMT-2 puissent nous renseigner sur les capacités des participants à gérer la surcharge cognitive, laquelle peut provoquer un ralentissement dans le traitement de l'information. Les résultats de l'étude pilote sont en ce sens cohérents avec ceux de Charlton et ses collègues (2008) qui suggèrent que l'avancement en âge a un effet direct sur la VTI, laquelle module en retour son effet sur la flexibilité mentale et la mémoire de travail.

Ensuite, contrairement à notre première hypothèse de recherche et bien que les aînés obtiennent des temps d'exécution plus élevés, la proportion du temps consacré au rangement de l'épicerie est comparable entre les deux groupes. Ceci indique que les deux groupes de participants consacrent en moyenne la même proportion de temps à la réalisation de l'ensemble des tâches du VMT-2. Précisons néanmoins que la tâche de rangement de l'épicerie demeure la plus mobilisatrice. Par ailleurs, en tenant compte de l'étendue des résultats (c.-à-d. en faisant l'analyse des écarts-types), nous constatons que certains aînés prennent beaucoup plus de temps

que d'autres pour accomplir la tâche, ce qui va dans le sens de l'hypothèse sur l'hétérogénéité du fonctionnement cognitif dans le vieillissement normal (Bherer, 2015). La manipulation des aliments dans un contexte multitâches apparaît plus exigeante pour certains aînés alors que pour d'autres, le ralentissement de la VTI ne semble pas affecter leur performance dans l'organisation du classement des aliments.

Toujours dans l'analyse de la tâche de classement, les résultats ont démontré que les aînés ne commettent pas plus d'erreurs dans le classement des articles d'épicerie (que ce soit les fruits et légumes ou les produits frais). En apparence, la tâche de classement du VMT-2 partage des similitudes avec le WCST. De fait, la tâche de classement proposée implique de déduire des principes de catégorisation (p. ex. les fruits et légumes, les produits emballés) afin de ranger le plus adéquatement possible les aliments en respectant une certaine logique de rangement (p. ex. ranger la crème glacée dans le congélateur). Elle fait aussi appel aux capacités d'inhibition puisqu'elle exige de résister aux interférences (ou perturbateurs) qui surviennent dans l'EV. Puisque la performance au WCST tend à décliner sur certains aspects (p. ex. le nombre de catégories complétées, le nombre d'erreurs de persévération) après l'âge de 60 ans (Strauss, Sherman et Spreen, 2006), nous nous serions attendus à des différences entre les deux groupes lors de la performance au VMT-2. Ainsi, de deux choses l'une : ou bien la tâche de classement proposée n'est en définitive pas suffisamment difficile ou bien elle ne mesure pas ce que nous pensions qu'elle mesurait initialement, soit les habiletés de catégorisation et d'organisation. À notre avis, il serait nécessaire de revoir la performance des participants en considérant les interruptions de la tâche provoquées par les contingences de l'environnement qui exigent des aller et retour entre plusieurs tâches et celle du rangement de l'épicerie.

5.2. Test de la validité convergente des tâches du VMT-2

Tel qu'attendu, les analyses corrélationnelles sans égard à l'âge indiquent que les variables du VMT-2 corrélaient avec certaines mesures neuropsychologiques traditionnelles, suggérant ainsi l'implication des FE dans l'épreuve de classement présentée dans ce travail de recherche.

Tout d'abord, le temps total pris pour réaliser la tâche de classement semble solliciter la mémoire épisodique, c'est-à-dire la capacité à se rappeler d'un événement vécu dans un contexte spatio-temporel précis (Tulving, 1972), et la capacité à respecter certaines règles prédéfinies. En effet, nous constatons que plus le participant prend de temps pour réaliser la tâche de classement, moins son résultat est bon au sous-test de mémoire du MoCA et plus il fait de bris de règles au SET. Ces corrélations laissent penser que pour naviguer dans un laps de temps optimal, le participant doit bien apprendre les consignes afin de les récupérer rapidement lors de la phase d'expérimentation. La vitesse d'exécution de la tâche dépend donc du rappel de ce « qui doit être fait » dans l'appartement virtuel. De plus, le participant doit être en mesure d'organiser et de coordonner ses activités de manière à transgresser le moins de règles possible afin de réaliser la tâche en un minimum de temps. Les bris de règles à l'intérieur de l'EV peuvent être à l'origine d'actions « persévératives » ou impliquer une mauvaise interprétation de la relation qu'entretient un objet virtuel avec son environnement. Une corrélation existe également entre le temps total pris pour réaliser la tâche de classement et la VTI lors d'une tâche de balayage visuel. De fait, plus le participant prend de temps pour ranger l'épicerie, plus nous observons un ralentissement psychomoteur au TMT-1. Nous pensons ainsi qu'une exploration visuelle efficace de l'îlot de la cuisine permet de repérer efficacement les aliments et de les ranger plus rapidement à l'endroit approprié.

Par la suite, il existe une corrélation négative entre le nombre d'erreurs commises dans le classement des fruits et légumes et le score à la sous-section du MoCA qui évalue les capacités d'abstraction verbale. La pensée concrète semble nuire à la formation de concepts abstraits et par le fait même, à l'association de chaque aliment au bon endroit de rangement. En effet, lorsque le participant place le fruit ou le légume au mauvais endroit, il fait une erreur de catégorisation. Le VMT-2 requiert ainsi des capacités d'abstraction jugées essentielles à la catégorisation (Lezak, Howieson, Bigler et Tranel, 2012). Le nombre d'erreurs au classement des fruits et légumes est également corrélé avec des mesures du fonctionnement exécutif : un défaut d'inhibition à l'origine d'un bris de règle et un comportement de persévération. Concrètement, ce type de persévération peut refléter un manque de flexibilité mentale (Lezak, Howieson, Bigler et Tranel, 2012) lors de la planification du rangement de l'épicerie. En d'autres termes, plus le nombre d'erreurs dans le rangement de ces aliments est élevé, plus le participant fait d'erreurs, quel qu'en soit le type, au ZMT. Finalement, le nombre d'erreurs dans le classement des fruits et légumes corrèle positivement avec la VTI dans une tâche de lecture de mots de haute-fréquence à voix haute, soit le CWIT-2. Ce type de tâche fait appel aux connaissances sémantiques (c.-à-d. la connaissance des mots de couleur, soit le rouge, le bleu, le vert et le jaune) et aux capacités d'attention sélective. En dressant le niveau de base de la vitesse de lecture de la personne, une faible performance peut indiquer un trouble spécifique des apprentissages tel que la dyslexie (Delis, Kaplan, Kramer, 2001). Nous pouvons ainsi supposer que l'action de sélectionner l'emplacement des fruits et légumes dans la tâche de classement du VMT-2 implique de traiter l'information dans un contexte multitâche tout en étant interrompu par des perturbateurs. La gestion de ces imprévus exige davantage de ressources cognitives, ce qui renvoie au concept de charge cognitive abordé précédemment.

De surcroît, le nombre d'erreurs dans le classement des produits emballés semble lié à la capacité d'inhibition des stimuli non pertinents. En effet, plus le nombre d'erreurs dans le rangement de ces aliments est élevé, plus le participant fait d'erreurs d'intrusion à l'épreuve des 5 mots de Dubois. Il semble donc que le classement des fruits et légumes et celui des produits emballés, deux variables du VMT-2 corrélées avec les capacités d'inhibition, partagent une partie commune de la variance.

Enfin, les corrélations, réalisées dans un premier temps sur l'ensemble des participants sans égard à leur âge, démontrent que le VMT-2 mesure sensiblement des construits similaires à certaines épreuves du bilan cognitif, en particulier celles qui évaluent les FE. Tel qu'attendu, nous constatons une validité convergente cliniquement acceptable entre ce nouvel outil et les mesures de VTI, de flexibilité mentale, de planification et d'inhibition. Ces résultats nous semblaient prévisibles dans la mesure où l'épreuve de classement a été conçue de manière à mettre en lumière la relation significative qui existe entre le dysfonctionnement exécutif et les difficultés dans les AIVQ (Marshall et al., 2011).

L'accomplissement de ces tâches multiples requiert de la capacité de mémoire prospective, de la capacité à désengager et engager l'attention au bon moment, ainsi que de la capacité à allouer de façon flexible les ressources attentionnelles vers les stimuli internes, les plans de réalisation de la tâche, et les stimuli externes (Pachoud, 2012, p. 74).

De par leur caractère multitâche, les AIVQ font certes appel aux FE, mais également à la mémoire épisodique verbale (Pachoud, 2012), ce qui a été mis en évidence dans notre étude pilote. D'autres corrélations indiquent non seulement une composante exécutive à la tâche de classement du VMT-2, mais aussi des composantes liées au raisonnement, à l'abstraction verbale et à la vitesse psychomotrice. Dans un même ordre d'idées, des études ayant eu recours à des EV similaires, soit des appartements ou des cuisines, ont permis d'évaluer des construits

proches de ceux sous-jacents aux tâches du VMT-2, soit le fonctionnement exécutif et la vitesse psychomotrice (Allain et al., 2014; Davison, Deepröse et Terbeck, 2017; Zygouris, Giakoumis, Votis et Tzovaras, 2013).

En envisageant la présente conclusion d'un autre point de vue, nous constatons que l'analyse de validité convergente peut être limitée par l'effet de l'âge. De fait, la littérature fait état de changements cognitifs au cours du vieillissement normal qui se traduisent par un déclin subtil de la performance à certaines tâches neuropsychologiques (Collette et Salmon, 2014). Le processus de vieillissement cognitif est aussi caractérisé par une hétérogénéité interindividuelle qui s'exprime, du moins en partie, par la manière dont chaque individu s'adapte à l'avancement en âge (Bherer, 2015). Tel qu'attendu et conformément à la littérature sur le sujet, nos travaux ont démontré que les jeunes et les personnes âgées se distinguent dans leur performance aux tests neuropsychologiques traditionnels (voir Tableau 5). Il est par conséquent cohérent d'observer des différences intergroupes dans les matrices de corrélations pour chacun des groupes de participants (voir Tableau 7). En d'autres termes, nous constatons que le VMT-2 ne corrèle pas nécessairement avec les mêmes variables neuropsychologiques traditionnelles que lorsque les analyses corrélationnelles sont effectuées sans égard à l'âge. Les matrices obtenues nous laissent penser que le VMT-2 présente une composante exécutive plus importante que ce qui est observé en l'absence d'un contrôle pour l'effet de l'âge. Nous pensons aussi qu'une composante visuospatiale s'ajoute. Par exemple, dans le groupe de participants âgés, il existe une corrélation négative entre le nombre d'erreurs commises dans le classement des produits emballés et le score à la sous-section du MoCA qui évalue les capacités visuospatiales. Nous pensons ainsi que le participant doit être en mesure de s'orienter adéquatement dans l'espace

afin de ranger les objets à l'endroit approprié dans l'EV. Finalement, il se peut qu'en l'absence d'un effet de l'âge dans nos analyses d'autres corrélations significatives aient été trouvées.

5.3. Limites de l'étude et recherches futures

Il va sans dire que cette étude pilote a apporté des réponses encourageantes en ce qui a trait à l'utilisation de la RV en tant qu'outil d'évaluation neuropsychologique « écologiquement valide ». Des limites sont tout de même à considérer au terme de l'expérimentation et de l'analyse des données. D'abord, la supériorité de la performance des jeunes adultes à certaines mesures peut s'expliquer par leur plus grande aisance avec les nouvelles technologies interactives comme les jeux vidéo, l'internet et la télévision (Davison, Deeproze et Terbeck, 2017; Sekuler, McLaughlin et Yotsumoto, 2008). Pour contourner ce problème, dans une prochaine étude, il serait important d'apparier les groupes de manière à ce que les participants aient une aisance comparable concernant l'interaction avec les ordinateurs et les technologies.

En outre, le nombre relativement petit de participants peut avoir limité la puissance statistique de l'étude. La probabilité de détecter une différence entre deux conditions ou un lien significatif entre deux variables dépend plus spécifiquement de la grandeur de l'échantillon. Notons toutefois que l'étude se voulait exploratoire et que par conséquent, l'échantillonnage prévu était d'emblée plus restreint. Ces résultats nous amènent à penser qu'il serait pertinent de réaliser l'expérimentation auprès d'un échantillon plus large. Par ailleurs, le nombre impressionnant de corrélations réalisées peut légitimement être critiqué. De fait, la probabilité d'obtenir de la significativité s'accroît statistiquement avec le nombre d'analyses corrélationnelles réalisées. Certains auteurs seraient ainsi tentés de recourir à des procédures de correction pour réduire les erreurs de Type I (p. ex. Bonferroni). Ce type de procédure réduit en revanche la puissance statistique de l'étude en augmentant par le fait même les erreurs de Type II

(Nakagawa, 2004). Rappelons que la présente étude avait une visée exploratoire et que par conséquent, nous avons privilégié la mise en évidence des possibles effets significatifs pour élargir les horizons de recherche et ainsi permettre d'améliorer le VMT-2 en envisageant le développement d'un VMT-3.

D'autres aspects de la méthodologie peuvent aussi limiter la généralisation des résultats. D'une part, 76 % des participants étaient des femmes, ce qui nous amène à nous questionner sur l'influence des intérêts ou des expériences liés au genre dans les performances obtenues, surtout en ce qui concerne les personnes âgées. Par ailleurs, la littérature tend à démontrer que les filles d'âge scolaire ont une attitude plus négative et un plus faible sentiment d'auto-efficacité envers la technologie et les mathématiques que leurs homologues masculins (Virtanen, Räikkönen et Ikonen, 2015). Ainsi, un nouvel échantillonnage devrait tenir compte des possibles différences de genre et inclure un nombre comparable d'hommes et de femmes dans chaque condition. D'autre part, les personnes qui ont participé à l'étude étaient relativement scolarisées (M = 15,88 années de scolarité). Il est ainsi possible que la composition des groupes ne soit pas représentative de l'ensemble de la population. Par exemple, nous pouvons supposer que les personnes plus scolarisées ont davantage accès aux outils technologiques. Il serait pertinent de considérer ces éléments dans des recherches futures, de même que l'ajout d'un groupe clinique (p. ex. les aînés qui ont un diagnostic de TNC léger), et ce, dans le l'objectif de connaître l'utilité et la sensibilité du VTM-2 auprès de diverses populations.

Tel que mentionné à maintes reprises, la RV est de plus en plus reconnue dans la littérature en tant qu'outil d'évaluation neuropsychologique écologique (Allain et al., 2014; Tarnanas et al., 2013). Bien que le VMT-2 ait justement été conçu dans la perspective d'étudier la fonctionnalité dans le quotidien, l'outil peut néanmoins être critiqué pour sa validité

écologique. Quelques problèmes techniques associés à la navigation ou au fonctionnement de l'EV (p. ex. la non fonctionnalité du fax, l'absence de surbrillance au moment du dépôt d'un item dans l'armoire, l'impossibilité d'utiliser le panier à fruits, l'orientation dans l'environnement) ont pu contribuer à restreindre le réalisme de l'EV par rapport à la vie quotidienne. En ce sens, les résultats obtenus sur l'échelle mesurant le sentiment de présence tendent à démontrer que les jeunes sont plus sensibles au réalisme de l'EV que les âgés, ils jugent donc certains aspects du VMT-2 comme étant plus ou moins réalistes. Compte tenu du potentiel innovant du VMT-2, une troisième version pourrait être développée pour remédier à ces lacunes techniques et augmenter le niveau réalisme de la tâche par rapport au quotidien.

Pour terminer, nous soulevons une limite liée au mode d'immersion dans l'EV et aux symptômes physiques potentiels (Cobb, Nichols, Ramsey et Wilson, 1999). En ce sens, plus de participants ont privilégié le mode non immersif dans la phase d'expérimentation même après avoir eu l'opportunité de se familiariser avec l'équipement immersif, c'est-à-dire le visiocasque *Oculus-Development Kit-2*. Bien qu'aucune différence significative n'ait été relevée pour les cybermalaises entre les adultes jeunes et âgées, les deux groupes ont ressenti dans l'ensemble plus de malaises nauséux qu'oculomoteurs. Sur le plan qualitatif, un nombre non négligeable d'individus ont présenté des vertiges ou des nausées. Nous supposons que cela a pu influencer le mode d'immersion choisi pour naviguer dans l'EV. Davison et ses collaborateurs (2017) affirment que les récents développements technologiques pourront éventuellement limiter ces symptômes et améliorer l'expérience de la RV.

Conclusion

Le vieillissement de la population est un phénomène sociodémographique en pleine expansion qui préoccupe tous les paliers de gouvernement. Les chercheurs s'intéressent de plus en plus aux facteurs qui contribuent au maintien de l'autonomie des aînés. L'avancement en âge est typiquement associé à des changements cognitifs, en particulier, à une diminution des capacités exécutives, ce qui risque de nuire à l'indépendance fonctionnelle dans le quotidien. En ce sens, le développement de la RV offre plusieurs possibilités en termes d'évaluation des fonctions cognitives et des comportements fonctionnels des aînés. Puisque les FE sont à l'avant-plan lors de la réalisation des AIVQ, nous avons développé un nouvel outil, le VMT-2, qui tient compte du caractère multitâche de ces activités. Les résultats de l'étude pilote ont permis de confirmer que les aînés se distinguent des jeunes dans une tâche qui consiste à ranger l'épicerie. De plus, des corrélations significatives ont été trouvées entre les mesures du VMT-2 et celles du bilan neuropsychologique administré en phase préexpérimentale. Ceci indique la présence d'une validité convergente et divergente encourageante. Des différences sont toutefois notées lorsque nous considérons l'effet de l'âge dans les analyses corrélationnelles. Des améliorations doivent aussi être apportées pour favoriser une navigation plus réaliste et plus fluide dans l'EV.

La présente étude offre des perspectives intéressantes en recherche et en clinique. Tout d'abord, nos travaux ont permis d'étudier la pertinence d'utiliser les nouvelles technologies auprès des aînés, et ce, en observant leurs comportements en interaction avec la RV. De plus, en apportant les modifications nécessaires, nos travaux s'ajoutent à ceux déjà existants et ouvrent la voie vers la démocratisation de l'utilisation de ce type d'outils auprès des personnes vieillissantes cognitivement saines et éventuellement, auprès de celles qui présentent des TNC légers. Le VMT (dans ses versions ultérieures) devra cependant au préalable être validé auprès

de ce type de population clinique. Ultimement, la visée clinique notre recherche est d'offrir la possibilité aux professionnels de la santé de proposer des interventions plus personnalisées pour favoriser, le plus longtemps possible, un maintien à domicile plus sécuritaire des aînés atteints d'un TNC.

Références

- Abe, O., Aoki, S., Hayashi, N., Yamada, H., Kunimatsu, A., Mori, H., ... Ohtomo, K. (2002). Normal aging in the central nervous system: quantitative MR diffusion-tensor analysis. *Neurobiology of aging*, 23(3), 433-441. [https://doi.org/10.1016/S0197-4580\(01\)00318-9](https://doi.org/10.1016/S0197-4580(01)00318-9)
- Allain, P., Foloppe, D. A., Besnard, J., Yamaguchi, T., Etcharry-Bouyx, F., Le Gall, D., ... Richard, P. (2014). Detecting everyday action deficits in Alzheimer's disease using a nonimmersive virtual reality kitchen. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 20(5), 468-477. doi : 10.1017/S1355617714000344
- Allain, P., Kauffmann, M., Dubas, F., Berrut, G. et Le Gall, D. (2007). Fonctionnement exécutif et vieillissement normal: étude de la résolution de problèmes numériques. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du vieillissement*, 5(4), 315-325. doi : 10.1684/pnv.2007.0106
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders DSM-5* (5e éd.). Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5 : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (traduit par M.-A. Crocq et J.-D. Guelfi). Issy-les-Moulineaux, France : Elsevier Masson.
- Andrés, P., Guerrini, C., Phillips, L. H. et Perfect, T. J. (2008). Differential effects of aging on executive and automatic inhibition. *Developmental neuropsychology*, 33(2), 101-123. doi : 10.1080/87565640701884212
- Ang, C. S., Zaphiris, P. et Mahmood, S. (2007). A model of cognitive loads in massively multiplayer online role playing games. *Interacting with Computers*, 19, 167-179.
- Ashendorf, L., Jefferson, A. L., O'Connor, M. K., Chaisson, C., Green, R. C. et Stern, R. A. (2008). Trail Making Test errors in normal aging, mild cognitive impairment, and dementia. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 23(2), 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.11.005>
- Ball, K., Ross, L. A. et Viamonte, S. (2010). Normal aging and everyday functioning. Dans T. D. Marcotte et I. Grant (dir.), *Neuropsychology of everyday functioning* (p. 248-263). New York : États-Unis : The Guilford Press.
- Banville, F., Couture, J. F., Verhulst, E., Besnard, J., Richard, P. et Allain, P. (2017). Using Virtual Reality to Assess the Elderly: The Impact of Human-Computer Interfaces on Cognition. *International Conference on Human Interface and the Management of Information*, 113-123. doi : 10.1007/978-3-319-58524-6_10
- Beck, A. T., Steer, R. A. et Brown, G. K. (1996). *Manual for the BDI-II*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.

- Bennett, I. J., Madden, D. J., Vaidya, C. J., Howard, D. V. et Howard, J. H. (2010). Age-related differences in multiple measures of white matter integrity: A diffusion tensor imaging study of healthy aging. *Human brain mapping*, 31(3), 378-390. doi : 10.1002/hbm.20872
- Bherer, L. (2015). Cognitive plasticity in older adults: effects of cognitive training and physical exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 1-6. doi : 10.1111/nyas.12682
- Bopp, K. L. et Verhaeghen, P. (2005). Aging and verbal memory span: A meta-analysis. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 60(5), 223-233. <https://doi.org/10.1093/geronb/60.5.P223>
- Bouchard, S., Robillard, G. et Renaud, P. (2007). Revising the factor structure of the Simulator Sickness Questionnaire. *Annual review of cybertherapy and telemedicine*, 5, 128-137. Repéré à http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30756632/ARCTT2007.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1500951638&Signature=iFe6boDPrVR5REvnCLGOdeAEvLA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA_Virtual_Human_Agent_for_Training_Novic.pdf#page=117
- Bugg, J. M., Zook, N. A., DeLosh, E. L., Davalos, D. B. et Davis, H. P. (2006). Age differences in fluid intelligence: contributions of general slowing and frontal decline. *Brain and cognition*, 62(1), 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.02.006>
- 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(2), 194-209. doi : 10.1017/S1355617706060310
- Calso, C., Besnard, J. et Allain, P. (2016). Le vieillissement normal des fonctions cognitives frontales. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 14(1), 77-85. [10.1684/pnv.2016.0586](https://doi.org/10.1684/pnv.2016.0586). doi : 1040-7308/03/1200-0181/0
- Cegarra, J. et Morgado, N. (2009). Étude des propriétés de la version francophone du NASA-TLX. In B. Cahour, F. Anceaux et A. Giboins (dir.), *EPIQUE 2009 : 5^e Colloque de Psychologie Ergonomique*, 233-239. Nice, France.
- Chan, R. C., Shum, D., Touloupoulou, T. et Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 23(2), 201-216. doi : 10.1016/j.acn.2007.08.010
- Charlton, R. A., Landau, S., Schiavone, F., Barrick, T. R., Clark, C. A., Markus, H. S. et Morris, R. G. (2008). A structural equation modeling investigation of age-related variance in

executive function and DTI measured white matter damage. *Neurobiology of aging*, 29(10), 1547-1555. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2007.03.017>

Chaytor, N. et Schmitter-Edgecombe, M. (2003). The ecological validity of neuropsychological tests: A review of the literature on everyday cognitive skills. *Neuropsychology review*, 13(4), 181-197. Repéré à <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FB%3ANERV.0000009483.91468.fb.pdf>

Chouchena, O., Soulé, M. et Noël, J. (2004). Les grands-parents dans la dynamique normale ou pathologique des enfants. Dans S. Lebovici, R. Diatkine et M. Soulé (dir.), *Nouveau traité de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent* (2e éd., vol. 4, p. 2633-2660). Paris, France : Presses universitaires de France.

Cobb, S. V., Nichols, S., Ramsey, A. et Wilson, J. R. (1999). Virtual reality-induced symptoms and effects (VRISE). *Presence: teleoperators and virtual environments*, 8(2), 169-186. doi : 10.1162/105474699566152

Collette, F. et Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie française*, 59(1), 41-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psfr.2013.03.006>

Cowppli-Bony, P., Fabrigoule, C., Letenneur, L., Ritchie, K., Alperovitch, A., Dartigues, J. F. et Dubois, B. (2005). Le test des 5 mots: validité dans la détection de la maladie d'Alzheimer dans la population générale. *Revue Neurologique*, 161(12), 1205-1212. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(05\)85194-X](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(05)85194-X)

Crawford, J. R., Bryan, J., Luszcz, M. A., Obonsawin, M. C. et Stewart, L. (2000). The executive decline hypothesis of cognitive aging: Do executive deficits qualify as differential deficits and do they mediate age-related memory decline? *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 7(1), 9-31. <http://dx.doi.org/10.1076/anec.7.1.9.806>

Daigneault, S., Braun, C. M. et Whitaker, H. A. (1992). Early effects of normal aging on perseverative and non-perseverative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychology*, 8(1), 99-114. <http://dx.doi.org/10.1080/87565649209540518>

Dalrymple-Alford, E. C. et Budayr, B. (1966). Examination of some aspects of the Stroop color-word test. *Perceptual and motor skills*, 23(3_suppl), 1211-1214. Repéré à <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.2466/pms.1966.23.3f.1211>

Davison, S. M. C., Deeprose, C. et Terbeck, S. (2017). A comparison of immersive virtual reality with traditional neuropsychological measures in the assessment of executive functions. *Acta Neuropsychiatrica*, 1-11. doi : 10.1017/neu.2017.14

Delis, D. C., Kaplan, E. et Kramer, J. H. (2001). *Delis-Kaplan Executive Function System*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.

- Derakshan, N. et Eysenck, M. W. (2009). Anxiety, processing efficiency, and cognitive performance: New developments from attentional control theory. *European Psychologist*, 14(2), 168-176. <https://doi.org/10.1027/1016-9040.14.2.168>
- Dubois, B., Touchon, J., Portet, F., Ousset, P. J., Vellas, B. et Michel, B. (2002). « Les 5 mots » épreuve simple et sensible pour le diagnostic de la maladie d'Alzheimer. *Presse Med*, 31, 1696-1699. Repéré à <http://www.chups.jussieu.fr/polys/capacites/capagerontodocs/docpremannee/0308Abtestdes5motsPM.pdf>
- Edwards, J. D., Bart, E., O'Connor, M. L. et Cissell, G. (2009). Ten years down the road: predictors of driving cessation. *The Gerontologist*, 50(3), 393-399. doi : 0.1093/geront/gnp127
- Gauthier, J. et Bouchard, S. (1993). Adaptation canadienne-française de la forme révisée du State-Trait Anxiety Inventory de Spielberger. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, 25(4), 559-578. <http://dx.doi.org/10.1037/h0078881>
- Grant, D. A. et Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38(4), 404-411. <http://dx.doi.org/10.1037/h0059831>
- Gras, D., Daniel, M. P., Labiale, G., Piolino, P. et Gyselinck, V. (2012). Effet du vieillissement sur la mémorisation d'itinéraires réels: l'importance de la mémoire de travail et de la mémoire épisodique. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 10(4), 463-470. doi : 10.1684/pnv.2012.0370
- Halstead, W. C. et Settlage, P. H. (1943). Grouping behavior of normal persons and of persons with lesions of the brain: further analysis. *Archives of Neurology & Psychiatry*, 49(4), 489-506.
- Hart, S. G. et Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock et N. Meshkati (dir.), *Human Mental Workload* (p. 139-184). North-Holland: Elsevier Science Publishers.
- Hartman, M., Bolton, E. et 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. <http://dx.doi.org/10.1037/0882-7974.16.3.385>
- Jak, A. J., Bangen, K. J., Wierenga, C. E., Delano-Wood, L., Corey-Bloom, J. et Bondi, M. W. (2009). Contributions of neuropsychology and neuroimaging to understanding clinical subtypes of mild cognitive impairment. *International review of neurobiology*, 84, 81-103.

- Jansari, A. S., Devlin, A., Agnew, R., Akesson, K., Murphy, L. et Leadbetter, T. (2014). Ecological assessment of executive functions: a new virtual reality paradigm. *Brain Impairment*, 15(2), 71-87. doi : <https://doi.org/10.1017/BrImp.2014.14>
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. et Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3(3), 203-220. doi : 10.1207/s15327108ijap0303_3
- Kerchner, G. A., Racine, C. A., Hale, S., Wilhelm, R., Laluz, V., Miller, B. L. et Kramer, J. H. (2012). Cognitive processing speed in older adults: relationship with white matter integrity. *PloS one*, 7(11). doi : 10.1371/journal.pone.0050425
- Kirk-Sanchez, N. J. et McGough, E. L. (2014). Physical exercise and cognitive performance in the elderly: current perspectives. *Clinical interventions in aging*, 9, 51. doi : 10.2147/CIA.S39506
- Kral, V. A. (1962). Senescent forgetfulness: benign and malignant. *Canadian Medical Association Journal*, 86(6), 257. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1848846/pdf/canmedaj00930-0002.pdf>
- Lawton, M. P. et Brody, E. M. (1970). Assessment of older people: self-maintaining and instrumental activities of daily living. *Nursing Research*, 19(3), 278.
- Legault, I., Allard, R. et Faubert, J. (2013). Healthy older observers show equivalent perceptual-cognitive training benefits to young adults for multiple object tracking. *Frontiers in psychology*, 4. doi : 10.3389/fpsyg.2013.00323
- Lewis, M. W., Babbage, D. R., et Leathem, J. M. (2011). Assessing executive performance during cognitive rehabilitation. *Neuropsychological rehabilitation*, 21(2), 145-163. doi : 10.1080/09602011.2010.543867
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D. et Tranel, D. (2012). *Neuropsychological Assessment* (5^e ed). New York, États-Unis : Oxford University Press.
- Marcotte, T. D. et Grant, I. (2010). *Neuropsychology of everyday functioning*. New York, NY: Guilford Press.
- Marshall, G. A., Rentz, D. M., Frey, M. T., Locascio, J. J., Johnson, K. A., Sperling, R. A. et Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2011). Executive function and instrumental activities of daily living in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 7(3), 300-308. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2010.04.005>
- Ministère de la Famille et des Aînés. (2012). *Politique gouvernementale Vieillir et vivre ensemble – Chez soi, dans sa communauté, au Québec*. Repéré à

<https://www.mfa.gouv.qc.ca/fr/publication/Documents/politique-vieillir-et-vivre-ensemble.pdf>

- Monette, M. C. et Leach, L. (2013). Discrimination of the Cognitive Profiles of MCI and Depression using the KBNA. *The Canadian Journal of Neurological Sciences*, 40(05), 670-677. <http://dx.doi.org/10.1017/S0317167100014906>
- Nakagawa, S. (2004). A farewell to Bonferroni: the problems of low statistical power and publication bias. *Behavioral ecology*, 15(6), 1044-1045. Repéré à <https://doi.org/10.1093/beheco/arh107>
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., ... Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(4), 695-699. doi : 10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x
- Nolin, P., Banville, F., Cloutier, J. et Allain, P. (2013). Virtual reality as a new approach to assess cognitive decline in the elderly. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 2(8), 612. <http://dx.doi.org/10.1080/09602011.2010.543867>
- Organisation mondiale de la Santé. (2016). *Rapport mondial sur le vieillissement et la santé*. Repéré à http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/206556/1/9789240694842_fre.pdf?ua=1
- Pachoud, B. (2012). Remédiation cognitive et vie quotidienne. Dans N. Franck (dir.), *La remédiation cognitive* (p. 70-90). Issy-les-Moulineaux, France : Masson.
- Papp, K. V., Kaplan, R. F., Springate, B., Moscufo, N., Wakefield, D. B., Guttmann, C. R. et Wolfson, L. (2014). Processing speed in normal aging: Effects of white matter hyperintensities and hippocampal volume loss. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 21(2), 197-213. <http://dx.doi.org/10.1080/13825585.2013.795513>
- Park, D. C. et Payer, D. (2006). Working Memory Across the Adult Lifespan. Dans E. Bialystok et F. I. M. Craik (dir.), *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change* (p.128-142). New York, États-Unis : Oxford University Press.
- Petersen, R. C., Caracciolo, B., Brayne, C., Gauthier, S., Jelic, V. et Fratiglioni, L. (2014). Mild cognitive impairment: a concept in evolution. *Journal of internal medicine*, 275(3), 214-228. doi : 10.1111/joim.12190
- Pfeffer, R. I., Kurosaki, T. T., Harrah Jr, C. H., Chance, J. M. et Filos, S. (1982). Measurement of functional activities in older adults in the community. *Journal of gerontology*, 37(3), 323-329. <https://doi.org/10.1093/geronj/37.3.323>
- Pratt, D. R., Zyda, M. et Kelleher, K. (1995). Virtual reality: In the mind of the beholder. *Computer*, (7), 17-19.

- Rabbitt, P., Scott, M., Lunn, M., Thacker, N., Lowe, C., Pendleton, N., ... Jackson, A. (2007). White matter lesions account for all age-related declines in speed but not in intelligence. *Neuropsychology*, 21(3), 363. <http://dx.doi.org/10.1037/0894-4105.21.3.363>
- Raspelli, S., Pallavicini, F., Carelli, L., Morganti, F., Pedrolì, 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. Repéré à https://www.researchgate.net/profile/Federica_Pallavicini/publication/51231110_Validation_of_a_Neuro_Virtual_Reality-based_version_of_the_Multiple_Errands_Test_for_the_assessment_of_executive_functions/links/0912f511e3a4c07378000000/Validation-of-a-Neuro-Virtual-Reality-based-version-of-the-Multiple-Errands-Test-for-the-assessment-of-executive-functions.pdf
- Rizzo, A. et Kim, G. J. (2005). A SWOT analysis of the field of virtual reality rehabilitation and therapy. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(2), 119-146. doi : 10.1162/1054746053967094
- Robertson, I. H., Ward, T., Ridgeway, V. et Nimmo-Smith, I. (1996). The structure of normal human attention: The test of everyday attention. *J. Int. Neuropsychol. Soc*, 2, 525–534.
- Sachdev, P.S., Lipnicki, D. M., Crawford, J. et Reppermund, S. (2013). Factors predicting reversion from mild cognitive impairment to normal cognitive functioning: A population-based study. *PLOS ONE*, 8(3), 1-10.
- Salthouse, T. A. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions in working memory and speed of processing. *Psychological Science*, 2(3), 179-183. Repéré à <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1111/j.1467-9280.1991.tb00127.x>
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*, 103(3), 403. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.103.3.403>
- Salthouse, T. A. (2010). Selective review of cognitive aging. *Journal of the International neuropsychological Society*, 16(5), 754-760. doi : 10.1017/S1355617710000706
- Sauzèon, H., N'kaoua, B., Arvind Pala, P., Taillade, M. et Guitton, P. (2016). Age and active navigation effects on episodic memory: a virtual reality study. *British Journal of Psychology*, 107(1), 72-94. doi : 10.1111/bjop.12123
- Sayers, H. (2004). Desktop virtual environments: a study of navigation and age. *Interacting with Computers*, 16(5), 939-956. doi : 10.1016/j.intcom.2004.05.003
- Schubert, T., Friedman, F. et Regenbrecht, H. (1999). Decomposing the sense of presence: Factor analytic insights. Extended Abstract to the 2nd International Workshop on Presence, 1-5. Repéré à <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31976070/Schubert.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1500951837&Signature=LV2jB%2>

FiQd7BmfhtgxswL0un08sM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDecomposing_the_Sense_of_Presence_Factor.pdf

Shallice, T., et Burgess, P. (1991). Higher-Order Cognitive Impairments and Frontal Lobe Lesions in Man. Dans H. S. Levin, H. M. Eisenberg et A. L. Benton (dir.), *Frontal Lobe Function and Dysfunction* (125-138). New York, États-Unis : Oxford University Press.

Société Alzheimer du Canada. (2010). *Raz-de-marée : Impact de la maladie d'Alzheimer et des affections connexes au Canada*. Repéré à http://www.alzheimer.ca/~media/Files/national/Advocacy/ASC_Rising_Tide_Full_Report_f.pdf

Sorel, O. et Pennequin, V. (2008). Aging of the planning process: The role of executive functioning. *Brain and cognition*, 66(2), 196-201. Repéré à <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.006>

Spielberger, C. D., Gorshu, R. L. et Lushene, R. D. (1970). *Test manual for the State Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto: Consulting Psychologist Press.

Spieler, D. H., Balota, D. A. et Faust, M. E. (1996). Stroop performance in healthy younger and older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer's type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(2), 461. <http://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.22.2.461>

Statistique Canada. (2015). *Estimations de la population du Canada : âge et sexe, 1^{er} juillet 2015*. Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/150929/dq150929b-fra.pdf>

Statistique Canada. (2017). *Un portrait de la population âgée de 85 ans et plus en 2016 au Canada*. Repéré à <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/as-sa/98-200-x/2016004/98-200-x2016004-fra.pdf>

Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(3), 448-460. doi : 10.1017.S1355617701020240

Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004>

Strauss, E., Sherman, E. M. S. et Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: administration, norms, and commentary* (3^e éd. rév.). New York, États-Unis : Oxford University Press.

Stuss, D. T. et Levine, B. (2002). Adult clinical neuropsychology: lessons from studies of the frontal lobes. *Annual review of psychology*, 53(1), 401-433. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135220>

- Tarnanas, I., Schlee, W., Tsolaki, M., Müri, R., Mosimann, U. et Nef, T. (2013). Ecological validity of virtual reality daily living activities screening for early dementia: longitudinal study. *JMIR Serious Games*, 1(1). doi : 10.2196/games.2778
Trait Anxiety Inventory. Palo Alto: Consulting Psychologist Press.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 37(4), 571-590. Repéré à <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1080/14640748508400920>
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. *Organization of memory*, 1, 381-403. http://alumni.media.mit.edu/~jorkin/generals/papers/Tulving_memory.pdf
- Vaughan, L. et Giovanello, K. (2010). Executive function in daily life: Age-related influences of executive processes on instrumental activities of daily living. *Psychology and aging*, 25(2), 343. doi : 10.1037/a001772
- Verhulst, E., Banville, F., Richard, P., Tabet, S., Lussier, C., Massicotte, É. et Allain, P. (2017). Navigation Patterns in Elderly During Multitasking in Virtual Environment. *International Conference on Human Interface and the Management of Information*, 176-188. doi : 10.1007/978-3-319-58524-6 16
- Viaud-Delmon. (2007). iGrouppresence questionnaire (French translation). Repéré à www.igroup.org/pq/ipq/download.php
- Virtanen, S., Räikkönen, E. et Ikonen, P. (2015). Gender-based motivational differences in technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 25(2), 197-211. doi : 10.1007/s10798-014-9278-8
- Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P. et Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: a meta-analysis. *Psychology and Aging*, 26(1), 15-20. <http://dx.doi.org/10.1037/a0020912>
- Wild, K., Howieson, D., Webbe, F., Seelye, A. et Kaye, J. (2008). Status of computerized cognitive testing in aging: a systematic review. *Alzheimer's & Dementia*, 4(6), 428-437. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2008.07.003>
- Wilson B. A., Alderman N., Burgess P. W., Emslie H., et Evans J. J. (1996). *The behavioural assessment of the dysexecutive syndrome*. Thames Valley Company: Bury St Edmunds.
- Wilson, B. A., Cockburn, J. et Baddeley, A. D. (1985). *The Rivermead Behavioural Memory Test Manual*. Bury St. Edmunds, England : Thames Valley Test Company.
- Wilson, P. N., Foreman, N. et Stanton, D. (1997). Virtual reality, disability and rehabilitation. *Disability and rehabilitation*, 19(6), 213-220. <http://dx.doi.org/10.3109/09638289709166530>

- Yamaguchi, T., Foloppe, D. A., Richard, P., Richard, E. et Allain, P. (2012). A dual-modal virtual reality kitchen for (re) learning of everyday cooking activities in alzheimer's disease. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(1), 43-57. doi : 10.1162/PRES_a_00080
- Zucchella, C., Sinforiani, E., Tassorelli, C., Cavallini, E., Tost-Pardell, D., Grau, S., ... Nappi, G. (2014). Serious games for screening pre-dementia conditions: from virtuality to reality? A pilot project. *Functional neurology*, 29(3), 153. Repéré à <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4264781/>
- Zygouris, S., Giakoumis, D., Votis, K., Doumpoulakis, S., Ntovas, K., Segkouli, S., ... Tsolaki, M. (2015). Can a virtual reality cognitive training application fulfill a dual role? Using the virtual supermarket cognitive training application as a screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease*, 44(4), 1333-1347. doi : 10.3233/JAD-141260